

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Aşağı Seyhan Ovasında Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesi
ve İzlenmesinde Amenajmana Hassas İndikatörlerin
Belirlenmesi

Mert ACAR

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Temmuz-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	IX
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Toprak Kalitesi.....	5
2.2. Tarımsal Üretimde Kullanılan Yöntemlerin Değerlendirilmesinde Toprak Kalitesinin Kullanımı	9
2.3. Arazi Bozulması Çalışmalarında Toprak Kalitesinin Kullanımı	16
2.4. Toprak Özelliklerinin Mesafeye Bağlı Değişkenliği	19
3. MATERYAL VE METOD	25
3.1. Çalışma Alanı İklimi	25
3.2. Çalışma Alanı Jeolojisi	26
3.3. Çalışma Alanı Toprak Özellikleri ve Sınıflaması	27
3.4. Çalışma Alanında Yer Alan Tarımsal Üretim ve Tarımsal Uygulamalar	29
3.5. Toprak Örneklemesi ve Arazi Çalışmaları.....	30
3.6. Toprak Analizleri	33
3.7. Toprak Kalitesi Değerlendirmesi	34
3.7.1. Minimum Veri Setlerinin Oluşturulması.....	36
3.7.2. Toprak Kalite Göstergelerinin Skorlanması.....	45
3.7.3. Toprak Kalite Göstergelerinin Ağırlıklandırılması	50
3.7.4. Toprak Kalite İndeksinin Belirlenmesi	54
3.8. İstatistiksel Analizler.....	55
3.9. Mesafeye Bağlı Değişkenliğin Analizi	55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	59
4.1. Genel Toprak Özellikleri	59
4.2. Toprak Özelliklerinin Mesafeye Bağlı Değişimleri	74
4.3. Toprak Kalite Göstergeleri.....	97
4.3.1. Doğrusal Skorlama Yöntemi ile Elde Edilen Toprak Kalite Göstergeleri.....	97
4.3.2. Doğrusal Olmayan Skorlama Yöntemi ile Elde Edilen Toprak Kalite Göstergeleri .	102
4.4. Toprak Fonksiyonları	109
4.5. Toprak Fonksiyonlarının Mesafeye Bağlı Değişimleri.....	120

4.6. Toprak Kalite İndeksleri	137
4.7. Toprak Kalite İndekslerinin Mesafeye Bağlı Değişimleri	144
4.8. Mesafeye Bağlı Değişkenlik Haritalarının Validasyonu.....	161
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	167
KAYNAKLAR	175
ÖZGEÇMİŞ	205



**Aşağı Seyhan Ovasında Toprak Kalitesinin
Değerlendirilmesi ve İzlenmesinde Amenajmana
Hassas İndikatörlerin Belirlenmesi**

Mert ACAR

Danışman: Prof. Dr. İsmail ÇELİK

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

ÖZ

Aşağı Seyhan Ovası, uzun süredir yapılan geleneksel tarımsal uygulamalar nedeniyle topraklarının doğal fonksiyonlarını kaybetme riski ile karşı karşıyadır. Bu tez çalışmasının temel amaçları; 1.) Genetik olarak farklı 3 seriye ait toprakların çeşitli fonksiyonları ve genel kalitesinin değerlendirilmesi için gerekli minimum veri setlerinin (MVS) belirlenmesi, 2.) Skorlama ve ağırlıklandırma yöntemlerinin karşılaştırılması ve toprak kalite indekslerinin (TKİ) belirlenmesi ve 3.) TKİ ve göstergelerin çalışma alanındaki değişkenliklerinin jeoistatistiksel olarak modellenmesi ve güncellenebilir sayısal haritalarının oluşturulmasıdır. Araştırmada, örnekleme alanı olarak Arıklı, Çanakçı ve Helvacı toprak serileri seçilmiştir. Toprak örnekleme grid sistemine göre Eylül 2018’de 0-20 cm derinlikte yapılmıştır. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler toprak kalite göstergeleri olarak seçilmiştir. Göstergeler, doğrusal ve doğrusal olmayan skorlama eğrileri ile skorlanmış ve basit eklemeli, temel bileşenler analizi (PCA) ve analitik hiyerarşi süreci (AHP) yöntemleri kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Çalışmada, fonksiyonlar da dahil olmak üzere toplam 12 adet TKİ belirlenmiştir. Doğrusal olarak skorlanan göstergelerin skorları çoğunlukla yüksek olduğundan, fonksiyon ve TKİ değerleri de yüksek olmuştur. Bunun aksine, doğrusal olmayan skorlamada daha düşük değerler elde edilmiştir. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde ortalama TKİ sırasıyla %38.9-82.5, %67.1-78.8 ve %46.6-76.7 arasında olup, Arıklı ve Çanakçı serisinde Helvacı serisine kıyasla TKİ daha yüksektir. Basit eklemeli yöntemle kıyasla PCA ve AHP ile ağırlıklandırmanın, doğrusala kıyasla doğrusal olmayan skorlama yönteminin ve toplam veri setine kıyasla MVS’nin duyarlılığı daha yüksektir. TKİ üzerine amenajmanın etkilerini değerlendirmek için hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, pH, organik karbon, mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi hassas göstergeler olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, toprak kalitesinde tespit edilen yetersizliğin mevcut amenajman yöntemlerinin gözden geçirilmesini, toprak kalitesini iyileştirecek uygulamaların adapte edilmesini ve uygulamaların toprak kalitesi üzerine etkilerinin izlenmesi gereğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Toprak kalitesi, Minimum veri seti, Ağırlıklandırma, Skorlama, Jeoistatistik

**Determination of Management-Sensitive Indicators
in Assessment and Monitoring of Soil Quality in
Lower Seyhan Plain**

Mert ACAR

Advisor: Prof. Dr. İsmail ÇELİK

Department of Soil Science and Plant Nutrition

ABSTRACT

The Lower Seyhan Plain is experiencing a risk of losing natural functions of soils due to long-term conventional agricultural practices. The main objectives of this thesis are to; 1.) Determine the minimum data sets (MDS) required to assess various functions and overall quality of 3 genetically different soil series, 2.) Compare the scoring and weighting methods and determine the soil quality indices (SQI) and 3.) Geostatistically model the variability of the SQI and indicators in the study area and create updatable digital maps. Arıklı, Çanakçı and Helvacı soil series were chosen as the sampling area in the thesis. Soil sampling was carried out at a depth of 0-20 cm in September 2018 according to the grid system. Physical, chemical and biological properties were selected as soil quality indicators. The indicators were scored using linear and non-linear scoring curves and weighted using simple additive, principal component analysis (PCA) and analytical hierarchy process (AHP) methods. A total of 12 SQIs were identified in the study, including functions. The scores of the linearly scored indicators were mostly high, which resulted in high values for function and SQI. In contrast, lower values were obtained in non-linear scoring. The average SQI in Arıklı, Çanakçı and Helvacı series were between 38.9-82.5%, 67.1-78.8% and 46.6-76.7% respectively, and the SQI values in Arıklı and Çanakçı series were higher compared to Helvacı series. The sensitivity of weighting by PCA and AHP compared to the simple additive method, the non-linear scoring method compared to linear, and the MDS compared to the total data set are higher. Bulk density, penetration resistance, pH, organic carbon, microbial biomass carbon and beta glycosidase enzyme activity were determined as the sensitive indicators to assess the effects of management on SQI. The results showed that poor soil quality requires a comprehensive assessment of current management practices, adaptation of practices to improve soil quality, and monitor the effects of management practices on soil quality.

Key Words: Soil quality, Minimum data set, Weighting, Scoring, Geostatistics

TEŞEKKÜR

Akademik kariyerime başladığım yüksek lisans aşamasından doktora aşamasına kadar geçen süreçte bana bilgisi ve tecrübesiyle yol gösteren, bilimsel destek ve teşvikleriyle beni yönlendiren değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. İsmail ÇELİK'e, tezimin oluşumundan sonuna kadar yol gösterici öğütlerde bulunan ve Tez İzleme Komitem'de bulunan sayın Prof. Dr. Alkhan SARIYEV ve Doç. Dr. Mesut BUDAK'a ve tezin son şeklini almasında değerli zamanını ayırıp, öneri ve eleştirilerini sunarak katkıları bulunan Doktora Tez Jüri üyelerinden sayın Prof. Dr. Hikmet GÜNAL ve Dr. Öğr. Üyesi Nurullah ACİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin örnekleme aşamasında bana yardımcı olan Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Araştırma Uygulama Çiftliğinde görev yapan Hüsamettin ŞAHAN ve Murat ÜNAL'a, tezimin örneklemesinde ve analizlerinde yardımcı olan Doktora öğrencisi Taofeek Samuel WAHAB, Yüksek Ziraat Mühendisi Ömer Faruk KAHRAMAN ve Ziraat Mühendisi Levent ÇOBAN'a ve laboratuvar ve diğer imkânlarından yararlandığım Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nün akademik ve idari tüm personeline teşekkürü bir borç bilirim. Doktora tez çalışmamı finanse ederek kaynak sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (Proje No: 118O773, Destek Programı: 1002 Hızlı Destek) desteklerinden ötürü ayrıca teşekkür ederim.

Tüm bu süreçte yanımda olan ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen hayat arkadaşım Merve USTA ACAR'a, bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan, manevi destekleriyle her zaman yanımda olan ve varlığıyla bana güç veren değerli annem Dönüş ACAR'a ve bugünlere gelmemi sağlayan ancak göremeyen, varlığını her daim yanımda hissettiğim canım babam Ali ACAR'a en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Adana İli Merkez’e ait 88 yıllık (1929-2022) ortalama iklim verileri	26
Çizelge 3.2. Aşağı Seyhan Ovasındaki toprak serilerinin alansal dağılımları (ha, %).....	29
Çizelge 3.3. Aşağı Seyhan Ovasındaki toprak ordolarının alansal dağılımları (ha, %)	29
Çizelge 3.4. Örnekleme noktalarındaki son ürünler.....	32
Çizelge 3.5. Tezde analizleri yapılan toprak özellikleri ve kullanılan yöntemler	34
Çizelge 3.6. Arıklı serisine ait veri setinin KMO ve Bartlett küresellik test sonuçları	37
Çizelge 3.7. Arıklı serisine ait temel bileşenler analiz (PCA) sonuçları.....	39
Çizelge 3.8. Arıklı serisi toprak kalite göstergeleri arasındaki korelasyon.....	39
Çizelge 3.9. Çanakçı serisine ait temel bileşenler analiz sonuçları.....	40
Çizelge 3.10. Çanakçı serisi toprak kalite göstergeleri arasındaki korelasyon	41
Çizelge 3.11. Helvacı serisine ait temel bileşenler analiz sonuçları	42
Çizelge 3.12. Helvacı serisi toprak kalite göstergeleri arasındaki korelasyon	42
Çizelge 3.13. Doğrusal skorlamada kullanılan eşik değerleri ve kaynakları	46
Çizelge 3.14. Toprak kalite göstergelerinin skorlanmasına etki eden faktörler	49
Çizelge 3.15. Temel bileşenler analizi ile oluşturulan minimum veri setindeki göstergelere temel bileşenler analizi ve basit eklemeli yöntem ile verilen ağırlıklar	50
Çizelge 3.16. Analitik Hiyerarşi İşleminde (AHP)’de skora ait açıklamalar	51
Çizelge 3.17. Toplam veri setindeki göstergelere atanan ağırlıklar	52
Çizelge 3.18. Uzman görüşüne göre oluşturulan her bir minimum veri setinde yer alan göstergelere ve fonksiyonlara AHP ve basit eklemeli yöntem ile verilen ağırlıklar	53
Çizelge 3.19. Toprak kalitesinin sınıflandırılması	56
Çizelge 4.1. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde yer alan toprakların tekstür, strüktür ve sıkışma göstergelerine ait tanımlayıcı istatistikleri.....	60
Çizelge 4.2. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde yer alan toprakların su tutma kapasitesi, gözeneklilik ve su dolu gözenek hacmine ait tanımlayıcı istatistikleri	64
Çizelge 4.3. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde yer alan toprakların kimyasal özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikleri	68
Çizelge 4.4. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde yer alan toprakların biyolojik özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikleri	71
Çizelge 4.5. Arıklı serisinde toprak özelliklerine ait semivariogram modeller ve parametreleri ..	74
Çizelge 4.6. Çanakçı serisinde toprak özelliklerine ait semivariogram modeller ve parametreleri	83
Çizelge 4.7. Helvacı serisinde toprak özelliklerine ait semivariogram modeller ve parametreleri	90
Çizelge 4.8. Doğrusal skorlama yöntemi ile elde edilen fiziksel gösterge skorlarına ait tanımlayıcı istatistikler	98

Çizelge 4.9. Doğrusal skorlama yöntemi ile elde edilen kimyasal gösterge skorlarına ait tanımlayıcı istatistikler	100
Çizelge 4.10. Doğrusal skorlama yöntemi ile elde edilen biyolojik gösterge skorlarına ait tanımlayıcı istatistikler	101
Çizelge 4.11. Doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile elde edilen fiziksel gösterge skorlarına ait tanımlayıcı istatistikler	104
Çizelge 4.12. Doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile elde edilen kimyasal gösterge skorlarına ait tanımlayıcı istatistikler	106
Çizelge 4.13. Doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile elde edilen biyolojik gösterge skorlarına ait tanımlayıcı istatistikler	107
Çizelge 4.14. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde doğrusal yöntem ile elde edilen toprak fonksiyon indeks değerleri	110
Çizelge 4.15. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde doğrusal olmayan yöntem ile elde edilen toprak fonksiyon indeks değerleri	115
Çizelge 4.16. Arıklı serisinde toprak fonksiyonlarına ait semivariogram modeller ve parametreleri	120
Çizelge 4.17. Çanakçı serisinde toprak fonksiyonlarına ait semivariogram modeller ve parametreleri	126
Çizelge 4.18. Helvacı serisinde toprak fonksiyonlarına ait semivariogram modeller ve parametreleri	132
Çizelge 4.19. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde farklı skorlama ve ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilen toprak kalite indeksleri	138
Çizelge 4.20. Arıklı serisinde toprak kalite indekslerine ait semivariogram modeller ve parametreleri	145
Çizelge 4.21. Çanakçı serisinde toprak kalite indekslerine ait semivariogram modeller ve parametreleri	150
Çizelge 4.22. Helvacı serisinde toprak kalite indekslerine ait semivariogram modeller ve parametreleri	156
Çizelge 4.23. Kappa analizi için toprak kalite indekslerinin sınıflandırılması	161
Çizelge 4.24. Toprak kalite indeksine ait haritaların doğruluklarını test etmek için Spearman Sıra korelasyon testi	166

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Toprak kalite değerlendirmelerinde kullanılan kavramsal çerçeve.....	7
Şekil 3.1. Çalışma alanı sınırları ve çalışma alanının konumu	25
Şekil 3.2. Çalışma alanına ait jeolojik harita.....	27
Şekil 3.3. Çalışma alanında yer alan toprak serilerinin dağılımı (Dinç ve ark., 1995)	28
Şekil 3.4. Serilere ait örnekleme noktalarının Aşağı Seyhan Ovasındaki dağılımları	31
Şekil 3.5. Örnekleme noktaları ve bu noktalarda kaydedilen son ürünler	32
Şekil 3.6. Toprak örneklerinin alınması ve arazi ölçümlerinin yapılması (a: Bozulmuş örneklerin alınması, b: bozulmamış örneklerin alınması, c: penetrasyon ölçümü)	33
Şekil 3.7. Bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinin analize hazırlanması.....	33
Şekil 3.8. Toprak kalitesi indeks stratejisi kavram şeması.....	36
Şekil 3.9. “Daha fazla daha iyidir” skorlama eğrisi (a), “Daha az daha iyidir” skorlama eğrisi (b) ve “Orta nokta optimumdur” skorlama eğrisi (c)	45
Şekil 4.1. Helvacı serisine ait bir arazide mısır anız artıklarının yakılması.....	61
Şekil 4.2. Portakal bahçesinde yüzeyin hemen altında bulunan sıkışmış katman.....	63
Şekil 4.3. Helvacı serisine ait arazilerde salma sulama.....	69
Şekil 4.4. Salma sulama yapılan bir arazide sulama sonrası yüzeyde tuz birikimi	69
Şekil 4.5. Arıklı serisi örnekleme alanında ağırlıklı ortalama çap (AOÇ), agregat stabilitesi (AS), penetrasyon direnci (PD), hacim ağırlığı (HA) ve su dolu gözenek hacminin (SDGH) mesafeye bağlı değişimi	76
Şekil 4.6. Arıklı serisi örnekleme alanında tarla kapasitesi (TK), solma noktası (SN), yarayışlı su içeriği (YSİ), toplam gözeneklilik (TG), mikro gözeneklilik (MiG) ve makro gözenekliliğin (MaG) mesafeye bağlı değişimi	79
Şekil 4.7. Arıklı serisi örnekleme alanında pH, elektriksel iletkenlik (EC), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), kireç, fosfor (P) ve potasyumun (K) mesafeye bağlı değişimi	80
Şekil 4.8. Arıklı serisi örnekleme alanında organik madde (OM), mikrobiyal biyokütle karbonu (MBK) ve beta glikosidaz enzim aktivitesinin (BGEA) mesafeye bağlı değişimi	82
Şekil 4.9. Çanakçı serisi örnekleme alanında ağırlıklı ortalama çap (AOÇ), agregat stabilitesi (AS), penetrasyon direnci (PD), hacim ağırlığı (HA) ve su dolu gözenek hacminin (SDGH) mesafeye bağlı değişimi	84
Şekil 4.10. Çanakçı serisi örnekleme alanında tarla kapasitesi (TK), solma noktası (SN), yarayışlı su içeriği (YSİ), toplam gözeneklilik (TG), mikro gözeneklilik (MiG) ve makro gözenekliliğin (MaG) mesafeye bağlı değişimi	86
Şekil 4.11. Çanakçı serisi örnekleme alanında pH, elektriksel iletkenlik (EC), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), kireç, fosfor (P) ve potasyumun (K) mesafeye bağlı değişimi.....	88

Şekil 4.12. Çanakçı serisi örnekleme alanında organik madde (OM), mikrobiyal biyokütle karbonu (MBK) ve beta glikosidaz enzim aktivitesinin (BGEA) mesafeye bağlı değişimi.....	89
Şekil 4.13. Helvacı serisi örnekleme alanında ağırlıklı ortalama çap (AOÇ), agregat stabilitesi (AS), penetrasyon direnci (PD), hacim ağırlığı (HA) ve su dolu gözenek hacminin (SDGH) mesafeye bağlı değişimi	92
Şekil 4.14. Helvacı serisi örnekleme alanında tarla kapasitesi (TK), solma noktası (SN), yararışlı su içeriği (YSİ), toplam gözeneklilik (TG), mikro gözeneklilik (MiG) ve makro gözenekliliğin (MaG) mesafeye bağlı değişimi	94
Şekil 4.15. Helvacı serisi örnekleme alanında pH, elektriksel iletkenlik (EC), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), kireç, fosfor (P) ve potasyumun (K) mesafeye bağlı değişimi.....	95
Şekil 4.16. Helvacı serisi örnekleme alanında organik madde (OM), mikrobiyal biyokütle karbonu (MBK) ve beta glikosidaz enzim aktivitesinin (BGEA) mesafeye bağlı değişimi.....	96
Şekil 4.17. Arıklı serisinde doğrusal (D) olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli (BE) ve AHP yöntemleri kullanılarak elde edilen toprak fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişimi (FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç).....	122
Şekil 4.18. Arıklı serisinde doğrusal olmayan (DO) yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli (BE) ve AHP yöntemleri kullanılarak elde edilen toprak fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişimi (FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç).....	124
Şekil 4.19. Çanakçı serisinde doğrusal (D) olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli (BE) ve AHP yöntemleri kullanılarak elde edilen toprak fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişimi (FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç).....	127
Şekil 4.20. Çanakçı serisinde doğrusal olmayan (DO) yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli (BE) ve AHP yöntemleri kullanılarak elde edilen toprak fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişimi (FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç).....	130
Şekil 4.21. Helvacı serisinde doğrusal (D) olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli (BE) ve AHP yöntemleri kullanılarak elde edilen toprak fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişimi (FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç).....	134
Şekil 4.22. Helvacı serisinde doğrusal olmayan (DO) yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli (BE) ve AHP yöntemleri kullanılarak elde edilen toprak fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişimi (FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç).....	136
Şekil 4.23. Arıklı serisinde TKİ-1, TKİ-2, TKİ-3 ve TKİ-4 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi.....	146
Şekil 4.24. Arıklı serisinde TKİ-5, TKİ-6, TKİ-7 ve TKİ-8 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi.....	148

Şekil 4.25. Arıklı serisinde TKİ-9, TKİ-10, TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi.....	149
Şekil 4.26. Çanakçı serisinde TKİ-1, TKİ-2, TKİ-3 ve TKİ-4 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi.....	152
Şekil 4.27. Çanakçı serisinde TKİ-5, TKİ-6, TKİ-7 ve TKİ-8 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi.....	153
Şekil 4.28. Çanakçı serisinde TKİ-9, TKİ-10, TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi.....	155
Şekil 4.29. Helvacı serisinde TKİ-1, TKİ-2, TKİ-3 ve TKİ-4 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi.....	158
Şekil 4.30. Helvacı serisinde TKİ-5, TKİ-6, TKİ-7 ve TKİ-8 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi.....	159
Şekil 4.31. Helvacı serisinde TKİ-9, TKİ-10, TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi.....	160
Şekil 4.32. Farklı veri seti ve ağırlıklandırma yöntemlerinin aralarındaki uyum	162
Şekil 4.33. Skorlama yöntemleri arasındaki uyum	163
Şekil 4.34. Doğrusal skorlama yönteminin kullanıldığı indeksler arasındaki regresyon	164
Şekil 4.35. Doğrusal olmayan skorlama yönteminin kullanıldığı indeksler arasındaki regresyon	165

SİMGELER VE KISALTMALAR

AHP	: Analitik hiyerarşi süreci
AOÇ	: Ağırlıklı ortalama çap
AS	: Agregat stabilitesi
BE	: Basit eklemeli
BGEA	: Beta glikosidaz enzim aktivitesi
D	: Doğrusal skorlama
DO	: Doğrusal olmayan skorlama
EC	: Elektriksel iletkenlik
FBKD	: Fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme
HA	: Hacim ağırlığı
K	: Ekstrakte edilebilir potasyum
MaG	: Makro gözeneklilik
MBK	: Mikrobiyal biyokütle karbon
MiG	: Mikro gözeneklilik
MVS	: Minimum veri seti
OK	: Organik karbon
OM	: Organik madde
P	: Yarayışlı fosfor
PCA	: Temel bileşenler analizi
PD	: Penetrasyon direnci
RSS	: Hata kareler ortalaması
SAR	: Sodyum adsorbsiyon oranı
SDGH	: Su dolu gözenek hacmi
SMAF	: Toprak yönetimi değerlendirme çerçevesi
SN	: Solma noktası
TG	: Toplam gözeneklilik
TK	: Tarla kapasitesi
TKİ	: Toprak kalite indeksi
TVS	: Toplam veri seti
UB	: Uzaysal bağımlılık

VK : Varyasyon katsayısı

YSİ : Yararışlı su içeriği



1. GİRİŞ

Dünyadaki en karmaşık ekosistemlerden biri olan toprak, insanoğlunun yaşamsal faaliyetleri için ihtiyaç duyduğu gıdanın %98.8'ini sağlamasının yanı sıra karbon depolaması ve sera gazlarının düzenlenmesi (Kopittke ve ark., 2019), suyun depolanması, kirleticilerden filtre edilmesi ve biyoçeşitliliğin temini gibi birçok ekosistem hizmetini de sunmaktadır. Bu nedenle toprağı, oluştuğı yerde muhafaza etmek ve bozunumuna engel olmak yeryüzünde yaşayan her canlının refahı ve devamı için son derece önemlidir. Toprakların sağladığı ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir olması için toprak bozunumunun engellenmesi ve toprağın fonksiyon gösterme kapasitesinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Ancak, önemli düzeyde endüstrileşmenin de etkisi ile ortaya çıkan iklimsel değişimler, artan nüfusun gereksinimlerini karşılamak için birim alandan daha yüksek ürün elde etme arzusu ve uygun olmayan arazi yönetim sistemleri toprağın fonksiyon gösterme kapasitesinin azalmasına ve nihayetinde arazi bozunumuna neden olmaktadır.

Sürekli artan tarımsal üretimin zaman içerisinde azalmadan devam ettirilebilmesinin önündeki en önemli tehditlerin başında toprağın üretkenlik fonksiyonunun azalmasına neden olan bozulma olayları gelmektedir (Bayram ve ark., 2015). Bu nedenle, arazi bozunumuna hassas olan tarım arazilerinde üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması için uygun yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Tarımda sürdürülebilirliğin sağlanması, "toprağın fonksiyonlarını yerine getirme kapasitesi" olarak tanımlanan toprak kalitesinin korunması ve izlenmesi ile mümkün olabilir. Tarım arazilerinde toprak kalitesinin belirlenmesi ve izlenmesi, iklim değişikliği ve arazi bozunumu gibi sorunlar ortaya çıkmadan önce alınacak önlemlerin belirlenmesi ve doğru uygulanması açısından oldukça önemlidir.

Tarımsal üretimde büyük bir öneme sahip olan toprağın kalitesinin belirlenmesi ve izlenmesi, uygulanan amenajman yöntemlerinin sürdürülebilir olup olmadığını gösteren en önemli işlemdir. Tarımsal üretimde sürdürülebilirliğin sağlanmasında temel hedef; sınırları belli olan ve daha fazla genişlemeyen toprak kaynaklarının tarımsal üretim altında kullanılırken korunması ve aynı zamanda korunurken de tarımsal üretim için kullanılması olmalıdır. Bu doğrultuda Birleşmiş Milletler ilk olarak 1988 yılında Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelini kurmuş ve insan faaliyetlerinin neden olduğu iklim değişikliğinin risklerini değerlendirmek üzere raporlar yayınlamış ve yayınlanmaya devam etmektedir. 1994 yılında, 184 ülke tarafından Birleşmiş Milletlerin öncülüğünde Çölleşme ile Mücadele Anlaşması imzalanmış ve konunun önemine vurgu yapılmıştır. Günümüzde ise halen iklim değişikliği ve arazi bozunumu üzerine çalışmalar bilim insanları tarafından yoğun bir şekilde devam ettirilmektedir. Bu kapsamda bu sorunların çevre üzerinde yarattığı etkilerin belirlenmesi ve izlenmesi için su ve hava gibi çevrenin iki önemli bileşeninin kalitesini izlemeye ve korumaya yönelik yasal düzenlenmeler yapılmıştır. Ancak çevrenin diğer bir bileşeni olan toprağın kalitesinin izlenmesi adına gerekli kriterlerin olduğu yasal bir düzenleme bulunmamaktadır (Günel ve ark., 2015b). Nüfus artışına rağmen tarım arazilerinin

çölleşmesi ve tarım dışı amaçlar için kullanılması ile kişi başına düşen arazi miktarının azalması ve birim alandan alınan verimin düşmesi gibi nedenler araştırmacıları, politikacıları ve konunun doğrudan muhatabı olan üreticileri endişelendirmeye başlamış ve çözüm yollarını aramaya yöneltmiştir. Uzun yıllar kendi kendine yeten yedi ülkeden biri olarak tanımlanan ülkemizde bugün en temel ihtiyaçlarımızın dahi ithal ediliyor olması, gelecekte daha büyük bir tehdidin kapımızı çalacağının işareti olarak algılanmalı ve topraklarımızın korunması ve üretkenliklerinin geliştirilmesi adına gerekli tedbirler gecikmeden alınmalıdır.

Ülkemizde arazi bozunum sürecini hızlandıran nedenler; toprak erozyonu ve buna bağlı olarak etkili toprak derinliğinin yetersiz olması, uygun olmayan sulama ve gübreleme yöntemleri yanı sıra yetersiz drenaj nedeni ile ortaya çıkan tuzluluk ve sodiklik problemleri, toprakların amaç dışı kullanımı (Dinç ve ark., 2013), erozyon nedeniyle bitki besin elementlerinin kaybı ve toprak organik maddesinin düşüklüğüdür (Yeşilsoy ve Erşahin, 1997; Erşahin, 2015). Bunlara ek olarak toprakların üretim kapasiteleri ve yetiştirilecek ürün dikkate alınmadan gerçekleştirilen aşırı ve yanlış toprak işleme, mono kültür tarımı, hasat artıklarının yakılması ve araziden uzaklaştırılması nedeniyle organik maddenin azalması, biyoçeşitliliğin azalması, toprak analizi dikkate alınmadan yapılan gübreleme, bitki besin elementlerinin aşırı sömürülmesinden kaynaklanan yetersizlikleri ve arazilerin yeteneklerine göre kullanılmamaları tarım arazilerinde erozyondan toprak kirlenmesine, arazi bozulmasından çölleşmeye varan çeşitli sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Budak ve ark., 2018a). Ülkemizde arazi bozulmasına neden olan faktörlerin çokluğu, diğer yandan hızla artan nüfusun ihtiyacı olan gıda ve lif üretiminin sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi adına, toprakların sahip olduğu fonksiyon gösterme yeteneğinin belirlenmesi ve zaman içerisinde izlenmesini zorunlu kılmaktadır.

Doğu Akdeniz Bölgesinde yer alan ve tez kapsamı alanını içeren Aşağı Seyhan Ovası, ülkemizin en verimli topraklarına sahip ve farklı amenajman tekniklerinin uygulandığı oldukça geniş bir ovadır (Celik ve ark., 2011). Tarımsal üretimin iç ve dış ticaretinde oldukça önemli bir yere sahip olmasına rağmen Aşağı Seyhan Ovasında bölge topraklarının **kalite düzeylerinin ortaya konulduğu veya problemli yerlerin belirlendiği** herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Ovada iklim ve sulama imkânları, bir yıl içerisinde iki ürün hatta bazı yerlerde üç ürün yetiştiriciliğini mümkün kılmaktadır. Çiftçiler, birim alandan daha fazla verim almak adına arazileri kulaklı pulluk gibi toprağı alt üst ederek parçalayan geleneksel yöntemleri yoğun bir şekilde uygulamakta, gübre ve tarım ilaçlarını bilinçsiz bir şekilde kullanmakta ve ikinci veya üçüncü ürünün ekimi öncesinde zaman kazanmak ve tohum yatağı hazırlamadaki güçlükleri ortadan kaldırmak için yasal olmamakla birlikte anızları yakmaktadır (Celik ve ark., 2012). Verim potansiyeli yüksek toprakların bu şekilde kullanımı toprağın fonksiyonlarının arzu edilen düzeyde yerine getirilebilmesini engellemekte, tarımda sürdürülebilirlik kavramından uzaklaşılmasına ve giderek artan arazi bozunumuna sebep olmaktadır. Bu nedenle, bölge topraklarının mevcut potansiyellerinin ortaya konulması, problemli

alanların tespit edilebilmesi ve sürdürülebilir toprak yönetiminin sağlanması açısından oldukça önemlidir.

Yukarıda çerçevesi açıklanan bu tezin amaçları;

1. Aşağı Seyhan Ovasında yoğun tarımsal faaliyetlerin yapıldığı üç toprak serisine ait **toprakların kalitesinin değerlendirilmesinde** kullanılmak üzere fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin belirlenmesi,
2. Her seri için toprak kalitesinin belirlenmesinde minimum veri setlerinin temel bileşenler analizi (PCA) ve toprağın verimlilik, fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme ve su ilişkileri fonksiyonları dikkate alınarak uzman görüşüne göre belirlenmesi,
3. **Temel bileşenler analizi ve uzman görüşü ile oluşturulan iki ayrı minimum veri setinde yer alan ve birimleri farklı** göstergelerin doğrusal ve doğrusal olmayan skorlama yöntemleri ile 0-1 arasında birimsiz skorlara dönüştürülmesi ve karşılaştırılmaları,
4. Skorları elde edilen göstergelerin, toprak kalitesine etki düzeylerini belirlemede PCA ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemlerinin kullanılması ve karşılaştırılması,
5. Ağırlıklı ve ağırlıksız kalite gösterge skorları ile hesaplanan toprak kalite indekslerinin belirlenmesi ve karşılaştırılması,
6. Her 3 seri için belirlenen toprak kalite indeksi ve bu indeks belirlenmesinde kullanılan kalite göstergelerinin yanı sıra fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerinin mesafeye bağlı değişkenliklerinin jeostatistiksel yöntemler ile modellenmesi ve uygun modeller ile mesafeye bağlı değişimin haritalanması ve
7. Her bir seride, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini ve çevreyi tehdit eden uygulamaların belirlenmesi, toprak kalitesi açısından sorun teşkil eden alanların ortaya konulması ve çözüm önerilerinin sunulmasıdır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Toprak Kalitesi

Yenilenmesi oldukça uzun zaman gerektiren toprağın korunması, toprağa dayalı tarımsal üretimin sürdürülebilirliği için son derece önemlidir. Yoğun toprak işleme, ihtiyaç fazlası gübreleme, sulama ve pestisit kullanımı gibi tarımsal uygulamalar toprak kalitesinin zayıflamasına ve zamanla geri dönüşü olmayan bir şekilde bozunmasına neden olmaktadır. Doğal veya insan etkisi ile toprakların fonksiyonlarını yerine getirme yeteneği olarak tanımlanan toprak kalitesinde meydana gelen değişimin belirlenmesi ve izlenmesi, üretimin sürdürülebilirliğini sağlayacak tarımsal uygulamaların seçiminde üreticilere yardımcı olacak (Cherubin ve ark., 2015) ve tespit edilen sorunlara yönelik zamanında tedbir alınmasını mümkün kılacaktır.

Çeşitli tanımlamaları olmakla birlikte en dikkat çeken toprak kalitesi tanımlaması “doğal veya yönetilen ekosistem sınırları içerisinde bulunan belirli bir toprağın bitki ve hayvan üretkenliğini devam ettirebilmesi, su ve hava kalitesini koruyabilmesi ve iyileştirebilmesi, insan sağlığı ve diğer canlıların yaşamlarını destekleyebilmesi fonksiyonu” şeklindedir. Kısaca toprak kalitesi “toprağın fonksiyonlarını yerine getirme kapasitesi” olarak tanımlanmıştır (Karlen ve ark., 1997). İnsan etkisi ve doğal ekosistemdeki değişimlerden dolayı toprakların bütün fonksiyonlarını beklentiler dahilinde gerçekleştirebilmesi mümkün değildir (Govaerts ve ark., 2006). Doğal fonksiyon gösterme potansiyelinin altında işlevi olan topraklarda uygun toprak koruma önlemleri alınmadığı takdirde öncelikle arazi bozulması ve sonrasında geri dönüşü olmayan ve biyolojik olarak üretkenliğin bittiği çölleşme kaçınılmaz olacaktır. Erken uyarı sistemi olarak algılanan toprak kalitesinin izlenmesi ve meydana gelen değişimin takip edilmesi, toprakların sürdürülebilir kullanılmasına ve üretkenliğinin korunarak iyileştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu uyarı sistemi içerisine genetik ve amenajman uygulamaları ile değişebilen dinamik toprak özelliklerinin birlikte dâhil edilmesi gerekmektedir. Toprakların fonksiyonlarını yerine getirmesinde etkili olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin yanı sıra bölgenin iklimi ve uygulanan amenajman kararlarının da önemli bir yeri bulunmaktadır. Doğal veya yönetilen ekosistem sınırları içerisinde her bir özellik bir diğeri ile ilişkili olduğundan, arazi kullanımında meydana gelen değişimler toprağın kalitesini de etkilemektedir. Dolayısıyla toprak kalitesinin belirlenmesi ve izlenmesi uygun amenajman yöntemlerinin seçiminde de yardımcı olmaktadır (Çelik ve ark., 2021).

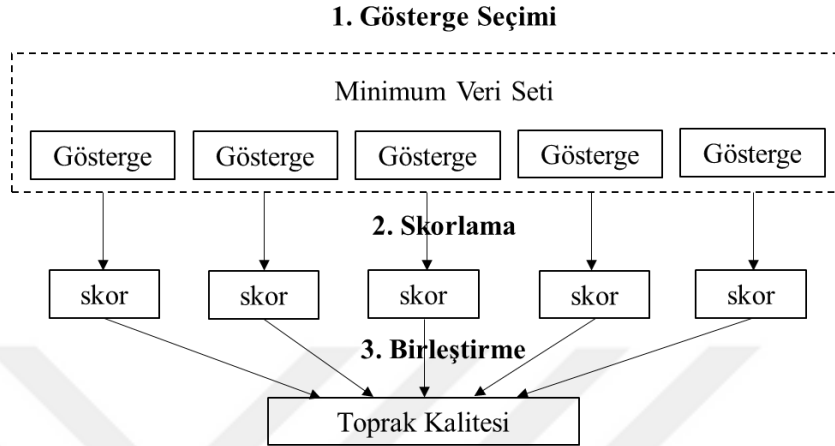
Bir bütün olarak doğrudan toprak kalitesinin ölçümü mümkün olmadığından toprak kalitesi, toprağın fonksiyonlarını yerine getirmesinde etkili olan ve kalite göstergesi olarak adlandırılan toprak özelliklerinin belirlenmesi yoluyla değerlendirilebilmektedir. Genetik ve dinamik faktörlerin etkileşimlerinin ürünü olan toprak kalitesi fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerinin bileşiminden meydana gelen veri setlerinin değerlendirilmesi ile tanımlanabilir. Bu nedenle, toprak kalitesinin değerlendirilmesi tarımsal uygulamalara hassas ve toprak fonksiyonları için önemli olan toprak göstergelerinin seçimi, bu göstergelerin sayısallaştırılarak uygun bir şekilde yorumlanması ve

gösterge skorlarının bir indeks içerisinde birleştirilmesi olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır (Andrews ve ark., 2004) (Şekil 2.1). Toprağın sahip olduğu fonksiyonların bilinmesi toprak kalitesinin daha iyi açıklanabilmesini sağlamaktadır. Bu kapsamda Andrews ve ark. (2004) 1.) Besin döngüsü, 2.) Su ilişkileri, 3.) Fiziksel kararlılık ve destek, 4.) Filtreleme ve tamponlama, 5.) Dayanıklılık ve direnç gösterme ve 6.) Biyo çeşitlilik ve habitat olmak üzere altı farklı toprak fonksiyonu tanımlamışlardır.

Besin döngüsü; toprakta bitkinin ihtiyaç duyduğu besin elementlerinin tutulmasını, var olan besin elementlerinin yarıyışlılığının düzenlenmesini ve bitkilere toksik olabilen, hava veya suya bırakıldıklarında zararlı olabilecek fazla besinlerin ise toprak yüzeyinde absorbe ederek olumsuz etkisini azaltmayı sağlamaktadır. **Su ilişkileri;** su hareketi, bir bitkinin kök bölgesinde ihtiyaç duyduğu suyun sağlanması ve besin elementlerinin ve yararlı toprak organizmalarının çözelti içinde hareket etmesine izin verilmesi için önemlidir. Suyun ve çözünenlerin depolanması, yer altı suyunun deşarjı için derine sızmasını en üst düzeye çıkarabilir ve toprakların aşındırıcı güçlere dayanmasına yardımcı olabilir. **Fiziksel kararlılık ve destek;** toprak yapısı diğer birçok fonksiyonla yakın ilişkiye sahip olup, iyi fonksiyon gösteren topraklarda bitki köklerinin büyümesi için uygun bir ortam sağlayarak rüzgar ve suyun aşındırıcı kuvvetlerine karşı dayanıklı fiziksel bir yapıya sahip olmasına imkan sağlar. **Filtreleme ve tamponlama;** topraklar toksik veya tehlikeli bileşiklerin etkisini azaltmak için doğal bir yeteneğe sahiptir. Topraklar fonksiyonlarını kapasitesince yerine getirdiğinde belirli kirleticileri zaman içerisinde parçalayarak veya yüzeylerinde absorbe ederek, bitkiler ve hayvanlar için daha az toksik hale getirebilirler. **Dayanıklılık ve direnç gösterme;** bu iki ilişkili terim, toprak ekosisteminin fonksiyonel kararlılığına işaret eder. Bir başka deyişle diğer fonksiyonların kararlılığının ölçütleridir. Dayanıklılık, bir toprağın parçalanması karşısında (değişime direnmek gibi) fonksiyonunu sürdürme yeteneği, direnç gösterme ise, bir toprağın parçalanmadan sonra kendini toparlayabilme yeteneğidir. Parçalanmalar toprak işleme, gübreleme gibi insan kaynaklı veya yağış gibi doğal olaylar neticesinde olabilir (Herrick ve Wander, 1998). **Biyo çeşitlilik ve habitat;** bu fonksiyon toprakların çeşitli bitki ve hayvanları desteklemek için gerekli koşulları sağlamadaki doğal yeteneğini ifade etmekte olup entegre edilmiş tarımsal zararlı yönetimi ve besin döngüsü için önemlidir.

Tarımsal üretimdeki çeşitli uygulamalardan etkilenen toprak kalitesindeki değişimleri belirlemek için yapılacak ilk adım; toprak kalitesini yansıtacağına inanılan en az sayıdaki toprak özelliklerinden oluşmuş bir minimum veri setinin (MVS) belirlenmesidir (Karlen ve ark., 2003; Amirinejad ve ark., 2011; Veum ve ark., 2017). Topraklar genellikle arazi kullanımı ve yönetimindeki değişikliklere yavaş bir şekilde tepki verdiğinden, geri dönüşümsüz hasar meydana gelmeden önce su ve hava kalitesine kıyasla toprak kalitesindeki değişiklikleri tespit etmek zor olabilir (Nortcliff, 2002). Bu nedenle, toprak kalitesi kavramlarının önemli bir bileşeni olarak MVS içinde, bir toprağın fonksiyonlarını yerine getirme kapasitesini yansıtan bir dizi hassas göstergenin veya niteliklerin tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Minimum veri seti oluşturmak amacıyla

seçilecek toprak kalitesi göstergeleri ekosistem işlevlerinde etkili olmalı, araştırmacı veya üreticiler için kolay erişilebilir ve belirlenebilir olmalı, arazi içi uygulamalara ve iklimdeki değişimlere karşı hassas olmalı ve mümkün oldukça var olan veri tabanlarının bileşenleri arasında yer almalıdır (Doran ve Parkin, 1994).



Şekil 2.1. Toprak kalite değerlendirmelerinde kullanılan kavramsal çerçeve

Minimum veri seti oluşturma temel amacı, toprağın fonksiyon gösterme kapasitesinin kolay, hızlı ve güvenilir bir şekilde ölçülmesidir. Bu nedenle çok sayıda ve birbirleriyle ilişkili olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak kalite göstergelerinden oluşan veri setinin toprağın ilgili fonksiyonunu tanımlamaya yetecek en az sayıdaki göstergeden oluşturulması gerekir (Acir, 2014). Minimum veri setini oluşturmak için uzman görüşü ve istatistiksel yöntemlerin yer aldığı iki temel yaklaşım geliştirilmiştir. Dünyanın farklı iklim, bitki örtüsü, toprak tipi ve topoğrafyasında araştırmacılar uygun bir MVS belirlemek için temel bileşenler analizi (PCA) (Lima ve ark., 2008; Armenise ve ark., 2013; Mukherjee ve Lal, 2014; Askari ve Holden, 2015; Sánchez-Navarro ve ark., 2015; Cherubin ve ark., 2016a; Budak ve ark., 2018b; Karkaj ve ark., 2019; Lu ve ark., 2019; Ozlu ve ark., 2022) ve bulanık mantık (Qi ve ark., 2009; Xia ve ark., 2015; Dai ve ark., 2018) gibi istatistiksel yöntemlerle birlikte uzman görüşü (Andrews ve ark., 2002; Andrews ve ark., 2004; Cherubin ve ark., 2016a; Vasu ve ark., 2016; Budak ve ark., 2018b) ve çiftçi/yerel bilgi (Lima ve ark., 2011; Tesfahunegn ve ark., 2011) gibi bölgeyi iyi tanıyan bir uzmanın görüşlerinin dikkate alındığı yöntemleri sıklıkla kullanmışlardır.

Toprak kalite indeksini hesaplamak için seçilecek göstergelerin belirlenmesinde yararlanılan PCA gibi çoklu değişkenli istatistiksel yöntemler, önyargıdan uzak olarak göstergeler arasındaki farkların tanımlanmasını ve verideki değişkenliğe en fazla katkı yapan faktörlerin belirlenmesini mümkün kılmaktadır (Beretta ve ark., 2005). Bu sebeple, PCA çoklu değişkenli analiz yöntemleri içerisinde en çok tercih edilen yöntem olup (Jolliffe, 2002), veri boyutunun azaltılması, tahmin yapılması ve veri setinin bazı analizler için görüntülenmesi amacıyla pek çok alanda kullanılmaktadır (Anonim, 2018). PCA, değişken setinin varyans/kovaryans yapısını, bu değişkenlerin doğrusal

bileşimleriyle açıklayarak, veri indirgenmesi ve yorumlanmasını yapmaktadır. Bu yöntem ile MVS oluşturulmasının, uzman görüşü ile toprak kalitesi göstergelerinin belirlenmesinde oluşabilecek ön yargının önüne geçildiğine inanılmaktadır (Mishra ve ark., 2017). Uzman görüşü ise mevcut literatür ve çalışılacak arazi ve uygulamalar ile ilgili bilgi sahibi olan uzmanın deneyimlerine dayanılarak toprak kalitesinin belirlenmesinde dikkate alınan MVS'nin oluşturulması için kullanılan bir diğer veri azaltma yöntemidir. Uzman görüşü ile MVS oluşturabilmek için uzmanın, bölgede yer alan toprakların özelliklerini, iklim ve ürün rotasyonunu çok iyi bilmesi gerekmektedir (Budak ve ark., 2018b).

Toprak kalitesinin belirlenmesinde ikinci adım; MVS içine dâhil edilen ve herbirinin birimi farklı olan göstergelerin doğrusal veya doğrusal olmayan yöntemlerle skorlanarak yorumlanabilir hale getirilmesidir. Skorlama eğrileri, toprak özellikleri ile toprak fonksiyonları arasındaki ilişkileri sayısallaştırarak iklim, toprak tipi, kullanılan analiz metodu, yetiştirilen ürün gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak göstergeler için beklenen aralıkları tanımlamaktadır (Acir, 2014). Skorlama eğrilerinin kullanımıyla birimleri ve değer aralıkları farklı olan toprak özelliklerine ait veriler normalize edilerek 0 ile 1 arasında birimsiz skora dönüştürülmektedir (Andrews ve ark., 2004). Bir başka ifade ile birbirinden farklı birimlere sahip olan göstergeler için anlaşılabilir ortak bir dil oluşturulmaktadır. Genel olarak toprak kalite indeksini belirlemek için kullanılan skorlamada hem tarımsal hem de çevre ile ilgili yorumları kapsadığından doğrusal olmayan skorlama yöntemleri tercih edilmektedir (Karlen ve Stott, 1994; Andrews ve ark., 2004; Wienhold ve ark., 2009; Marzaioli ve ark., 2010; Askari ve Holden, 2014; Günal ve ark., 2015b; Veum ve ark., 2015a, Veum ve ark., 2015b; Raiesi, 2017; da Luz ve ark., 2019; Valani ve ark., 2020; Jimenez ve ark., 2022).

Skorlanan göstergelerin toprak kalite indeksi (TKİ) olarak adlandırılan bir indeks içerisinde birleştirilmesi toprak kalitesinin belirlenmesindeki son aşamadır. Bu amaç için farklı iklim, bitki örtüsü, topoğrafya koşulları altında oluşmuş topraklarda çalışan araştırmacılar çeşitli hedefler doğrultusunda çok sayıda indeksleme stratejileri geliştirmiş ve uygulamışlardır (Andrews ve ark., 2004; Armenise ve ark., 2013; Chen ve ark., 2013; Karlen ve ark., 2013; Munherjee ve Lal, 2014; Askari ve Holden, 2015; Cherubin ve ark., 2016a; Hammac ve ark., 2016; Mishra ve ark., 2017; Yu ve ark., 2018). Bu stratejileri, basit eklemeli (Andrews ve ark., 2002; Cherubin ve ark., 2016a) ve ağırlıklı ilaveli (Mukherjee ve Lal, 2014; Vasu ve ark., 2016) olmak üzere iki ana grupta toplamak mümkündür. Toprak kalite indeksinin hesaplanmasında kullanımı en kolay olan yöntem gösterge skorlarının toplanması ve toplam gösterge sayısına bölünmesi ile elde edilen basit eklemeli yöntemdir (Andrews ve ark., 2004; Karlen ve ark., 2013; Mukherjee ve Lal, 2014). Ancak bu yöntemde MVS içerisinde yer alan fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere ait gösterge sayıları eşit olmadığında, genel TKİ'nin daha düşük sayıya sahip olan kısmı yeterince yorumlayamamaktadır (Cherubin ve ark., 2016a). Bir başka deyişle, fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerinin bir bütünü olan toprak kalitesini açıklarken MVS içerisindeki her bir özelliğin toprak kalitesine katkısı eşit sayılmaktadır. Böyle bir durumda MVS içerisinde baskın bulunan fiziksel, kimyasal ya da

biyolojik özelliklerden birinin veya ikisinin açıkladığı toprak kalitesi düşük/yetersiz sayıya sahip olan diğer kısım tarafından yorumlanamayacaktır. Bu sebeple toprak kalite indeksinin hesaplanmasında hangi göstergenin daha önemli olduğunu belirlemeye imkân veren ağırlıklı ilaveli yöntemin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Cherubin ve ark., 2016a; Vasu ve ark., 2016; Biswas ve ark., 2017; Lin ve ark., 2017; Mishra ve ark., 2017; Raiesi, 2017; Yu ve ark., 2018). Araştırmacılar ağırlıklı ilaveli yöntemde çoğunlukla PCA'dan elde ettikleri ağırlıkları kullanmaktadır (Mukherjee ve Lal, 2014; Askari ve Holden, 2015; Cheng ve ark., 2016; Raiesi ve Kabiri, 2016; Yu ve ark., 2018; Karkaj ve ark., 2019; Lu ve ark., 2019; Ozlu ve ark., 2022). Bununla birlikte çölleşme çalışmaları başta olmak üzere toprak kalitesinin belirlenmesinde tanımlanan göstergelere Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile ağırlıkların verilmesi son zamanlarda önem kazanmaya başlamıştır (Negaresh ve ark., 2016; Kumar ve ark., 2017; Liu ve ark., 2017; Budak ve ark., 2018b; Budak ve ark., 2018c; Acir, 2019; Dengiz, 2020). Saaty (1980) tarafından geliştirilen AHP çok amaçlı karar verme yöntemlerinden birisi olup, toprak kalitesinin hassas değerlendirilmesi için uzman görüşlerini dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren matematiksel bir yöntemdir (Saaty, 1990; Othman ve ark., 2010; Salehpour Jam ve ark., 2017). Ayrıca AHP karar vericinin değerlendirmelerinin tutarlılığını kontrol ederek karar verme sürecindeki önyargıyı da azaltmaktadır (Kumar ve ark., 2017).

2.2. Tarımsal Üretimde Kullanılan Yöntemlerin Değerlendirilmesinde Toprak Kalitesinin Kullanımı

Toprak kalitesi, toprağın verimliliği, su ve besin elementi tutma kapasitesi ve biyolojik aktivitesi gibi hayati öneme sahip birçok fonksiyonun bileşenidir. Bu nedenle tarımsal üretimde kullanılan yöntemlerin değerlendirilmesinde toprak kalitesinin kullanımı son derece önemlidir. Zira tarımsal üretimde sürdürülebilirliğin sağlanması, toprağın anılan fonksiyonlarını yerine getirebilmesini sağlayan ve iyileştiren doğru yönetim tekniklerinin uygulanması ile gerçekleşebilir. Geleneksel yöntemler olan ve yaygın şekilde kullanılan monokültür, kulaklı pullukla işleme, aşırı gübreleme ve herbisit kullanımı gibi uygulamalar, toprak kalitesinin bozulmasına yol açabilmektedir. Örneğin, monokültür uygulamaları, toprağın organik madde içeriğinin azalması, besin elementi eksikliği, biyoçeşitliliğin ve arazi verimliliğinin azalması, toprak asitleşmesi, toprak tuzluluğu, toprak sıkışması ve mikrobiyal topluluğundaki istenmeyen değişimler gibi toprak kalitesinin düşmesine (Nayyar ve ark., 2009; Tian ve ark., 2010; Kepler ve ark., 2012; Arafat ve ark. 2019) sebep olan arazi bozulması türü olarak kabul edilmektedir (Chen ve ark., 2018). Kulaklı pulluk ile toprak geleneksel olarak işlendiğinde topraktaki agregatlar parçalandığı için uzun vadede toprağın su ve rüzgârın aşındırıcı etkisine karşı direnci azalmakta (Günel ve Çelik, 2022) ve agregatlar tarafından korunan organik madde açığa çıkarak atmosfere kaybolmakta (Acar ve ark., 2020) ve bu nedenle toprağın fonksiyon gösterme yeteneği olumsuz etkilenmektedir. Aşırı gübreleme ise toprağın kimyasal ekolojisini geri döndürülemez bir şekilde değiştirerek, ürün verimliliğini olumsuz

etkilemektedir (Shang ve ark., 2019). Buna karşın, toprak kalitesi, gübre olarak doğru kaynağın doğru oranda, doğru zamanda ve doğru yere uygulanması, toprak işlemenin uygun nem içeriğinde yapılması, bitkisel yetiştiricilik için ihtiyaç duyulan toprak nem içeriğinin topraktaki hava ile dengesinin korunması şeklinde toprağın sürdürülebilir kullanımı ile korunabilir ve iyileştirilebilir. Özellikle son yıllarda toprak yönetim uygulamalarının toprak ve çevre üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için pek çok araştırmacı toprak kalitesini yaygın bir şekilde kullanmıştır (Cherubin ve ark., 2016a; Nabiollahi ve ark., 2018; Lisboa ve ark., 2019; Çelik ve ark., 2021; Ozlu ve ark., 2022). Bu da toprak yönetim uygulamalarının değerlendirilmesinde toprak kalitesinin önemli bir gösterge olduğunu göstermektedir.

İrlanda'da denize yakın ılıman bölgede bulunan ve hayvan otlatma ve silaj üretimi için kullanılan otlak alanda yapılan bir çalışmada toprak yönetim yoğunluğunun toprak kalite indeksine etkisi belirlenmiştir (Askari ve Holden, 2014). Çalışmada 2 mm'den küçük fraksiyonun hacim ağırlığı, organik karbon ve karbon azot oranının toprak kalitesinin değerlendirilmesi için kullanılabileceği belirtilmiştir. Otlak yönetimi altındaki çalışmada toprak yönetim yoğunlaştırılmasının toprak kalitesine olumsuz bir etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir.

Güney Çin'de yapılan bir araştırmada Liu ve ark. (2014), farklı verimliliklere sahip killi çeltik arazilerinde temel bileşenler analizi kullanarak toprak kalitesinin değerlendirilmesi ile 26 göstergeden pirinç verimini sınırlayan özelliklerin belirlenmesini amaçlamışlardır. Araştırmada yüksek verimliliğe sahip araziler düşük hacim ağırlığı, yeterli besin elementi tedariği, uygun fiziksel-kimyasal özellikler ve bol miktarda mikrobiyal grup ile karakterize edilmiştir. Düşük verime sahip arazilerde ise pirinç verimini sınırlayan birincil kısıtlamaların toplam azot ve yarıyışlı potasyum olduğu belirlenmiştir.

Amerika'da Ohio eyaletinde bir çalışma yapan de Paul Obade ve Lal (2014) toprak kalitesi ve verimini etkileyen kritik özellikleri ve arazi kullanımının/yönetiminin toprak kalitesine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada organik karbon, hacim ağırlığı, toplam azot ve elektriksel iletkenlik, toprak kalite indeksindeki değişkenliğe duyarlı göstergeler olarak belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada sıfır işleme ile yönetilen arazilerin daha yüksek bir tarımsal verimliliğe sahip olması beklenmesine rağmen, en yüksek verimin geleneksel işleme ile yönetilen arazilerde olduğu rapor edilmiştir.

Güney Afrika'da yürütülen bir çalışmada meraların toprak kalitesi üzerine işlemenin etkileri değerlendirilmiştir (Swanepoel ve ark., 2015). Çalışmada işlemenin kimyasal kalitesi üzerinde etkisi olmadığını, ancak fiziksel ve biyolojik kaliteyi ve genel kalite indeksini azalttığını, buna karşılık işlenmeyen meralarda ise kalitenin daha iyi olduğu rapor edilmiştir.

Cherubin ve ark. (2016a) Brezilya'da biyo yakıta yönelik artan talebi karşılamak için şeker kamışı üretim arazilerinin genişlemesinin toprak kalitesi üzerine etkilerinin değerlendirilmesi için bir çalışma yürütmüştür. Çalışma sonuçları doğal bitki örtüsünden geniş mera arazilerine uzun vadeli dönüşümün, kimyasal, fiziksel ve biyolojik göstergelerdeki düşüşler nedeniyle genel kalite indeksini düşürdüğünü ancak, meradan şeker kamışına geçişin genel kalite indeksi üzerinde önemli bir etkisi

olmadığını göstermiştir. Araştırmacılar bozulmuş mera alanlarına şeker kamışının genişletilmesinin, biyo yakıtlara yönelik artan talebi karşılamak için sürdürülebilir bir strateji gibi görüldüğünü rapor etmiştir.

Basak ve ark. (2016) Hindistan’da yapmış oldukları bir çalışmada su birikintisi, yoğun toprak işleme ve çamurlu su uygulamalarının olduğu bir pirinç yönetim sisteminin ardından yoğun gübre ve aşırı işlemenin olduğu patates ve sıfır girdili ekimin olduğu susamdan oluşan uzun süreli yetiştirme sistemi altında Inceptisol, Entisol ve Alfisol ordolarında toprak kalite indeksinin değişimi incelenmiştir. Çalışmada Inceptisol için dehidrogenaz enzim aktivitesi, yarayışlı potasyum, katyon değişim kapasitesi ve pH, Entisol için organik karbon, pH, hacim ağırlığı, mineral azot ve beta glikosidaz enzim aktivitesi ve Alfisol için dehidrogenaz enzim aktivitesi, çok değişken karbon, mineral azot ve mikrobiyal biyokütle karbonu toprak kalitesi için önemli göstergeler olarak belirlenmiştir. Ayrıca biyolojik ve kimyasal özelliklerin toprak kalitesindeki farklılıkları belirlemek için en hassas göstergeler olduğu ve rotasyondaki ürün verimleri üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu, buna karşın toprak fiziksel özelliklerinin büyük ölçüde değiştiği ancak ürün verimlerini tahmin etmediği rapor edilmiştir.

Raiesi ve Kabiri (2016) İran’da yarı kurak bir iklimde farklı toprak işleme sistemlerinin toprak kalitesi üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışmada toprağın mikrobiyal ve biyokimyasal özelliklerinin toprak işleme uygulamaları için en hassas göstergeler olduğu rapor edilmiştir. Bu özelliklerden mikrobiyal aktivite ve enzim aktivitelerinin toprak kalite indeksine katkıda bulunan temel toprak göstergeleri olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada geleneksel yöntemle kıyasla azaltılmış işleme yönteminde daha yüksek toprak kalitesi olduğu ve düşük yoğunluklu toprak işleme uygulamalarının toprak kalitesini iyileştirdiği rapor edilmiştir.

Apestequia ve ark. (2017) Kuzeydoğu İspanya’da yer alan Navarre eyaletinde daha öncesinde uzun süreli olarak yağmura dayalı üretim yapılan bir Haplic Calcisol’da üç yıllık sulu tarıma geçişin ardından toprak kalite göstergelerinin sulanmış toprak işleme uygulamalarına etkilerini Toprak Yönetimi Değerlendirme Çerçevesi (SMAF) ile değerlendirmiştir. Çalışmada kuru alan koşullarında daha önce seçilen bazı göstergelerin hala geçerli olmasına rağmen, en hassas göstergelerin hem 0–5 hem de 5–15 cm’de değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada sulu koşullarda 0-5 cm derinlikte toprak kalitesi korumalı işleme (sıfır ve minimum) yönteminde geleneksel yöntemle kıyasla daha yüksek iken, 5-15 cm’de herhangi bir farklılık olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca farklı kurak arazi toprak işleme sistemleri tarafından toprak kalite indeksinde meydana gelen değişikliklerin, toprak sulandığında sadece üç yıl içinde geri alınabileceği rapor edilmiştir.

Çin’in orta subtropikal bölgelerinde odunsu bir yağ bitkisi olan *Camellia oleifera*’nın yağ verimini sınırlayan faktörlerin belirlenmesi ve farklı verime sahip *Camellia oleifera* plantasyon standlarının toprak kalitesine etkisi araştırılmıştır (Liu ve ark., 2017). Araştırmada temel bileşenler analizi ile oluşturulan minimum veri setine organik madde, yarayışlı fosfor, yarayışlı kalsiyum, mikrobiyal biyokütle karbonu ve katalaz olmak üzere beş toprak göstergesi seçilmiş ve toprak

kalitesinin sırasıyla 0.65, 0.46 ve 0.38 indeks değerleri ile yüksek yağ verimli > orta yağ verimli > düşük yağ verimli şeklinde sıralandığı belirlenmiştir. Araştırmada organik madde ve yarayışlı fosforun, *Camellia oleifera* verimi için sınırlayıcı faktör olduğu bulunmuştur.

Şeker ve ark. (2017a) Türkiye'nin İç Anadolu bölgesinde yer alan Çumra ovasında şeker pancarı ve buğday ekimi altındaki toprakta Cornell Toprak Sağlığı Değerlendirmesi ve Toprak Yönetimi Değerlendirme Çerçevesi (SMAF) kullanarak toprak kalite indeksini belirlemiştir. Çalışmada toprak kalite indeksi buğday alanında %61.46, şeker pancarı alanında %51.20 ile sırasıyla orta ve düşük olarak belirlenmiştir. Toprak kalitesinin düşük olduğu arazilerde özellikle fiziksel ve biyolojik toprak özelliklerinin amenajman uygulamalarından ciddi derecede etkilendiği ve bu nedenle, çalışma alanı topraklarındaki toprak kalitesini artırmak için sürdürülebilir toprak yönetimi ile toprağın fiziksel ve biyolojik özelliklerinin iyileştirilmesinin gerekli olduğu vurgulanmıştır.

Yu ve ark. (2018) Kuzeydoğu Çin'deki yarı kurak alkali meralarda sürekli mısır ekili arazi (Mısır), çok yıllık yonca yemi (Yonca), monokültür *Lyemus chinensis* mera alanı (MM) ve restore edilmek için terk edilmiş mera (SRM) olmak üzere dört farklı arazi kullanımlarının toprak kalitesi üzerindeki kısa süreli (5 yıl) etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada toprak kalite indeksi, doğrusal ve doğrusal olmayan skorlama yöntemleri ile birlikte basit eklemeli ve temel bileşenler analizinden gelen ağırlıklarla değerlendirilmiştir. On üç göstergeden temel bileşenler analizi ile invertaz, N:P oranı, suda ekstrakte edilebilir organik karbon ve labil karbon olmak üzere dört gösterge seçilerek MVS oluşturulmuştur. Çalışmada doğrusal olmayan ağırlıklı toplamsal entegrasyon ile hesaplanan toprak kalite indeksinin, diğer indekslere kıyasla daha yüksek F değerleri ve daha büyük varyans katsayısı nedeniyle farklı arazi kullanımı uygulamaları altında en iyi ayrımcılığa sahip olduğu belirlenmiştir. MM altındaki toprak kalitesi indeks değeri en yüksek olup, bunu SRM ve Yonca takip etmiş ve bunların tümünün, sürekli mısır ekiminin yapıldığı meralardan ise önemli ölçüde daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Çalışmada, tarlanın çok yıllık yem veya meralara dönüştürülmesinin Songnen meralarındaki kaliteyi önemli ölçüde iyileştirebileceği vurgulanmıştır.

de Andrade Barbosa ve ark. (2019) on farklı toprak kalite göstergesinin analizi yoluyla uzun süreli (20 yıl) işleme ve rotasyon sistemlerinin toprak kalitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek ve temel bileşenler analizi aracılığıyla en hassas kalite göstergelerini seçmek için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada baklagil/mısır ekim nöbeti ile sıfır işleme sisteminin, mikroorganizmaların gelişimini desteklediği ve toprak kalitesini iyileştirdiği belirlenmiştir. Azotlu gübrelemenin toprak kalitesi üzerindeki etkileri, yönetim sistemine göre değişiklik göstermiştir. Mikrobiyal solunum, metabolik quotient, toplam organik karbon, mikrobiyal biyokütle azotu, üreaz enzim aktivitesi, dehidrogenaz enzim aktivitesi ve amilaz aktivitesi ise en etkili toprak kalite göstergeleri olmuştur.

Lisboa ve ark. (2019) Brezilya'da şeker kamışı saplarının uzaklaştırılmasının kumlu killi tın Oxisol ve kumlu tın Ultisol üzerindeki 2 yıllık etkilerini araştırmak için Toprak Yönetimi Değerlendirme Çerçevesi (SMAF) aracını uygulamak ve (ii) toprak kalite göstergeleri ve genel Toprak Kalitesi İndeksini saman uzaklaştırma ile yönetilen alanlarda bitki verimi (saman ve sap) ile

ilişkilendirmek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada Ultisol için saman uzaklaştırma işleminin genel toprak kalite indeksini etkilediği rapor edilmiştir. Buna karşın Oxisol için %100 saman uzaklaştırma işleminin ise 5–10 ve 10–20 cm derinliklerde toprağın fiziksel kalitesini, 0–20 cm derinlikte genel kalite indeksini azalttığı ve %0 ve %50 saman uzaklaştırma oranlarının ise bütün derinliklerde genel kalite indeksini arttırdığı belirlenmiştir. Çalışmada Oxisollerde toplam saman uzaklaştırmanın kısa vadede bile fiziksel kalitenin bozulmasına yol açtığı, saman yönetiminin Ultisol toprak kalitesi üzerinde kısa vadeli bir etkisi olmamasına rağmen, sapın toprak-bitki sistemi üzerindeki uzun vadeli faydaları tamamen uzaklaştırma ile azaltılabildiği vurgulanmıştır.

Çin'in Liandao Adasında yapılan bir çalışmada Lu ve ark. (2019) temel bileşenler analizi ile minimum veri seti oluşturmuş ve ardından toprak kalite indeksini belirlemiş ve mekansal dağılımını ordinary kriging ile haritalamıştır. Topografik parametrelerin (dijital yükseklik modeli, eğim ve bakı) ve arazi kullanım türlerinin (bitki örtüsü, su kaynağı koruma arazisi, kumlu arazi, kullanılmayan arazi ve meskûn arazi) toprak kalitesi üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Çalışmada toprak kalite indeksi 0.189 ile 0.772 arasında değişmiş ve en yüksek kalite indeksi 110 m yükseklikte, 68.2° eğimde ve 246.6 bakıda, bitki örtüsü arazi kullanım tipinde elde edilmiştir.

Güney Brezilya'nın Paraná eyaletinde bir çalışma yapan da Luz ve ark. (2019), killi Ferralsol (geleneksel tarım bölgesi), kumlu tınlı Ferralsol ve Arenosol (yeni tarım sınırları) olmak üzere toprak kalitesi üzerindeki arazi kullanımının (yerli bitki örtüsü, mera, şeker kamışı, toprak işlemesiz ve entegre mahsul-hayvancılık sistemleri) etkilerini değerlendirmek için bir strateji olarak SMAF yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada doğal bitki örtüsünden tarımsal arazi kullanımlarına (yani mera, toprak işlemesiz/entegre ürün-hayvancılık sistemi veya şeker kamışı) uzun vadeli dönüşümün, SMAF ile değerlendirilen toprak kalitesini düşürdüğünü ve toprağın işlevlerini yerine getirme kapasitesini tehlikeye attığı rapor edilmiştir. Bununla birlikte, sıfır işleme ile ürün yetiştirme sistemlerinde toprak sıkışmasını hafifletmek için toprak fiziksel değişikliklerinin izlenmesinin gerektiği bildirilmiştir.

Dengiz (2020) Türkiye'de Çarşamba Deltası Ovası'nın çeltik ekimi için toprakların kalite düzeylerini belirlemek için bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada 14 adet kalite göstergesi standart skorlama fonksiyonları ile skorlanmış ve bu göstergelere Analitik Hiyerarşi Süreci ile ağırlıklar verilmiştir. Çalışmada örnekleme alanının %36.1'i yüksek kaliteli olarak sınıflandırılırken, toplam alanın %23.2'si çeltik ekimi için düşük ve çok düşük toprak kalitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte çeltik üretimi için alanda çok kaliteli toprak grubunun tespit edilmediği belirtilmiştir. Oluşturulan toprak kalitesi indeks modelinin, pirinç üretimi ve potansiyel olarak diğer ürünler için arazi tahsisinde kapsamlı rehberlik sağlayacağı vurgulanmıştır.

Irak'ın Erbil Eyaletinde yapılan bir çalışmada Maulood ve Darwesh (2020) üç ceviz bahçesinde iki yıl boyunca (2016 ve 2017) toprak kalitesinin değişimini incelemişlerdir. Çalışmada toprak kalitesinin, 2. lokasyonda (Malakan köyü) düşük (<0.5), 3. lokasyonda (Choman Bölgesi) düşük (0.35) ile orta (0.72) ve 1. lokasyonda (Shaqława Bölgesi) düşük (0.32) ile yüksek (0.83)

arasında değiştiği rapor edilmiştir. Çalışmada temel bileşenler analizi ile belirlenen kalite indeksinin en uygun yöntem olduğu ve ayrıca, toprak kalitesinin etkinliğini değerlendirmek için, en iyi çiftlik yönetimini ve muhafazasını belirleme yönelik ceviz verimiyle ilişkilendirilebileceği rapor edilmiştir.

Amorim ve ark. (2020) sıfır işleme altında uzun süreli (15 yıllık) bir ürün rotasyonu (soya fasulyesi, mısır ve pamuk) ve biyolojik örtü (kış buğdayı, Avusturya kış bezelyesi, tüylü fiğ, kümes hayvanı altlığı ve nadas) denemesinde SMAF ile toprak kalitesinin değişimini belirlemek için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada pamuk-mısır ve/veya sürekli mısır rotasyonunun, soya fasulyesi bazlı rotasyonlardan daha yüksek kalite indeksine sahip olduğu belirlenmiştir. Kanatlı altlığı, 0-15 cm toprak derinliğinde en yüksek toplam organik karbon, pH, ekstrakte edilebilir potasyum ve hacim ağırlığı skorlarına ve buna karşın en düşük kalite indeksine sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışmada biyolojik örtüler altında toprak kalitesindeki azalmaların, fosfor skorlarıyla ilişkilendirildiği bildirilmiştir. Genel olarak SMAF'ın, en iyi yönetim uygulamalarını ve besin yönetimi stratejilerini geliştirmek için kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Li ve ark. (2020) Çin'de organik gübrelerin kullanıldığı kurak bir bölgede uygun toprak kalite göstergelerinin, uygun bir ağırlıklandırma yönteminin (temel bileşenler analizi veya çoklu regresyon analizi) ve optimal skortlama fonksiyonunun (standart veya doğrusal veya doğrusal olmayan) belirlenmesi amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada temel bileşenler analizi ve korelasyon analizi ile toplam 40 göstergeden yarayışlı fosfor, azot, potasyum ve gram pozitif bakteriler minimum veri seti göstergesi olarak seçilmiştir. Çalışmada organik ve inorganik gübrelerin yönetiminin, her toprak özelliğini farklı şekillerde etkilediği ve standart skortlama fonksiyonu ve çoklu regresyon analizi ile belirlenen ağırlıkların kullanıldığı minimum veri setine dayalı indeksin en doğru ve hassas indeks olduğu belirlenmiş ve özellikle domuz gübresi veya vermikompost uygulamasının, diğer uygulamalara kıyasla toprak kalite indeksini önemli ölçüde arttırdığı rapor edilmiştir.

Mahajan ve ark. (2020) Hint Batı Kıyısında farklı yöntemler ile belirlenen toprak kalite indeksini kullanarak tuzdan etkilenmiş asit toprakların kalitesini değerlendirmek için bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada minimum veri seti tabanlı doğrusal ağırlıklı ve doğrusal olmayan ağırlıklı kalite indeksinin, tuzdan etkilenen asit toprakların kalitesini değerlendirmek için uygun bulunduğu belirlenmiştir. Toprak kalite indeksinin, elektriksel iletkenlik ile ($p < 0.01$) arasında önemli ve negatif bir korelasyona sahip olduğu ve bu nedenle kalitenin toprak tuzluluğundaki artışla önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Minimum veri seti tabanlı toprak kalite indeksinin performansı, farklı toprak tuzluluk sınıflarını ayırt etmede toplam veri setinden daha iyi olduğu rapor edilmiştir. Toprak kalite indeksinin doğrusal ve doğrusal olmayan skortlama yöntemi arasındaki uyumun, 0.91-0.96'lık bir R^2 ile doğrusal bir ilişkiye sahip olduğu ve bu nedenle minimum veri seti, doğrusal skortlama ve ağırlıklı yaklaşım kullanılarak tuzdan etkilenen asit toprakların kalitesinin değerlendirilmesinin zamandan ve maliyetten tasarruf sağlayabileceği rapor edilmiştir.

Zhang ve ark. (2020) yapmış oldukları bir çalışmada iki yıl boyunca yarı kurak bir bölgenin alkali topraklarında biyokömür ilavesinin, günlük gübrelemenin ve bunların kombinasyonunun genel toprak kalitesi, ürün verimi ve su-gübre verimliliği üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada biyokömür ilavesinin, temel olarak artan toprak su içeriği, yarıyıllı fosfor, toprak mikroplarının çeşitli yararlanma kapasitesi ve mikrobiyal biyokütle karbonu ve azalan toprak pH'sı ve bitki paraziti nematod bolluğu yoluyla toprak kalitesini arttırdığı belirlenmiştir. Toprak kalite indeksinin hem bitki biyokütlesi hem de meyve verimi ile güçlü pozitif korelasyonlar gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmada günlük gübreleme ile birlikte biyokömür ilavesinin genel toprak kalitesini iyileştirebileceğini ve alkali topraklarda salatalık verimini ve su-gübre üretkenliğini daha da artırabileceği vurgulanmıştır.

Çelik ve ark. (2021) yürüttükleri bir çalışmada SMAF kullanarak on yıllık bir denemede killi bir toprağın fonksiyonları ve genel toprak kalitesi üzerindeki iki geleneksel, üç azaltılmış ve iki sıfır işleme uygulamalarının etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada korumalı işleme uygulamalarında 0-10 cm derinlikte direnç gösterme ve çabuk iyileşme yeteneğinin geleneksel yöntemlere göre önemli şekilde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 10-30 cm derinlikte korumalı işleme uygulamalarında düşük besin elementi içeriği, sıkışma, agregat boyutu ve stabilitesi nedeniyle toprağın fonksiyon gösterme yeteneğinin düştüğü bildirilmiştir. Sıfır işlenen parsellerin 10 yıldan sonra bir kez geleneksel olarak işlendiği uygulama olan stratejik işleme yönteminin ise, uzun süreli sıfır işleme yöntemine kıyasla tüm örnekleme derinliklerinde fiziksel stabilite ve destek ve su ilişkileri fonksiyonlarını ve 10-20 ve 20-30 cm derinliklerde genel toprak kalitesini önemli ölçüde arttırdığı rapor edilmiştir.

Yedi yıllık bir pirinç yetiştiriciliğinin yürütüldüğü bir çalışmada Nath ve ark. (2021) geleneksel işlemeden sonra mevsimsel sıfır işlemenin (GT-ST) ve baklagil rotasyonunun toprak enzim aktivitesi ve mikrobiyal fonksiyonları ve toprak kalitesi üzerine etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada toprak yüzeyinde malçlamanın yapıldığı GT-ST uygulaması geleneksel yöntemle kıyasla toprak organik karbonu %25 ve mikrobiyal biyokütle karbonu %45 arttırdığı ve biyolojik aktiviteyi ve pirinç verimini iyileştirdiği belirlenmiştir. Toprak yüzeyinde malçlama olsun veya olmasın GT-ST uygulamasının geleneksel yöntemle kıyasla toprak kalitesini %40 arttırdığı rapor edilmiştir. Araştırmacılar yağışlı mevsimlerde yoğun toprak işlemenin ortadan kaldırılması, anızların tutulmasıyla su birikintisinden sonra ve tahıl baklagillerle ürünün yoğunlaştırılmasının, pirinç bazlı ekolojilerde daha yüksek pirinç verimliliği ve toprak kalitesi sağlayabildiğini vurgulamıştır.

Ozlu ve ark. (2022) yapmış oldukları yedi yıllık bir çalışmada organik mandıra gübresi ve inorganik gübrenin toprak kalitesi göstergelerinin alan ölçeğindeki mekansal dağılımı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla çalışma kapsamında belirlenen toplam 26 özellikten temel bileşenler analizi ile minimum veri seti elde edilmiş ve toprak kalitesi bu veri seti üzerinden belirlenmiş ve toprak kalite indeksinin mekansal dağılımlarını tahmin etmek için ordinary kriging

enterpolasyon yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada uzun süreli mandıra gübresi uygulamalarının inorganik gübreyle kıyasla toprak kalite indeksi parametreleri üzerinde olumlu etkileri olduğu rapor edilmiştir. Ürün verimi ve küresel ısınma potansiyeli mandıra gübresi uygulamalarında daha yüksek olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar, uzun süreli mandıra gübresinin toprak kalite indeksini arttırdığı ve daha yüksek ürün verimi sağlamak için bir seçenek olabileceğini ve bu durumun daha yüksek küresel ısınma potansiyeline yol açabileceğini vurgulamıştır.

2.3. Arazi Bozulması Çalışmalarında Toprak Kalitesinin Kullanımı

Arazi bozunması, insan kaynaklı yanlış arazi kullanımları, iklim değişimi ve doğal süreçlerin neden olduğu toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin bozulmaları ile ortaya çıkan ve verimliliklerinin düşmesine neden olan toprağın fonksiyon gösterme yeteneğindeki azalma olarak tanımlanmaktadır (Cangir ve Boyraz, 2008). Bu kapsamda toprak kalitesi, ekosistemin uzun süreli işlevselliği, üretkenliği ve mevcut iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı için kritik bir öneme sahiptir. Öneme rağmen, dünya çapında muazzam bir oranda arazi bozunması nedeniyle topraklar bozulmaktadır (Grilli ve ark., 2021). Örneğin, Asio ve ark. (2009) dünya genelinde çeşitli toprak bozulması süreçleri nedeniyle 6 milyon ha tarım arazisinin üretkenliklerini kaybettiğini belirtmiştir. Milenyum Ekosistem Değerlendirme (2005) 2000 yılı civarında incelenen ekosistem hizmetlerinin %60'ının bozulduğunu veya sürdürülemez bir şekilde kullanıldığını tespit etmiştir. Biyoçeşitlilik ve Ekosistem Hizmetlerine İlişkin Hükümetlerarası Bilim-Politika Platformu (IPBES, 2018) ise dünya çapında yaklaşık 3.2 milyar insanın, arazi bozulması sebebiyle refahının olumsuz etkilendiğini ve yıllık gayri safi yurtiçi hasılanın yaklaşık %10'u kadar bir kayıpla sonuçlandığını bildirmiştir. Bu yönüyle tarımsal üretkenlik ve çevre üzerindeki olumsuz etkisi ve gıda güvenliği ile yaşam kalitesi üzerindeki etkisi nedeniyle arazi bozunumu geçmişte olduğu gibi günümüzde de önemli bir küresel sorun olmaya devam etmektedir (Eswaran ve ark., 2019).

Erozyon, tuzluluk, organik maddenin ve biyoçeşitliliğin azalması, aşırı otlatma ve ormansızlaşma araziye ve fonksiyonlarını tehdit eden toprak bozulmasına katkıda bulunan ana antropojenik olgular arasında yer almaktadır (Bhunia ve ark., 2021). Bu olgular sonucunda bozulan arazilerin ekonomik değeri o kadar bozulmuştur ki, o arazinin terk edilmesi veya başka bir amaç için kullanılması muhtemeldir. Bu da doğal toprak bozunumunun olmadığı koşullarda bile doğrudan veya dolaylı olarak insan faaliyetleri nedeniyle arazinin bozunum sürecini ciddi derecede hızlandırmaktadır. Arazinin bozunmasına neden olan faktörlerin başında, arazinin verimli üst toprağının su ve rüzgar gibi doğal fiziksel güçler tarafından taşınarak bir başka yerde birikmesi ile sonuçlanan toprak erozyonu gelmektedir. Su ve rüzgar erozyonu, arazi bozulmasının iki ana nedeni olup, ikisi birlikte dünya üzerinde bozulmuş alanların %84'ünden sorumludurlar (Blanco-Canqui ve Lal, 2008). Bu yönüyle toprak erozyonu kaynaklı arazi bozunması, günümüzde en ciddi çevresel sorunlardan birisidir. Toprak erozyonu, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini etkileyerek arazinin potansiyel tarımsal üretkenliğinde düşüşe ve özellikle artan dünya nüfusu

bağlamında gıda güvenliği konusunda ciddi endişelere yol açmaktadır (Graves ve ark., 2015; FAO, 2015). Toprak erozyonu özellikle fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler üzerinde önemli etkileri olan toprak organik madde içeriğinin azalmasına neden olmaktadır. Organik madde esas olarak toprak yüzeyinin yakınında yoğunlaştığından, genel olarak düşük yoğunluğa sahip olduğundan ve genellikle oldukça gözenekli pedojenik yapıyla ilişkilendirildiğinden, akan su ve/veya rüzgar tarafından kolayca uzaklaştırılmaktadır (Lal, 2005). Organik maddenin erozyon yoluyla kaybolması agregat stabilitesinin azalmasına ve genellikle kabuklanmaya neden olabildiği gibi (Mabit ve Bernard, 2009) aynı zamanda toprağın su tutma, gözeneklilik ve katyon değişim kapasitesi üzerinde de büyük bir etkiye sahiptir, ki bu da daha yüksek erozyon oranlarına yol açmaktadır (Ries ve Hirt, 2008). Çoğu durumda, toprak organik madde içeriğinin %2'sinden daha azına sahip olan toprakların oldukça aşınabilir olduğu ve bu nedenle bozunmaya daha yatkın olduğu bildirilmektedir (Fullen ve Catt, 2004). Bu da toprağın fonksiyon gösterme yeteneğinin düşmesine ve arazinin bozunmasına neden olmaktadır.

Toprak erozyonu ormansızlaştırma ve aşırı otlatma gibi arazi bozunum türleri ile toprak bozunum sürecini hızlandırmaktadır. Kouassi ve ark. (2021) özellikle eğimli alanlarda yer alan ormanlıkların tahrip edilmesi ile arazilerde önemli bir toprak bozunum süreci olan toprak erozyonunun meydana geldiğini bildirmiştir. Aşırı otlatmanın yapıldığı bölgelerde, bitki tür çeşitliliği ve yoğunluğunun azalması ile toprağın su ve rüzgar erozyonuna maruz kalacak şekilde yüzeyinin çıplak kaldığı belirtilmiştir (Fenetahun ve ark., 2019). ABD'de Batı Corn Belt'teki Big Sioux Nehri Havzasında toprak erozyonunun modellemesini çalışan Taghizadeh-Mehrjardi ve ark. (2019) otlak alanların ekilebilir alanlara dönüştürülmesinin, toprak kalitesini ve ürün verimliliğini düşürdüğünü belirtmiştir. Beaufoy (2002) ise arazi kullanımındaki yarı doğal bitki örtüsünden veya geleneksel teraslı meyve bahçelerinden, son derece düşük ürün örtüsüne sahip yoğunlaştırılmış tarla üretimine geçişin, toprağın büyük bir kısmını açıkta bırakarak toprak erozyonuna maruz kalmasına neden olduğunu belirtmiştir.

Arazi bozunmasını büyük ölçüde arttıran antropojenik faaliyetlerden bazıları, arazi kullanımındaki değişiklikten kaynaklanan ormansızlaşma, aşırı otlatma ve tarımsal faaliyetlerdir. Ormansızlaşma, yangın, arazi kullanım dönüşümü ve erozyon gibi olaylar, toprak organik karbon kaybına neden olarak (Khangura ve ark., 2023) toprağın fonksiyon gösterme kapasiteninin düşmesine ve arazi bozunum sürecinin hızlanmasına neden olmaktadır. Shahid ve ark. (2018a) aşırı otlatma, ormansızlaştırma, tarım topraklarının uygunsuz kullanımı ve yönetiminin yanı sıra doğal kaynakların sürdürülemez kullanımının toprak bozunma süreçlerini %49, %24, %14 ve %13 oranında arttırdığını belirlemiştir. IPPC (2007), ormanlık alanların tahrip edilmesinin hem iklim değişikliği hem de arazi bozunması üzerinde önemli etkileri olduğunu rapor etmiştir. Toprak yüzeyinde hayvan otlatmasının azaltılması ile bitki örtüsünün daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılması özellikle erozyonunun azaltılmasında etkili olmaktadır. Yunanistan'da çölleşmeye hassas kırsal bir alanda yürütülen çalışmada "aşırı otlatma" arazisine kıyasla "sürdürülebilir otlatma"

arazisinde bitki örtüsünün toprakları su erozyonundan daha etkili bir şekilde koruduğu bildirilmiştir (Kairis ve ark., 2013). Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından 1988-1991 yılları arasında yürütülen Küresel İnsan Kaynaklı Toprak Bozulmasının Değerlendirilmesi (GLASOD) projesinde, tarım arazilerinin %38 oranında toprak bozulmasına uğradığı tahmin edilmiştir. Ayrıca bilim insanları GLASOD aracılığıyla, 1.97 milyar ha arazinin (küresel arazinin %23'ü) bozulduğunu tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada belirli bir toprak tipinde, bozulmuş topraklarda ürün verimliliğinin normal topraklara göre 3 ila 12 kat azaldığı gözlemlenmiştir (Tun ve ark., 2015). Zalidis ve ark. (2002) tarımsal üretimin yoğun yapıldığı bölgelerde, organik maddenin azalması, sıkışma, tuzluluk ve toprak erozyonu gibi bozunma çeşitlerinin sıklıkla görüldüğünü belirtmiştir. İnsanın temelinde olduğu uzun süreli gerçekleştirilen yoğun tarımsal faaliyetlerin ve yanlış arazi kullanımlarının toprağın fonksiyonlarını yerine getirebilmesini engelleyerek arazinin bozunma sürecinde etkili olmaktadır.

Toprak tuzluluğu, tarımsal üretkenlik ve sürdürülebilirlik üzerindeki olumsuz etkisi nedeniyle arazi bozunumuna yol açan önemli bir küresel sorundur (Shahid ve ark., 2018b). Çeşitli Birleşmiş Milletler kuruluşları, küresel olarak en az 4 milyon km² tuzdan etkilenmiş arazinin olduğunu ve tarımsal açıdan verimli toprakların %20'sinde yetiştirilen ürünlerin bir tür tuz stresi yaşadığını tahmin etmektedir (Ravindran ve ark., 2007; Rozena ve Flowers, 2008). Tuz kaynaklı arazi bozunması, yağmur suyunun topraktan düzenli bir şekilde süzülmesini sağlamak için çok düşük yağışın olduğu ve sulamanın doğal veya yapay bir drenaj sistemi olmadan uygulandığı kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygındır (Qadir ve ark., 2014). Bu bölgelerde drenaj yönetimi yapılmadan yapılan sulama uygulamaları, kök bölgesinde tuz birikimini tetikleyerek birçok toprak özelliğini ve ürün verimini olumsuz yönde etkilemekte ve bozunum sürecine katkıda bulunmaktadır. Bunun en çarpıcı örneklerinden birisi Türkiye'de Güneydoğu Anadolu Bölgesinde hayata geçirilen sulama projesinde yaşanmıştır. Sulama ile birlikte sulu tarımın başladığı Harran Ovasının %10'una denk gelen yaklaşık 18.000 ha'lık bir alanda ciddi derecede tuzluluk sorunu tespit edilmiştir (Çullu ve ark., 2010). Araştırmacılar, Harran Ovasının 12.630 ha'nın tuzlu ve 5094 ha'nın ise tuzlu-sodik olduğunu bildirmişlerdir. Tuzlu toprakların toprağın fonksiyon gösterme yeteneği üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Yüksek miktarda tuzun varlığında, toprak çözeltisinin ozmotik potansiyelini artırarak bitkiler tarafından su ve besin alımı engellenmekte ve normal gelişimini olumsuz etkileyerek verimliliğini düşürmektedir (Tester, 2003). İran'ın Kürdistan Eyaleti'nde tuzdan etkilenmiş tarım arazilerindeki toprak kalitesinin değerlendirildiği bir çalışmada Nabiollahi ve ark. (2017), tuzun etkilerinin toprak kalitesini ciddi şekilde bozduğunu rapor etmiştir.

İnsanların ihtiyaçlarını ve diğer hizmetlerini sağlayan toprak, sanıldığı gibi sınırsız bir kaynak olamamıştır. Buna karşın artan nüfusa paralel artan gıda talebini karşılayabilmek için daha çok girdi ve tarımsal üretimin yoğunlaşması, marjinal arazilerin tarım arazilerine dönüştürülmesi, tarım arazilerinin yerleşim ve sanayi alanı gibi plansız bir şekilde kullanılması, bu sınırlı doğal kaynakları artan bir baskı altına sokmuştur (Budak ve Kılıç, 2022). Bu kapsamda ormanlık alan,

sulak alan gibi doğal alanların tarımsal arazilere dönüştürülmesi insan kaynaklı yanlış arazi kullanımı olarak günümüzde halen devam etmektedir (Harris ve ark., 2021). Doğal ve yönetilen ekosistemlerin işleyişi için toprak organik karbonu oldukça önemlidir (Du ve ark., 2020). Zira başlıca toprak bozunma süreçleri arasında toprak organik karbonun kaybı yer almaktadır (Lal, 2015). Arazi kullanımındaki dönüşümler, yoğun tarımsal üretim ve geleneksel işlemenin organik karbon üzerine olumsuz etkileri söz konusudur. Kuzey Çin'in Bashang bölgesinde yapılan bir çalışmada, toprak bozulmasının uygun olmayan arazi kullanımı ve yönetimi kaynaklı organik karbon ve besin elementindeki kayıplar nedeniyle toprak bozunumunun kısa sürede şiddetli bir şekilde meydana gelebileceğini, bozulmuş bir ekosistem için toprak restorasyonunun ise, özellikle bu kırılgan ekosistemde uzun zaman alabileceğini rapor etmiştir (Zhao ve ark., 2005). Bir başka çalışmada yerli çayırların tarım arazisine dönüştürüldüğünden ve düzenli olarak sürüldüğünden beri, önemli miktarda ekilebilir toprağın erozyon yoluyla bozulduğu, toprak organik maddesinin düştüğü ve verimlilik kaybının yaşandığı rapor edilmiştir (Borrelli ve ark., 2017). İşleme yöntemlerinin değerlendirildiği uzun süreli bir çalışmada ise korumalı işleme yöntemlerine kıyasla geleneksel toprak işleme yönteminin, organik karbona ve toprak kalitesine daha fazla zarar verdiği rapor edilmiştir. Tüm bu uygulamalar ve olgular neticesinde toprağın kendini yenileyebilme yeteneği azalmakta ve toprak bozunuma daha hassas hale gelmektedir. Ancak insan kaynaklı bozunum seviyesi, bozunmanın büyük ölçüde hızlandığı elastik sınırlara ulaşmamışsa, toprak yeteneği gereği kendini toparlayabilmektedir (Lal, 1993). Toprağın üretkenlik yeteneğindeki düşüşlerle birlikte bozunum sürecinin hızlanması ile bu sınırların ötesine geçmesi durumunda ise, arazi bozunumu geri döndürülemez şekilde gerçekleşmekte ve nihayetinde arazilerin tarım dışına çıkarak amaç dışı kullanımı ile topraklar kaybolmaktadır.

Toprakların kalitesinin belirlenmesi ve fonksiyon kapasitelerinin ortaya konulması elbette ki kullanıcılar için bir yol haritası oluşturmaktadır. Ancak, elde edilen bu bilgilerin daha anlaşılır hale getirilmesi için çalışılan alanı daha iyi tanımlayacak ve kolay anlaşılır hale getirecek yaklaşımlara gereksinim duyulmaktadır. Toprakların sürdürülebilir yönetimi için belirlenen ve fonksiyon kabiliyeti hakkında bilgi veren özellikler, örneklemenin yapıldığı yere özgüdür ve o noktanın kalitesi hakkında bilgileri içermektedir. Toprak özellikleri arazide birkaç metrelik mesafe içerisinde bile önemli miktarda değişkenlik gösterebilmektedir. Bu değişkenlik toprakların genetik özellikleri ve/veya uygulanan amenajmandan kaynaklanmakta ve toprakların kalitesinin farklılaşmasına sebep olmaktadır.

2.4. Toprak Özelliklerinin Mesafeye Bağlı Değişkenliği

Toprak özelliklerinin ve kalitesinin mesafeye bağlı değişkenliğini açıklamak ve sayısal haritalarını oluşturmak için son yıllarda yaygın olarak jeostatistik teknikleri kullanılmaktadır (Goovaerts, 1999; Mulla ve McBratney, 2000; Acir, 2019; Kılıç ve ark., 2022). Jeostatistik, ilk olarak Güney Afrika'da madencilik araştırmalarında Krige (1951) tarafından kullanılmak üzere

ortaya atılan, temel prensipleri Matheron (1963) tarafından belirlenen ve daha sonra çok çeşitli disiplinlerden bilim insanları tarafından kullanılan uygulamalı bir istatistik koludur. Hesaplamalardaki karmaşıklık ve zorluk nedeniyle araştırmacılar ilk zamanlarda bu yöneme pek ilgi göstermemiştir. Ancak jeoistatistik paket programları ve coğrafi bilgi sistemlerindeki son gelişmeler toprak özelliklerinin değişkenliğinde jeostatistiksel yöntemlerin kullanımını yaygınlaştırmıştır (Gallardo ve Paramá, 2007; Günel ve ark., 2012., Arslan ve ark., 2013; Sağlam ve ark., 2015; Deiss ve ark., 2017; Sağlam ve Dengiz, 2017; Acir, 2019; Lu ve ark., 2019; Budak ve ark., 2020; Karaca ve ark., 2021; Kılıç ve ark., 2022).

Klasik istatistikte topraklardaki değişkenliğin rastgele olduğu ve bu değişkenliğin uzaysal olarak korelasyona sahip olmadığı varsayılmaktadır. Bir başka deyişle arazide bir noktada bulunan örneğin aynı arazinin bir başka yerinde bulunan örnekten bağımsız olduğu kabul edilmektedir. Bunun sonucu olarak incelenen toprak özelliği ya da kalite parametrelerinin çalışılan alanı temsil etme kabiliyeti azalmaktadır. Yani, arazinin spesifik bir bölümünde tarımsal üretimi sınırlandıracak bir problem (örneğin, yüksek sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) gibi) olmasına rağmen, çalışılan alanın ortalama SAR değeri herhangi bir problem teşkil etmiyorsa sorun göz ardı edilebilmektedir. Klasik istatistik kullanılarak bir alandaki topraklar hakkında elde edilen bu yetersiz bilgi, toprakların sürdürülebilir yönetimi konusunda sıkıntılara neden olmaktadır. Çalışılan alanın özelliklerini tam olarak ortaya koyabilmek için tüm alana ait ortalama değer yerine örnekleme yapılan nokta ve o noktaya yakın olan mesafeleri dikkate alacak yaklaşımların kullanımı bu sıkıntıları ortadan kaldıracaktır. Bu sebeple toprak özelliklerinin uzaysal bağımlılık gösterdiği durumlarda klasik istatistiğin yerine jeoistatistiğin kullanılması arazinin daha doğru tanımlanması ve uygun amenajman yöntemlerinin geliştirilmesi için önerilmektedir (Burrough, 1991).

Toprak özelliklerinin kısa mesafeler içerisinde dahi değiştiği ve bu değişimin miktarının mesafe arttıkça arttığı veya bir başka ifade ile benzerliğinin azaldığı bilinmektedir (Isaaks ve Srivastava 1989; Cambardella ve ark., 1994; Erşahin, 1999). Jeostatistiksel yöntemler, çalışılan alan içerisinde incelenen özelliğin mesafeye bağlı değişikliğine ait yapısını modelleyerek, özelliğin örneklenmeyen noktalardaki değerlerini en az hata ile tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Tarımsal üretimde, uygulanan amenajman tekniklerinin etkilerinin tanımlanması ve çevresel kalite üzerine etkilerinin değerlendirilebilmesi için arazi içi değişkenliğin miktarının ve deseninin tanımlanması önemlidir (Cambardella ve ark., 1994). Değişkenliğin izlenmesi ve sayısallaştırılması (haritalanması), uygulanan amenajman tekniklerinin etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi ve nihayetinde daha etkin tarımsal uygulamaların planlanabilmesi için gerekli bir adımdır (Sun ve ark., 2003). Zira toprak özelliklerinin değişkenlik göstermesi, aynı amenajman uygulamaları altındaki bir arazide bitkisel üretimin de değişkenlik göstermesine neden olmaktadır (Robertson ve Freckman, 1995; Mulla ve McBratney, 2000; Jiang ve ark., 2006). Jeostatistik uygulamaları hassas tarım uygulamaları ve çevresel sorunların kaynaklarının belirlenmesinde başarılı bir şekilde uygulanmakta ve mesafeye bağlı değişimi modelleyerek haritalanmaktadır. Bu

sayede, çalışılan toprak özelliklerinde meydana gelen değişimin izlenmesine ve arazide varsa mevcut problemleri yerlerin tespit edilmesi ile uygulanan amenajmanların birlikte değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

İran'ın Qazvin Eyaletinde yapılan bir çalışmada Rahmanipour ve ark. (2014) tarım arazilerinin kalitesinin belirlenmesinde toplam veri seti ve temel bileşenler analizi ile oluşturulan minimum veri seti kullanılarak Entegre Kalite İndeksi (EKİ) ve Nemoro Kalite İndeksi (NKİ) olmak üzere dört farklı yöntemi değerlendirmiştir. Çalışmada kalite indekslerinin sayısal haritalarının doğruluğu için Root Mean Square Error (RMSE) ve korelasyon katsayısı dikkate alınmıştır. Test edilen toprak kalitesi indekslerinin, arazi yönetimi uygulamalarının toprak kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için uygun olduğu rapor edilmiştir. Çalışmada her bir kalite indeksi için 0.038-0.089 arasında değişen en düşük RMSE ve 0.40-0.51 arasında değişen en yüksek korelasyon katsayısına sahip "Radial Basis Function" enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Özellikle minimum veri seti kullanılarak belirlenen entegre kalite indeksinin, arazi yönetimi uygulamalarının toprak kalitesi üzerindeki etkilerinin uygun bir şekilde değerlendirilmesiyle sonuçlanmıştır. Araştırmacılar bu sonucun, sınırlı sayıda göstergenin kullanılması ile jeostatistiksel bir yaklaşımla toprak kalitesinin daha ayrıntılı bir değerlendirmesini elde etmek için analiz maliyetini düşürmeye ve örnekleme yoğunluğunu artırmaya izin verebileceğini belirtmişlerdir.

İran'ın Kürdistan Eyaletinde Nabiollahi ve ark. (2017), tuzdan etkilenmiş tarım arazilerindeki toprak kalitesini toplam veri seti ve minimum veri seti kullanarak üç kalite indeksi (Katkılı Toprak Kalitesi İndeksi, TKI_k ; Ağırlıklı Katkılı Toprak Kalitesi İndeksi, TKI_a ; ve Nemoro Toprak Kalitesi İndeksi, TKI_n) ile altı farklı şekilde değerlendirmiştir. Her bir toprak kalite indeksi için ordinary kriging (OK) uygulanmış ve çapraz doğrulama ile en uygun variogram modeli belirlenmiştir. Sayısal haritaların doğruluğu RMSE ve korelasyon katsayısı kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada her bir kalite indeksi için 0.064-0.086 arasında değişen en düşük RMSE ve 0.60-0.72 arasında değişen en yüksek korelasyon katsayısına sahip küresel model en uygun model olarak kullanılmıştır. Çalışmada ağırlıklandırılmış toprak kalite indeksinin TKI_k ve TKI_n 'e kıyasla daha iyi tahmin edildiği, ayrıca toplam veri seti için minimum veri setinden daha yüksek uyum değerlerine (eşleşme ve kappa istatistiği) sahip olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar jeostatistik yöntemlerin, örneklerin alınmadığı yerlerde enterpolasyon yapmak ve belirsizlikleri azaltmak için güçlü bir araç olduğunu ve ekstra örneklemeden kaynaklanan araştırma maliyetlerinin bu yöntemle en aza indirilebileceğini vurgulamışlardır.

Türkiye'nin Amasya ilinde 195 hektarlık bir tarım arazisinde yüzey ve yüzey altı topraklarının verimlilik hizmetini belirlemek ve haritalamak için bir çalışma yürütülmüştür (Acir, 2019). Çalışmada fonksiyonlar ve verimlilik hizmeti indeksinin sayısal haritaları için ordinary kriging (OK), inverse distance weighting ve radial basis function yöntemleri kullanılmıştır. En doğru enterpolasyon yöntemini belirlemek için kriter olarak RMSE ve Mean Absolute Error (MAE) değerleri kullanılmıştır. Toprak fonksiyonları ve verimlilik hizmet indeksi için en yüksek doğruluğa

sahip haritalar, OK yöntemi ile üretilmiştir. Araştırmacı OK enterpolasyon yönteminin, toprak kalite indeksleri için örnekleme dışı noktalarda verimlilik hizmetinin tahmininde en düşük RMSE ve MAE değerlerini sağladığını rapor etmiştir.

Mısır'ın Kuzey Deltası'nda bazı ekili arazilerde basit katkılı (TK_1) ve ağırlıklandırılmış (TK_2) olmak üzere iki farklı şekilde toprak kalitesi belirlenmiş ve Coğrafi Bilgi Sisteminde (ArcGIS) kriging yöntemi ile dikey ve yatay olarak haritalanmıştır (AbdelRahman ve ark., 2019). Çalışma sonuçları, her iki yöntem ile belirlenen toprak kalite değerlendirmesinin, iyi dağılmış toprak numuneleri durumunda önemli korelasyonla benzer olduğunu göstermiştir. Çalışmada Coğrafi Bilgi Sisteminin analitik yeteneklerinin, toprak kalite indeksine ait tematik haritalarının oluşturulmasında profesyonel olarak kullanıldığı rapor edilmiştir.

AbdelRahman ve Tahoun (2019) Mısır'ın Abo-Hammad İlçesinin tarım arazilerinde toprak kalitesindeki değişimin belirlenmesi ve haritalanması için bir çalışma yürütmüştür. Bu çalışmada 20 yıllık bir süreçte (1995-2015) toprak kalitesinin kötüleştiği belirlenmiştir. Kriging yönteminin inverse distance weighting yöntemine kıyasla daha yüksek R^2 değerlerine sahip olması nedeniyle toprak kalite yaklaşımına uygun bir model olduğu rapor edilmiştir.

Şenol ve ark. (2020) Türkiye'de yapmış oldukları bir çalışmada Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi tarım arazisinde toplam ve minimum veri setleri kullanarak toprak kalite indeksini, doğrusal kombinasyon tekniği ve analitik hiyerarşik süreç ile belirlemiş ve karar ağaçları ile tahmin etmiştir. Çalışmada her iki veri seti kullanılarak elde edilen toprak kalite indeksinin karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark ($P > 0.05$) bulunmadığı rapor edilmiştir. Organik maddenin “root node” olarak belirlendiği karar ağacında kum, solma noktası ve elektriksel iletkenlik özellikleri “internal node” olarak dallara ayrılarak kalite sınıfları %91.1 oranında tahmin edilmiştir. Bu tahminin doğruluğunun değerlendirilmesinde eğri değerinin altında kalan alan I, II ve III sınıfları için sırasıyla 0.991, 0.960 ve 0.943 ($P = 0.00$) olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, tahmin edilen ve gözlemlenen toprak kalite indeksi değerlerinin dağılım haritalarındaki en yüksek doğruluğun, her iki veri seti için de ordinary ve simple kriging'in Gauss yarıvariogram modeli ile bulunduğu belirtilmiştir.

Acir ve Günel (2020) yapmış oldukları bir çalışmada arazi kullanım değişikliğinin, 2008 yılına kadar otlak olarak kullanılan doğal otlak ve bitişik tarım arazilerinin toprak kalitesi ve ilgili fonksiyonları üzerindeki etkilerini değerlendirmiş ve ordinary kriging yöntemi ile haritalamıştır. Ekilebilir alan ve doğal otlakların yüksek sodyum adsorpsiyon oranının her iki arazide de toprak kalitesini düşürdüğünü rapor etmişlerdir. Tarım arazilerinde uygulanan gübreleme, ürün rotasyonu ve sulama, doğal otlaklara kıyasla toplam organik karbonu arttırdığı ve sodyum adsorpsiyon oranını ve elektriksel iletkenlik değerlerini düşürdüğü ve bu nedenle, meraların tarlaya dönüştürülmesinin toprak fonksiyonlarında olumsuz değişikliklere yol açacağı yönündeki beklentilerin aksine, çalışma alanındaki doğal otlakların tarlaya dönüştürülmesinin toprak kalitesini iyileştirdiği rapor edilmiştir.

Çalışma alanına ait toprak kalite haritalarının da, ekili alanlardaki toprak kalitesinin ağırlıklı olarak doğal otlaklara kıyasla yüksek kalitede olduğunu göstermiştir.

Mısır'da Matrouh Valiliği'nin batı kısmında yapılan bir çalışmada Abdellatif ve ark. (2021) toprak kalitesinin değerlendirilmesi için ordinary kriging enterpolasyonuna dayalı mekansal bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen toprak kalitesi modelinin, kappa istatistiğine göre ağırlıklı katkı modeliyle önemli ölçüde uyum (0.67) gösterdiği ve arazi yeteneği ile R^2 (0.71) ile önemli ölçüde ilişkili olduğu rapor edilmiştir. Model, çalışma alanındaki toprak kalitesine tam bir genel bakış sağladığı ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamanın yanı sıra toprak kalite sorunlarını belirlemek ve toprak kalitesini etkileyen olumsuz faktörlerle mücadele etmek için benzer koşullara kolayca uygulanabileceği ifade edilmiştir.

Khan ve ark. (2022) Hindistan'da Rajasthan'ın Bagru bölgesindeki tekstil baskı ve boyama sanayisinin atık sularını sürekli olarak boşaltmasının toprak kalitesi ve ağır metal kirliliğine etkisini jeostatistiksel yöntemle değerlendirmiştir. Çalışma sonuçları endüstriyel kompleksin çevresinde daha yüksek ağır metal kontaminasyon konsantrasyonuna işaret ettiğini ve bölgede bozulmuş ve düşük kaliteli toprağın %46'lık bir alanı kapladığı rapor edilmiştir.

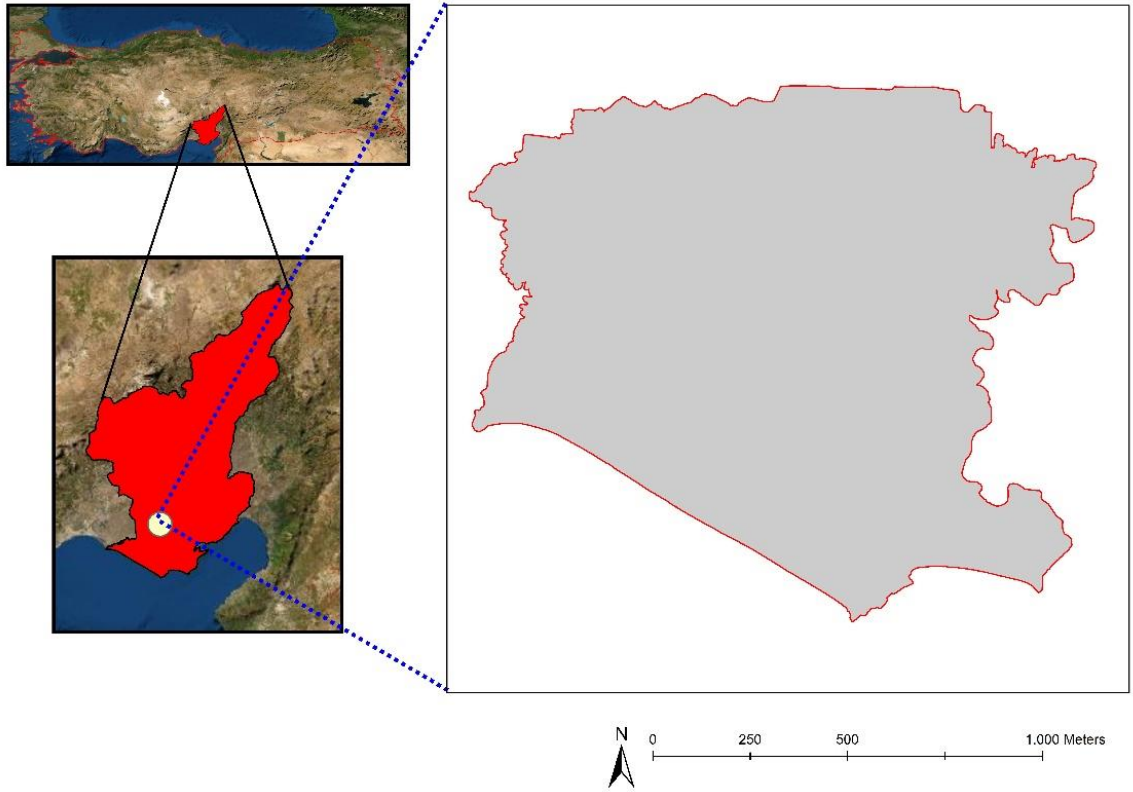
Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesinde yapılan bir çalışmada Pacci ve ark. (2022) Trabzon ili tarım arazilerindeki toprak kalite indisini analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve yapay sinir ağı (YSA) ortamında mekansal çok kriterli karar analizi yaklaşımı ile tahmin etmeye çalışmıştır. YSA'nın toprak kalite indeksi tahmini için determinasyon katsayısının (R^2), eğitim, doğrulama ve test için 0.99 olduğu ve YSA modellemesinin, gerçek toprak kalite indeksi ile tahmin edilen toprak kalite indeksi arasındaki ilişkiyi tanımladığı rapor edilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen toprak kalite indeksinin modellemesinde kriging yönteminin kullanıldığı ve en iyi modelin de küresel olduğu belirlenmiştir. Çalışmada Trabzon ilinin ekilebilir arazileri için toprak kalite indeksinin, çalışma alanının %53.1'inin düşük ve çok düşük kaliteli topraklara, %28.0'inin orta kalitede ve yaklaşık %15.7'sinin ise yüksek kalitede olduğu rapor edilmiştir.



3. MATERYAL VE METOD

3.1. Çalışma Alanı İklimi

Çalışma yaklaşık olarak 230,000 ha genişliğinde ve 18 adet toprak serisinden oluşan Aşağı Seyhan Ovası sınırları içerisindeki 3 farklı toprak serisini (Arıklı, Çanakçı ve Helvacı) kapsamaktadır (Şekil 3.1 ve 3.3). Aşağı Seyhan Ovası, kuzeyde Toros Dağlarının etekleri, batıda Berdan Nehri, doğuda Ceyhan Nehri ve güneyde Akdeniz ile sınırlandırılmaktadır. Çalışma alanı tipik Akdeniz iklim kuşağında yer almakta olup, kışlar ılık ve yağışlı, yazlar sıcak ve kuraktır. Adana İli Meteoroloji İstasyonu tarafından kaydedilen 94 yıllık (1929-2022) ortalama iklim verilerine göre bölgenin yıllık ortalama sıcaklığı 19.2 °C, yıllık ortalama toplam buharlaşması 1481.8 mm, yıllık toplam yağış ortalaması ise 668.8 mm olup, bu yağışın yaklaşık %75'i kış ve ilkbahar aylarında düşmektedir (Çizelge 3.1) (Anonim, 2023).



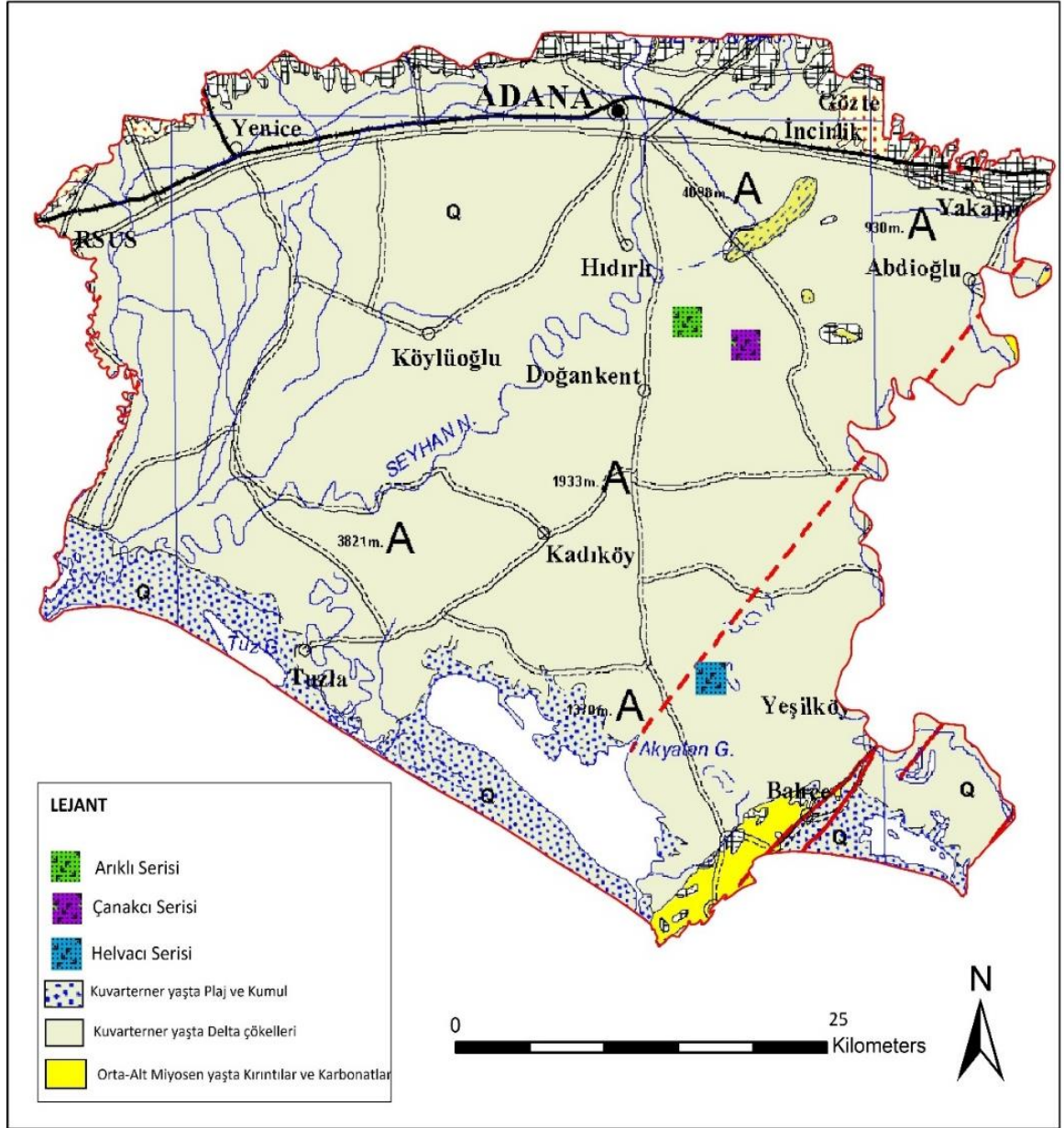
Şekil 3.1. Çalışma alanı sınırları ve çalışma alanının konumu

Çizelge 3.1. Adana İli Merkez’e ait 88 yıllık (1929-2022) ortalama iklim verileri

Ay	Ort. Maksimum Sıcaklık (°C)	Ort. Minimum Sıcaklık (°C)	Ort. Sıcaklık (°C)	Ort. Nem (%)	Toplam Buharlaşma (mm)	Ort. Toplam Yağış (mm)
Ocak	14.8	5.2	9.5	66.4	42.3	113.6
Şubat	16.2	6.1	10.6	66.4	51.1	89.0
Mart	19.4	8.3	13.5	65.6	82.9	65.5
Nisan	23.8	11.9	17.6	67.4	111.6	51.0
Mayıs	28.3	15.8	21.8	66.6	159.7	48.1
Haziran	31.7	19.8	25.6	66.7	200.3	22.1
Temmuz	33.9	23.0	28.2	69.0	228.2	10.2
Ağustos	34.7	23.4	28.7	68.5	214.1	9.3
Eylül	33.1	20.2	26.2	63.5	168.0	19.3
Ekim	29.1	15.8	21.7	60.6	115.3	42.8
Kasım	22.7	10.8	15.9	63.0	64.5	71.5
Aralık	16.8	7.0	11.2	67.2	43.8	126.4
Yıllık	25.4	13.9	19.2	65.9	1481.8	668.8

3.2. Çalışma Alanı Jeolojisi

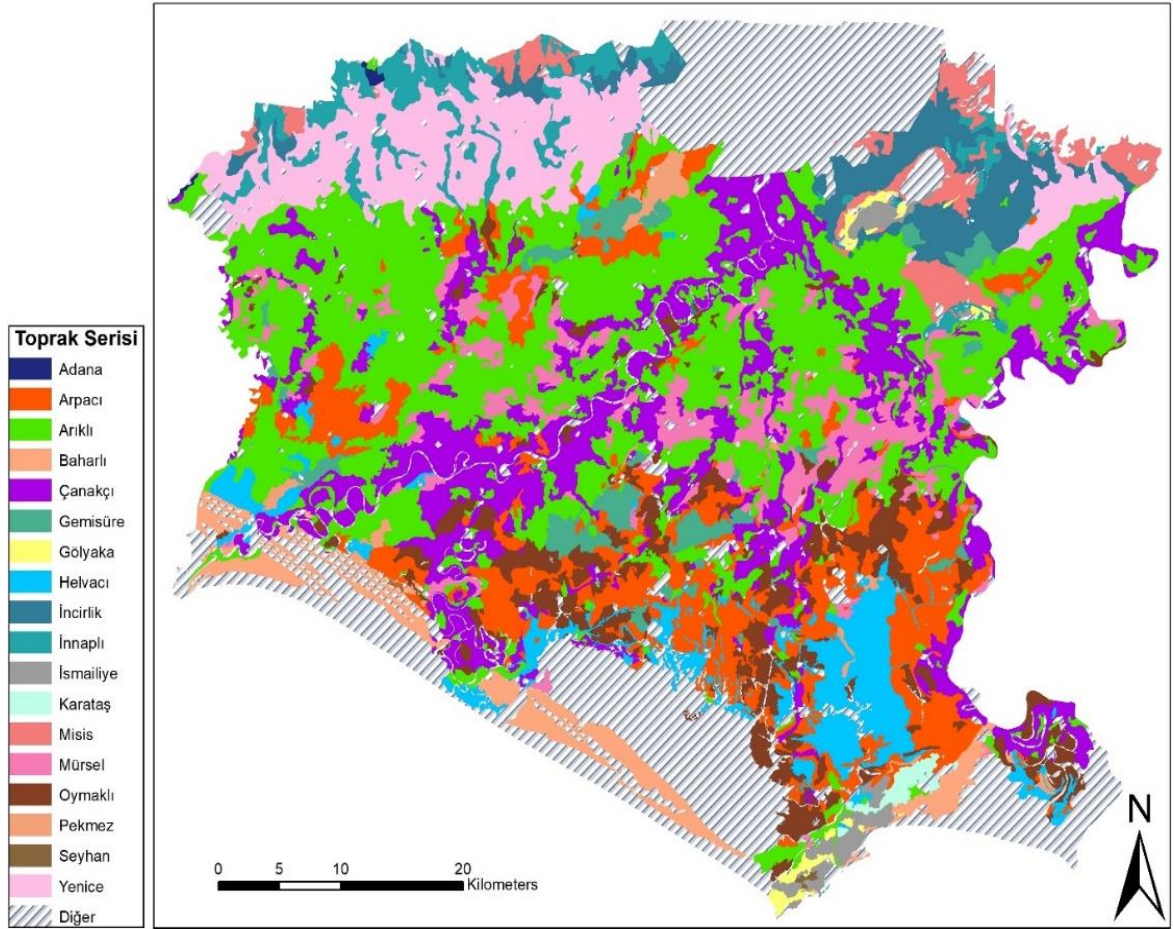
Çalışma alanı Akdeniz bölgesinde Adana ili Seyhan ve Ceyhan Nehirlerinin denize döküldüğü alan boyunca uzanmaktadır. Akdeniz’e kadar olan bu saha, kuşağın belirgin jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerini taşımaktadır. Toros kuşağının güneydoğu ucundan yüksekliği 5-140 m arasında değişen yükseklik ve düzlüklerden oluşan Aşağı Seyhan Ovası, genel olarak akarsuların dağlardan taşıdığı alüvyonların birikmesi ile meydana gelmiştir. Bu bölgede, Miyosen yaşta neotokton örtü kayaları yer almakta ve bu örtü kayalarına ait gruplardan Kuvarterner çökelleri bulunmaktadır. Kuvarterner çökeller kalis, delta çökelleri, kumul ve alüvyonlar olarak gruplara ayrılmıştır. Pliyosen sonlarına doğru karasal hale geçen Ovada kuzeyden güneye doğru onlarca kilometrede yayılım gösteren etek düzlüğü morfolojisi gelişmiştir. Bu morfoloji üzerinde Pliyosen kökenli palesoik kalis, Akdeniz Kırmızı toprağı (Terra Rossa) ve sert kalis oluşumu görülmektedir. Holosen döneminde ise akarsuların gelişmesi ile delta çökelleri ve kıyılarda kumullar çökelmiş ve üzerinde kahverengi, grimsi kahverengi topraklar ile alüvyon topraklar gelişmiştir. Bu tez kapsamında çalışmanın yapıldığı Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serileri delta çökelleri üzerinde oluşmuş toprak serileridir (Şekil 3.2) (MTA, 2009).



Şekil 3.2. Çalışma alanına ait jeolojik harita

3.3. Çalışma Alanı Toprak Özellikleri ve Sınıflaması

Tez kapsamında Aşağı Seyhan Ovasında tanımlanan 18 toprak serisi içerisinde ovada yaygın olarak bulunan ve tarımsal üretimin yoğun olarak yapıldığı 3 farklı toprak serisi belirlenmiştir. Seçilen toprak serileri ovanın toplam %40'ını kaplamaktadır. Seriler, farklı fizyografik üniteler (Arıklı, eski nehir terası, Çanakçı, genç nehir terası ve Helvacı, delta tabanı çukurlukları) üzerinde oluşmuş ve özellikleri birbirlerinden önemli düzeyde farklılaşmış olan Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serileridir. Bu serilerin seçiminde; ova içerisindeki dağılımlarının yanında çeşitli araştırmalarda rapor edilen yüksek miktarda ince kil (kil tipi: smektit) içermesi (Dinç ve ark., 1995), kötü drenaj ve aşırı sulamadan kaynaklı tuzluluk (Dinç ve ark., 1995; Cetin ve Ozcan, 1999; Cetin ve Kırdı 2003; Satır ve Berberoğlu 2016), anızlarının yakılması ve geleneksel olarak toprakların çok sayıda/yoğunlukta işlenmesi (Celik ve ark., 2012) gibi problemler dikkate alınmıştır.



Şekil 3.3. Çalışma alanında yer alan toprak serilerinin dağılımı (Dinç ve ark., 1995)

Arıklı serisi, %24 (56.083 ha) kaplama alanı ile ova içerisinde en yaygın seridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.2). Bu seri toprakları, eski nehir teraslarının alüviyal depozitleri üzerinde oluşmuş Vertisoller olup, kil içeriği, katyon değişim kapasitesi ve su tutma kapasitelerindeki yükseklikten dolayı doğal üretkenlikleri fazladır. Ancak yüksek oranda ince kil (kil tipi: smektit) içeriyor olmaları, uzun süreli kurak dönemlerde toprakların çatlamasına sebep olduğundan başta tercihi akış olmak üzere tarımsal üretimde birtakım sorunlara yol açabilmektedir. Çanakçı serisi %13'lük (30.190 ha) dağılımla ova içerisindeki en yaygın ikinci seri olup, ovanın birçok yerinde görülmektedir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.2). Çanakçı serisi genç nehir terasları üzerinde gelişen Entisol toprak ordusuna ait olup, siltli tın ve killi tın bünyeye sahip verimli topraklardır. Üçüncü seri olarak seçilen Helvacı serisi ise %4'lük (9.791 ha) dağılım ile ova içerisindeki en yaygın yedinci seri konumundadır. Helvacı serisi, delta tabanı çukurluklarında depolanmış alüviyal materyaller üzerinde oluşmuş İnceptisol toprak ordusuna aittir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.2). Bu seri toprakları, genellikle denize yakın güney kesimlerde dağılım göstermesi, fizyografik olarak daha çukur bir alanda yer almaları ve kötü drenaja sahip olmaları sebebiyle tuz içerikleri yüksek olup ova içerisindeki en tuzlu topraklardır (Dinç ve ark., 1995).

Çalışma alanında yer alan Arıklı serisi, Toprak Taksonomisine göre Entic Chromoxerert alt grubunda yer alıp, bu serinin de dahil olduğu Vertisol ordosu ova içerisinde %31.1'lik (71.505 ha) yer kaplamaktadır (Çizelge 3.3). Toprak Taksonomisine göre Typic Xerofluvent alt grubunda yer alan Çanakçı serisi ova içerisinde %39.8 (91.329 ha) ile en yüksek dağılım gösteren Entisol toprak ordosu içinde yer alır. Helvacı serisi ise Toprak Taksonomisine göre Vertic Haloquept alt grubunda yer alıp, bu seriyi içine alan İnceptisol ordosu ovada Entisol ve Vertisollerden sonra %14.5 (33.282 ha) ile üçüncü en yüksek dağılıma sahip toprak ordosudur. Bu sebeple Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serileri için oluşturulacak MVS, genetik özellikleri, iklim koşulları ve arazi yönetim uygulamaları birbirine benzer olan koşullar altındaki toprakların kalitelerinin belirlenmesinde kullanılabilme, kıyaslanabilme ve zamanla meydana gelen değişimleri izleyebilme imkânı sağlayacaktır.

Çizelge 3.2. Aşağı Seyhan Ovasındaki toprak serilerinin alansal dağılımları (ha, %)

Toprak Serileri	Dağılım		Toprak Serileri	Dağılım	
	Ha	%		Ha	%
Arıklı	56.083	24,42	Misis	5.954	2,59
Çanakçı	30.190	13,15	Gemisüre	5.114	2,23
Arpacı	22.867	9,96	İsmailiye	1.856	0,81
Yenice	17.326	7,54	Pekmez	1.572	0,68
Oymaklı	12.820	5,58	Gölyaka	886	0,39
Mürsel	10.612	4,62	Karataş	725	0,32
Helvacı	9.791	4,26	Adana	150	0,07
İncirlik	8.737	3,80	Seyhan	64	0,03
İnnaplı	6.925	3,02	Diğer	31.713	13,81
Baharlı	6.272	2,73	Toplam	229.653	100,00

Çizelge 3.3. Aşağı Seyhan Ovasındaki toprak ordolarının alansal dağılımları (ha, %)

Toprak Ordoları	Dağılım	
	Ha	%
Entisol	91.329	39,8
Vertisol	71.505	31,1
İnceptisol	33.282	14,5
Mollisol	1.675	0,7
Alfisol	150	0,1
Diğer	31.713	13,8
Toplam	22.9653	100,0

3.4. Çalışma Alanında Yer Alan Tarımsal Üretim ve Tarımsal Uygulamalar

Çalışma alanında uzun yıllardır yoğun tarımsal üretim yapılmaktadır. Çalışma alanının büyük bir bölümü ekilebilir tarım arazisi olup, iklim ve sulama imkanlarından ötürü bir yıl içerisinde iki ürün yetiştiriciliği yapılmaktadır (Celik ve ark., 2011). Kışın ağırlıklı olarak buğday, soğan ve patates, yazın ise pamuk, mısır, soya ve yer fıstığı tarımı yapılmakta olup, buğday+mısır ya da

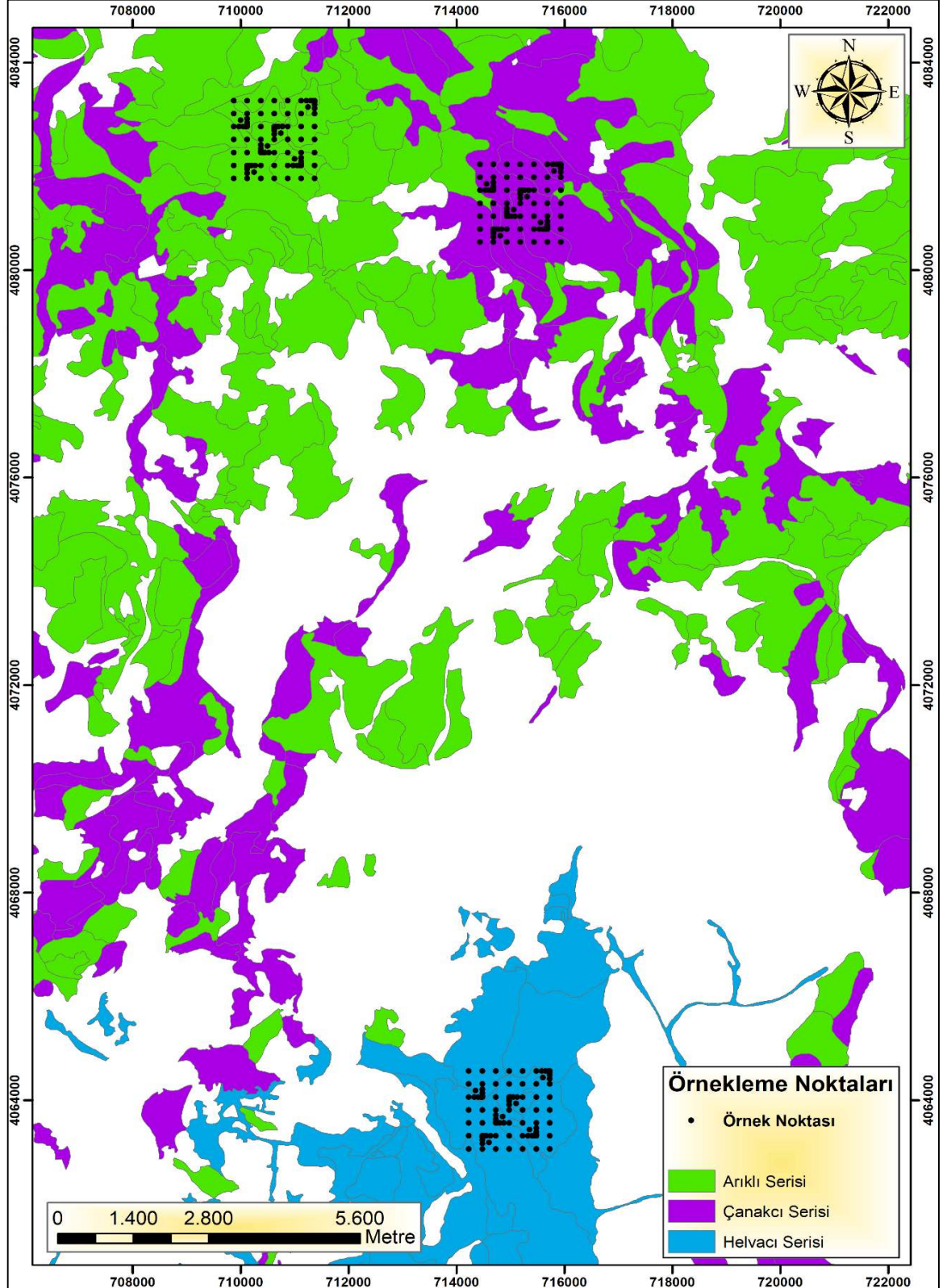
buğday+soya olmak üzere rotasyon sistemleri genel olarak tercih edilmektedir. Bu arazilerde topraklar geleneksel olarak işlenmekte ve çoğunlukla bir önceki ürünün artıkları yakılmaktadır (Celik ve ark., 2011). Ovada bitkisel üretimde azotlu gübreler başta olmak üzere kimyasal gübreler genellikle toprak analizi dikkate alınmadan yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (İbrikçi ve ark., 2015). Bu arazilerin büyük çoğunluğunda yağmurlama sulama yaygın olarak kullanılmaktadır. Ovanın güneyindeki bölgelerde ise salma sulama yöntemi sıklıkla tercih edilmektedir. Çalışma alanında ekilebilir arazilerin yanı sıra narenciye (portakal, mandalina, limon, altıntop) bahçeleri de yer almaktadır. Bahçelerde sulama çoğunlukla damla sulama ile yapılmaktadır. Bahçelerin büyük çoğunluğunu, doğrudan ziraat mühendisi desteği alan büyük çiftçiler işletmektedir. Dolayısıyla gübre kullanımında genel olarak toprak analizine dikkat edilmektedir. Bahçe toprakları genel olarak ihtiyaç duyulduğunda işlenmekte ve budama artıkları ise çoğunlukla araziden uzaklaştırılmaktadır.

3.5. Toprak Örnekleme ve Arazi Çalışmaları

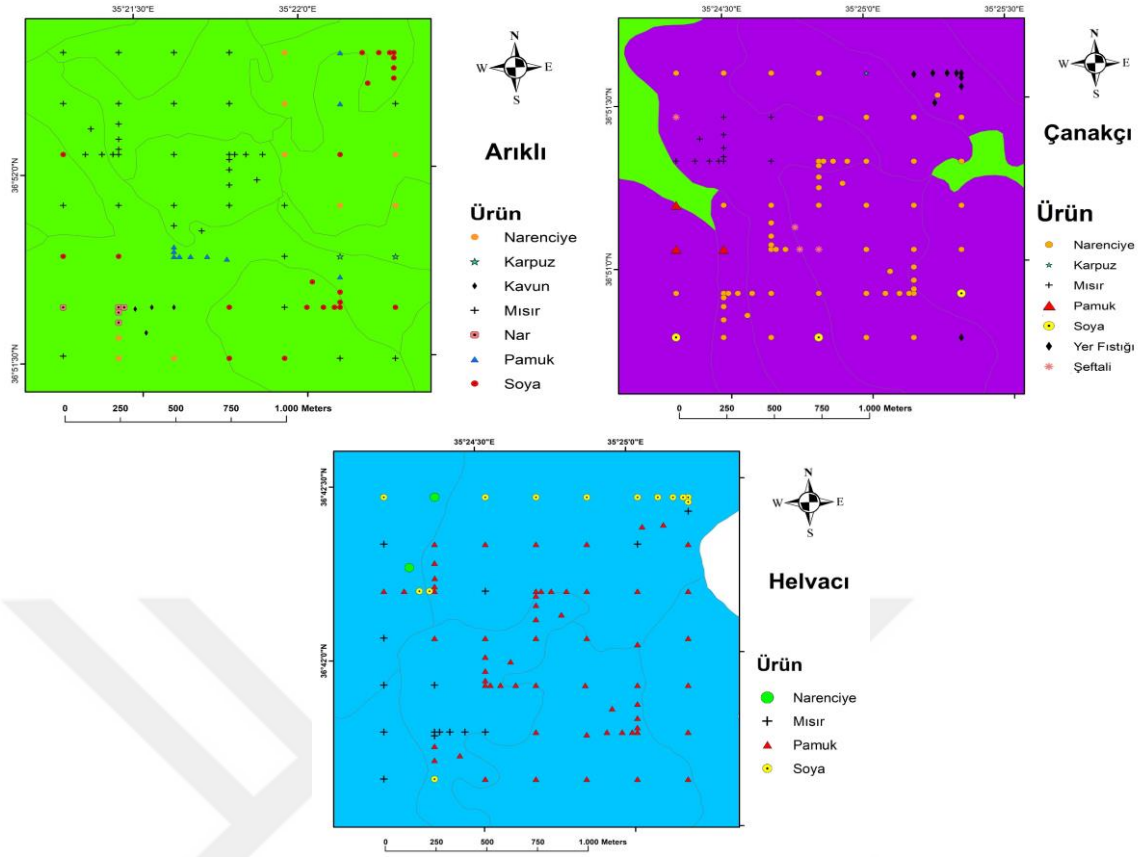
Çalışma kapsamında seçilen üç toprak serisinin (Arıklı, Çanakçı ve Helvacı) yayılım gösterdiği alanlara 1.5 km x 1.5 km genişliğinde kesitler yerleştirilmiş ve toprak örnekleme ile arazi ölçümleri için bu kesitler 250 m x 250 m'lik kare gridlere ayrılmıştır. Bu sayede her bir seride toplam 49 nokta belirlenmiştir. Toprak örnekleme ve ölçümleri her bir gridin yaklaşık olarak köşe noktasında gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra belirlenen özelliklerin 250 metreden daha kısa mesafelerdeki değişimlerinin daha doğru tahmin edilebilmesi amacıyla 6 adet gridin köşe noktaları arasına ara örnekleme hatları yerleştirilmiştir. Bu hatlar üzerinde güney-kuzey ve doğu-batı yönlerinde 25 m, 75 m ve 150 m mesafelerde olmak üzere toplam 36 örnek ve bu noktaların kuzey-doğu, kuzey-batı, güney-doğu ve güney-batı istikametinde 175 m uzaklıktan olmak üzere 6 adet örnekleme yapılmıştır. Her kesit içerisine toplamda 42 ara örnekleme noktası ilave edilmiş ve örnek sayısı her seri için 91 olmuştur (Şekil 3.4 ve 3.5).

Toprak örnekleme ve ölçümlerin yapılacağı noktalarda gereken malzemeler ve ön çalışmalar için 01.09.2018 tarihinde hazırlıklara başlanmıştır. Hazırlıklar tamamlandıktan sonra coğrafi koordinatları bilinen toprak örnekleme noktalarına bir GPS aleti yardımıyla ulaşılmıştır. Yol veya kanallara (sulama veya drenaj kanalları) denk gelen örnekleme noktaları en yakın örneklenebilir nokta ile değiştirilmiş ve yeni noktanın koordinatları kayıt edilmiştir. Toprak örnekleme ve arazi ölçümleri yağışlara bağlı olarak 13.09.2018 – 28.09.2018 tarihleri arasında toplam 10 ayrı günde tamamlanmıştır. Toprak örnekleme, arazi kullanım değişiminin etkilerinin çalışıldığı birçok çalışmada tercih edilen ve birçok kültür bitkisi için en etkin kök derinliği olan 0-20 cm'de (Wang ve ark., 2012; Wu ve ark., 2019) yapılmıştır. Analiz yöntemine/amacına bağlı olarak her bir noktada 3 adet bozulmuş ve 3 adet bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Ayrıca toprak örnekleme noktalarının çevresinde dijital penetrometre (Eijkelkamp Penetrologger 06.15.SA, ASAE, 1994) ile 5 adet 0-30 cm derinlikte penetrasyon okuması yapılarak toprak sıkışması ile ilgili veri alınmış, bunun 0-20 cm derinliği işleme alınmıştır. Bu sayede üç seriyi temsilen çalışma alanından toplam

819 adet bozulmuş ve 819 adet bozulmamış toprak örneği alınmış ve 1365 adet penetrasyon okuması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca örnekleme noktalarında arazi gözlemleri yapılmış ve arazide ekili olan veya hasat edilmiş son ürün/ürünler kayıt edilmiştir (Çizelge 3.4).



Şekil 3.4. Serilere ait örnekleme noktalarının Aşağı Seyhan Ovasındaki dağılımları



Şekil 3.5. Örnekleme noktaları ve bu noktalarda kaydedilen son ürünler

Çizelge 3.4. Örnekleme noktalarındaki son ürünler

Ürün	Arıklı	Çanakçı Adet	Helvacı
Mısır	38	12	15
Soya	23	3	13
Pamuk	10	3	61
Karpuz	2	1	-
Kavun	4	-	-
Yer fıstığı	-	9	-
Narenciye	9	59	2
Şeftali	-	4	-
Nar	5	-	-

Alınan bozulmamış toprak örnekleri, toprakların hacim ağırlığı, tarla kapasitesindeki su içeriği, su dolu gözenek hacmi ve toplam gözenekliliğin belirlenmesinde kullanılmıştır. Aynı noktadan alınan 3 adet bozulmuş toprak örneğinin bir adedi biyolojik toprak parametreleri için, bir adedi kimyasal toprak analizleri için, diğer bir adedi ise agregat stabilitesi ve ağırlıklı ortalama çap analizleri için kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Toprak örneklerinin alınması ve arazi ölçümlerinin yapılması (a: Bozulmuş örneklerin alınması, b: bozulmamış örneklerin alınması, c: penetrasyon ölçümü)

Strüktür göstergeleri olarak agregat stabilitesi ve ağırlıklı ortalama çap analizleri için alınan bozulmuş toprak örnekleri direkt olarak arazide herhangi sert bir darbeye maruz bırakılmadan sadece parmak uçları ile kuvvet uygulanmadan dağıtılmış ve bu örnekler 8 mm'lik elekten geçirilerek analize hazır duruma getirilmiştir (Şekil 3.6). Bozulmamış toprak örnekleri, 100 cm³ hacimli çelik silindirler kullanılarak alınmıştır (Şekil 3.6). Biyolojik analizler için alınan bozulmuş toprak örnekleri kapalı ve soğuk ortamda tutulmuş ve aynı gün içerisinde soğuk zincir koşullarında bölüm laboratuvarındaki buzdolabına aktarılmıştır. Alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri itina ile bölüm laboratuvarlarına taşınarak analizlere hazırlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinin analize hazırlanması

3.6. Toprak Analizleri

Bu çalışmada belirlenen fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerine ait yöntemler ve diğer gerekli bilgiler Çizelge 3.5'de verilmektedir.

Çizelge 3.5. Tezde analizleri yapılan toprak özellikleri ve kullanılan yöntemler

Analiz	Kullanılan Metot
Toprak tekstürü	Bouyoucos hidrometre yöntemiyle yapılmıştır (Gee ve Bauder, 1986).
Agregat stabilitesi	8 mm'lik elekten geçirilerek hazırlanan örneklerde 4.0, 2.0, 1.0 ve 0.5 mm elek takımından oluşan Yoder tipi ıslak eleme aleti kullanılarak
Ağırlıklı ortalama çap	Kemper ve Rosenau (1986)'ya göre saptanmıştır.
Hacim ağırlığı	Sabit hacimli (100 cm ³) çelik silindirlerle alınan bozulmamış toprak örneklerinde belirlenmiştir (Blake ve Hartge, 1986).
Tarla kapasitesi	Basınçlı plakalar sistemi ile belirlenmiştir (Klute, 1986).
Solma noktası	
Yarayışlı su içeriği	
Makro, mikro ve toplam gözeneklilik	Suyla doymun bozulmamış toprak örneklerinde belirlenmiştir (Danielson ve Sutherland, 1986).
Su ile dolu gözenek hacmi	Hacimsel su içeriğinin toplam gözenekliliğe oranı şeklinde belirlenmiştir (Linn ve Doran, 1984).
Penetrasyon direnci	Dijital penetrometre ile (Eijkelkamp Penetrologger 06.15.SA) belirlenmiştir (ASAE, 1994).
Toprak reaksiyonu	Saturasyon çamurunda belirlenmiştir (Rhoades ve ark., 1999).
Elektriksel iletkenlik	
Kireç	Scheibler kalsimetresi ile karbondioksit çıkış hacmine göre belirlenmiştir (Kacar, 1994).
Organik madde	Modifiye edilmiş Walkey-Black metoduna göre belirlenmiştir (Nelson ve Sommers, 1982).
Yarayışlı fosfor (P)	Sodyum bikarbonat metodu ile belirlenmiştir (Olsen ve ark., 1954).
Ekstrakte edilebilir potasyum (K)	1N amonyum asetat ekstraksiyonu ile belirlenmiştir (Thomas, 1982).
Sodyum adsorbsiyon oranı	Saturasyon çamurundan ekstrakte edilen süzüklerde Atomik Absorpsiyon Spektrometresinde su ile yer değiştiren Ca, Mg ve Na $SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$ iyonlarının konsantrasyonları ölçülmüş ve ile belirlenmiştir (Soil Survey Staff, 1996). ilişkisi
Mikrobiyal biyokütle karbonu	SIR yöntemine göre belirlenmiştir (Anderson ve Domsch, 1978).
β-glikosidaz enzim aktivitesi	p-nitrophenol'ün kolorimetrik tahminine göre belirlenmiştir (Tabatabai, 1982).

3.7. Toprak Kalitesi Değerlendirmesi

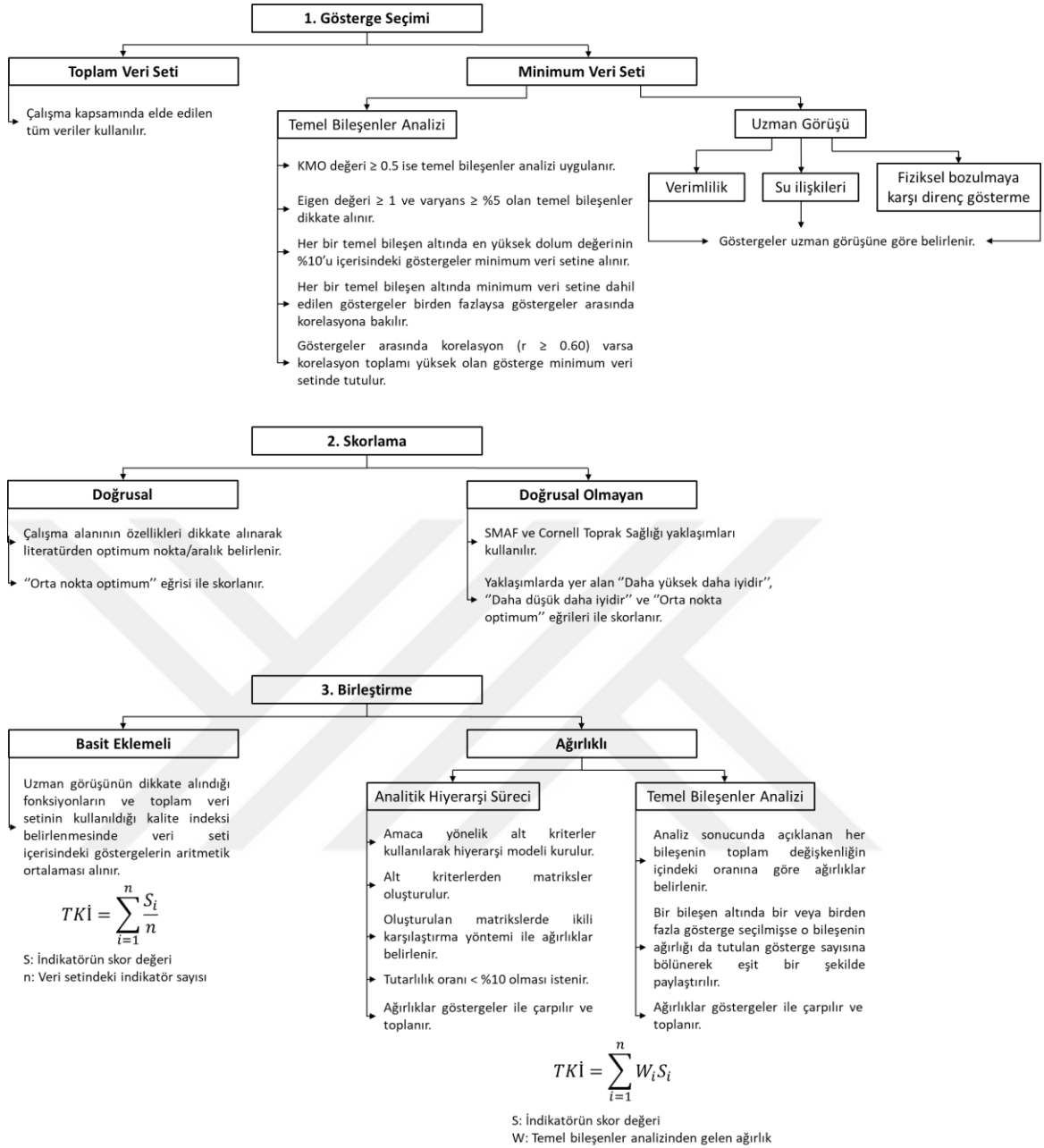
Avrupa Birliği Komisyonu, toprak kalitesinin sürdürülebilir tarımın korunmasında bir ön koşul olduğunu bildirmiş (Audsley ve ark., 1997) ve toprak kalitesi üzerine yapılan çalışmaların arttırılmasını kararlaştırmıştır. Bugüne kadar arazi kullanım kabiliyet sınıflandırması (Klingebiel ve Montgomery, 1961), skor kartları (Romig ve ark., 1995), toprak kalitesi test kitleri (Liebig ve ark., 1996), toprak koşullandırma indeksi (SCI) (NRCS, 2003), tarımsal ekosistem performans değerlendirme aracı (AEPAT) (Liebig ve ark., 2004), agro-ekolojik karar destek sistemi (MicroLEIS DSS) (de la Rosa ve ark., 2004), toprak amenajman değerlendirme çerçevesi (SMAF) (Andrews ve ark., 2004) ve Cornell toprak sağlığı değerlendirme (CSHA) (Gugino ve ark., 2009) gibi geliştirilmiş birçok toprak kalitesi değerlendirme yöntemi mevcuttur.

Temel olarak toprakların üretkenlik kapasitesinin sürdürülebilirliğinin sağlanması için bu yöntemler geliştirilse de alana özgü yeni değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiği birçok

araştırmacı tarafından rapor edilmektedir. Bu çalışmada, toprak kalitesi değerlendirmelerinde Amerika Tarım Bakanlığı personeli tarafından geliştirilen ve temel çerçevesi Andrews ve ark. (2004) tarafından açıklanan “Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi” (SMAF) yaklaşımı kullanılmıştır. SMAF’ta agregat stabilitesi, hacim ağırlığı, yarayışlı su içeriği, su dolu gözenek hacmi, toprak pH’sı, elektriksel iletkenlik, bitkiye yarayışlı fosfor ve potasyum, sodyum adsorpsiyon oranı, toprak organik karbonu, mikrobiyal biyokütle karbonu, beta glikosidaz enzim aktivitesi ve potansiyel olarak mineralize olabilir azot olmak üzere toplamda 13 adet göstergeye ait doğrusal olmayan skorlama eğrileri bulunmaktadır. Bu çalışmada potansiyel mineralize olabilir azot dışındaki diğer 12 adet parametreye ait skorlama eğrileri kullanılmıştır. SMAF yaklaşımında yer almayan penetrasyon direncinin skorlamasında ise Cornell Üniversitesindeki araştırmacılar tarafından geliştirilen Cornell Toprak Sağlığı Değerlendirmesinde (CSHA) yer alan, skorlama eğrisi kullanılmıştır (Gugino ve ark., 2009). Her iki yöntem, toprak kalitesi değerlendirmelerinde iklim, topografya, ana materyal gibi temel toprak oluşum faktörlerinin ürünü olan ve amenajmandan etkilenmeyen genetik toprak kalitesi ile birlikte şu anki veya geçmişte uygulanan toprak amenajmanı kararlarını gösteren dinamik toprak kalitesini yansıtmaktadır.

Aşağı Seyhan Ovasında yer alan örnekleme yapıldığı toprak serilerinin her birinde toprakların fonksiyon gösterme kapasitesinin belirlenmesinde Şekil 3.8’de gösterilen işlem akışı uygulanmıştır. Buna göre öncelikle;

- 1.) Toprak kalitesi değerlendirmelerinde indikatörlerin kullanımı ile oluşan minimum veri setleri temel bileşenler analizi (PCA) ve uzman görüşü ile belirlenmiştir. Ayrıca toprak kalitesi değerlendirilmesinde veri azaltmaya gidilmeden toplam veri seti (TVS) kullanılarak da belirlenmiştir.
- 2.) Her bir veri setinde yer alan indikatörler doğrusal skorlama ve SMAF ve CSHA yaklaşımlarında bulunan doğrusal olmayan skorlama eğrileri kullanılarak birimsiz skorlara dönüştürülmüştür.
- 3.) Uzman görüşüne göre toprak kalitesinin değerlendirilmesinde verimlilik, fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme ve su ilişkileri fonksiyonları dikkate alınarak minimum veri seti (MVS) oluşturulmuş ve bu veri setinde yer alan indikatörler için AHP ile ağırlıklar belirlenmiştir. PCA’nın dikkate alınmasıyla önyargıdan uzak olarak bir başka MVS daha oluşturulmuş ve bu veri setinde yer alan indikatörler için yine temel bileşenler analizinden gelen ağırlıklar kullanılmıştır. Son olarak TVS’de yer alan indikatörlere ise Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile ağırlıklar belirlenmiştir.
- 4.) Ağırlıklandırılmış skorların toplamı ile ağırlıklandırılmış kalite skorları hesaplanmıştır. Bu aşamada indikatör skorları ağırlıklar olmadan aritmetik ortalamaları alınarak da kalite skorları hesaplanmıştır. Böylelikle toplamda 12 adet toprak kalite indeksi (TKİ) belirlenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Toprak kalitesi indeks stratejisi kavram şeması

3.7.1. Minimum Veri Setlerinin Oluşturulması

MVS ile toprağın fonksiyon gösterme kapasitesinin belirlenmesini sağlayacak fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerinden oluşan göstergelerden daha az sayıdaki gösterge grubu oluşturulmuştur. MVS'nin oluşturulmasındaki amaç, toprak kalitesinin kolay ve hızlı bir şekilde ölçülmesi olduğundan, fazla sayıda elde edilen ve birbirleriyle korelasyona sahip olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak kalite parametrelerinden oluşan veri setinin en aza indirilmesi işlemi ile gerçekleştirilir. Bunun sonucunda toprak kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla fazla sayıdaki ölçülmesi zor, pahalı ve zaman alan parametrenin yerine kolay ve hızlı bir şekilde belirlenebilir, veri setinde bulunması anlamlı olan en az sayıdaki göstergeden oluşan yeni veri seti elde edilmiş

olacaktır. Ayrıca MVS'nin uygunluğunu değerlendirebilmek için tez kapsamında ölçülen ve skorlaması yapılan 13 gösterge kullanılarak oluşturulan TVS ile toprak kalite indeksleri de belirlenmiştir.

MVS oluşturabilmek için uzman görüşü ve önyargıdan uzak olarak istatistiksel veri azaltması şeklinde iki ana yöntem geliştirilmiştir. Tez kapsamında belirlenen birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özellikleri içerisinde arzu edilen toprak kalitesinin belirlenmesinde en etkili olan göstergelerden oluşan MVS'ni belirlemede uzman görüşü ve temel bileşenler analizi kullanılmıştır.

Temel Bileşenler Analizi ile Minimum Veri Setinin Oluşturulması

Temel bileşenler analizi, farklı ürün ve toprak koşulları altında toprak kalitesi değerlendirmeleri için kullanılabilecek en uygun özellikleri tanımlamak için kullanılan esnek bir araç olup (Andrews ve ark., 2002), çevresel veya agronomik açıdan önemli parametreler yerine, önyargıdan uzak bir şekilde istatistiksel olarak en hassas olan özelliklerin neler olduğunu belirlemektedir. PCA kullanarak toprak kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla MVS oluşturulurken Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) küresellik testi dikkate alınmaktadır. KMO testi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum a_{ij}^2}$$

Burada r_{ij}^2 , göstergeler arasındaki korelasyonları belirtmektedir. Bunlar aynı zamanda korelasyon matrisinin köşegen dışı değerleridir. a_{ij}^2 ise kısmi korelasyonlardır.

Field (2000), KMO testi için alt sınırın 0.50 olduğunu ve bu sınır değerinin üzerinde KMO test sonuçlarının ise değerlendirilmesi düşünülen verilerin temel bileşenler analizi için uygun olduğunu belirtmiştir. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde yer alan çalışma alanlarında KMO test sonuçlarının > 0.50 olması, her üç seride yer alan verilerin temel bileşenler analizine uygun olduğunu göstermiştir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Arıklı serisine ait veri setinin KMO ve Bartlett küresellik test sonuçları

KMO testi		Arıklı	Çanakçı	Helvacı
		0.593	0.565	0.507
Bartlett küresellik testi	Yaklaşık Ki-Kare	587	518	381
	Serbestlik derecesi	78	78	78
	Önem seviyesi	0.000	0.000	0.000

PCA yönteminde toprak göstergelerinin MVS'ye dahil edilebilmesi için veri setindeki değişkenliğin en az %5'ini açıklayan ve dolum (eigen) değeri ≥ 1.0 olan PC'ler altındaki parametreler dikkate alınmaktadır (Brejda ve ark., 2000; Andrews ve ark., 2002; Mandal ve ark., 2008). Her bir

temel bileşen altında, en yüksek dolum değerinin %10'u içinde kalan indikatörler ilgili temel bileşen içinde tutulmuştur. Bir indikatöre ait dolum değerinin yüksek olması, PC'deki değişkenliğe daha fazla katkı sağladığı anlamına geldiği varsayılmaktadır (Govaerts ve ark., 2006; Askari ve Holden, 2015). Buna karşın en yüksek dolum değerinin %10'u içinde olmayan ancak yüksek dolum değerine sahip olan göstergeler varsa, bu göstergelerin veri setindeki değişkenliğe katkısı yüksek olsa da, değerlendirmeye alınmamıştır. Bu sayede toprak kalitesinin belirlenmesi için oluşturulan veri setinin, minimum sayıda gösterge ile temsil edilmesi hedeflenmiştir. Bazı durumlarda, her bir PC'den gösterge seçim kriterlerine uyan birden fazla değişken gösterge olarak veri setine girebilmektedir. Böyle bir durumda ise değişkenler arasındaki fazlalık çok değişkenli korelasyonla analiz edilmektedir. Eğer PC altında tanımlanan göstergeler arasında korelasyon < 0.60 ise her bir gösterge önemli olarak düşünülür ve MVS içinde tutulur. Ancak göstergeler arasında korelasyon > 0.60 ise bu durumda en yüksek korelasyon toplamına sahip değişken veri setinde tutulur ve diğer değişken ise veri setinden çıkartılır (Lin ve ark., 2017).

Arıklı serisi için toprak kalitesini belirlemek adına oluşturulan minimum veri setinde PCA'ya göre verideki değişkenliğin %70.77'si ilk 4 PC tarafından açıklanmıştır (Çizelge 3.7). Temel bileşenler altında yer alan en yüksek dolum değerleri ve bu değerlerin %10'u içinde kalan göstergelerden bir MVS oluşturulmuştur. PC1'de potasyum, organik karbon, mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi, PC2 içinde yarayışlı su içeriği ve su dolu gözenek hacmi, PC3 içinde toprak pH'sı ve PC4 içinde ise hacim ağırlığı göstergeleri MVS'ye dahil edilmiştir.

Bu aşamada, her bir bileşen altında birbiriyle yüksek derecede ilişki bulunan göstergelerin belirlenmesi ve bu göstergelerin minimum veri setinde tutulup tutulmayacağına karar verilmesi için çok değişkenli korelasyon analizi kullanılmıştır. Bu amaçla, PC1 altında yer alan mikrobiyal biyokütle karbonu ile diğer göstergeler ve beta glikosidaz enzim aktivitesi ile potasyum arasında yüksek derecede korelasyon bulunmuştur (Çizelge 3.8). Bununla birlikte organik karbon ile potasyum ve beta glikosidaz enzim aktivitesi arasında herhangi bir ilişki bulunmamıştır. Potasyum, organik karbon, mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesinin korelasyon toplamı ise sırasıyla 5.614, 5.317, 5.886 ve 5.932'dir. Bu durumda potasyum ile mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi arasında yüksek derecede ilişki olduğu için korelasyon toplamı yüksek olan beta glikosidaz enzim aktivitesi veri setinde tutulurken, diğer iki gösterge uzaklaştırılmıştır. Ayrıca beta glikosidaz enzim aktivitesi ile organik karbon arasında bir ilişki bulunmadığı için her iki göstergede veri setinde tutulmuştur. PC2 altında tanımlanan yarayışlı su içeriği ve su dolu gözenek hacmi göstergeleri arasındaki korelasyon > 0.60 olduğu için korelasyon toplamı daha yüksek olan yarayışlı su içeriği veri setinde tutulmuş ve su dolu gözenek hacmi ise uzaklaştırılmıştır. PC3 ve PC4 altında sırasıyla en yüksek dolum değerine sahip toprak pH'sı ve hacim ağırlığı tek indikatör olarak tanımlandığından veri seti içerisinde kalmıştır. Bu durumda, Arıklı serisi topraklarının kalitesini belirlemek için kullanılacak MVS, beta glikosidaz enzim aktivitesi, organik karbon, yarayışlı su içeriği, pH ve hacim ağırlığından oluşmuştur.

Çizelge 3.7. Arıklı serisine ait temel bileşenler analiz (PCA) sonuçları

Bileşenler		PC1	PC2	PC3	PC4
Başlangıç Özdeğerleri	Toplam	3.86	2.22	1.71	1.41
	Açıklanan değişkenlik %	29.73	17.05	13.12	10.87
	Toplam %	29.73	46.78	59.90	70.77
	AS	0.26	-0.67	0.27	-0.06
	PD	0.05	-0.20	-0.13	0.60
	YSİ	-0.08	0.77	0.02	-0.46
	HA	-0.28	-0.02	0.15	0.80
	SDGH	0.13	0.82	0.30	-0.11
	pH	-0.17	0.06	0.93	-0.03
	EC	0.23	0.32	-0.65	0.33
	SAR	-0.12	0.18	0.68	0.43
	P	0.66	0.44	-0.18	0.15
	K	0.82	-0.07	-0.14	-0.04
	OK	0.79	-0.06	0.07	-0.01
	MBK	0.87	-0.07	-0.15	-0.09
	BGEA	0.83	-0.07	-0.20	-0.19

Çizelge 3.8. Arıklı serisi toprak kalite göstergeleri arasındaki korelasyon

	AS	PD	YSİ	HA	SDGH	pH	EC	SAR	P	K	OK	MBK	BGEA
AS	1.00												
PD	0.07	1.00											
YSİ	-0.37	-0.21	1.00										
HA	-0.03	0.27	-0.40	1.00									
SDGH	-0.29	-0.25	0.67	0.01	1.00								
pH	0.08	-0.15	0.05	0.15	0.26	1.00							
EC	-0.19	0.03	0.02	0.05	0.08	-0.62	1.00						
SAR	-0.01	0.11	-0.02	0.28	0.14	0.60	-0.15	1.00					
P	-0.17	0.04	0.21	-0.13	0.26	-0.23	0.35	-0.09	1.00				
K	0.14	0.02	-0.13	-0.25	0.01	-0.23	0.21	-0.23	0.52	1.00			
OK	0.30	-0.06	-0.14	-0.16	0.17	-0.13	0.20	-0.14	0.37	0.50	1.00		
MBK	0.15	0.01	-0.09	-0.33	-0.02	-0.27	0.21	-0.22	0.55	0.63	0.62	1.00	
BGEA	0.14	0.10	0.02	-0.42	-0.01	-0.30	0.20	-0.29	0.45	0.72	0.52	0.78	1.00
KT	3.95	3.33	4.34	4.48	4.18	5.10	4.31	4.27	5.38	5.61	5.32	5.89	5.93

PD: Penetrasyon direnci, HA: Hacim ağırlığı, AS: Agregat stabilitesi, YSİ: Yarıyışlı su içeriği, SDGH: Su dolu gözenek hacmi, EC: Elektriksel iletkenlik, SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı, P: Fosfor, K: Potasyum, OK: Organik karbon, MBK: Mikrobiyal biyokütle karbon, BGEA: Beta glikosidaz enzim aktivitesi, KT: Korelasyon toplamı

Çanakçı serisi topraklarının kalitesini belirlemek için oluşturulacak MVS için yapılan PCA'ya göre veri setindeki değişkenliğin %74.10'u ilk 5 PC ile açıklanmıştır (Çizelge 3.9). Temel bileşenler altında yer alan en yüksek dolun değerinin %10'u içinde kalan göstergeler PC1'de organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi, PC2'de su dolu gözenek hacmi, PC3'de penetrasyon

direnci ve mikrobiyal biyokütle karbonu, PC4’de elektriksel iletkenlik ve PC5’de ise sodyum adsorbsiyon oranı MVS içerisine ilk aşamada dahil edilen göstergeler olmuştur.

PC1 içinde organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi arasındaki korelasyon > 0.60 olduğundan korelasyon toplamı daha yüksek olan organik karbon MVS’de tutulmuş, beta glikosidaz enzim aktivitesi ise çıkarılmıştır (Çizelge 3.10). PC2 içinde sadece su dolu gözenek hacmi seçilmiştir. PC3’de yer alan penetrasyon direnci ile mikrobiyal biyokütle karbon arasındaki korelasyon < 0.60 olduğundan iki gösterge de veri setinde tutulmuştur. PC4 ve PC5 içerisinde tek bir gösterge olduğu için sırasıyla elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorbsiyon oranı veri setinde tutulmuştur. Bu durumda Çanakçı serisi topraklarının kalitesini belirlemek için kullanılacak MVS, organik karbon, su dolu gözenek hacmi, penetrasyon direnci, mikrobiyal biyokütle karbonu, elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorbsiyon oranı şeklinde oluşturulmuştur.

Çizelge 3.9. Çanakçı serisine ait temel bileşenler analiz sonuçları

Bileşenler		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Başlangıç Özdeğerleri	Toplam	3.34	2.40	1.59	1.20	1.10
	Açıklanan değişkenlik %	25.73	18.47	12.26	9.20	8.45
	Toplam %	25.73	44.19	56.45	65.65	74.10
	AS	0.63	-0.25	0.28	-0.17	0.32
	PD	0.04	-0.04	<u>0.73</u>	0.07	-0.01
	YSi	0.01	0.78	-0.16	0.10	-0.38
	HA	-0.13	0.80	0.17	0.07	0.27
	SDGH	0.31	<u>0.89</u>	-0.11	0.07	0.13
	pH	-0.46	0.05	0.19	-0.73	0.09
	EC	-0.10	0.21	0.04	<u>0.89</u>	0.14
	SAR	0.05	0.10	-0.14	0.09	<u>0.91</u>
	P	0.78	0.12	-0.10	0.24	-0.01
	K	0.46	-0.06	-0.48	0.04	0.04
	OK	<u>0.91</u>	0.04	0.04	0.04	0.01
	MBK	0.23	-0.05	<u>0.72</u>	-0.19	-0.09
	BGEA	<u>0.87</u>	0.15	0.23	-0.03	-0.04

Çizelge 3.10. Çanakçı serisi toprak kalite göstergeleri arasındaki korelasyon

	AS	PD	YSİ	HA	SDGH	pH	EC	SAR	P	K	OK	MBK	BGEA
AS	1.00												
PD	0.11	1.00											
YSİ	-0.30	-0.12	1.00										
HA	-0.21	0.11	0.31	1.00									
SDGH	0.05	-0.12	0.66	0.67	1.00								
pH	-0.15	0.17	-0.09	0.06	-0.19	1.00							
EC	-0.15	0.02	0.23	0.23	0.24	-0.46	1.00						
SAR	0.16	-0.09	-0.12	0.19	0.21	-0.03	0.20	1.00					
P	0.22	0.04	0.07	0.06	0.30	-0.46	0.12	0.09	1.00				
K	0.05	-0.06	-0.03	-0.07	0.12	-0.22	0.00	0.09	0.42	1.00			
OK	0.54	0.11	0.04	-0.10	0.33	-0.40	-0.04	0.06	0.67	0.32	1.00		
MBK	0.28	0.28	-0.11	0.01	-0.09	0.11	-0.15	-0.12	0.05	-0.15	0.14	1.00	
BGEA	0.54	0.12	0.11	0.02	0.34	-0.33	-0.05	0.01	0.63	0.20	0.75	0.34	1.00
KT	4.74	3.34	4.19	4.04	5.32	4.66	3.89	3.35	5.14	3.73	5.51	3.82	5.47

PD: Penetrasyon direnci, HA: Hacim ağırlığı, AS: Agregat stabilitesi, YSİ: Yarayırlı su içeriği, SDGH: Su dolu gözenek hacmi, EC: Elektriksel iletkenlik, SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı, P: Fosfor, K: Potasyum, OK: Organik karbon, MBK: Mikrobiyal biyokütle karbon, BGEA: Beta glikosidaz enzim aktivitesi, KT: Korelasyon toplamı

Helvacı serisinin toprak kalitesini belirlemek için oluşturulacak MVS için yapılan PCA'ya göre veri setindeki değişkenliğin %61.79'u ilk 4 PC tarafından açıklanmıştır (Çizelge 3.11). Temel bileşenler altında yer alan en yüksek dolum değerinin %10'u içinde kalan göstergeler olarak PC1'de yarayırlı su içeriği ve su dolu gözenek hacmi, PC2'de organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi, PC3'de elektriksel iletkenlik ve PC4'de ise hacim ağırlığı minimum veri seti için ilk aşamada seçilen göstergeler olmuştur. Birinci temel bileşen içinde yarayırlı su içeriği ve su dolu gözenek hacmi göstergeleri arasındaki yüksek derecede ilişki olduğundan iki gösterge arasındaki korelasyon toplamı daha yüksek olan su dolu gözenek hacmi veri setinde tutulmuş ve yarayırlı su içeriği ise veri setinden çıkarılmıştır (Çizelge 3.12). PC2 içinde organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi arasında önemli bir ilişki olmadığı için her iki gösterge de veri setinde tutulmuştur. PC3 ve PC4 bileşenleri içerisinde tek bir gösterge en yüksek dolumun %10'u içerisinde olduğu için sırasıyla elektriksel iletkenlik ve hacim ağırlığı veri seti içerisinde tutulan göstergeler olmuştur. Bu durumda Helvacı serisi topraklarının kalitesini belirlemek için kullanılacak minimum veri seti, su dolu gözenek hacmi, organik karbon, beta glikosidaz enzim aktivitesi, elektriksel iletkenlik ve hacim ağırlığı şeklinde oluşturulmuştur.

Çizelge 3.11. Helvacı serisine ait temel bileşenler analiz sonuçları

Bileşenler		PC1	PC2	PC3	PC4
Başlangıç Özdeğerleri	Toplam	2.85	2.24	1.70	1.23
	Açıklanan değişkenlik %	21.95	17.27	13.10	9.47
	Toplam %	21.95	39.22	52.32	61.79
	AS	-0.08	0.55	-0.36	0.30
	PD	-0.71	0.07	-0.19	-0.22
	YSİ	0.73	-0.12	-0.32	0.01
	HA	-0.05	-0.23	0.05	-0.76
	SDGH	0.81	-0.10	-0.15	-0.31
	pH	0.43	0.07	-0.72	-0.12
	EC	-0.13	-0.23	0.80	0.02
	SAR	0.39	-0.47	0.20	0.46
	P	-0.04	-0.01	0.04	0.52
	K	0.41	0.33	0.60	0.06
	OK	-0.08	0.79	-0.11	-0.09
	MBK	-0.53	-0.04	0.22	0.54
	BGEA	-0.03	0.74	0.13	0.17

Çizelge 3.12. Helvacı serisi toprak kalite göstergeleri arasındaki korelasyon

	AS	PD	YSİ	HA	SDGH	pH	EC	SAR	P	K	OK	MBK	BGEA
AS	1.00												
PD	0.15	1.00											
YSİ	0.06	-0.27	1.00										
HA	-0.20	0.22	-0.06	1.00									
SDGH	-0.04	-0.35	0.73	0.34	1.00								
pH	0.11	-0.12	0.41	0.02	0.38	1.00							
EC	-0.29	0.00	-0.22	0.07	-0.22	-0.60	1.00						
SAR	-0.16	-0.34	0.23	-0.12	0.17	0.01	0.33	1.00					
P	0.05	-0.02	-0.13	-0.13	-0.09	-0.06	0.02	0.16	1.00				
K	-0.03	-0.27	0.03	-0.13	0.18	-0.14	0.20	0.05	0.06	1.00			
OK	0.34	0.13	-0.13	-0.16	-0.17	0.19	-0.13	-0.31	-0.05	0.04	1.00		
MBK	0.16	0.28	-0.30	-0.25	-0.47	-0.48	0.19	0.06	0.17	0.05	-0.13	1.00	
BGEA	0.34	0.06	-0.12	-0.16	-0.11	-0.11	-0.06	-0.15	0.14	0.14	0.43	0.11	1.00
KT	3.95	4.20	4.68	3.86	5.25	4.63	4.34	4.09	3.09	3.32	4.20	4.64	3.94

PD: Penetrasyon direnci, HA: Hacim ağırlığı, AS: Agregat stabilitesi, YSİ: Yarıyışlı su içeriği, SDGH: Su dolu gözenek hacmi, EC: Elektriksel iletkenlik, SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı, P: Fosfor, K: Potasyum, OK: Organik karbon, MBK: Mikrobiyal biyokütle karbon, BGEA: Beta glikosidaz enzim aktivitesi, KT: Korelasyon toplamı

Uzman Görüşü ile Minimum Veri Setinin Oluşturulması

Aşağı Seyhan Ovasında bitkisel üretimde toprakların yoğun bir şekilde işlenmesi, gereğinden fazla gübrenilmesi, salma sulama yönteminin tercih edilmesi ve pestisit kullanımının toprak ve çevre üzerinde önemli derecede olumsuz etkileri söz konusudur. Uzun süredir devam eden

bu uygulamaların toprak kalitesine etkisini belirlemek için uzman görüşüne göre **i.)** verimlilik, **ii.)** fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme ve **iii.)** su ilişkileri fonksiyonları toprak kalitesinin bileşenleri olarak seçilmiştir. Tez kapsamında her ne kadar genetik olarak birbirinden farklı seriler seçilse de üç serinin bulunduğu iklim koşullarının aynı olması ve çiftçilerin bölgede benzer tarımsal uygulamaları kullanıyor olması nedeniyle minimum veri setleri üç seri için ortak kullanılmıştır. Aynı veri setinin kullanılması, ilgili fonksiyonların seriler bazında daha objektif karşılaştırılmasını mümkün kılacaktır.

Verimlilik fonksiyonu, ekonomik yönden önemli olan bitkilerin üretim miktarını, kalitesini ve sürekliliğini geliştirmek veya korumak olarak tanımlanmaktadır (Andrews ve ark., 2004). Yapılan çalışmalarda toprakların verimliliklerinin belirlenmesi için organik karbon, yarayışlı fosfor ve ekstrakte edilebilir potasyum içerikleri toprak kalite değerlendirmesinde en çok kullanılan göstergeler olmuştur (Andrews ve ark., 2004; Shao ve ark., 2016; Bünemann ve ark., 2018). Bu sebeple Aşağı Seyhan Ovasında yer alan toprakların verimlilik fonksiyonu için oluşturulan MVS’de bu üç gösterge yer almıştır. Organik karbon dinamiğinde temel bir rol oynayan mikrobiyal biyokütle karbonu (Grandy ve Neff, 2008; Liang ve ark., 2011), toprak verimliliği ve ekosistem üretkenliğinin göstergesi olarak kabul edildiği için (Singh ve Gupta, 2018) verimlilik fonksiyonunun bir diğer göstergesi olmuştur. Küresel ısınma, yağışlardaki dengesizlik gibi problemler dünyanın birçok yerinde ciddi su sıkıntılarının oluşmasına neden olmaktadır (du Plessis, 2019). Bu durum özellikle de kurak ve yarı kurak bölgeler başta olmak üzere bitkisel üretim için toprakta bulunan suyun bitkiye yarayışlı halde olmasını önemli kılmaktadır (Acar ve ark., 2020). Kurak ve yarı kurak bölgelerde çok sınırlı olan suyun yarayışlı halde olması, bitkilerin ihtiyacı olan suyu ve beraberinde besin elementlerini kolaylıkla alabilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle toprağın yarayışlı su içeriği, verimlilik fonksiyonunun önemli bir göstergesi olarak kabul edilmiştir. Ovada bitkisel üretimde azotlu gübreler başta olmak üzere kimyasal gübrelerin yoğun bir şekilde kullanılması (İbrikçi ve ark., 2015), besin elementlerinin yarayışlılığını kontrol eden toprak pH’sını ön plana çıkarmaktadır. Bununla birlikte, aşırı sulamanın yaygınlığı nedeniyle taban suyunun yükselmesi ve yüksek miktarda kimyasal gübre kullanımı, toprak tuzluluğuna sebep olabileceği için elektriksel iletkenlik izlenilmesi gereken parametrelerden birisi olarak dikkate alınmıştır. Yapılan değerlendirmelerde, verimlilik fonksiyonunun değerlendirilmesinde **1)** organik karbon, **2)** yarayışlı fosfor, **3)** ekstrakte edilebilir potasyum, **4)** mikrobiyal biyokütle karbon, **5)** yarayışlı su içeriği, **6)** toprak pH’sı ve **7)** elektriksel iletkenlik göstergeleri seçilmiştir.

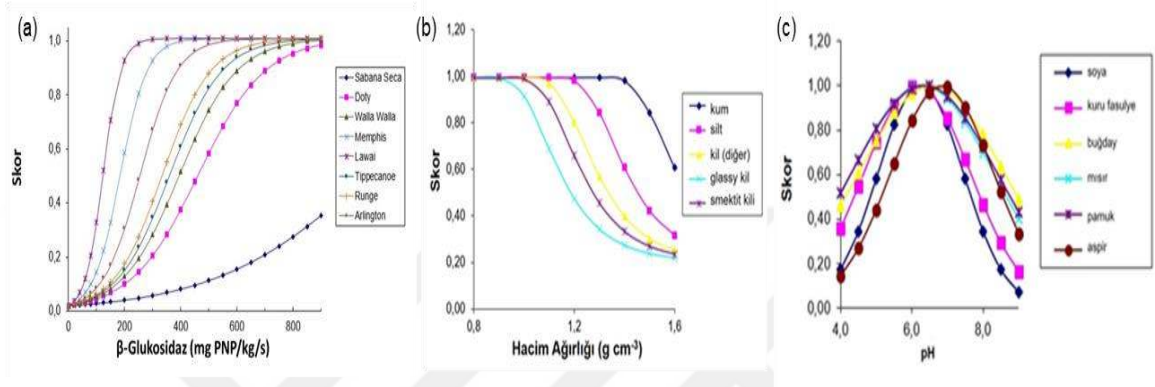
Fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu, toprağın fiziksel yapısının durumunu ifade etmeye yardımcı olmaktadır. Toprak yapısı, diğer birçok fonksiyonlarla yakından alakalı olduğundan, fiziksel yapısı iyi olan toprak, bitki kökünün gelişmesi için uygun bir ortam sağlayan, rüzgar ve suyun erozyona neden olan kuvvetlerine karşı dayanıklıdır (Andrews ve ark., 2004). Bu sebeple, toprakta aşınmaya karşı dayanıklılığın önemli bir göstergesi olan agregat stabilitesi ve bu stabilitenin korunmasını ve iyileşmesini sağlayan organik karbon, fiziksel bozulmaya karşı direnç

gösterme fonksiyonunun önemli göstergeleri olarak kabul edilmektedir. Selüloz parçalanmasının son aşamasında glikoz açığa çıkmasında rol alan beta glikosidaz enzim aktivitesi (Knight ve Dick, 2004), toprakta agregatlaşmayı sağlayan organik maddenin ayrışmasından sorumlu olduğu için fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu altında tanımlanan bir diğer gösterge olarak seçilmiştir. Toprakta sodiklik tehlikesinin göstergesi olan sodyum adsorbsiyon oranı takip edilmesi gereken göstergelerden birisidir. Son olarak, Aşağı Seyhan Ovasında tarımsal üretimde geleneksel olarak yoğun bir toprak işleme yapıldığından (Celik ve ark., 2012) sıkışmanın derecesi ve sıkışmış katmanların varlığının belirlenmesinde en çok kullanılan iki parametre olduklarından penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı (Diaz-Zorita, 2000; Abu-Hamdeh, 2003) toprağın fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunun tanımlanmasında kullanılan diğer göstergeler olmuştur. Sonuç olarak fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu altında **1) agregat stabilitesi, 2) organik karbon, 3) beta glikosidaz enzim aktivitesi, 4) sodyum adsorbsiyon oranı, 5) penetrasyon direnci ve 6) hacim ağırlığı** göstergeleri seçilmiştir.

Su ilişkileri fonksiyonu, toprak içerisinde su ve çözeltilerin depolanması ve hareketlerinin tanımlanmasından sorumludur (Andrews ve ark., 2004). Ovada iklim değişimi üzerine yapılan bir projeksiyonda, 2070 yılında yüzey sıcaklığının 2-3.5 °C arasında artacağı ve beklenen yağışlarda %25 civarında azalacağı rapor edilmiştir (Watanabe ve ark., 2019). Birçok araştırma sonucunda ise Ovayı içine alan Seyhan Havzası'nda daha şiddetli kurak dönemlerin görülme olasılığının yüksek ve havzanın kuraklığa eğilimli olduğu vurgulanmıştır (Topçu ve Seçkin, 2016; Keskiner ve ark., 2016; Gül ve Kuzucu, 2016; Gümüş ve Algin, 2017). Bu nedenle, su ilişkileri fonksiyonu çalışma alanı için önemli bir fonksiyon olarak ele alınmıştır. Yarayışlı su içeriği, su ilişkileri fonksiyonu altında tanımlanan en önemli gösterge olarak kabul görmektedir (Andrews ve ark., 2004). Toprak işlemenin geleneksel ve yoğun bir şekilde yapılması sebebiyle hacim ağırlığında meydana gelecek artış, suyun toprak içerisindeki hareketini olumsuz etkileyeceğine işaret edeceğinden toprağın su ilişkileri fonksiyonunun yerine getirilmesinde hacim ağırlığının önemli bir gösterge olacağı düşünülmüştür. İklim değişimi tehlikesi nedeniyle Akdeniz iklimi altındaki Aşağı Seyhan Ovasında toprak tuzluluğu ve sodikliğinin göstergeleri olan elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorbsiyon oranı, izlenmesi gereken göstergelerdir. Toprakta agregat oluşumu ile gözenekliliğin artması, suyun tutulması ve depolanmasına katkı veren organik karbon (Ankenbauer ve Loheide II, 2017) ve toprağın suyun iletiminde etkili olan agregat stabilitesi (Seybold ve Herrick, 2001) su ilişkileri fonksiyonunun göstergeleri olarak değerlendirmeye alınmıştır. Mikrobiyal aktivitenin önemli göstergelerinden birisi olan (Linn ve Doran, 1984) ve aynı zamanda düşük olduğunda bitkinin kök büyümesinin baskılanmasına neden olan (Wienhold ve ark., 2009) su dolu gözenek hacmi, su ilişkileri fonksiyonu altında tanımlanan ve izlenmesi gereken bir diğer göstergedir. Böylece su ilişkileri fonksiyonu altında veri setine **1) yarayışlı su içeriği, 2) hacim ağırlığı, 3) elektriksel iletkenlik, 4) sodyum adsorbsiyon oranı, 5) organik karbon, 6) agregat stabilitesi ve 7) su dolu gözenek hacmi** gösterge olarak seçilmiştir.

3.7.2. Toprak Kalite Göstergelerinin Skorlanması

Göstergelerin skorlanması, ilgili toprak fonksiyonunun her bir ölçümle nasıl ilişkilendirilebileceğini yorumlamada ve göstergelerin birim farklılıklarını ortadan kaldırarak bir indeks içerisine dâhil etmede gereklidir (Acir, 2014). Skorlama kavramını toprak göstergelerinin yorumlamalarında ilk defa Karlen ve Stott (1994) kullanmışlardır. Bu amaçla araştırmacılar “daha fazla daha iyidir” (Şekil 3.9a), “daha az daha iyidir” (Şekil 3.9b) ve “orta nokta optimumdur” (Şekil 3.9c) şeklinde üç ana skorelama eğrisi kullanmışlardır.



Şekil 3.9. “Daha fazla daha iyidir” skorelama eğrisi (a), “Daha az daha iyidir” skorelama eğrisi (b) ve “Orta nokta optimumdur” skorelama eğrisi (c)

Tez kapsamında göstergelerin skorlanarak birimsiz hale dönüştürülmesinde doğrusal ve doğrusal olmayan skorelama eğrileri kullanılmıştır. Doğrusal skorelamada ölçülebilen tüm özellikler skorlanabilmektedir. Bu özellikler, toprak fonksiyonu açısından daha yüksek bir değerin “iyi” veya “kötü” olarak kabul edilmesine bağlı olarak artan veya azalan sırada sıralanmaktadır (Liebig ve ark., 2001). “Daha fazla daha iyidir” eğrisinde, göstergelerin her değeri en yüksek değere bölünerek, en yüksek değer 1.0 skorunu almaktadır. “Daha az daha iyidir” eğrisinde ise, göstergelerin her değeri en düşük değere bölünerek, en düşük değer 1.0 skorunu almaktadır. “Orta nokta optimumdur” eğrisinde ise, belirli bir eşik değer veya aralık dikkate alınarak bu eşik değerin veya aralığın altında veya üstünde olup olmadığına göre “daha fazla daha iyidir” ve “daha az daha iyidir” eğrileri uygulanmaktadır. Bu çalışmada ise her bir toprak göstergesi için önceki çalışmalardan çalışma alanının özellikleri de dikkate alınarak eşik değerler/aralıklar belirlenmiş ve bu eşik değerlere/aralıklara ait bilgiler Çizelge 3.13’te verilmiştir. Gösterge değerleri, belirlenen eşik değerlerin/aralıkların altında veya üstünde olup olmadığına göre “daha fazla daha iyidir” ve “daha az daha iyidir” eğrileri kullanılarak doğrusal olarak skorlanmıştır.

Çizelge 3.13. Doğrusal skorlamada kullanılan eşik değerleri ve kaynakları

Gösterge	Eşik değer	Kaynak
YSİ	%15 - %25 (<%60 kil) %15 - %30 (≥%60 kil)	Craul (1999), Reynolds ve ark. (2002) ve Uzman Görüşü
AS	%60	Andrews ve ark. (2004)
OK	%1.45	Lima ve ark. (2013)
MBK	350 mg kg ⁻¹	Lopes ve ark. (2013)
BGEA	120 mg kg ⁻¹ sa ⁻¹	Lopes ve ark. (2013)
HA	1.39 g cm ⁻³ (≥%55 kil içeren killi topraklar) 1.49 g cm ⁻³ (<%55 kil içeren killi topraklar) 1.54 g cm ⁻³ (orta bünyeli topraklar)	NRCS (2022) ve Uzman görüşü
SAR	3	Bakr ve ark. (2012)
PD	3 MPa	Hakansson ve Lipiec (2000)
SDGH	%60	Linn ve Doran (1984)
pH	6.6-7.3	TÜBİTAK (2017)
EC	0.2 dS m ⁻¹ – 0.5 dS m ⁻¹	Mukherjee ve Lal (2014)
P	10.9 mg kg ⁻¹ - 21.4 mg kg ⁻¹	Bai ve ark. (2013)
K	141 mg kg ⁻¹ ile 370 mg kg ⁻¹	FAO (1990)

YSİ: Yarayışlı su içeriği, AS: Agregat stabilitesi, OK: Organik karbon, MBK: Mikrobiyal biyokütle karbon, BGEA: Beta glikosidaz enzim aktivitesi, HA: Hacim ağırlığı, SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı, PD: Penetrasyon direnci, SDGH: Su dolu gözenek hacmi, EC: Elektriksel iletkenlik, P: Yarayışlı fosfor, K: Ekstrakte edilebilir potasyum

Tarımsal üretim altındaki toprakların sıkışma düzeyinin belirlenmesinde en sık kullanılan parametreler, penetrasyon direnci ve hacim ağırlığıdır (Diaz-Zorita, 2000; Abu-Hamdeh, 2003). Bu özelliklere ait değerler belli bir seviyenin üstüne çıktığında kök gelişiminin olumsuz etkilendiği bilinmektedir. Bu sebeple, toprak kalite çalışmalarında penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı “daha az daha iyidir” eğrisi kullanılarak skorlanmaktadır. Penetrasyon direnci için 2 MPa’ı kök gelişiminin engellendiği kritik değer olarak kullanan çok sayıda çalışma mevcuttur (Bengough ve ark., 2005; Cherubin ve ark., 2016b; Çelik ve ark., 2019). Moraes ve ark. (2014a) kök büyümesine yönelik kısıtlamaların, 2-3 MPa’nın üzerindeki penetrasyon direnci değerleri ile ilişkili olduğunu vurgulamıştır. Bir başka çalışmada ise Moraes ve ark. (2014b) üretim sistemlerinden bağımsız olarak, kritik penetrasyon direnci limitinin minimum toprak işleme için 3 MPa’a ve sıfır işleme için 3.5 MPa’a yükseltilmesi gerektiğini belirtmiştir. Hakansson ve Lipiec (2000) ise 3 MPa’dan büyük penetrasyon direnci değerlerinin, toprak matris su gerilimine bağlı olarak genellikle toprak havalanmasını ve kök büyümesini sınırladığını rapor etmiştir. Bu çalışmada ise, çalışma alanı topraklarının organik madde içeriği, kil miktarı ve tipi düşünülerek penetrasyon direnci için 3 MPa kritik değer olarak tercih edilmiştir. Zira çalışma alanında organik madde değerinin düşük ve kil miktarının yüksek ve tipinin smektit olması (Dinç ve ark., 1995) toprakların sıkışma düzeyi için dikkate alınan değer Moraes ve ark. (2014b)’nda olduğu gibi yüksek olması gerekmektedir. Bu sebeple, bu çalışmada penetrasyon direnci için 3 MPa değeri optimum değer olarak kabul edilmiştir. Bu değer altındaki değerler 1 skorunu alırken, üzerindeki değerler için “daha az daha iyidir” eğrisi kullanılmıştır. Toprak sıkışmasının bir başka göstergesi olan hacim ağırlığı için toprak tekstürü dikkate alınarak eşik değerler belirlenmiştir. Amerika Ulusal Toprak Etüt El Kitabında ≥ %45 kil

içeren killi tekstüre sahip topraklarda 1.39 g cm^{-3} , $< \%45$ kil içeren killi tekstüre sahip topraklarda 1.49 g cm^{-3} ve orta bünyeli topraklarda ise 1.54 g cm^{-3} değerlerinin sıkışma için kritik hacim ağırlığı değerleri olduğu belirtilmiştir (NRCS, 2022). Penetrasyon direncinde olduğu gibi çalışma alanının organik madde içeriği, kil miktarı ve tipi dikkate alınarak hacim ağırlığının skorlanmasında özellikle killi topraklarda dikkate alınan değerler uzman görüşüne göre revize edilmiştir. Bu çalışmada $\%45$ kil içeriği yerine $\%55$ kil içeriği dikkate alınmıştır. $\geq \%55$ kil içeren killi tekstüre sahip topraklarda 1.39 g cm^{-3} , $< \%55$ kil içeren killi tekstüre sahip topraklarda ise 1.49 g cm^{-3} sıkışma için kritik hacim ağırlığı değerleri olarak kullanılmıştır. Bu değerlere kadar hacim ağırlığı 1 skorunu alırken, bu değerlerin üzerinde ise hacim ağırlığı için “daha az daha iyidir” eğrisi kullanılmıştır.

Agregat stabilitesi toprakta agregatların mekanik olarak parçalayıcı ve suyun dispers edici dış kuvvetlere karşı direncini göstermektedir (Günel ve ark., 2008). Eğer toprağın agregat stabilitesi yüksek olursa, toprak yüzeyinde kabuk tabakası oluşmaz ve yüzey akış ve erozyon ile toprak ve besin elementi kaybı gerçekleşmez. Bu sebeple, bitkisel üretimde toprakta bulunan agregatların stabil/dayanıklı olması arzu edilir. Agregat stabilitesi için Andrews ve ark. (2004) tarafından belirtilen $\%60$ değeri kritik eşik olarak dikkate alınmıştır. Bu değer altında “daha fazla daha iyidir” eğrisi kullanılmıştır. Bu değer üzerinde ise agregat stabilite skoru 1 değerini almıştır.

Bitkinin gelişimi için ihtiyaç duyduğu suyu, topraktan rahatlıkla alabildiği aralık olan yarayışlı su içeriği için Craul (1999) ve Reynolds ve ark. (2002)’nin belirttiği $\%15$ - $\%25$ aralığı dikkate alınmış ve bu aralık toprağın içerdiği kil miktarı baz alınarak uzman görüşüne göre revize edilmiştir. Buna göre toprağın kil içeriği $\%60$ ’dan az olduğunda bu aralık geçerli iken, $\%60$ ’dan daha fazla kil içeren topraklarda $\%15$ ile $\%30$ arası, optimum aralık olarak dikkate alınmıştır. Bu aralıktaki değerler için yarayışlı su içeriği 1 skorunu alırken, altındaki değerler için “daha fazla daha iyidir” eğrisi, üzerindeki değerler için ise “daha az daha iyidir” eğrisi kullanılmıştır.

Mikrobiyal aktivitenin göstergelerinden biri olan su dolu gözenek hacmi için Linn ve Doran (1984) ve Torbert ve Wood (1992) çalışmalarında dikkate alınan $\%60$ değeri kritik eşik olarak dikkate alınmıştır. Bu değer üstündeki değerler için “daha az daha iyidir” ve altındaki değerler için “daha fazla daha iyidir” eğrileri kullanılmıştır.

Besin elementlerinin yarayışlılığını kontrol eden toprak pH’sı için TÜBİTAK gösterge bilgi kartı (TÜBİTAK, 2017) dikkate alınmış ve optimum aralık 6.6-7.3 olarak seçilmiştir. Bu aralıkta 1 skorunu alan pH değerleri, 7.3’ün üzerinde “daha az daha iyidir” ile skorlanırken, pH değeri 6.6’ın altında olduğunda “daha fazla daha iyidir” ile skorlanmıştır. Elektriksel iletkenlik toprakta tuzluluğun göstergesi olup, bu gösterge için 0.2 dS m^{-1} – 0.5 dS m^{-1} aralığı dikkate alınmıştır (Mukherjee ve Lal, 2014). Bu aralıkta elektriksel iletkenlik 1 skorunu almıştır. Elektriksel iletkenlik değeri 0.2 dS m^{-1} ’nin altında olduğunda “daha yüksek daha iyidir” eğrisi kullanırken, 0.5 dS m^{-1} ’nin üzerindeki değerler için ise “daha az daha iyidir” eğrileri kullanılmıştır.

Sodyum adsorbsiyon oranı toprakta sodiklik tehlikesini bildiren önemli bir göstergedir. Bu gösterge için Bakr ve ark. (2012)’nin MEDALUS modeli ile ilgili çalışmasında kullandığı 3 değeri

kritik değer olarak kabul edilmiştir. Bu değerin altında sodyum adsorbsiyon oranı 1 skorunu alırken, 3'ün üzerinde "daha az daha iyidir" eğrisi kullanılmıştır.

Bitkisel üretimde önemli makro elementlerden birisi olan yarayışlı fosfor için Bai ve ark. (2013)'nın kritik aralık olarak belirlediği 10.9 - 21.4 mg kg⁻¹ aralığı dikkate alınmıştır. Bu aralıkta 1 skorunu alan yarayışlı fosfor için 10.9 mg kg⁻¹'in altında "daha fazla daha iyidir", 21.4 mg kg⁻¹'in üzerinde ise "daha az daha iyidir" eğrileri kullanılmıştır.

Ekstrakte edilebilir potasyumun skorlamasında FAO (1990)'nun yarayışlılık sınırları dikkate alınmıştır. Bu kapsamda yeterli aralık 141 - 370 mg kg⁻¹ arası olarak kabul edilmiş ve bu aralıktaki potasyum içerikleri 1 skorunu almıştır. 141 mg kg⁻¹'in altındaki örnekler için "daha fazla daha iyidir" eğrisi kullanılırken, 370 mg kg⁻¹'in üzerindeki örnekler için ise "daha az daha iyidir" eğrisi kullanılmıştır.

Toprak biyolojik özellikleri toprak işleme, gübreleme gibi amenajman uygulamalarına karşı en hassas ve en hızlı yanıt veren özellikler olduğundan (Babujia ve ark., 2010; Aziz ve ark., 2013), toprak kalitesi ile ilgili çalışmalarda sıklıkla değerlendirilmiştir. Toprakta bulunan mikroorganizmaların aktiviteleri, bitki ve hayvan atıklarında bulunan karbon, azot ve diğer mineral maddelerin döngüsünü sağlamakta ve onları bitkiler için yeniden yarayışlı hale sokarak üretkenliği kontrol etmektedirler (Doran ve Linn, 2018). Bu nedenle, toprakların verimliliğinin önemli bir göstergesi olan biyolojik aktivite "daha fazla daha iyidir" eğrisiyle skorlanmıştır. Organik karbon için Lima ve ark. (2013)'nın belirttiği %1.45, kritik değer olarak alınmıştır. %1.45'in üzerinde organik karbon içerikleri 1 skorunu almıştır. Bu değerin altında ise "daha fazla daha iyidir" eğrisi kullanılmıştır. Mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi için sırasıyla 350 mg kg⁻¹ ve 120 mg PNP kg⁻¹ sa⁻¹ değerleri değerlendirmeye alınmıştır (Lopes ve ark., 2013). Bu değerlerin üzerinde ilgili göstergeler 1 skorunu alırken, altında ise "daha fazla daha iyidir" eğrisi kullanılmıştır.

Tez çalışmasında göstergeler, aynı zamanda SMAF ve Cornell Toprak Sağlığı yaklaşımlarında geliştirilen doğrusal olmayan skorlama eğrileri ile de skorlanmıştır. Amerika Tarım Bakanlığı Personeli tarafından geliştirilen SMAF'ta yer alan her doğrusal olmayan skorlama eğrisinin bir algoritması veya alternatif algoritma ile mantıksal bir ifadesi vardır. Bu algoritmalar, ölçülen göstergelerin ampirik değerleri ile normalize edilmiş skorlar arasındaki kantitatif ilişkiyi göstermektedir (Andrews ve ark., 2004). İlişkiler, doğal veya yönetilen ekosistem içindeki işlevlerin veya toprak fonksiyonlarının performansını yansıtmaktadırlar. Göstergelerin yorumlanması aşamasında, doğrusal olmayan skorlama eğrisinde eşik değeri belirlemek için toprağın organik madde, tekstür ve mineralojisi ile bulunduğu bölgenin iklimi, yetiştirilecek veya yetiştirilen ürünlerin eşitleri, fosfor ve pH gibi analizlerin yöntemleri gibi birçok faktörün değişkenliği de dikkate alınmaktadır (izelge 3.14). Bu faktörlerden bir veya birden fazlasının ortak etkisi ile oluşturulan doğrusal olmayan skorlama eğrileri kullanılarak toprak kalite göstergelerine 0 ile 1.0 arasında değişen skorlar atanmaktadır. İlgili göstergeye etki eden birçok faktör algoritmanın geliştirilmesinde

dikkate alındığından, göstergelerin skorlanma işlemi doğrusal skorlamaya kıyasla çok daha karmaşıktır. Geliştirilmeye açık olan ve zamanla yeni ilavelerin yapıldığı SMAF'ta şu ana kadar 13 adet toprak kalite göstergesi için skorlama eğrileri geliştirilmiştir. Bu durum, SMAF'ın uygulanmasındaki en önemli dezavantajını oluşturmaktadır. Zira özellikle kurak ve yarı kurak kireçli toprakların toprak kalitesi açısından önemli olan mikro elementler (bor ve çinko gibi) veya toprağın verimliliği, besin döngüsü ve filtreleme fonksiyonu açısından önemli olan katyon değişim kapasitesi gibi toprak özelliklerinin (Cherubin ve ark., 2016a; Pulido ve ark., 2017) mantıksal ifadesini sunacak algoritmalar SMAF yönteminde yer almamaktadır. Bununla birlikte Cornell Toprak Sağlığı testi Cornell Üniversitesi tarafından Amerikan'ın New York eyaleti ve Kuzeydoğu bölgesindeki arazilerde, özellikle sebze ve tarla bitkileri üretim sistemlerinde ortak olan toprak kalitesi sorunlarını tanımlamak amacı ile oluşturulmuş bir yöntemdir (Gugino ve ark., 2009). Bu yöntemde, SMAF'ta yer alan kalite göstergelerine ek olarak penetrasyon direnci, aktif karbon, kök sağlığı ve mikro element skorlamasına ait algoritmalar yer almaktadır.

Çizelge 3.14. Toprak kalite göstergelerinin skorlanmasına etki eden faktörler (Anonim, 2019)

Özellik	Faktörler				
	Birincil	İkincil	Üçüncül	Dördüncül	Beşincil
PD	Tekstür				
HA	Tekstür	Mineraloji			
AS	Organik madde	Tekstür	Fe ₂ O ₃		
YSİ	Bölge	Tekstür	Organik madde		
SDGH	Tekstür				
pH	Ürün				
EC	Metot	Ürün	Tekstür		
SAR	EC				
P	Metot	Ürün	Organik madde	Tekstür	Eğim
K	Tekstür				
OK	Organik madde	Tekstür	İklim		
MBK	Organik madde	Tekstür	Dönem x İklim		
BGEA	Organik madde	Tekstür	İklim		

PD: Penetrasyon direnci, HA: Hacim ağırlığı, AS: Agregat stabilitesi, YSI: Yarıyışlı su içeriği, SDGH: Su dolu gözenek hacmi, EC: Elektriksel iletkenlik, SAR: Sodyum adsorpsiyon oranı, P: Fosfor, K: Potasyum, OK: Organik karbon, MBK: Mikrobiyal biyokütle karbon, BGEA: Beta glikosidaz enzim aktivitesi

Bu çalışmada SMAF'ta yer alan “daha fazla daha iyidir” eğrisi ile agregat stabilitesi, yarıyışlı su içeriği, ekstrakte edilebilir potasyum, organik karbon, mikrobiyal biyokütle karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi göstergeleri skorlanmıştır. “Daha az daha iyidir” eğrisi ile hacim ağırlığı ve sodyum absorpsiyon oranı skorlanırken, “orta nokta optimumdur” eğrisi ile ise su dolu gözenek hacmi, elektriksel iletkenlik, pH ve bitkiye yarıyışlı fosfor göstergeleri skorlanmıştır. Penetrasyon direnci ise Cornell Toprak Sağlığı yaklaşımında yer alan “daha az daha iyidir” eğrisi kullanılarak skorlanmıştır.

3.7.3. Toprak Kalite Göstergelerinin Ağırlıklandırılması

Minimum veri setinde yer alan toprak kalite göstergelerinin ağırlıklandırılması için PCA ve AHP yöntemleri kullanılmıştır. PCA kullanarak ağırlıklandırma için her bileşenin toplam değişkenlik içindeki oranına göre ağırlıklar belirlenmiştir (Andrews ve ark., 2002; Mukherjee ve Lal, 2014; Biswas ve ark., 2017). PCA sonucu her bir bileşen altında bir veya birden fazla gösterge minimum veri setinde tutulabilmektedir. Bir temel bileşende birden fazla özelliğin tutulduğu durumlarda o bileşenin ağırlığı da tutulan gösterge sayısına bölünerek eşit bir şekilde paylaştırılmaktadır. MVS oluşturmak amacıyla yapılan PCA’de elde edilen gösterge ağırlıkları Çizelge 3.15’te verilmiştir. Birinci temel bileşenler veri setindeki değişkenliği en yüksek oranda açıkladığı için en yüksek ağırlık bu bileşene verilmiştir. Arıklı serisinde PC1’de iki gösterge olduğu için bu ağırlık ikiye bölünerek eşit bir şekilde dağıtılmıştır. Arıklı serisinde en yüksek ağırlık PC2’den gelen yarayışlı su içeriğine verilirken, bunu PC1’den organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi, PC3’den pH izlemiş ve en düşük ağırlık PC4’den gelen hacim ağırlığına verilmiştir. Çanakçı ve Helvacı serilerinde ise birinci PC’den tek bir özellik MVS içine dahil edildiği için sırasıyla organik karbon ve su dolu gözenek hacmi göstergeleri en yüksek ağırlıkları almıştır. Çanakçı serisinde en düşük ağırlığı, PC3’ten MVS içine dahil olan penetrasyon direnci ve mikrobiyal biyokütle oranı göstergeleri eşit şekilde almıştır (Çizelge 3.15). Helvacı serisinde ise en düşük ağırlığı PC2’de yer alan ve ağırlığı ortak bir şekilde paylaşan organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi göstergeleri almıştır. Oluşturulan MVS’nin toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini dengeli bir şekilde yansıtmayı istenilmektedir (Doran ve Parkin, 1996). PCA ile oluşturulan MVS’leri içerisinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler dengeli bir şekilde dağılmıştır.

Çizelge 3.15. Temel bileşenler analizi ile oluşturulan minimum veri setindeki göstergelere temel bileşenler analizi ve basit eklemeli yöntem ile verilen ağırlıklar

Seri	Gösterge	PCA Ağırlık	Basit Eklemeli
Arıklı	Organik karbon	0.21	0.20
	Beta glikosidaz enzim aktivitesi	0.21	0.20
	Yarayışlı su içeriği	0.24	0.20
	pH	0.19	0.20
	Hacim ağırlığı	0.15	0.20
Çanakçı	Organik karbon	0.35	0.17
	Su dolu gözenek hacmi	0.25	0.17
	Penetrasyon direnci	0.08	0.17
	Mikrobiyal biyokütle karbon	0.08	0.17
	Elektriksel iletkenlik	0.12	0.17
	Sodyum adsorbsiyon oranı	0.11	0.17
Helvacı	Su dolu gözenek hacmi	0.36	0.20
	Organik karbon	0.14	0.20
	Beta glikosidaz enzim aktivitesi	0.14	0.20
	Elektriksel iletkenlik	0.21	0.20
	Hacim ağırlığı	0.15	0.20

TVS ve uzman görüşüne göre verimlilik, fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme ve su ilişkileri fonksiyonları için oluşturulan MVS’de yer alan göstergelere AHP ile elde edilen ağırlıklar verilmiştir. Tez kapsamında toplam 4 uzmanın görüşü doğrultusunda hem TVS’de hem de uzman görüşü ile oluşturulan MVS’de yer alan göstergelere AHP ile ağırlıklar atanmıştır. Uzman görüşü ile AHP uygulamasına başlarken öncelikle hiyerarşi modeli kurulmuştur. Analitik hiyerarşi sürecinde hiyerarşi kurulurken en üst basamakta problemin amacı yer almakta ve alt basamakta ise problemle ilgili ana kriterler, ana kriterlerin bir alt basamağında ise ilgili kriterin alt kriterleri yer almaktadır. Oluşturulan hiyerarşinin en alt basamağında ise problemle ilgili seçenekler bulunmaktadır. Karar probleminin hiyerarşi tablosu oluşturulduktan sonraki adım aynı önem derecesine sahip kriterlerin birbirine göre ağırlıkların belirlenmesidir. Bunun için her bir uzman diğer uzmanlardan bağımsız olarak göstergeler için matrisler oluşturmuş ve oluşturulan matrislerde ikili karşılaştırma yöntemi ile her bir gösterge için ayrı ayrı ağırlıklar belirlenmiştir. Bu aşamada Saaty (2008) tarafından geliştirilen ve 1-9 arasında skorlar bulunan tercih ölçeğinden yararlanılmıştır (Çizelge 3.16). Uzman değerlendirmesinin doğruluğunu belirlemek için aşağıdaki eşitlikler kullanılarak belirlenen tutarlılık oranına dikkat edilmiştir. Tutarlılık oranı değeri % 10’un altında olması tercih edilmiştir (Dengiz, 2020). Son olarak her bir uzmandan gelen ağırlıkların ortalaması alınarak her bir gösterge için yeni ağırlıklar oluşturulmuştur.

$$TI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$TO = \frac{TI}{RI}$$

Burada, TI, tutarlılık indeksidir. Tutarlılık oranının (TO) hesaplanabilmesi için öncelikle tutarlılık indeksinin belirlenmesi gerekmektedir. λ_{max} , karşılaştırma matrisinin maksimum öz değeri ve n, kriter sayısıdır. Tutarlılık oranı, tutarlılık indeksinin karar alternatiflerinin sayısına karşılık gelen değere (RI) bölümü ile elde edilir.

Çizelge 3.16. Analitik Hiyerarşi İşleminde (AHP)’de skora ait açıklamalar (Saaty, 2008)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	Her iki faktör aynı öneme sahiptir.
3	Orta derecede önemli	Bir faktör diğerine göre biraz daha önemlidir.
5	Kuvvetli derecede önemli	Bir faktör diğerine göre kuvvetle daha önemlidir.
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir faktör diğerine göre yüksek derecede kuvvetle tercih edilmelidir.
9	Mutlak derecede önemli	Bir faktör diğerine göre çok yüksek derecede önemlidir.
2-4-6-8	Ara değerler	İki faktör arasında küçük farklar olduğunda kullanılır.

TVS göstergelerine uzman görüşü dikkate alınarak AHP ile verilen ağırlıklar Çizelge 3.17’de gösterilmiştir. Tutarlılık oranı %5 ile uzmanlar tarafından yapılan AHP değerlendirmesinin tutarlı olduğunu göstermektedir (Dengiz, 2020). Toplam veri setinde yer alan göstergeler arasında organik karbon uzman görüşüne göre 0.15 ile en yüksek ağırlığı alan gösterge olmuştur. Buna karşılık en düşük ağırlık olan 0.04 ağırlığını alan su dolu gözenek hacmi, sodyum adsorbsiyon oranı ve ekstrakte edilebilir potasyum göstergeleri ise toprak kalitesinin belirlenmesinde diğer göstergelere kıyasla daha düşük öneme sahip olmuştur.

Çizelge 3.17. Toplam veri setindeki göstergelere atanan ağırlıklar

Gösterge	AHP Ağırlık	Basit Eklemeli
Agregat stabilitesi	0.05	0.08
Hacim ağırlığı	0.10	0.08
Yarayışlı su içeriği	0.06	0.08
Su dolu gözenek hacmi	0.04	0.08
Penetrasyon direnci	0.09	0.08
pH	0.10	0.08
Elektriksel iletkenlik	0.07	0.08
Sodyum adsorbsiyon oranı	0.04	0.08
Yarayışlı fosfor	0.06	0.08
Ekstrakte edilebilir potasyum	0.04	0.08
Organik karbon	0.15	0.08
Mikrobiyal biyokütle karbon	0.10	0.08
β -glukosidaz enzim aktivitesi	0.10	0.08
Tutarlılık oranı (%)	5.0	-

Uzman görüşüne göre verimlilik, fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme ve su ilişkileri fonksiyonları altında tanımlanan veri setlerindeki göstergelere ve bu fonksiyonların kendilerine AHP ile verilen ağırlıklar Çizelge 3.18’de gösterilmiştir. Verimlilik, su ilişkileri ve fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonları altında tanımlanan MVS’lerde yer alan göstergelere AHP ile verilen ağırlıkların tutarlılık oranları sırasıyla %4.2, %3.9 ve %3.1 olmuştur. Fonksiyonlar için yapılan uzman değerlendirmesinin tutarlılık oranı ise %2.3’tür. Tez çalışması kapsamında elde edilen tutarlılık oranlarının %10’dan düşük olması, uzmanlar tarafından yapılan AHP değerlendirmelerinin oldukça güvenilir olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.18. Uzman görüşüne göre oluşturulan her bir minimum veri setinde yer alan göstergelere ve fonksiyonlara AHP ve basit eklemeli yöntem ile verilen ağırlıklar

Fonksiyon	AHP Ağırlık	Basit Ekl.	Gösterge	AHP Ağırlık	Basit Ekl.
Verimlilik	0.35	0.33	Yarayışlı su içeriği	0.14	0.14
			pH	0.21	0.14
			Elektriksel iletkenlik	0.11	0.14
			Yarayışlı fosfor	0.09	0.14
			Ekstrakte edilebilir potasyum	0.07	0.14
			Organik karbon	0.24	0.14
			Mikrobiyal biyokütle karbon	0.13	0.14
			Tutarlılık oranı (%)	4.2	-
Su İlişkileri	0.18	0.33	Hacim ağırlığı	0.15	0.14
			Agregat stabilitesi	0.11	0.14
			Yarayışlı su içeriği	0.20	0.14
			Su dolu gözenek hacmi	0.14	0.14
			Elektriksel İletkenlik	0.09	0.14
			Sodyum adsorbsiyon oranı	0.06	0.14
			Organik Karbon	0.26	0.14
			Tutarlılık oranı (%)	3.9	-
Fiziksel Bozulmaya Karşı Direnç Gösterme	0.46	0.33	Penetrasyon direnci	0.19	0.17
			Hacim ağırlığı	0.17	0.17
			Agregat stabilitesi	0.18	0.17
			Sodyum adsorbsiyon oranı	0.08	0.17
			Organik karbon	0.25	0.17
			β-glikosidaz enzim aktivitesi	0.12	0.17
			Tutarlılık oranı (%)	3.1	-
Tutarlılık oranı (%)	2.3	-			

Uzman görüşüne göre verimlilik, fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme ve su ilişkileri fonksiyonları için oluşturulan MVS'lerin üçünde de en önemli gösterge TVS'de olduğu gibi organik karbon olmuştur. Organik karbon, toprakta fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler üzerinde önemli etkileri olduğu için (Andrews ve ark., 2004; Walsh ve McDonnell, 2012; Esmailzadeh ve Ahangar, 2014; Acar ve ark., 2018; Page ve ark., 2020) uzmanlar tarafından toprak kalitesinin belirlenmesinde en önemli gösterge olarak dikkate alınmıştır. Verimlilik fonksiyonu altında seçilen göstergelerden ekstrakte edilebilir potasyum ve yarayışlı fosfor göstergeleri sırasıyla 0.07 ve 0.09 ağırlıklarını alarak diğer göstergelere kıyasla toprak kalite indeksi üzerine daha az etki yapmıştır. Su ilişkileri fonksiyonu altında tanımlanan sodyum adsorbsiyon oranı ve elektriksele iletkenlik göstergeleri sırasıyla 0.06 ile 0.09 ağırlıklarını alarak daha az öneme sahip göstergeler olmuştur. Fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu altında ise 0.08 ağırlığını alan sodyum adsorbsiyon oranı göstergesi en düşük öneme sahip gösterge olmuştur. Genel toprak kalitesinin belirlenmesinde ise en önemli fonksiyon sırasıyla 0.46 ağırlığı ile fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme, 0.35 ağırlığı ile verimlilik ve 0.18 ağırlığı ile su ilişkileri fonksiyonu olmuştur (Çizelge 3.18).

3.7.4. Toprak Kalite İndeksinin Belirlenmesi

Göstergelerin skorlanmaları tamamlandıktan sonra, son aşamada bu skorlar bir araya getirilerek TKİ elde edilmiştir. Skorların bir araya getirilmesinde eklemeli (basit ilaveli) (Andrews ve Carroll, 2001), ağırlıklı (Karlen ve ark., 1998) veya çarpımsal indeksler (Doran ve Parkin, 1996) kullanılmaktadır. Toprak amenajmanı değerlendirme çerçevesi (SMAF) eklemeli indeks hesaplamasını dikkate almakla birlikte kullanıcılarına ağırlıklandırılmış gösterge skorlamasının kullanımı seçeneğini de sunmaktadır. Kalite göstergelerinin ağırlıklarının alınması ile indeksin belirlenmesi, toprak fonksiyonlarının ölçülme amacının önemine bağlı olarak göstergelere eşit veya farklı ağırlık vermektedir (Andrews ve ark., 2004).

Belirlenen tüm göstergelerin kullanımı ile oluşturulan toplam veri seti (TVS) ve uzman görüşü ve PCA ile oluşturulan MVS'deki göstergelerden tek bir değer elde etmek için kullanılan basit ilaveli indekste her bir göstergeden gelen değer toplanmış ve gösterge sayısına bölünmüştür. Elde edilen sonuç 100 ile çarpılarak toprağın fonksiyon gösterme kapasitesi yüzde olarak ifade edilmiştir (Eşitlik 1).

$$TKİ = \left(\frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n} \right) \times 100 \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

S: Skorlaması yapılan gösterge skoru ve

n: Minimum veri setindeki gösterge sayısını göstermektedir.

PCA'ya göre her bir seride toprak kalite indeksi için göstergelerin skor değerleri PCA ile hesaplanan faktör ağırlığı ile çarpılmış ve daha sonra toplanarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuç ise 100 ile çarpılarak toprağın fonksiyon gösterme kapasitesi yüzde olarak ifade edilmiştir (Eşitlik 2).

$$TKİ = (\sum_{i=1}^n W_i S_i) \times 100 \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

S: Göstergenin skor değeri ve

W: Temel bileşenler analizinde göstergenin aldığı ağırlığı göstermektedir.

TVS'de AHP ile ağırlıklandırma işlemi tamamlandıktan sonra, toprak kalite indeksi Eşitlik 2'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Uzman görüşüne göre oluşturulan MVS kullanılarak elde edilen fonksiyonlara ise yine AHP ile ağırlık verilmiş ve toprak kalite indeksi Eşitlik 2'de olduğu gibi hesaplanmıştır.

Her bir seride en iyi toprak kalite indeksini belirlemek için Mastro ve ark. (2008) tarafından tarif edilen duyarlılık indeksi kullanılmıştır. Özellikle son yıllarda toprak kalitesi çalışmalarında en iyi yöntemin belirlenmesi için duyarlılık indeksi yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Cherubin ve

ark., 2016a; Raiesi, 2017; AbdelRahman ve ark., 2019; AbdelRahman ve Tahoun, 2019; Karkaj ve ark., 2019). Buna göre her kalite indeksi içerisinde en büyük kalite skorunun en küçük kalite skoruna oranlanarak, toprak kalitesinde meydana gelecek değişimlerin belirlenmesinde en duyarlı yöntem belirlenmiştir.

3.8. İstatistiksel Analizler

Çalışma alanındaki her bir toprak özelliklerine, skorlanmış gösterge değerlerine, fonksiyonlara ve genel toprak kalite indekslerine ait tanımlayıcı parametreler olarak en küçük, en büyük, ortalama, standart sapma, varyasyon katsayısı ve yatıklık değerleri belirlenmiştir. İstatistiksel analizlere başlamadan önce, verilerin normal dağılım gösterip göstermedikleri yatıklık değeri ile kontrol edilmiştir. Yatıklık değeri -1 ve +1 aralığı dışında olan veri setlerinin normal dağılmadığı kabul edilmektedir (Günel ve ark., 2015a). Bu kapsamda sadece Helvacı serisi örnekleme alanında yarayışlı fosforun normal dağılması için logaritmik dönüşüm uygulanmıştır.

Minimum veri setlerinin oluşturulmasında temel bileşenler analizi (PCA) yöntemi kullanılmıştır. Toprak fonksiyonlarının ve toprak kalite indekslerinin seriler bazında değişiminin kıyaslanması için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Seriler arasındaki farklılıklar Duncan testi ($P < 0.05$) ile değerlendirilmiştir. Yapılan tüm istatistiksel işlemlerde ise SPSS 22 programı kullanılmıştır.

3.9. Mesafeye Bağlı Değişkenliğin Analizi

Tez kapsamında elde edilen toprak özellikleri, fonksiyonlar ve toprak kalite indekslerinin mesafeye bağlı değişkenliklerinin modellenmesinde GS+7.0 paket programı kullanılmıştır. Verilerin mesafeye bağlı değişiminin belirlenmesinde yüksek doğrulukta model oluşturabilmek için veri setinde bulunan bazı ekstrem değerler veri setinden uzaklaştırılmıştır (Akbaş, 2004). Arıklı serisinde elektriksel iletkenlik için 1.04 dS m^{-1} 'nin üzerinde toplam 9 adet veri, sodyum adsorbsiyon oranı için 0.41 'in üzerinde 3 adet veri, yarayışlı fosfor için 26.86 mg kg^{-1} 'in üzerinde 6 adet veri ve beta glikosidaz enzim aktivitesi için $205.29 \text{ mg PNP kg}^{-1} \text{ sa}^{-1}$ 'in üzerinde 9 adet veri, veri setinden uzaklaştırılmıştır. Ayrıca Arıklı serisi örnekleme alanında TKİ-3 indeksi için %74.0'ün üzerinde 3 veri, TKİ-4 indeksi için %63.0'ün üzerinde 5 veri, TKİ-7 indeksi için %53.5'in üzerinde 9 veri, TKİ-8 indeksi için %59.3'ün üzerinde 8 veri, veri setinden uzaklaştırılmıştır. Çanakçı serisinde ağırlıklı ortalama çap için 1.01 mm 'nin üzerinde toplam 6 adet veri, elektriksel iletkenlik için 1.59 dS m^{-1} 'nin üzerinde 9 adet veri ve sodyum adsorbsiyon oranı için 0.42 'nin üzerinde 2 adet veri, veri setinden uzaklaştırılmıştır. Helvacı serisinde ise beta glikosidaz enzim aktivitesi için sadece en yüksek değer olan $131.33 \text{ mg PNP kg}^{-1} \text{ sa}^{-1}$ verisi, veri setinden uzaklaştırılmıştır. Semivariogram modellerinin tahmininde aşağıdaki Eşitlik 3 kullanılmıştır.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} + \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad (3)$$

Bu eşitlikte; h, x_i ile x_i+h arasındaki ayrılma (range) mesafesini; N(h), h mesafesi ile birbirlerinden ayrılan örnek çifti sayısını; z(x_i), x noktasında ölçülen özelliğe ait değeri; z(x_i+h), x+h aralık mesafesi bulunan iki noktaya ait özelliğin değerini ifade etmektedir (Isaaks ve Srivastava, 1989).

Tez kapsamında elde edilen tüm verilere ait semivariogramlar oluşturulurken mesafeye bağlı değişkenliği en iyi tanımlayan modelin seçiminde modele ait r² ve ölçüm hatalarının göstergesi olan Artık Kareler Toplamı (RSS) dikkate alınmıştır. En iyi modelin seçiminde r² değerinin 1.0'a ve RSS değerinin ise sıfır (0)'a yakın olanları tercih edilmiştir (Johnston ve ark., 2001; Yang ve ark., 2011). Semivariogram ve çapraz değerlendirme sonucu elde edilen nugget, sill, range ve aktif lag değeri parametreleri kullanılarak ArcGIS 10.2.1 paket programının jeostatistik modülünde yer alan ordinary kriging yöntemi ile tüm veriler için mesafeye bağlı değişim haritaları üretilmiştir.

Tez kapsamında elde edilen bireysel kalite gösterge skorları, fonksiyonlar ve toprak kalite indeksleri Gugino ve ark. (2009) tarafından belirtilen skorlara göre sınıflandırılmış ve haritalanmıştır (Çizelge 3.19).

Çizelge 3.19. Toprak kalitesinin sınıflandırılması

Skor (%)	Tanımlama
>85	Çok yüksek
70-85	Yüksek
55-70	Orta
40-55	Düşük
<40	Çok düşük

3.10. Toprak Kalite İndeksinin Validasyonu

Toprak kalite indeksine ait haritaların doğruluklarını test etmek için validasyon işlemleri yapılmıştır (Andrews ve ark., 2002; Contador ve ark., 2009). Oluşturulan toprak kalite indekslerine ait sayısal haritaların validasyonunda araştırmacılar çok çeşitli yöntemler kullanmışlardır. Validasyon için toprak kalite indeksi ile kalite indeksinin belirlendiği toprakta yetiştirilen ürün verimi/parametreleri arasındaki ilişki yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (D'Hose ve ark., 2014; Mukherjee ve Lal, 2014; Mukhopadhyay ve ark., 2014; Biswas ve ark., 2017). Toprak kalite indeksinin validasyonu için aynı araştırmacıların iki farklı çalışmasında toprak kalite indeksleri ile toprak strüktürünün görsel değerlendirilmesi arasındaki ilişki dikkate alınmıştır (Askari ve Holden, 2014; Askari ve Holden, 2015). Bir başka çalışmada arazi bozunum haritalarının doğruluklarının validasyonunda hacim ağırlığı, drenaj gibi özelliklerin dahil olduğu 9 farklı bozunumla ilişkili

göstergeler ile bozunum indeksleri arasındaki ilişkiler kullanılmıştır (Contador ve ark., 2009). Son yıllarda ise toprak kalite indekslerinin arasındaki uyumu dikkate alan Kappa analiz sıklıkla kullanılan bir başka yöntem olmuştur (Qi ve ark., 2009; Rahmanipour ve ark., 2014; Nabiollahi ve ark., 2018; Zeraatpisheh ve ark., 2020). Bu çalışmada da toprak kalite indeks haritalarının validasyonunda kalite indekslerinin birbiri arasındaki uyuma dikkat edilmiştir. Bunun için Kappa analizi kullanılmıştır. Kappa analizi özellikle iki kişi veya iki grup arasında yapılan ölçümlerde gözlemciler arasındaki tesadüfi uyuşmaları kontrol etmek için kullanılan bir istatistiksel yöntemdir (Cohen, 1968). Kappa analiz ile -1 ile +1 arasında değişen bir değer elde edilmektedir. Bu değer pozitif olması kalite göstergelerinin arasındaki uyumun daha fazla olduğunu, negatif olması ise kalite göstergelerinin arasındaki uyumun daha az olduğunu ifade eder (Bıkmaz Bilgen ve Doğan, 2017). Kappa analiz için ilk olarak hesaplanan kalite indeksleri 1 ile 5 arasında kategorik olarak eşit sınıflara bölünmüş ve ardından bu sınıflarda yer alan kalite göstergeleri arasındaki uyum düzeyi belirlenmiştir (Nabiollahi ve ark., 2018; Zeraatpisheh ve ark., 2020). Kappa analizi sonucunda elde edilen uyum değerleri <0, 0–0.19, 0.20–0.39, 0.40–0.59, 0.60–0.79 ve 0.80–1.00 olarak 6 grupta sırasıyla uyumsuz, çok zayıf, zayıf, orta, güçlü ve mükemmel seviyeler olarak tanımlanmıştır (da Silva ve ark., 2015). Uyum bulunan indeksler arasında regresyon analizi ile ek doğrulama yapılmıştır. Ayrıca toprak kalite indeksi ile ilişkili olan birtakım fiziksel ve biyokimyasal toprak özellikleri arasındaki korelasyon da incelenmiştir. Bu kapsamda toprak kalite indeksleri ile agregat stabilitesi, organik madde ve mikrobiyal biyokütle karbonu arasında değişkenlerin non-parametrik olan doğaları nedeni ile Spearman Sıra korelasyonları hesaplanmıştır. Gözlemlenen ve beklenen korelasyonlar arasında uyumluluk yüksek olduğunda, elde edilen toprak kalite indeksine ait haritalarının güvenilirliği yüksek olarak kabul edilmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Genel Toprak Özellikleri

Aşağı Seyhan Ovasında Entisol, Inceptisol ve Vertisol ordolarına ait 3 farklı toprak serisinde (Arıklı, Çanakçı ve Helvacı) yürütülen çalışmalarda, toprak analizleri ve ölçümleri ile elde edilen fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4’de verilmiştir.

Arıklı serisi topraklarının kil içeriği %47.5 ile %62.4 arasında değişmekte olup, örneklenen tüm yüzey toprakları kil tekstür sınıfında yer almaktadır (Çizelge 4.1). Arıklı serisine benzer olarak Çukurova bölgesinin güneyinde yer alan Helvacı serisi toprakları da %50.4 ile %69.7 arasında değişen kil içeriğine sahip topraklardır. Çukurova bölgesinde verimli topraklara sahip serilerden birisi olan Çanakçı serisinde (Dinç ve ark., 1995) ise, toprakların kum, silt ve kil içerikleri birbirinden oldukça farklılık göstermektedir. Çanakçı serisi çalışma alanı toprakları sırasıyla %10.2, %30.8 ve %20.9 ile %43.5, %63.4 ve %41.7 arasında değişen kum, silt ve kil içermekle birlikte, ortalama kum, silt ve kil içerikleri %25.2, %48.2 ve %26.6 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1). Çanakçı serisi yüzey topraklarının tın, killi tın, siltli tın ve siltli killi tın olmak üzere dört farklı orta tekstür sınıfında yer aldıkları belirlenmiştir.

Kil, silt ve kum gibi bireysel taneciklerin organik madde başta olmak üzere kil mineralleri, kökler, mikroorganizmaların hifleri ve salgıladıkları glomalin gibi yapıştırıcı maddeler, kireç ve demir alüminyum oksitlerin etkisi ile oluşan agregatların dayanıklılığı, toprağın mekanik olarak parçalayıcı ve suyun dispers edici dış güçlere karşı direnç göstermesi olarak tanımlanmaktadır (Günel ve ark., 2008). Dış güçlere karşı koyma yeteneği yüksek olan arazilerde, yüzeyde kabuk tabakası oluşmadığından infiltrasyon yeterli olur ve aynı zamanda rüzgar ve su erozyonuna karşı direnç artar (Beare ve Bruce, 1993). Toprakta dış güçlere karşı yapısal dayanımın doğrudan ölçümü mümkün olmayıp, son yıllarda özellikle agregat büyüklük dağılımlarının dikkate alındığı agregat stabilitesi ve ağırlıklı ortalama çap özellikleri, toprağın strüktür göstergesi olarak yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Saygın ve ark., 2012). Aşağı Seyhan Ovasının en geniş yayılıma sahip toprak serisi olan Arıklı serisinin toprak agregat stabilitesi ve ağırlıklı ortalama çap değerleri sırasıyla %25.5 ve 0.26 mm ile %76.2 ve 1.52 mm arasında değişmektedir (Çizelge 4.1). Ortalama agregat stabilitesi ve ağırlıklı ortalama çap değerleri ise sırasıyla %53.80 ve 0.70 mm’dir. Andrews ve ark. (2004)’nın geliştirmiş oldukları toprak kalitesi değerlendirme yönteminde %60’ın üzerindeki agregat stabilitesi değerleri için en iyi skor olan 1 skorunu vermişlerdir. Bu değere göre değerlendirildiğinde her ne kadar çalışma alanında %25.5 gibi küçük değerler olsa da, genel anlamda Arıklı serisi topraklarının dış güçlere karşı yapısal dayanımının arzu edilen seviyelerde olduğu görülmektedir. Arıklı serisi topraklarının ortalama agregat stabilitesi ise diğer seri topraklarına kıyasla erozyona karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.1. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde yer alan toprakların tekstür, strüktür ve sıkışma göstergelerine ait tanımlayıcı istatistikleri

Seri	Tanımlayıcı İstatistikler	Kum	Silt (%)	Kil	AOÇ (mm)	AS (%)	PD (MPa)	HA (g cm ⁻³)
Arıklı	Minimum	1.5	31.5	47.5	0.26	25.5	0.80	1.05
	Maksimum	17.4	39.9	62.4	1.52	76.2	3.67	1.46
	Ortalama	8.3	38.5	53.2	0.70	53.8	2.13	1.27
	Std. Sapma	3.20	1.69	2.96	0.23	11.27	0.59	0.07
	VK (%)	38.4	4.4	5.6	33.3	20.9	27.8	5.7
	Yatıklık	0.38	-1.40	0.94	0.64	-0.57	-0.10	0.23
Çanakçı	Minimum	10.2	30.8	20.9	0.10	5.5	1.12	1.13
	Maksimum	43.5	63.4	41.7	1.67	62.4	4.05	1.54
	Ortalama	25.2	48.2	26.6	0.41	22.8	2.15	1.34
	Std. Sapma	6.50	6.27	4.17	0.32	11.55	0.62	0.09
	VK (%)	25.8	13.0	15.7	78.1	50.8	28.9	6.5
	Yatıklık	0.15	0.32	1.10	1.87	0.78	0.57	-0.20
Helvacı	Minimum	2.3	24.8	50.4	0.10	10.4	0.95	1.14
	Maksimum	11.5	39.9	69.7	0.81	68.5	3.60	1.36
	Ortalama	5.6	35.0	59.4	0.37	38.7	2.08	1.26
	Std. Sapma	1.87	4.83	5.61	0.14	11.99	0.64	0.05
	VK (%)	33.2	13.8	9.5	38.77	31.0	30.9	4.0
	Yatıklık	1.12	-0.71	0.29	0.41	-0.26	0.40	-0.38

VK: Varyasyon Katsayısı, AOÇ: Ağırlıklı Ortalama Çap, AS: Agregat Stabilitesi, PD: Penetrasyon Direnci, HA: Hacim Ağırlığı

Çanakçı serisinde toprak agregat stabilitesi ve ağırlıklı ortalama çap değerleri sırasıyla %5.5 ve 0.10 mm ile %62.4 ve 1.67 mm arasında olup, ortalama değerler %22.8 ve 0.41 mm'dir (Çizelge 4.1). Genel olarak Çanakçı serisindeki toprakların Arıklı serisindeki topraklara kıyasla strüktür göstergeleri olan toprağın dış güçlere karşı direnç gösterme yeteneklerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Buna karşın yüksek değer alan arazilerin ise Çanakçı serisi üzerinde kurulu yaşlı bahçeler olduğu ve arazi çalışmalarında bu noktalarda toprakların birbirine oldukça sıkı paketlenildiği gözlemlenmiştir. Toprakta çimentolayıcı görevi gören organik maddenin agregat dayanıklılığını iyileştirdiği bilinmektedir (Tisdall ve Oades, 1982). Yürütülen uzun süreli denemelerde de toprağa organik kaynakların ilave edilmesi ile direkt olarak (Ozlu ve Kumar, 2018) ve toprak koruma yöntemlerinin kullanımı ile dolaylı yollardan (Çelik ve ark., 2019) olmak üzere toprakta organik maddenin artışı agregat stabilitesinin iyileşmesine neden olduğu rapor edilmiştir. Benzer şekilde yüksek agregat stabilite değerlerinin elde edildiği bu çalışmada da örnekleme noktalarındaki toprakların organik madde içeriklerinin de diğer noktalara kıyasla daha yüksek olduğu ve bunun da agregat stabilitesini iyileştirdiği görülmüştür. Helvacı serisindeki çalışma alanı topraklarının strüktür göstergesi olan agregat stabilitesi ve ağırlıklı ortalama çap değerleri ise sırasıyla %10.41 ve 0.10 mm ile %68.48 ve 0.81 mm arasında değişmekte olup, ortalama %38.69 ve 0.37 mm'dir (Çizelge 4.1). Helvacı serisindeki çalışma alanı, kil içeriği yüksek bir diğer çalışma alanı olan Arıklı serisine kıyasla genel anlamda daha düşük strüktür göstergelerine sahip olup, Helvacı serisinde bulunan toprakların

dış güçlere karşı koyma yetenekleri Arıklı serisi topraklarına kıyasla daha düşüktür. Arıklı ve Helvacı serisinde yapılan arazi çalışmaları sırasında toprakların çoğunun geleneksel olarak işlendiği ve özellikle Helvacı serisinde bazı noktalarda ise anız artıklarının yakıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.1). Toprakların geleneksel olarak çok sayıda işlenmesi agregatların mekanik olarak parçalanmasına (Six ve ark., 2004) ve dış güçlere karşı koyma yeteneğinin azalmasına sebep olmaktadır. Ek olarak toprakta agregatlaşmayı sağlayan potansiyel organik madde kaynakları olan anızların yakılması toprağın strüktür göstergelerini olumsuz etkilemektedir. Zira Somasundaram ve ark. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, anızların tutulduğu sıfır işleme sistemine kıyasla anızların yakıldığı ve geleneksel işlendiği arazide ağırlıklı ortalama çap değerlerinin önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir.



Şekil 4.1. Helvacı serisine ait bir arazide mısır anız artıklarının yakılması

Tarımsal üretim altındaki toprakların sıkışma derecesinin ve sıkışmış katmanların varlığının belirlenmesinde en çok kullanılan parametrelerden birisi penetrasyon direncidir (Keller ve ark., 2013). Penetrasyon direnci Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla en düşük olarak 0.80, 1.12 ve 0.95 MPa ve en yüksek olarak ise 3.67, 4.05 ve 3.60 MPa elde edilmiştir (Çizelge 4.1). Ortalama penetrasyon direnci ise her üç seride birbirine oldukça yakındır. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde ortalama penetrasyon direnci sırasıyla 2.13, 2.15 ve 2.08 MPa'dır. Penetrasyon direncinin her üç çalışma alanında geniş aralıkta değiştiği ve varyasyon katsayısının yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, penetrasyon direncinin ölçüm esnasında toprağın içerdiği nemden etkilenmesidir (Moraes ve ark., 2013). Farklı ürünlerin yetiştiriciliğinin yapıldığı çalışma alanlarında toprakların farklı zamanlarda ve miktarlarda sulanması toprakların içerdiği nemin değişmesine ve bu sayede penetrasyon direncinin varyasyon katsayısının yüksek olmasına sebep olmuştur.

Penetrasyon direnci için 3 MPa, kök gelişiminin olumsuz etkilendiği kritik bir değerdir (Bengough ve Mullins, 1990; Hakansson ve Lipiec, 2000). Buna göre her bir çalışma alanının genelinde penetrasyon direncinin kök gelişimi açısından problem oluşturmadığı görülmektedir.

Ancak her bir çalışma alanında özellikle birkaç noktada 3 MPa'nın üzerinde bulunan penetrasyon dirençleri, alanların organik madde içeriklerinin düşük olduğu dikkate alındığında tarımsal üretimde sıkışma kaynaklı problemler oluşturabilir. Arıklı ve Helvacı serilerinde pamuk bitkisi altındaki bazı birkaç arazide ve Çanakçı serisinde ise terk edilmiş durumda bulunan bir şeftali bahçesinde toprakların penetrasyon dirençleri sırasıyla 3.67, 3.60 ve 4.05 MPa'a kadar yükselmiştir. Toprağın fiziksel koşullarının düzenlenmesinde önemli etkileri olan organik maddenin düşük olduğu çalışma alanlarında toprakların muhtemel sıkışma problemlerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Zira yüksek penetrasyon direnci varlığında toprağın hava ve su iletim yeteneğindeki düşüşler, kök gelişimi ve ürün verimini olumsuz etkileyebilmektedir (Liu ve ark., 2022).

Toprakta sıkışmanın belirlenmesinde en çok kullanılan parametrelerden bir diğeri olan hacim ağırlığı (Abu-Hamdeh, 2003), toprak kalitesinin en önemli göstergelerinden birisidir (Andrews ve ark., 2004). Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde hacim ağırlığı değerleri sırasıyla 1.05 ile 1.46 g cm⁻³, 1.13 ile 1.54 g cm⁻³ ve 1.14 ile 1.36 g cm⁻³ arasında değişirken, ortalama 1.27, 1.34 ve 1.26 g cm⁻³ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Amerikan Ulusal Toprak Etüt El Kitabında %45'den daha fazla kil içeren killi bünyeli topraklarda kök gelişiminde kısıtlamaların başladığı değer olarak 1.39 g cm⁻³, orta bünyeli topraklarda ise 1.54 g cm⁻³ hacim ağırlığı değerlerinin kritik değerler olduğu belirtilmiştir (NRCS, 2022). Arıklı ve Helvacı serilerinde en düşük kil değerinin %47.46 ve %50.35 olduğu dikkate alındığında ortalama hacim ağırlığı değerleri toprakta sıkışma olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte bu alanlarda yüksek değerler elde edilen arazilerde ise, amenajman yöntemlerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Zira uzun vadede yoğun tarımsal üretim altındaki topraklarda organik maddenin azalması ve toprakta sıkışmanın meydana gelmesi olasıdır (Zalidis ve ark., 2002). Blanco-Canqui ve Ruis (2018) yapmış oldukları bir çalışmada farklı işleme yöntemlerinin yer aldığı 62 çalışmada hacim ağırlığı sonuçlarını özetlemiştir. Araştırmacılar geleneksel işlemeye kıyasla 62 çalışmanın 26'sında sıfır işleme yönteminin hacim ağırlığı üzerinde hiçbir etkisi olmadığını, sıfır işlemenin 24'ünde artırırken, 12'sinde de düşürdüğü rapor edilmiştir. Hacim ağırlığı üzerinde literatürde çok farklı sonuçlar mevcutken, aynı araştırmacılar sıfır işleme ve azaltılmış işleme altında hacim ağırlığının başlangıçta geleneksel işleme ile karşılaştırıldığında daha yüksek olabileceğini, ancak zaman geçtikçe sıfır işleme ve geleneksel işleme arasındaki farklılıkların azaldığını ifade etmişlerdir. Çalışma alanı toprakları düşünüldüğünde tarla tarımı yapılan topraklarda geleneksel işleme yöntemlerinin yoğun kullanılması ve organik madde kaynağı olan anızların yakılması, bahçe tarımında da yoğun bir üretimle birlikte budama artıklarının araziden uzaklaştırılması işlemlerinin uzun yıllardır yapıyor olması, bölge topraklarının gelecekte sıkışma kaynaklı problemlerle karşılabileceğini göstermektedir. Sıkışmanın varlığında köklerin su (Nosalewicz ve Lipiec, 2014) ve besin alımı (Schnepf ve ark., 2012) için kullandığı toprak hacmi ve köklenme derinliği sınırlanır ve verim olumsuz etkilenir. Bu sebeple toprakta sıkışmanın engellenmesi için toprak organik madde içeriğini arttıran yönetim sistemlerinin kullanılması ve bu

organik maddenin korunabilmesi için anız ve budama artıklarının araziden uzaklaştırılmadan toprağa geri kazandırılması ve işleme sayısının azaltılması gerekmektedir.

Çanakçı serisinde toprakların orta bünyeli ve hacim ağırlığının genel olarak 1.34 g cm^{-3} olması (Çizelge 4.1), toprakların sıkışma yönünden bir problemi olmadığını göstermektedir. Ancak 1.54 g cm^{-3} gibi yüksek hacim ağırlığı değerlerinin elde edildiği yaşlı bahçelerde muhtemel sıkışmadan dolayı köklerin etkilenmesi söz konusudur. Zira arazi çalışmaları sırasında özellikle yaşlı bahçe topraklarına sahip birkaç arazide yüzeyden itibaren 3-5 cm derinliğe kadar sıkışmış katmanın olduğu görülmektedir (Şekil 4.2). Toprakta sıkışmış katmanın varlığında gözeneklilik sisteminin bozulması ile toprak havalanmasının azalması, besin elementinin ve suyun yarayışlılığının düşmesi ve kök gelişiminin kısıtlanması söz konusudur (Ishaq ve ark., 2001; Batey ve McKenzie, 2006; Shah ve ark., 2017). Gerekli önlemler alınmadığı takdirde ise ürün veriminde sıkışmadan kaynaklı önemli ölçüde düşüşlerin yaşanması muhtemeldir.



Şekil 4.2. Portakal bahçesinde yüzeyin hemen altında bulunan sıkışmış katman

Yarayışlı su içeriğinin üst sınırı olan tarla kapasitesi Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla %25.83 ile 43.59, %24.00 ile 42.27 ve %30.68 ile 44.11 arasında değişmekle birlikte, ortalama %34.62, 31.73 ve 38.09 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Bitkilerin gelişimleri için gereksinim duyduğu suyun tutulmasında toprak tekstürünün belirleyici bir etkisi bulunmaktadır (Hillel, 1980). Hillel (1980), kil içeriği yüksek toprakların tarla kapasitesinin %42 dolaylarında olduğunu belirtmiştir. Kil içeriği yüksek olan serilerde ise elde edilen en yüksek tarla kapasitesi değerlerinin belirtilen literatür değerine yakın olduğu görülmektedir. Ancak arazi çalışmaları sırasında bazı noktalarda gözlemlenen toprak sıkışmasından dolayı Arıklı ve Helvacı serilerinde %25.83 ve %30.68 civarlarında tarla kapasitesinde tutulan düşük su içeriği de saptanmıştır. Toprakta kil içeriğinin yanı sıra organik madde içeriğinin de tarla kapasitesinde tutulan su içeriği üzerine etkileri önemlidir (Karahan ve ark., 2014). Yapılan çalışmalarda organik madde içeriğindeki artışın tarla kapasitesinde tutulan su içeriğini arttırdığı rapor edilmiştir (Ouattara ve ark., 2006; Leu ve ark., 2010). Zira organik madde, düşük hacim ağırlığı (Péridé & Ouimet, 2008), yüksek gözeneklilik, düşük

kabuklanma (de Rouw ve Rajot, 2004), yüksek agregasyon ve infiltrasyon (Franzluebbers, 2002; Mills ve Fey, 2003), yüksek yüzey alanı, yüksek absorpsiyon kapasitesi ve polisakkarit sakızı gibi bazı hidrofilik bileşiklerin (Bronick ve Lal, 2005) olumlu özelliklerinden dolayı nispeten daha yüksek bir su tutma kapasitesine sahiptir (Lal, 2020). Bu nedenle organik maddenin düşük olması, tarla kapasitesinde tutulan su içeriğinin de düşük olmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada da özellikle tarla kapasitesinin düşük olduğu arazilerde organik maddenin de düşük olduğu belirlenmiştir. Çanakçı serisinde yer alan tın, siltli tın, killi tın ve siltli killi tın olmak üzere orta bünyeli sınıfların tarla kapasitesinde tutulan su içeriklerinin ise sırasıyla %28, %31, %36 ve %38 olduğunu belirtmiştir (Hillel, 1980). Buna göre çalışma alanının genelinde tarla kapasitesinin %31.73 olması ise beklenen bir durumdur.

Yarayışlı su içeriğinin alt sınırı olan solma noktası Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde yer alan çalışma alanı topraklarında sırasıyla %16.52, 13.45 ve 22.19 ile %30.42, 25.76 ve 33.16 arasında değişmekte olup, ortalama %23.50, 17.57 ve 27.36 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Hillel (1980)'in değerlendirmesine göre her üç seride bulunan killi, tın, siltli tın, killi tın ve siltli killi tın tekstür sınıflarının solma noktasının sırasıyla %30, %14, %11, %22 ve %22 olduğu belirtilmiştir. Bu değerlendirmeye göre her üç serinin genelinde ortalama solma noktası değerlerinin literatüre yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde yer alan toprakların su tutma kapasitesi, gözeneklilik ve su dolu gözenek hacmine ait tanımlayıcı istatistikleri

Seri	Tanımlayıcı İstatistikler	TK	SN	YSİ	TG	MiG	MaG	SDGH
		(Hacimsel, %)				(cm ³ cm ⁻³)		
Arıklı	Minimum	25.83	16.52	2.29	0.48	0.26	0.10	0.50
	Maksimum	43.59	30.42	18.58	0.63	0.44	0.29	0.79
	Ortalama	34.62	23.50	11.12	0.57	0.35	0.23	0.60
	Std. Sapma	3.29	3.15	3.63	0.03	0.03	0.04	0.06
	VK (%)	9.51	13.40	32.69	4.52	9.51	17.28	10.3
	Yatıklık	0.32	-0.01	-0.24	-0.95	0.32	-0.80	0.75
Çanakçı	Minimum	24.00	13.45	7.12	0.45	0.24	0.10	0.47
	Maksimum	42.27	25.76	25.02	0.57	0.42	0.28	0.79
	Ortalama	31.73	17.57	14.16	0.51	0.32	0.19	0.63
	Std. Sapma	3.46	2.78	3.37	0.03	0.03	0.05	0.09
	VK (%)	10.92	15.81	23.82	6.11	10.92	27.11	13.9
	Yatıklık	0.54	0.73	0.46	0.01	0.54	-0.21	0.36
Helvacı	Minimum	30.68	22.19	2.90	0.53	0.31	0.11	0.53
	Maksimum	44.11	33.16	17.26	0.63	0.44	0.29	0.79
	Ortalama	38.09	27.36	10.72	0.59	0.38	0.21	0.65
	Std. Sapma	2.84	1.83	2.77	0.02	0.03	0.04	0.06
	VK (%)	7.46	6.68	25.84	3.71	7.46	19.41	9.3
	Yatıklık	0.00	0.36	0.13	-0.27	0.00	-0.31	0.36

VK: Varyasyon Katsayısı, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, YSİ: Yarayışlı Su İçeriği, TG: Toplam Gözeneklilik, MiG: Mikro Gözeneklilik, MaG: Makro Gözeneklilik, SDGH: Su Dolu Gözenek Hacmi

Bitkiye yarayışlı su, bitki için tüketilebilir durumda olan ve besin elementlerinin bitkiye taşınmasını sağlayabilecek suyun miktarını yansıtmakta olup (Blanco-Canqui ve Ruis, 2018), tarla kapasitesinde tutulan su içeriği ile solma noktasında tutulan su içeriği arasındaki farktan hesaplanmaktadır. Bitkilerin topraktan suyu rahat alabildiği aralık olan yarayışlı su içeriği, Arıklı serisinde %2.29 gibi çok düşük değerle %18.58 gibi yüksek değer arasında değişmekte ve ortalama %11.12 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Genel olarak çalışma alanında belirlenen değerlerin Hillel (1980)'in killi topraklar için belirttiği %12 yarayışlı suya yakın olduğu görülmektedir. Bununla birlikte yarayışlı suyun düşük olduğu noktalarda ise temel sebep organik maddenin düşüklüğü ve sıkışmanın varlığından dolayı tarla kapasitesinin düşük ve buna karşın aynı noktalarda elde edilen solma noktasının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Zira Zalidis ve ark. (2002) da yoğun tarımsal üretimin olduğu topraklarda organik maddenin azalmasının sıklıkla görülen bir durum olduğu ve bu topraklarda sıkışmanın yaşandığını belirtmiştir. Organik madde, toprakta hacim ağırlığı, gözeneklilik ve agregat gibi fiziksel özellikleri düzenleyerek su tutma kapasitesini iyileştirmektedir (Lal, 2020). Organik maddenin eksikliğinde ise fiziksel koşulların bozulması hızlanabilmektedir. Arıklı serisine benzer olarak Helvacı serisinde yarayışlı su içerikleri %2.90 gibi çok düşük bir değer ile %17.26 gibi nispeten yüksek bir değer arasında değişmekte olup, ortalama %10.72 olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Çalışma alanı topraklarında her ne kadar %2.90 gibi çok düşük değer elde edildiği birkaç nokta olsa da genel anlamda elde edilen bitkiye yarayışlı su içeriğinin Hillel (1980)'in killi tekstüre sahip topraklar için belirtmiş olduğu yarayışlı su içeriğine oldukça yakın bulunmuştur.

Örnekleme noktalarının çoğunluğu bahçelerin olduğu Çanakçı serisinde yarayışlı su içeriği %7.12 ile %25.02 değişmekle birlikte, ortalama %14.16 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2). Hillel (1980) Çanakçı serisinde yer alan tın, siltli tın, killi tın ve siltli killi tın olmak üzere orta bünyeli sınıfların yarayışlı su içeriklerinin sırasıyla %14, %20, %14 ve %16 olduğunu belirtmiştir. Genel olarak çalışma alanında elde edilen yarayışlı su içeriklerinin ise Hillel (1980)'in belirttiği değerlerle uyumludur. Yarayışlı su içeriği özellikle toprağın bünyesi ve organik madde içeriği ile önemli şekilde ilişkilidir (Tuller ve Or, 2005). Her ne kadar çalışma alanlarında toprakların organik madde içerikleri genel olarak birbirlerine yakın ve düşük olsa da (Çizelge 4.4), kil içeriği yüksek serilerden ziyade kil içeriği düşük olan orta bünyeli Çanakçı serisinde organik maddenin yarayışlı su içeriği üzerine etkisi daha belirgin olmuştur. 60 çalışmanın değerlendirildiği bir meta analizde topraktaki inorganik karbon artışının yarayışlı su üzerine $1.16 \text{ mm H}_2\text{O } 100 \text{ mm toprak}^{-1}$ gibi küçük bir etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir (Minasny ve McBratney, 2018). Aynı araştırmacılar, artışın ise kumlu topraklarda daha fazla olduğunu ve bunu tınlı toprakların takip ettiğini, killi topraklarda da artışın en az olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde bu çalışmada da kil içeriği yüksek topraklara kıyasla orta bünyeli topraklarda ortalama yarayışlı su içeriği daha yüksek olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte yarayışlı su içeriği düşük bulunan değerler özellikle sıkışmanın göstergesi olan penetrasyon direnci ve hacim ağırlığının yüksek olduğu oldukça yaşlı bahçelerde (+20 yıl) ve terk edilmiş şeftali bahçelerinde elde

edilmiştir. Buna karşın Hillel (1980)'in belirttiği aralığın üzerinde bulunan yarayışlı su içeriği ise, sürekli olarak bakımı yapılan genç ağaçların yer aldığı bahçelerde elde edilmiştir.

Toprakta bulunan gözenek miktarı ve bu gözeneklerin yapısı toprakta suyun tutunmasını, hareketini, kök gelişimini, gazların yayılmasını ve toprak içerisindeki canlılığı etkilemekte (Pires ve ark., 2017) ve toprak tekstürü, organik madde, mevcut nem içeriği ve arazi üzerindeki trafiğe bağlı olarak değişimler göstermektedir (Busscher, 1990). Arıklı serisi çalışma alanında toplam gözeneklilik 0.48 ile 0.63 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ arasında değişmekte ve ortalama 0.57 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Çalışma alanında toplam gözeneklilik değerlerinin birkaç nokta dışında genel olarak geniş bir aralıkta değişmediği görülmektedir. Çanakçı serisi çalışma alanında en düşük toplam gözeneklilik 0.45 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ olarak elde edilirken, en yüksek toplam gözeneklilik ise 0.57 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ olarak saptanmıştır (Çizelge 4.2). Ortalama toplam gözeneklilik değeri genel anlamda kil içeriği yüksek olan Arıklı ve Helvacı serilerine kıyasla daha düşük kil içeriğine sahip çalışma alanında 0.51 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ olarak daha düşük bir şekilde belirlenmiştir. Helvacı serisi çalışma alanında ise toplam gözeneklilik 0.53 ile 0.63 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ arasında değişmekte ve ortalama 0.59 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Çalışma alanında toplam gözeneklilik değerlerinin Arıklı serisinde olduğu gibi genel olarak ciddi aralıklarda değişmediği görülmektedir.

Toprakta suyun tutulmasından sorumlu olan mikro gözenekler Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla en düşük 0.26, 0.24 ve 0.31 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ile en yüksek 0.44, 0.42 ve 0.44 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde mikro gözenekler sırasıyla ortalama 0.35, 0.32 ve 0.38 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ 'dür (Çizelge 4.2). Toprakta suyun hareketi ve havalanmadan sorumlu olan makro gözenekler ise Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla en düşük 0.10, 0.10 ve 0.11 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ile en yüksek 0.28, 0.42 ve 0.29 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ aralıklarında değişmiştir. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde makro gözenekler sırasıyla ortalama 0.23, 0.19 ve 0.21 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Kök gelişiminin yeterli olabilmesi için havalanmadan sorumlu olan makro gözenekliliğin 0.10 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ 'ün altına inmemesi arzu edilmektedir (Carter, 1990). Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde elde edilen değerler incelendiğinde en düşük makro gözenekliliğin elde edildiği noktalar Carter (1990)'ın belirttiği sınırdan yer almakta ve bu noktaların dışındaki noktalarda her ne kadar hafif bir sıkışma hissedilse de halen havalanma açısından herhangi bir sıkıntı olmadığı görülmektedir.

Su dolu gözenek hacmi mikrobiyal aktivitenin en önemli göstergelerinden birisidir (Linn ve Doran, 1984). Bu konu ile ilgili ilk çalışmalardan olan inkübasyon çalışmalarında su dolu gözenek hacminin %60 civarında olmasının aerobik mikrobiyal aktiviteyi en yüksek düzeyde desteklediği bildirilmiştir (Linn ve Doran, 1984; Torbert ve Wood, 1992). Bu noktanın üzerindeki su dolu hacminde, havalanma azaldığından aerobik mikrobiyal aktivitenin de azalacağı belirtilmiştir. Bending ve ark. (2004) ise toprak tekstürü ve organik maddeye bağlı olarak su dolu gözenek hacminin %30-70 gibi daha geniş bir aralıkta olduğu topraklarda mikrobiyal aktivitenin en üst seviyede olduğunu belirtmiştir. Her üç çalışma alanında da su dolu gözenek hacmi birbirlerine benzer

aralıklarda değişmektedir. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde su dolu gözenek hacmi sırasıyla 0.50 ile 0.79, 0.47 ile 0.79 ve 0.53 ile 0.79 arasında değişim göstermekle birlikte ortalama olarak 0.60, 0.63 ve 0.65'dir. Her bir çalışma alanının genelinde toprakların ortalama su dolu gözenek hacminin literatürde belirtilen değerlere yakın olduğu ve genel itibari ile mikrobiyal aktiviteyi sınırlandıran bir etmen olmadığı görülmektedir. Ancak üç seride de en yüksek su dolu gözenek hacminin 0.79 olduğu arazilerde toprakta yeteri kadar havalanma olmaması sebebi ile problemler yaşanabilmektedir. Özellikle %60'ın üzerinde olan su dolu gözenek hacminde toprağa uygulanan azotlu gübrelerin, çok çeşitli heterotrofik bakteri ve mantarların anaerobik koşullar altında denitrifikasyonu sırasında N_2O 'ya indirgenmesi ile emisyonların arttığı rapor edilmiştir (Abbasi ve Adams, 2000; Skiba ve Ball 2002).

Toprak pH'sı Çukurova bölgesi topraklarına benzer olarak oldukça dar bir aralıkta değişmektedir. Toprak pH'sı Arıklı serisinde 7.48 ile 8.16, Çanakçı serisinde 6.97 ile 7.73 ve Helvacı serisinde ise 7.26 ile 8.27 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.3). Arıklı ve Helvacı serilerinde toprak pH'sı genel itibari ile hafif alkalın-orta derecede alkalın eğilimi gösterirken, Çanakçı serisinde bulunan toprakların pH'sı nötr ile hafif alkalın arasındadır. Kireç içeriği Arıklı serisinde %10.02-20.68, Çanakçı serisinde %5.61-20.98 ve Helvacı serisinde %12.16-20.72 arasında değişmekte olup, sırasıyla ortalama %14.83, 12.10 ve 16.25 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3). TÜBİTAK (2017)'ın çölleşme gösterge bilgi kartında kireç içeriği için tanımlanan sınıflamaya göre çalışılan toprak serilerinin kireç içeriği, ana materyallerine bağlı olarak orta kireçliden çok kireçliye kadar değiştiği görülmektedir. Çalışma alanlarının genelinde pH'nın hafif-orta derecede alkalın olması ve kireç içeriklerinin yüksek olması kök bölgesinde bitkilerin beslenmesi için fosfor, demir ve çinko gibi besin elementlerinin yarayışlılığını olumsuz etkileyebilir (Acir, 2019). Örneğin kirecin yüksek olduğu yerlerde önemli makro elementlerden biri olan fosfor, kalsiyum ile bileşik oluşturarak $CaPO_4$ 'a dönüşerek çözünürlüğü azalmaktadır (Lindsay ve ark., 1989). Çalışma alanlarının genel özellikleri dikkate alındığında da besin elementlerinin yarayışlılığı, tarımsal üretimde beslenme yönünden bir problem teşkil edebilir. Bu sebeple tarımsal üretimde kullanılan gübrelerde daha çok asidik karakterli gübrelerin tercih edilmesi, toprakta zamanla pH'nın nötr değerlere yaklaşılmasına ve besin elementlerinin yarayışlılığının artmasına sebep olacaktır.

Çizelge 4.3. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde yer alan toprakların kimyasal özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikleri

Seri	Tanımlayıcı İstatistikler	pH	EC (dS m ⁻¹)	SAR	Kireç (%)	P (mg kg ⁻¹)	K
Arıklı	Minimum	7.48	0.41	0.04	10.02	2.39	199.4
	Maksimum	8.16	2.51	0.48	20.68	59.82	497.2
	Ortalama	7.87	0.74	0.16	14.83	12.41	317.3
	Std. Sapma	0.11	0.34	0.07	1.88	7.85	66.32
	VK (%)	1.4	45.2	45.1	12.7	63.3	20.9
	Yatıklık	-0.74	3.05	1.84	0.32	3.37	0.94
Çanakçı	Minimum	6.97	0.42	0.01	5.61	3.01	146.9
	Maksimum	7.73	3.89	0.71	20.98	49.51	513.1
	Ortalama	7.37	0.85	0.12	12.10	19.03	304.1
	Std. Sapma	0.15	0.57	0.10	3.38	10.67	78.84
	VK (%)	2.0	66.7	82.6	27.9	56.1	25.9
	Yatıklık	0.20	3.05	2.77	0.76	0.71	0.31
Helvacı	Minimum	7.26	0.49	0.27	12.16	7.03	278.0
	Maksimum	8.27	3.93	2.80	20.72	38.22	474.1
	Ortalama	7.84	1.02	0.91	16.25	16.24	354.1
	Std. Sapma	0.22	0.74	0.56	1.71	5.07	35.74
	VK (%)	2.8	72.1	61.7	10.5	31.2	10.1
	Yatıklık	-0.47	2.27	0.97	0.24	1.08	0.16

VK: Varyasyon Katsayısı, EC: Elektriksel İletkenlik, SAR: Sodyum Adsorbsiyon Oranı, P: Fosfor, K: Potasyum

Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla 0.41, 0.42 ve 0.49 dS m⁻¹ ile 2.51, 3.89 ve 3.93 dS m⁻¹ arasında değişmektedir. Ortalama iletkenlik değerleri Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla 0.74, 0.85 ve 1.02 dS m⁻¹'dir (Çizelge 4.3). Tuzluluk göstergesi olan elektriksel iletkenlik değerleri genel olarak çalışma alanlarında toprakların tuzluluk probleminin olmadığını göstermektedir. Ancak, Çanakçı serisinde birkaç mandalina ve limon bahçelerinde ölçülen elektriksel iletkenlik değerlerinin 3.89 dS m⁻¹ gibi yüksek olması, özellikle tuzluluğa duyarlı olan bu bitkiler için üretimde verim kayıplarına sebep olacak düzeylerde. Zira Ayers ve Wescot (1985) limon ve greyfurt gibi narenciye ağaçlarının bulunduğu arazilerde elektriksel iletkenlik için 1.7-1.8 dS m⁻¹ sınır değerler olduğunu ve bu değerlerin üzerinde verim kayıplarının meydana gelebileceğini belirtmiştir. Üç seri arasında en yüksek elektriksel iletkenlik değerlerinin elde edildiği Helvacı serisinde, arazilerin tamamı salma sulama ile sulanmakta (Şekil 4.3) ve bu da toprakta tuzluluğun diğer iki seriye (Arıklı ve Çanakçı) göre daha yüksek çıkmasına sebep olmaktadır (Şekil 4.4). Ova içerisinde tuz içeriği yüksek serilerin başında gelen Helvacı serisinde son zamanlarda yapılan drenaj çalışmaları ile tuzluluk özellikle örneklenen alanda yüzey toprağında büyük ölçüde giderilmiştir. Her ne kadar ortalama elektriksel iletkenlik değeri bitkisel üretimi engelleyecek düzeyde olmasa da, üretim altında bulunan toprakların sürekli olarak salma sulama ile sulanması toprak tuzluluğunun ilerleyen yıllarda tekrardan problem yaratmasına yol açabilir. Zira kil içeriği yüksek olan çalışma alanında özellikle sıcaklığın ve nemin yüksek olduğu

yaz aylarında yapılan salma sulama sonrasında kapillarite ile birlikte yüzeyde tuz birikimleri yaşanabilmektedir.



Şekil 4.3. Helvacı serisine ait arazilerde salma sulama



Şekil 4.4. Salma sulama yapılan bir arazide sulama sonrası yüzeyde tuz birikimi

Topraktaki sodikliğin göstergesi olan sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) tuzluluğa benzer olarak her üç seride de bitkisel üretim için sorun teşkil edecek seviyelerin oldukça uzağındadır. En yüksek SAR Arıklı serisinde 0.48, Çanakçı serisinde 0.71 ve Helvacı serisinde 2.80 olarak belirlenmiştir. Arıklı serisinden Çukurova bölgesinin güneyinde yer alan Helvacı serisine doğru gidildikçe SAR artmıştır. Helvacı serisinde topraktaki sodikliğin göstergesi olan SAR 2.80 gibi nispeten yüksek değere sahip olsa da, SAR'ın bu seride ortalama olarak 0.91 olması (Çizelge 4.3) çalışma alanında sodikliğin bitkisel üretim için sorun teşkil edecek seviyelerin uzağında olduğunu göstermektedir.

Yoğun tarımsal üretimin yapıldığı Arıklı serisi çalışma alanı topraklarında yarıyıllık fosfor içeriği 2.39 mg kg^{-1} gibi çok düşük bir değer ile 59.82 mg kg^{-1} gibi yüksek değer aralığında değişirken, ortalama 12.41 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Çanakçı serisi topraklarının

yarayışlı fosfor içerikleri Arıklı serisine benzer olarak 3.01-49.51 mg kg⁻¹ aralığında değişmekte olup, ortalama 19.03 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.3). Helvacı serisi topraklarının yarayışlı fosfor içeriği ise 7.03-38.22 mg kg⁻¹ arasında, diğer iki seriye kıyasla daha dar bir aralıkta değişmektedir. Helvacı serisinde ortalama yarayışlı fosfor içeriği 16.24 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Bitkide enerji depolama ve transferinden sorumlu olan fosfor, bitkisel üretimde en önemli makro elementlerden biridir. Bai ve ark. (2013), farklı toprak tiplerinde ürün verimi, toprak verimliliği ve çevre güvenliği için Olsen yöntemi ile belirlenen yarayışlı fosfor seviyelerini araştırdığı çalışmalarında optimum ürün verimi için kritik seviyelerinin 10.9-21.4 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini ve bunun üstünde ürün veriminin yarayışlı fosfor artışına daha az tepki verdiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmaya göre Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serisi topraklarının ortalama fosfor içeriklerinin optimum ürün verimi için kritik seviyelerde olduğunu göstermektedir. Ancak bazı arazilerde yarayışlı fosfor optimum verim için gerekli olan sınırın altında iken, bir kısım arazilerde ise yüksek konsantrasyon nedeniyle Zn başta olmak üzere besin elementlerinin alımını engelleyebileceğinden (Mousawi, 2011) ürün veriminde düşüslere neden olabilecektir (Gezgin ve Hamurcu, 2006). Ayrıca fosforun yüksek olduğu arazilerde gerçekleşecek yüzey akış ile fosforun yüzey sularına karışıp, suda besin yükünün artması ile gerçekleşen ötrofikasyon (Oliveira ve Machado, 2013) dikkat edilmesi gereken tarımsal üretim kaynaklı çevresel bir sorundur. Çalışma alanlarından özellikle denize ve su kaynaklarına yakın konumda bulunan Helvacı serisinde bulunan arazilerde, bu duruma daha çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Zira topraklar salma sulama yöntemi ile sulandığı için besin elementlerinin taşınarak sulara karışması daha kolay olacaktır. Çalışma alanının genelinde bitkisel yetiştiricilikte azotlu gübreler başta olmak üzere gübrelerin toprak analizine bağlı kalmadan kullanılması (İbrikçi ve ark., 2015), toprakların yarayışlı fosfor içeriklerinin değişim göstermesine sebep olmuştur. Gerek maliyet gerekse çevresel koruma bakımından toprak analizine dayalı olarak ihtiyaç duyulan gübrelemenin yapılması gerekmektedir.

Arıklı serisinde yarayışlı potasyum içeriği 199.4-497.2 mg kg⁻¹ arasında değişmekte olup, ortalama 317.3 mg kg⁻¹'dir (Çizelge 4.3). Çanakçı serisinde yarayışlı potasyum içeriği 146.9-513.1 mg kg⁻¹ arasında değişmekle birlikte, ortalama 304.1 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.3). Helvacı serisinde ise yarayışlı potasyum içeriği 278.0-474.1 mg kg⁻¹ arasında değişmekte ve ortalama 354.1 mg kg⁻¹'dir (Çizelge 4.3). Bir diğer önemli makro besin elementi olan potasyum bitkide enzim aktivitesi, fotosentezin gerçekleşmesi ve fotosentez ürünlerinin taşınması gibi önemli fonksiyonlara sahiptir. FAO (1990)'nun yarayışlı potasyum için belirttiği sınır değerlerine göre çalışma alanı topraklarının yarayışlı potasyum içerikleri, yeterli ile çok fazla sınıfları arasındadır. Türkiye topraklarının büyük bir çoğunluğunda potasyum içeriklerinin yeter veya zengin olduğu bilinmektedir (Özyazıcı ve ark., 2016). Benzer şekilde Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde yoğun üretim altında bulunan toprakların yarayışlı potasyum içerikleri Türkiye topraklarına benzer olarak yeterli ve fazla sınıfına girmektedir.

Toprak organik maddesi, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerindeki etkisinden dolayı toprak kalitesinin önemli bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Page ve ark., 2020). Bu yönüyle organik madde, tarımsal üretim için son derece önemli bir toprak bileşenidir. Akdeniz iklimi altında yer alan çalışma alanında toprakların genel olarak organik madde içeriği düşüktür. Arıklı serisinde organik madde içeriği %1.09-2.89 arasında değişmektedir (Çizelge 4.4). Çoğunluğunu bahçelerin oluşturduğu Çanakçı serisinde organik madde %0.70-3.87 aralığında değişmektedir (Çizelge 4.4). Helvacı serisinde ise toprakların organik madde içeriği %1.00-2.38 arasında değişmektedir (Çizelge 4.4). Tarımsal üretimde kullanılan toprakların geleneksel olarak özellikle kulaklı pulluk gibi toprağı ters yüz eden aletler ile işlenmesi, organik madde içeriğinin azalmasına sebep olmaktadır. Zira toprak işleme ile toprak agregatları tahrip olmakta ve artan havalanma ile organik maddenin oksidasyonu hızlanmaktadır (Acar ve ark., 2018). Ayrıca yasal olmamakla birlikte potansiyel organik madde kaynağı olan anızların yakılması (Şekil 4.1) organik madde içeriğinin düşük olmasının bir diğer önemli sebebidir. Zira, birçok çalışma toprağın periyodik olarak kulaklı pullukla geleneksel olarak işlenmesi ve anızların araziden uzaklaştırılmasının toprakta organik madde içeriğinin azalmasına neden olduğunu ortaya koymuştur (Zhang ve ark., 2016; Celik ve ark., 2017; Xu ve ark., 2019). Bunun aksine, özellikle çoğunluğunu bahçelerin oluşturduğu Çanakçı serisinde birkaç bahçe dışında geriye kalan bahçelerde toprak organik maddesi aynı alandaki tarla topraklarına kıyasla daha yüksektir. Bu bahçelerin büyük çoğunluğunu doğrudan ziraat mühendisi desteği alan büyük çiftçiler işletmektedir. Arazi çalışmaları zamanında yapılan gözlem ve görüşmelerde ise aralıklı olarak toprak analizinin yapıldığı ve üretimde organik gübrelerin de kullanıldığı öğrenilmiştir. Bu da toprakta tarla tarımına kıyasla bahçelerde organik maddenin iyileştirilmesine yönelik önemli bir uygulamadır.

Çizelge 4.4. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde yer alan toprakların biyolojik özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikleri

Seri	Tanımlayıcı İstatistikler	Organik Madde (%)	Mikrobiyal Biyokütle Karbon (mg kg ⁻¹)	β-Glikosidaz Enzim Aktivitesi (mg PNP kg ⁻¹ sa ⁻¹)
Arıklı	Minimum	1.09	59.12	32.20
	Maksimum	2.89	147.22	312.59
	Ortalama	1.90	83.88	87.45
	Standart Sapma	0.33	18.80	64.18
	VK (%)	17.58	22.41	73.39
	Yatıklık	0.24	1.29	2.37
Çanakçı	Minimum	0.70	24.84	20.75
	Maksimum	3.87	166.41	316.78
	Ortalama	1.71	89.12	117.70
	Standart Sapma	0.65	34.35	84.75
	VK (%)	38.13	38.54	72.01
	Yatıklık	1.08	0.36	0.90
Helvacı	Minimum	1.00	21.51	13.64
	Maksimum	2.38	79.76	131.33
	Ortalama	1.64	41.58	50.14
	Standart Sapma	0.31	13.34	15.84
	VK (%)	18.84	32.08	31.59
	Yatıklık	0.09	0.77	1.45

VK: Varyasyon Katsayısı

Toprak kalitesinin biyolojik göstergelerinden birisi olan mikrobiyal biyokütle karbonu (MBK) aktif organik madde havuzunun temel bir bileşeni olup, topraktaki besin ve enerji döngüsünü düzenlemekte (Wardle, 1992) ve bu sebeple amenajman uygulamalarının toprağın fiziko-kimyasal özellikleri üzerindeki değişimlerini en hızlı gösteren indikatörlerden birisi olarak kabul edilmektedir (Trasar-Cepeda ve ark., 1997). Toprakların MBK içerikleri Arıklı serisinde 59.12-147.22 mg kg⁻¹, Çanakçı serisinde 24.84-166.41 mg kg⁻¹ ve Helvacı serisinde 21.51-79.76 mg kg⁻¹ arasında değişmekte ve sırasıyla ortalama 83.88, 89.12 ve 41.58 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.4). Toprakların MBK içerikleri genel olarak düşüktür. Zira Arıklı serisinin yer aldığı Vertisol toprak ordosunda belirlenen MBK'un tarım toprakları için olması gereken miktarının 0.3 mg g⁻¹ (300 mg kg⁻¹) civarında olduğu bildirilmektedir (Bell ve ark., 2006). Bu değerlere göre Arıklı serisinin MBK içerikleri düşüktür. Toprakların geleneksel olarak yoğun bir şekilde işlenmesi ile organik madde içeriğinin azalmasına paralel olarak MBK içeriğinin de azalmasına sebep olmuştur. Zira Campbell ve ark. (1997)'da topraktaki MBK'u kontrol eden temel faktörün bitki atıklarından gelen biyokütle karbonu oranı olduğunu bildirmişlerdir. Çalışma alanlarında gerek tarla tarımında gerekse bahçede bitki atıklarından gelen biyokütle karbon oranının düşük olması MBK'un da düşük olmasına sebep olmuştur.

Bir başka biyolojik gösterge olan beta glikosidaz enzim aktivitesi toprak organik maddesinin durumu ve döngüsündeki değişimlere en hızlı tepki veren biyolojik özelliklerin başında gelmekte (Steger ve ark., 2010) ve toprak mikroorganizmalarının ilk enerji kaynağı olarak selüloz parçalanmasının son aşamasında glikoz açığa çıkarken görev yapmaktadır (Knight ve Dick, 2004). Ayrıca karbon ve azot döngülerinde önemli rol oynadığı için beta glikosidaz enzim aktivitesi, önemli bir toprak kalitesi indikatörü olarak kabul edilmektedir (Stott ve ark., 2010; Swanepoel ve ark., 2015). Beta glikosidaz enzim aktivitesi Arıklı serisinde 32.20-312.59 mg PNP kg⁻¹ sa⁻¹, Çanakçı serisinde 20.75-316.78 mg PNP kg⁻¹ sa⁻¹ ve Helvacı serisinde 13.64-131.33 mg PNP kg⁻¹ sa⁻¹ arasında değişmiştir (Çizelge 4.4). Mikrobiyal biyokütle karbona benzer şekilde organik maddenin düşüklüğüne paralel olarak beta glikosidaz enzim aktivitesi de çalışma alanlarında oldukça düşük kabul edilebilecek düzeylerde. Yoğun tarımsal üretim altında bulunan Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde bitkisel yetiştiricilikte kulaklı pullukla işleme, salma sulama ve anız atıklarının araziden uzaklaştırılması gibi geleneksel yöntemlerin kullanılması toprakta biyolojik aktivitenin ve dolayısı ile beta glikosidaz enzim aktivitesinin azalmasına sebep olmuştur (Melero ve ark., 2011; Alvaro-Fuentes ve ark., 2013; Willekens ve ark., 2014).

Arazide toprak özelliklerinin değişkenliklerinin kıyaslanmasında standart sapmanın ortalamaya oranı olarak hesaplanan varyasyon katsayısı (VK) oldukça yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Varyasyon katsayısı $\leq 15\%$ olduğunda değişkenlik düşük, $15-35\%$ arası olduğunda orta düzeyde değişken ve $\geq 35\%$ olduğunda ise yüksek düzeyde değişken olarak sınıflandırılmaktadır (Wilding ve ark., 1994). Buna göre her üç seride toprak pH'sı en düşük değişkenlik gösteren özellik olmuştur. Bu sonuç Dobermann ve ark. (2003), Fu ve ark. (2010) ve Günel ve ark. (2020)'nın

sonuçları ile uyumludur. Toprak pH'sının, dönüştürülmüş hidrojen iyonu konsantrasyonu ölçümünden dolayı (Behera ve Shukla, 2014), varyasyon katsayısı düşüktür. Bununla birlikte toprak pH'sı logaritmik bir özellik olduğu için her bir birimlik değişim 10 kat etki etmektedir. Dolayısıyla her ne kadar dar bir aralıkta değişim gösterse de, bitkilerin besin elementi alımında önemli etkileri olabilir. Buna karşın en yüksek değişkenliğe sahip özellikler ise Arıklı serisinde %73.39 ile beta glikosidaz enzim aktivitesi, Çanakçı serisinde %82.61 ile sodyum adsorbsiyon oranı ve Helvacı serisinde %72.10 ile elektriksel iletkenlik olmuştur. Arıklı serisinde biyolojik bir gösterge olan beta glikosidaz enzim aktivitesinin yüksek değişkenlik göstermesi beklenen bir durumdur. Biyolojik bir gösterge olan beta glikosidaz enzim aktivitesi toprak yönetim uygulamalarına oldukça hassastır (Nunes ve ark., 2020). Bu da örnekleme alanı içerisinde tarla ve bahçe tarımının olduğu Arıklı serisinde uygulanan geleneksel işleme yönteminde işleme sayısı ve derinliğinin farklılaşması, yetiştirilen ürünün farklı olması ve kullanılan gübrenin farklılık göstermesi, beta glikosidaz enzim aktivitesinin yüksek değişkenlik göstermesine neden olmuştur. Çanakçı serisinde farklı türde bahçelerin ve tarlaların olması, farklı türde kimyasal gübre kullanımına sebep olmaktadır. Bu durumda toprakta kalsiyum, magnezyum ve sodyum oranlarının ve bu elementlerin suda değişebilir formlarından hesaplanan sodyum adsorbsiyon oranının, her ne kadar sodiklik açısından önemsenmeyecek değerler olsa da, rakamsal olarak geniş bir aralıkta değişmesi, değişkenliğinin yüksek olmasına sebep olmuştur. Helvacı serisinde ise tuzluluk göstergesi olan elektriksel iletkenlik çalışma alanı içerisinde bulunan arazilerde uygulanan salma sulamanın süresi, dönemi ve sayısından kaynaklı değişkenlikten dolayı yüksek düzeyde değişkenlik göstermiştir.

Arıklı serisinde silt, kil, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi, solma noktası, toplam gözeneklilik, mikro gözeneklilik, su dolu gözenek hacmi ve kireç değerlerinin değişkenliği düşük düzeydedir. Ağırlıklı ortalama çap, agregat stabilitesi, penetrasyon direnci, yarayışlı su içeriği, makro gözeneklilik, potasyum ve mikrobiyal biyokütle karbon değerlerinin değişkenliği orta düzeyde iken, kum, elektriksel iletkenlik, sodyum adsorbsiyon oranı ve fosfor değerlerinin ise değişkenliği yüksek düzeyde bulunmuştur. Çanakçı serisinde toplam gözeneklilik, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi, mikro gözeneklilik, su dolu gözenek hacmi ve silt değerlerinin değişkenliği düşük değişkenlik göstermiştir. Kil, solma noktası, yarayışlı su içeriği, kum, potasyum, makro gözeneklilik, kireç ve penetrasyon direnci değerlerinin değişkenliği orta düzeyde iken, organik madde, mikrobiyal biyokütle karbon, agregat stabilitesi, fosfor, elektriksel iletkenlik, beta glikosidaz enzim aktivitesi ve ağırlıklı ortalama çap değerlerinin değişkenliği ise yüksek olarak elde edilmiştir. Helvacı serisinde ise toplam gözeneklilik, solma noktası, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi, mikro gözeneklilik, su dolu gözenek hacmi, kil, potasyum, kireç ve silt düşük değişkenliğe sahip diğer toprak özellikleri olmuştur. Çalışma alanında organik madde, makro gözeneklilik, yarayışlı su içeriği, penetrasyon direnci, agregat stabilitesi, fosfor, beta glikosidaz enzim aktivitesi, mikrobiyal biyokütle karbonu ve kum değerleri orta derecede değişken iken, ağırlıklı ortalama çap ve sodyum adsorbsiyon oranı ise yüksek derecede değişken grubunda sınıflandırılmıştır.

4.2. Toprak Özelliklerinin Mesafeye Bağlı Değişimleri

Ayrıklı serisi için seçilen çalışma alanı topraklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri için elde edilen semivariogram modelleri ve bu modellere ait parametreler Çizelge 4.5’de verilmiştir. Toprak özelliklerinden toplam gözeneklilik, elektriksel iletkenlik ve beta glikosidaz enzim aktivitesi için mesafeye bağlı değişkenliğini üssel model en iyi temsil etmiştir. Geriye kalan diğer özellikler için en iyi model ise küresel model olmuştur.

Çizelge 4.5. Ayrıklı serisinde toprak özelliklerine ait semivariogram modeller ve parametreleri

Ayrıklı	Model	Nugget (Co)	Sill (Co+C)	UB (%)	Range (m)	Aktif Lag (m)	Lag mesafesi (m)	r ²	RSS
AOÇ	Küresel	0.011	0.0513	21.4	343	700	70	0.732	4.55E-04
AS	Küresel	47.1	121.8	38.7	518	900	60	0.845	1327
PD	Küresel	0.1012	0.3844	26.3	298	700	60	0.689	0.0285
HA	Küresel	0.00001	0.00555	0.2	114	350	35	0.741	8.41E-06
SDGH	Küresel	0.00169	0.00419	40.3	920	1850	155	0.835	1.09E-06
TK	Küresel	4.52	12.47	36.2	1177	1800	172	0.894	6.77
SN	Küresel	1.79	11.89	15.1	871	1400	158	0.985	1.07
YSİ	Küresel	6.34	14.31	44.3	538	900	60	0.892	10.2
TG	Üssel	0.00014	0.00076	18.4	984	1400	108	0.873	4.07E-08
MiG	Küresel	0.00049	0.00127	38.6	1285	1750	106	0.864	1.45E-07
MaG	Küresel	0.00074	0.00177	41.8	816	1700	101	0.853	2.25E-07
pH	Küresel	0.00409	0.01338	30.6	473	650	62	0.799	2.10E-05
EC*	Üssel	0.00001	0.01202	0.1	183	500	44	0.561	4.61E-05
Kireç	Küresel	1.635	3.856	42.4	574	850	65	0.598	3.88
SAR*	Küresel	0.00117	0.00356	32.9	495	850	80	0.622	2.88E-06
P*	Küresel	1.15	14.37	8.0	254	800	93	0.899	7.75
K	Küresel	320	5388	5.9	1103	1300	85	0.921	3.17E-06
OM	Küresel	0.0255	0.129	19.8	1017	1550	116	0.948	7.19E-04
MBK	Küresel	58	390.6	14.8	1065	1450	115	0.835	25523
BGEA*	Üssel	183	537	34.1	1059	1800	200	0.746	18961

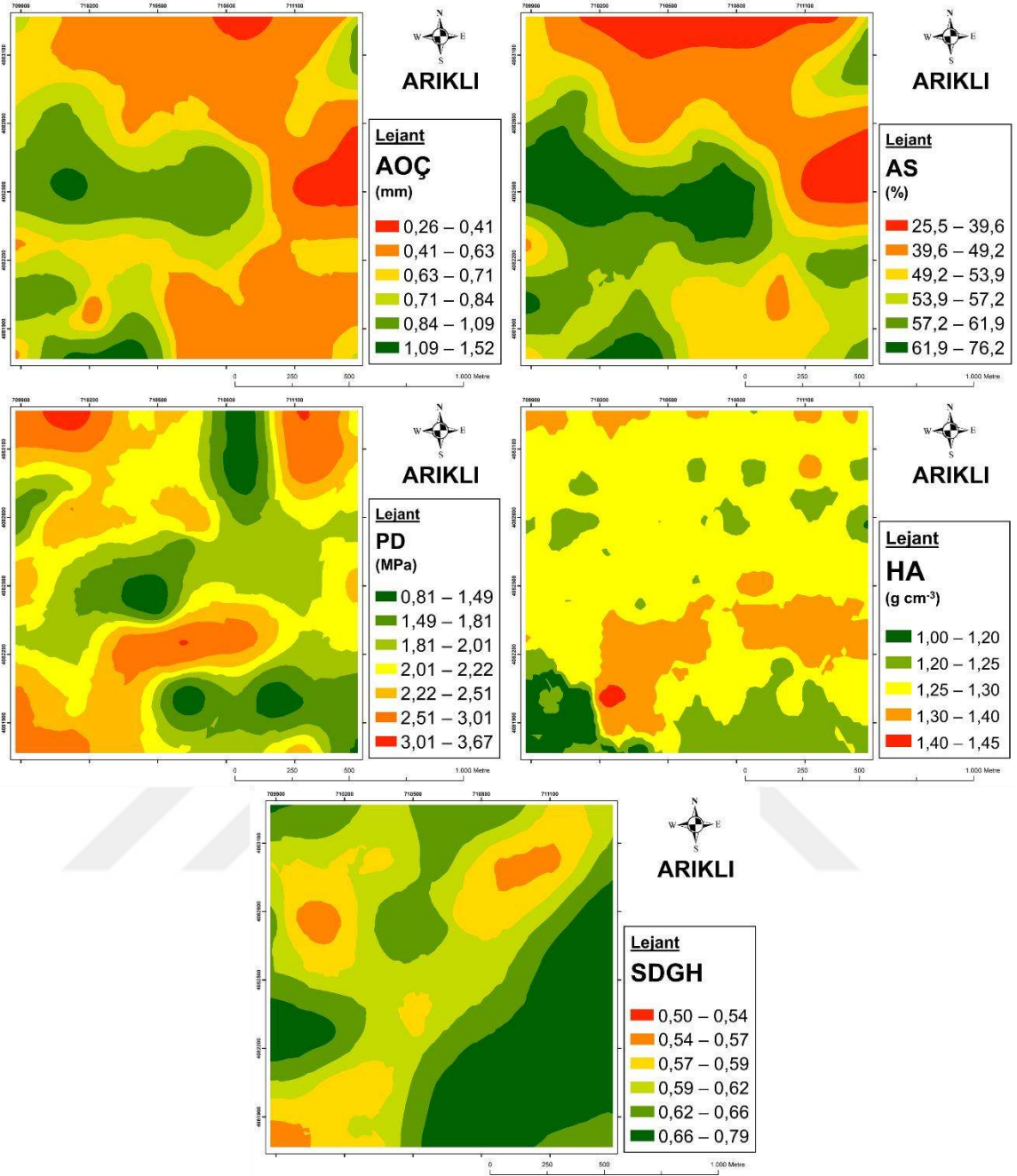
AOÇ: Ağırlıklı ortalama çap, AS: Agregat stabilitesi, PD: Penetrasyon direnci, HA: Hacim ağırlığı, TK: Tarla kapasitesi, SN: Solma noktası, YSİ: Yarıyışlı su içeriği, TG: Toplam gözeneklilik, MiG: Mikro gözeneklilik, MaG: Makro gözeneklilik, SDGH: Su dolu gözenek hacmi, EC: Elektriksel iletkenlik, SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı, OM: Organik madde, P: Fosfor, K: Potasyum, MBK: Mikrobiyal biyokütle karbonu, BGEA: Beta glikosidaz enzim aktivitesi, UB: Uzaysal bağımlılık, RSS: Hata kareler toplamı, *: Veri setinden örnek/örnekler çıkarılmıştır.

Arazide, iki nokta arasında toprak özelliklerinin mesafeye bağlı değişimlerinin boyut olarak ifade edilmesinde uzaysal bağımlılık yaygın olarak kullanılmaktadır (Dengiz ve ark., 2015; Reza ve ark., 2016; Guo ve ark., 2017; Chen ve ark., 2020, Günal ve ark., 2021). Nugget semivaryansın toplam semivaryansa oranının yüzde ifadesi olan uzaysal bağımlılık (Wang ve Shao, 2013), ≤ 25 olduğunda toprak özelliğinin kuvvetli derecede mesafeye bağımlı, 25 ile 75 arasında orta derecede bağımlı ve >75 olduğunda zayıf bağımlı olduğu kabul edilir (Cambardella ve ark., 1994).

Bir başka deyişle, örnekler arasındaki uzaysal bağımlılığın kuvvetli/güçlü olması, bu örnekler arasındaki kısa mesafelerde benzerliğin ortadan kalkmadığını ve zayıf olması ise örnekler arasında kısa mesafelerde benzerliğin olmadığını göstermektedir. Arıklı serisi çalışma alanında toprak özelliklerinden ağırlıklı ortalama çap, solma noktası, toplam gözeneklilik, hacim ağırlığı, elektriksel iletkenlik, organik madde, fosfor, potasyum ve mikrobiyal biyokütle karbon kuvvetli derecede uzaysal bağımlılık gösterirken, geriye kalan özelliklerin tamamı orta derecede uzaysal bağımlılığa sahiptir.

Range değerinin içindeki mesafelerde yer alan örneklerin birbirlerine uzaysal olarak benzer olduğu, yani range değeri örneklerin iki noktada birbirleri ile ilişkili olabileceği maksimum mesafeyi göstermektedir. Li ve Heap (2008) belirlenen değişim aralığından daha büyük bir mesafede yer alan iki örneğin, birbirinden bağımsız olduğunu belirtmiştir. Arıklı serisi çalışma alanında range değerleri 1285 m (mikro gözeneklilik) ile 114 m (hacim ağırlığı) arasında değişmektedir (Çizelge 4.5). Çalışma alanında parsel genişliklerinin düşük olması ve kısa mesafelerde uygulamaların farklılaşması hacim ağırlığının da kısa mesafelerde farklılaşmasına neden olmuştur. Zira hacim ağırlığı dinamik bir özellik olup, işleme ve gübreleme gibi toprak yönetim uygulamalarına ve farklı arazi kullanımlarına hassas bir özelliktir (Rachman ve ark., 2003; Jin ve ark., 2021; Polanía-Hincapié ve ark., 2021). Bu çalışmaya benzer şekilde parsel genişliklerinin düşük olduğu çalışmalarda da hacim ağırlığı için düşük range değerleri elde edilmiştir (Kılıç ve ark., 2004; Wang ve Shao, 2013; Usowicz ve Lipiec, 2017).

Arıklı serisinde fiziksel toprak özelliklerine ait mesafeye bağlı değişim haritaları Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da, kimyasal toprak özelliklerine ait mesafeye bağlı değişim haritaları Şekil 4.7'de ve biyolojik toprak özelliklerine ait mesafeye bağlı değişim haritaları ise Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Arıklı serisi örnekleme alanında ağırlıklı ortalama çap (AOÇ), agregat stabilitesi (AS), penetrasyon direnci (PD), hacim ağırlığı (HA) ve su dolu gözenek hacminin (SDGH) mesafeye bağlı değişimi

Topraktaki bireysel taneciklerin organik madde ve kireç gibi çimentolayıcı maddeler ile bir araya gelerek oluşturduğu strüktürün göstergeleri olan ağırlıklı ortalama çap ve agregat stabilitesine ait yersel değişim haritaları nispeten birbirine benzerdir (Şekil 4.5). Çalışma alanının daha çok güneybatısında, >0.70 mm ağırlıklı ortalama çap ve %53.9'dan büyük agregat stabilite değerleri bulunurken, çalışma alanında kuzeydoğuya doğru gidildikçe bu değerler azalmaktadır. Strüktür göstergeleri olan ağırlıklı ortalama çap ve agregat stabilite değerlerinin yüksek olması, toprakların su ve rüzgar erozyonuna karşı dayanıklılığının iyi olduğunu göstermektedir (Canton ve ark., 2009).

Bu kapsamda, Arıklı serisi çalışma alanının güneybatısındaki toprakların su ve rüzgar erozyonuna karşı daha dayanıklı olduğu söylenebilir. Ancak, çalışma alanında tarla tarımının daha fazla olması ve bu noktalarda toprakların geleneksel olarak yoğun şekilde işlenmesi ve organik maddenin düşük olması, agregatların dayanıklılığını azalttığından tarımsal üretimde kullanılan geleneksel yöntemlerin toprağın bozulmaya karşı direncini azaltan önemli bir tehlike olduğu unutulmamalıdır. Zira yapılan pek çok çalışmada da geleneksel olarak işlenen arazilerde toprakların agregat stabilitesinin korumalı uygulamalara kıyasla düşük olduğu rapor edilmektedir (Paul ve ark., 2013; Sithole ve ark., 2019; Çelik ve ark., 2020). Bu nedenle agregatların dayanımını azaltan yöntemler yerine onu koruyan ve geliştiren korumalı uygulamalar kullanılmalıdır.

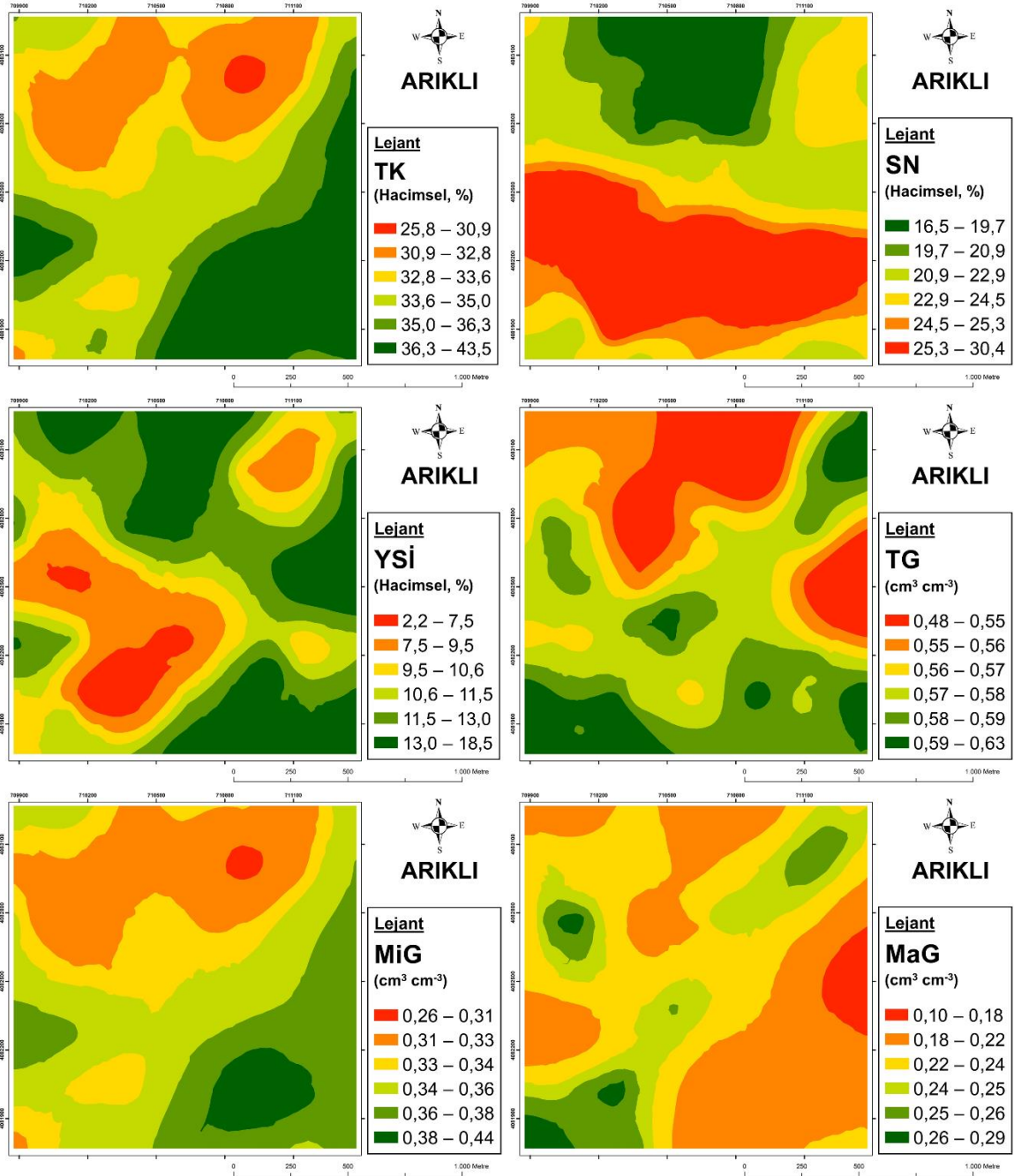
Toprak sıkışmasının göstergeleri olan penetrasyon direnci ve hacim ağırlığının mesafeye bağlı değişim haritaları Şekil 4.5'te verilmiştir. Penetrasyon direnci için çeşitli araştırmaların derlendiği bir çalışmada 3 MPa değerinin kritik bir değer olduğu rapor edilmiştir (Hakansson ve Lipiec, 2000). Sıkışmanın bir diğer göstergesi olan hacim ağırlığı için Amerikan Ulusal Toprak Etüt El Kitabında %45'den daha fazla kil içeren killi bünyeli topraklarda 1.39 g cm^{-3} değeri kök gelişiminde kısıtlamaların başladığı değer olarak belirtilmiştir (NRCS, 2022). Bu iki özellik bu değerlere göre incelendiğinde çalışma alanının belli yerlerinde yüksek penetrasyon direnci değerlerinin olduğu görülmektedir (Şekil 4.5). Bununla birlikte, çalışma alanının genelinde toprakta sıkışma probleminin olmadığı söylenebilir. Ancak organik madde içeriğinin düşük olduğu çalışma alanlarında özellikle penetrasyon direnci değerlerinin literatürde belirtilen kritik değerlere yakın olduğu yerlerde gelecekte yaşanması muhtemel sıkışma probleminin kök gelişimini olumsuz etkileyebileceği unutulmamalıdır. Yüksek penetrasyon direnci ölçülen çalışma alanının güneybatı kısmında, penetrasyon direncinin aksine düşük hacim ağırlıklarının elde edilmiş olması dikkat çekicidir. Penetrasyon direnci, örnekleme derinliği olan 0-20 cm derinlikte yüzeyden itibaren her bir cm derinlikte spesifik olarak ölçülmektedir. Hacim ağırlığı ise örnekleme esnasında üst toprağın yaklaşık olarak 3-5 cm'si düzgün bir şekilde uzaklaştırıldıktan sonra 5 cm boyutuna sahip çelik silindir ile 8-15 cm derinliği temsilen bozulmamış olarak örneklenmektedir. Örnekleme esnasında, silindir içine bitki kökleri yoğun bir şekilde girebilmektedir. Mineral topraktan daha düşük hacim ağırlığına sahip bitki köklerinin silindir içerisindeki yoğunluğuna bağlı olarak, hacim ağırlığı değerleri olması gerekenden daha düşük olabilmektedir. Bu nedenle penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı değerlerinin uyumsuzluğunun temel nedeninin örnekleme yapılan noktada, silindir içerisine kök ve diğer bitki artıklarının karışmış olma olasılığı olduğu düşünülmektedir.

Arıklı serisi çalışma alanında su dolu gözenek hacmi 0.50 ile 0.79 arasında değişmektedir (Şekil 4.5). Arazi koşullarındaki mevcut su içeriği ve toplam gözeneklilik kullanılarak hesaplanan su dolu gözenek hacminin nispeten geniş bir aralıkta olması, çalışma alanındaki ürün çeşitliliği ve bu bitkilerin farklı düzeylerde su ihtiyacı nedeniyle farklı zamanlarda ve miktarlarda sulanması ile ilişkilendirilmiştir. Literatürde mikrobiyal aktivitenin en yüksek olduğu su dolu gözenek hacmi, %60 olarak bildirilmiştir (Linn ve Doran, 1984; Torbert ve Wood, 1992). Bending ve ark. (2004) ise

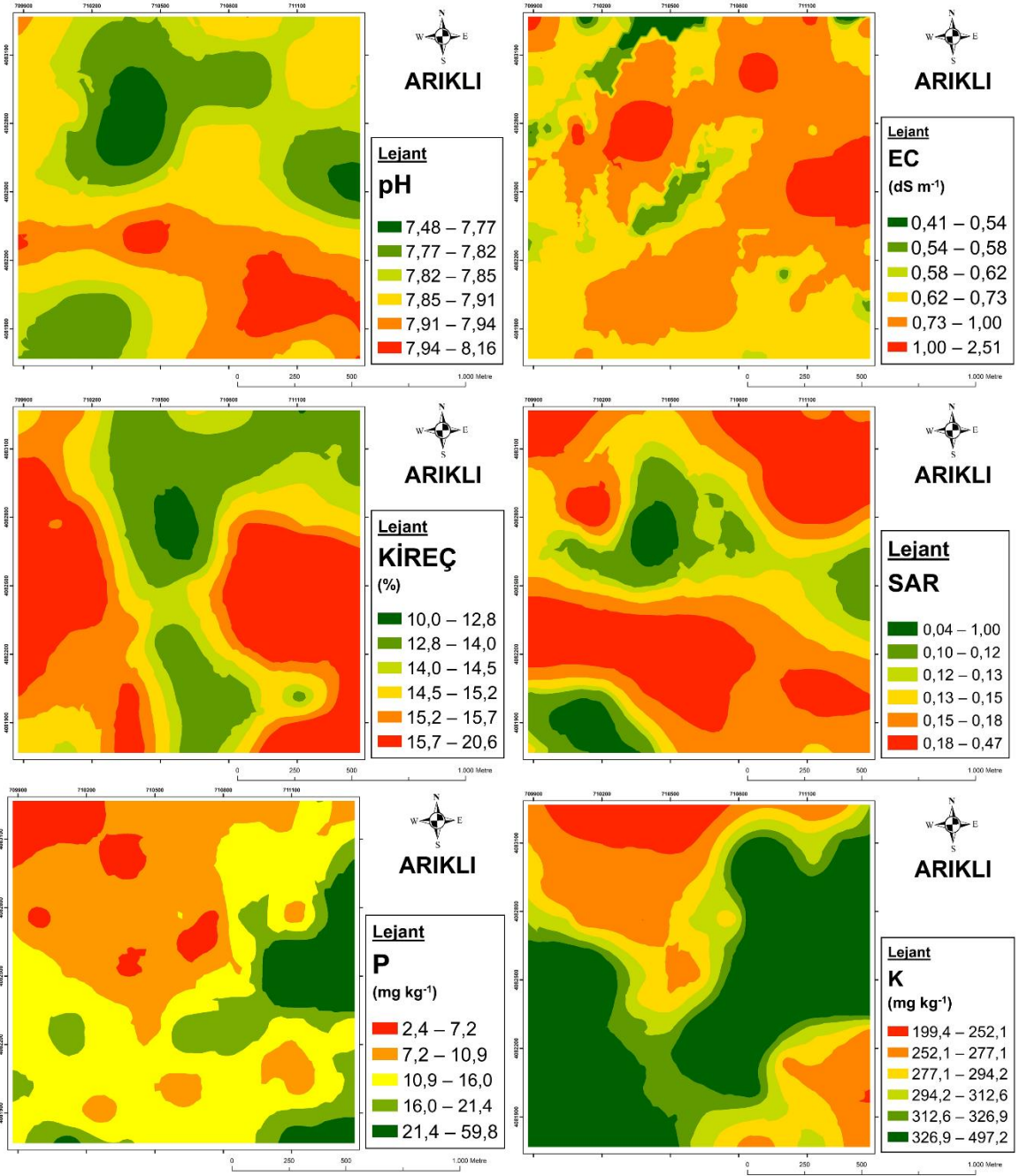
toprak tekstürü ve organik maddeye bağlı olarak su dolu gözenek hacminin %30 ile %70 gibi daha geniş bir aralıkta olduğu topraklarda mikrobiyal aktivitenin en üst seviyede olduğunu belirtmiştir. Çalışma alanının büyük bölümünde ise %57-66 arasında değişim gösteren su dolu gözenek hacminin mikrobiyal aktivite için arzu edilen seviyelerde olduğu görülmektedir (Şekil 4.5). Çalışma alanının batısında küçük bir alanda ve güneyinden doğusuna doğru uzanan bir hatta ise su dolu gözenek hacmi alanın geri kalanına göre daha yüksektir. Bu alanlarda toprakta gözeneklerin su ile dolu olması, aerobik toprak canlılarının ihtiyaç duyduğu havalanmanın düşük olmasına ve aktivitenin düşmesine neden olabilmektedir.

Arıklı serisinde toprakların su tutma kapasitelerine ait mesafeye bağlı değişim haritaları Şekil 4.6'da verilmiştir. Bitkilerin topraktan suyu rahat alabildiği aralık olan yarayışlı su içeriği çalışma alanının genelinde killi topraklar için ideal olduğu belirtilen %12 (Hillel, 1980) değerine yakındır. Yarayışlı su içeriğinin oldukça düşük olduğu alanda, tarla kapasitesinin nispeten düşük, buna karşın solma noktasının yüksek olduğu görülmektedir. Aynı nokta incelendiğinde penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı değerlerinin de yüksek olduğu ve topraktaki sıkışma kaynaklı tarla kapasitesi değerlerinin düştüğü görülmektedir. Zira uzun süredir devam eden tarla içi uygulamalar neticesinde ortaya çıkan toprak sıkışmasının varlığında o toprakta yetiştirilen ürün toprakta var olan suyu rahatlıkla alamaz ve bu da ürün verimliliğinde düşüşlere neden olur (Batey, 2009). Dolayısıyla tarımsal üretimde kullanılan toprağın korumalı işleme yöntemleri ile korunarak işlenmesi ve organik madde içeriğini arttıran organik gübre uygulamalarının tercih edilmesi, sürdürülebilirliğin sağlanması için önemli bir tercih olacaktır.

Suyun toprakta tutulması ve toprak içerisindeki hareketi topraktaki gözeneklilik durumunun bir fonksiyonudur. Toplam gözeneklilik, çalışma alanının kuzeyinde ve doğusunda düşükken, geriye kalan alanlarda daha yüksektir (Şekil 4.6). Bununla birlikte havalanmadan sorumlu olan makro gözeneklilik de toplam gözenekliliğe benzer dağılım göstermiştir. Çalışma alanının genelinde yüksek olan makro gözeneklilik, alanın batısında daha düşüktür. Bu alanlarda makro gözeneklilik, Carter (1990)'ın kök gelişiminin yeterli olabilmesi için belirttiği $0.10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ sınırındadır.



Şekil 4.6. Arıklı serisi örnekleme alanında tarla kapasitesi (TK), solma noktası (SN), yarıyışlı su içeriği (YSİ), toplam gözeneklilik (TG), mikro gözeneklilik (MiG) ve makro gözenekliliğin (MaG) mesafeye bağlı değişimi



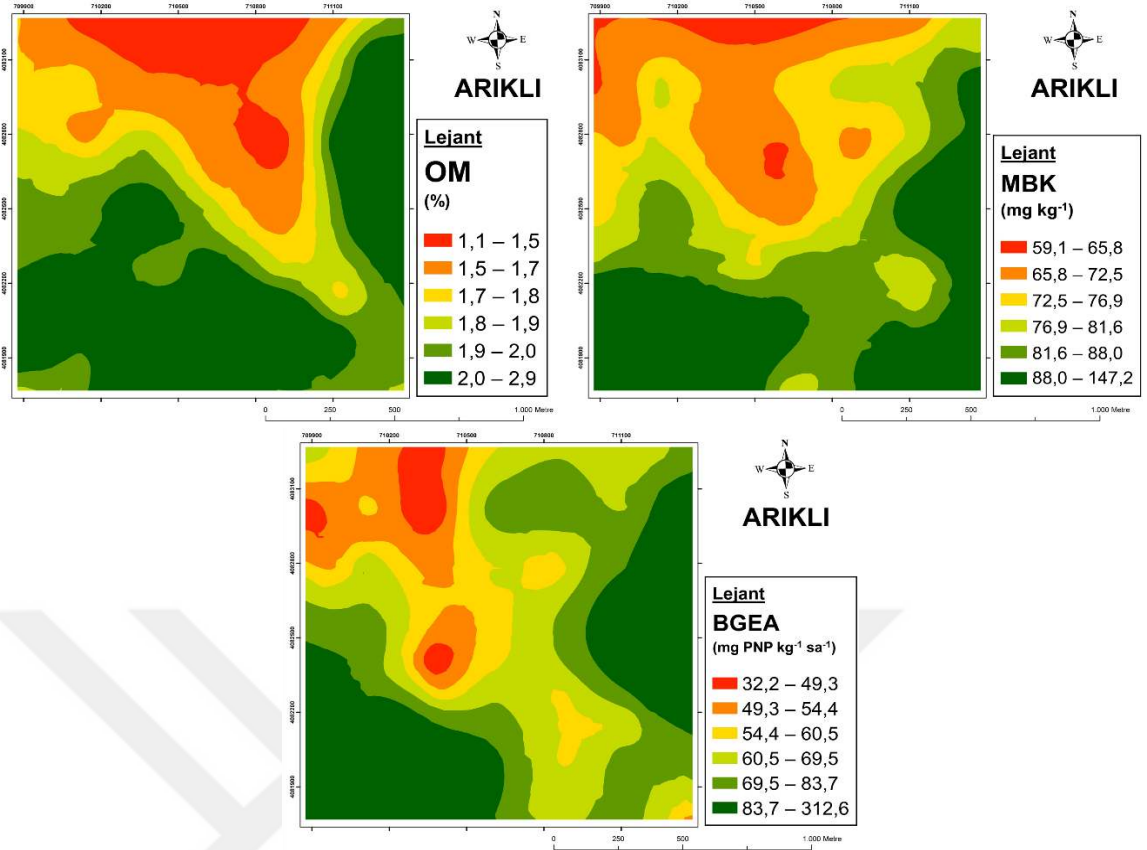
Şekil 4.7. Arıklı serisi örnekleme alanında pH, elektriksel iletkenlik (EC), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), kireç, fosfor (P) ve potasyumun (K) mesafeye bağlı değişimi

Besin elementlerinin yayılabilirliğini kontrol eden toprak pH'sı Arıklı serisi çalışma alanında hafif alkalin ile orta derecede alkalin arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.7). Toprak pH'sı çalışma alanının özellikle güneydoğusunda ve yer yer küçük alanlarında orta derecede alkalin iken, geriye kalan büyük kısımda ise hafif alkalidir. Toprak pH'sının alkalin eğilim gösterdiği çalışma alanında kireç içeriği de yüksektir. Arıklı serisi çalışma alanında ana materyale bağlı olarak kireç içeriği orta kireçliden çok kireçliye kadar değişmektedir (Şekil 4.7). Hafif alkalin-orta derecede alkalin olan toprak pH'sı ve yüksek kireç içeriği, özellikle fosfor ve mikro besin elementlerinin yayılabilirliğini olumsuz etkileyebilir (Acir, 2019). Bu nedenle tarımsal üretimde asit karakterli gübrelerin kullanımı,

bu elementlerin bitkiler tarafından alımında yarayışlılığı arttırabilir. Toprak pH'sına benzer şekilde elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorbsiyon oranı da çok küçük bir aralıkta değişmiştir (Şekil 4.7). Toprakta tuzluluk ve sodiklik tehlikesinin göstergesi olan elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorbsiyon oranı Arıklı serisi çalışma alanında bu problemlerin olmadığını göstermektedir. Ancak çalışma alanının doğusunda ve yer yer küçük alanlarında elektriksel iletkenliğin 1 dS m^{-1} 'den büyük olup, 2.51 dS m^{-1} 'ye kadar çıktığı görülmektedir. En yüksek elektriksel iletkenlik değeri bir mısır tarlasında elde edilmiş olup, muhtemelen örnekleme esnasında bir gübreyle denk geldiği düşünülmektedir.

Yüksek kireç içeriğine sahip çalışma alanında toprakların yarayışlı fosfor içerikleri yönünden yeterli olduğu görülmektedir. Yarayışlı fosfor çalışma alanının kuzeybatısında oldukça düşüktür (Şekil 4.7). Bu alanda tarımsal üretimde fosfor içeriği yüksek gübrelerin kullanılması gerekmektedir. Buna karşın geriye kalan alanların büyük çoğunluğunda yarayışlı fosfor Bai ve ark. (2013)'nın belirttiği optimum aralıkta ($10.9\text{-}21.4 \text{ mg kg}^{-1}$) yer almaktadır. Alanın doğusunda ve güneydoğusunda küçük alanlarda yarayışlı fosfor, optimum aralığın üzerinde 60 mg kg^{-1} 'a kadar çıkmaktadır. Bu alanlarda ise yüksek fosfor konsantrasyonu nedeniyle Zn başta olmak üzere besin elementlerinin alımı engellenebileceğinden dolayı (Mousawi, 2011) ürün veriminde düşüşler yaşanabilir (Gezgin ve Hamurcu, 2006). Dolayısıyla bu alanlarda yüksek fosfor içerikli gübrelerin kullanımına dikkat edilmelidir. Arıklı serisi çalışma alanında toprakların potasyum içerikleri FAO (1990) sınıflandırmasına göre bitkisel üretim için yeterli ve fazladır (Şekil 4.7).

Organik madde toprakta birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri etkilediği için toprak kalitesinin önemli bir bileşenidir (Bongiorno ve ark., 2019). Çalışma alanının genelinde toprakların organik madde içerikleri oldukça düşüktür (Şekil 4.8). Çalışma alanının büyük bir kısmında, tarla tarımı yapıldığından kulaklı pulluk kullanılarak geleneksel yöntemlerle yoğun bir toprak işleme yapılmakta ve anızlar yasal olmamakla birlikte yakılmaktadır. Bu da işleme sebebiyle tahrip olan agregatların içerisinde korunan organik maddenin oksidasyonunu hızlandırarak düşmesine yol açmaktadır. Organik maddenin mesafeye bağlı değişim haritası, mikrobiyal biyokütle karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesine ait mesafeye bağlı değişim haritaları ile birbirlerine oldukça benzerdir (Şekil 4.8). Organik maddenin düşük olduğu yerlerde genellikle mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi de düşük çıkmıştır. Zira organik maddenin canlı kısmı olarak bilinen mikrobiyal biyokütle karbonu (Vance ve ark., 1987) ve degradasyonunda önemli bir rol oynayan beta glikosidaz enzim aktivitesi (Stott ve ark., 2010) toprakta organik maddenin varlığıyla oldukça ilişkilidir. Tarımsal üretimde kullanılan geleneksel işleme yöntemleri ve anızların yakılması organik maddenin azalmasına ve bu da mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesinin de düşmesine neden olmuştur.



Şekil 4.8. Arıklı serisi örnekleme alanında organik madde (OM), mikrobiyal biyokütle karbonu (MBK) ve beta glikosidaz enzim aktivitesinin (BGEA) mesafeye bağlı değişimi

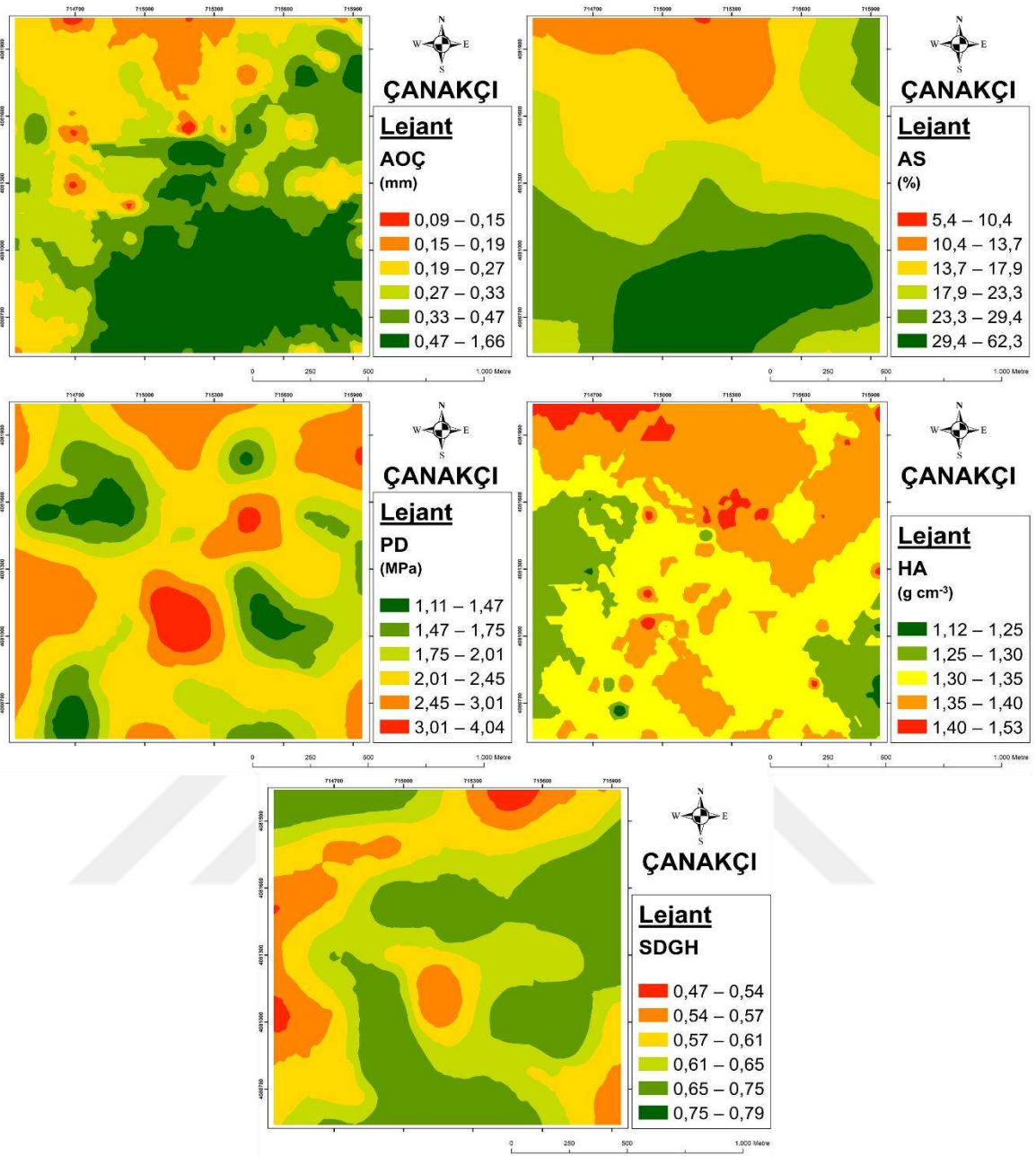
Çanakçı serisi örnekleme alanı topraklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri için elde edilen semivariogram modelleri ve bu modellere ait parametreler Çizelge 4.6’da verilmiştir. Tarla kapasitesi, toplam gözeneklilik, mikro gözeneklilik, sodyum adsorbsiyon oranı ve potasyum için mesafeye bağlı değişkenliğin belirlenmesinde üssel model, en iyi model olmuştur. Geriye kalan diğer özellikler için küresel model kullanılmıştır. Çalışma alanında uzaysal bağımlılık değerleri %0.1-47.8 arasında değişmektedir. Agregat stabilitesi, su dolu gözenek hacmi, tarla kapasitesi, yararılı su içeriği, mikro gözeneklilik, makro gözeneklilik, pH, elektriksel iletkenlik, kireç ve fosfor orta derecede mesafeye bağımlı iken, geriye kalan tüm özellikler kuvvetli derecede mesafeye bağımlılık göstermiştir. Çalışma alanında 1482 m ile agregat stabilitesi en yüksek range değerine sahiptir. En düşük range değeri Arıklı serisinde olduğu gibi parsel boyutlarının düşük olduğu ve toprak yönetim uygulamalarının farklılık gösterdiği Çanakçı serisinde de hacim ağırlığında elde edilmiştir. Hacim ağırlığı 58.7 m ile diğer özelliklere kıyasla Çanakçı serisi örnekleme alanında değişim aralığı en düşük özellik olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. Çanakçı serisinde toprak özelliklerine ait semivariogram modeller ve parametreleri

Çanakçı	Model	Nugget (Co)	Sill (Co+C)	UB (%)	Range (m)	Aktif Lag (m)	Lag mesafesi (m)	r ²	RSS
AOÇ*	Küresel	0.0001	0.0429	0.2	132	550	43	0.733	4.96E-04
AS	Küresel	70.2	163.3	43.0	1482	1500	163	0.933	514
PD	Küresel	0.017	0.499	3.4	428	760	76	0.941	0.0118
HA	Küresel	0.00001	0.00699	0.1	58.7	300	29	0.548	1.08E-05
SDGH	Küresel	0.00368	0.00802	45.9	366	850	80	0.909	1.19E-06
TK	Üssel	4.41	13.72	32.1	471	680	49	0.638	38.2
SN	Küresel	1.67	10.13	16.5	1403	1600	145	0.963	2.86
YSİ	Küresel	5.68	12.09	47.0	490	1100	102	0.906	3.12
TG	Üssel	0.00009	0.00093	9.7	168	780	76	0.615	4.29E-08
MiG	Üssel	0.0004	0.00136	29.4	474	610	43	0.582	5.43E-07
MaG	Küresel	0.00138	0.00289	47.8	339	800	80	0.906	1.41E-07
pH	Küresel	0.00664	0.02048	32.4	555	930	64	0.766	7.16E-05
EC	Küresel	0.0141	0.0503	28.0	576	930	66	0.922	1.36E-04
Kireç	Küresel	4.16	11.18	37.2	560	750	69	0.856	7.97
SAR*	Üssel	0.0012	0.006	20.0	387	1500	145	0.829	1.01E-06
P	Küresel	30.8	99.3	31.0	290	1010	102	0.869	289
K	Üssel	900	6501	13.8	105	350	42	0.681	2.38E+06
OM	Küresel	0.0768	0.3836	20.0	304	1010	86	0.889	6.16E-03
MBK	Küresel	1	762.6	0.1	180	310	29	0.867	78783
BGEA	Küresel	140	7168	2.0	279	750	56	0.927	3.16E+06

AOÇ: Ağırlıklı ortalama çap, AS: Agregat stabilitesi, PD: Penetrasyon direnci, HA: Hacim ağırlığı, TK: Tarla kapasitesi, SN: Solma noktası, YSI: Yarayıslı su içeriği, TG: Toplam gözeneklilik, MiG: Mikro gözeneklilik, MaG: Makro gözeneklilik, SDGH: Su dolu gözenek hacmi, EC: Elektriksel iletkenlik, SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı, OM: Organik madde, P: Fosfor, K: Potasyum, MBK: Mikrobiyal biyokütle karbonu, BGEA: Beta glikosidaz enzim aktivitesi, UB: Uzaysal bağımlılık, RSS: Hata kareler toplamı, *: Veri setinden örnek/örnekler çıkarılmıştır.

Çanakçı serisinde fiziksel toprak özelliklerine ait mesafeye bağlı değişim haritaları Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da, kimyasal toprak özelliklerine ait mesafeye bağlı değişim haritaları Şekil 4.11'de ve biyolojik toprak özelliklerine ait mesafeye bağlı değişim haritaları ise Şekil 4.12'de verilmiştir.



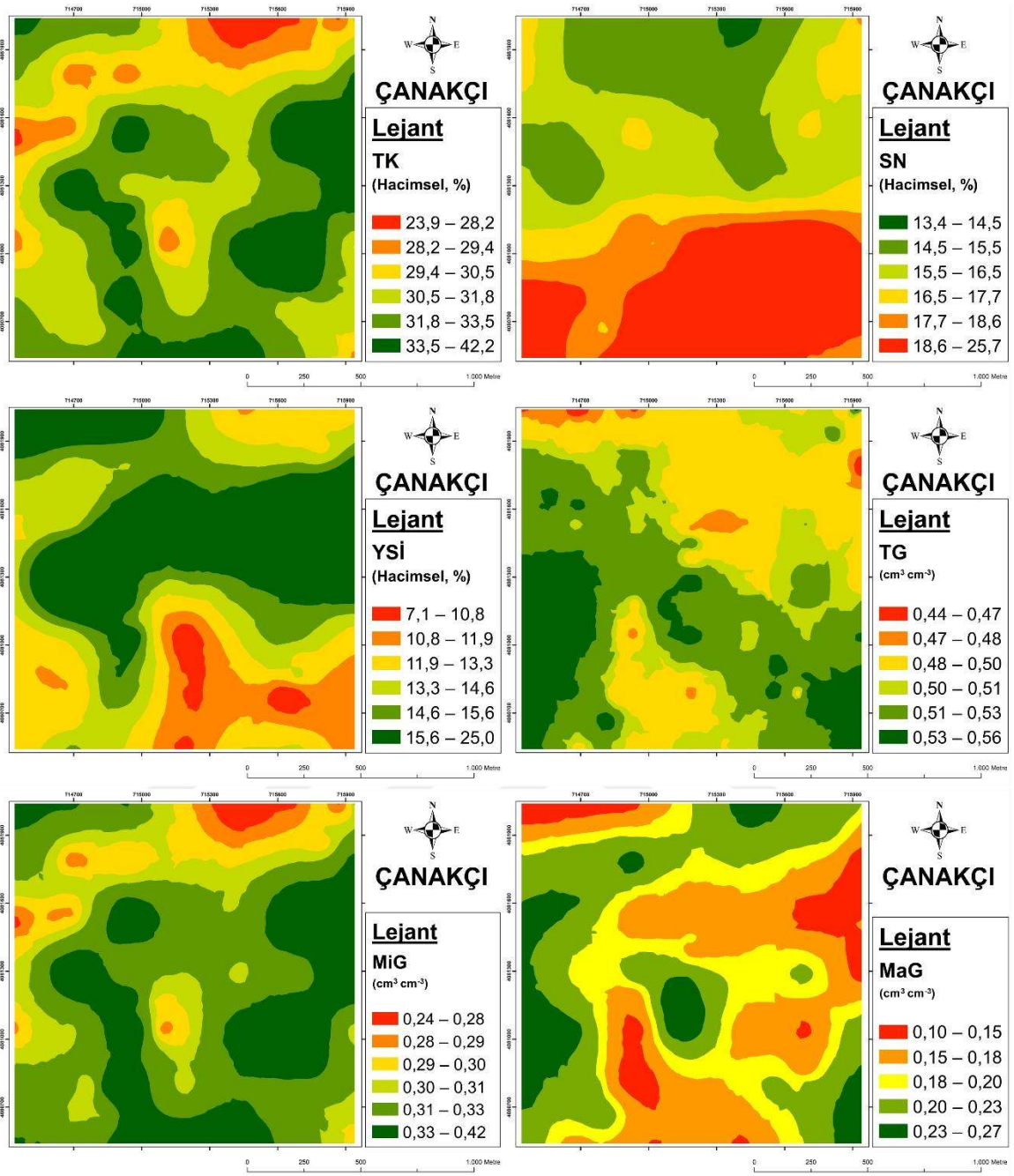
Şekil 4.9. Çanakçı serisi örnekleme alanında ağırlıklı ortalama çap (AOÇ), agregat stabilitesi (AS), penetrasyon direnci (PD), hacim ağırlığı (HA) ve su dolu gözenek hacminin (SDGH) mesafeye bağlı değişimi

Çanakçı serisi çalışma alanında toprak strüktürünün göstergeleri olan ağırlıklı ortalama çap ve agregat stabilitesine ait mesafeye bağlı değişim haritaları nispeten birbirine benzerdir (Şekil 4.9). Her iki gösterge de çalışma alanında kuzeyden güneye doğru hafif artış göstermiş ve alanın güney kısmında en yüksek değerlere ulaşmıştır. Alanın güneyinde yer alan toprakların kuzeyindeki topraklara kıyasla su ve rüzgar erozyonuna karşı dayanıklılığının daha iyi olduğu söylenebilir.

Penetrasyon direncine ait mesafeye bağlı değişim haritası Şekil 4.9’da verilmiştir. Bahçelerin olduğu çalışma alanının genelinde toprak sıkışması için kritik değer olan 3 MPa’nın altında penetrasyon direnci değerleri elde edilmiştir. Çalışma alanının orta kısmında yer yer küçük alanlarda

ise penetrasyon direncinin 3 MPa'ı aştığı ve bu alanlardaki arazilerde sıkışma sorununun olduğunu göstermektedir. Hacim ağırlığına ait mesafeye bağlı değişim haritası da penetrasyon direncine ait mesafeye bağlı değişim haritasına nispeten benzerdir. Örnekleme alanında yer alan orta bünyeli topraklar için köklerin olumsuz etkilendiği kritik hacim ağırlığı değerinin 1.54 g cm^{-3} olduğu rapor edilmiştir (NRCS, 2022). Buna göre örnekleme alanının kuzeybatısında ve yer yer küçük alanlarda yüksek hacim ağırlığı değerleri elde edilse de topraklarda sıkışma probleminin olmadığı görülmektedir. Arıklı serisinde olduğu gibi Çanakçı serisinde de penetrasyon direnci ile toprakta sıkışmanın derecesinin ve katmanının ölçümünün daha spesifik olduğu görülmektedir. Zira arazi çalışmaları sırasında özellikle yaşlı (+20 yıl) bahçe topraklarında özellikle yüzeyde (0-5 cm) toprak yapısının tabaka şeklinde sıkışmış olduğu görülmektedir (Şekil 4.2). Çelik silindiri ile 0-20 cm toprak derinliğinin örneklemeinde yüzeyden yaklaşık 3-5 cm toprak derinliği düzgün bir şekilde uzaklaştırıldıktan sonra yaklaşık 8-15 cm derinliği dikkate alınması, sıkışmaya uğrayan katmanların örnekleme esnasında es geçilebilmesine neden olmaktadır. Bu durumda hacim ağırlığına kıyasla penetrasyon direnci toprakta sıkışmış katmanların belirlenmesinde daha güvenilir sonuçlar sunmaktadır. Bu çalışma sonuçlarına benzer şekilde yapılan bir araştırmada da toprakta sıkışmanın varlığını belirlemek için penetrasyon direncinin kütle/hacim oranlarına dayalı yöntemlerden daha hassas olduğu vurgulanmıştır (Moraes ve ark., 2020).

Çanakçı serisi çalışma alanında su dolu gözenek hacminin 0.47 ile 0.79 arasında geniş bir aralıkta değiştiği görülmüştür (Şekil 4.9). Su dolu gözenek hacmi çalışma alanında yetiştirilen farklı bitkiler ve ağaçların farklı düzeylerde su ihtiyacı istemesi ve bu nedenle farklı zamanlarda ve miktarlarda sulanmasından dolayı geniş aralıklarda değişmiştir. Bununla birlikte su dolu gözenek hacmi genel olarak çalışma alanında batıdan doğuya gidildikçe artış göstermiştir. Örnekleme alanının büyük bölümünde ise su dolu gözenek hacminin %57-65 arasında olduğu ve mikrobiyal aktivite için arzu edilen aralıklarda değiştiği gözlemlenmiştir.



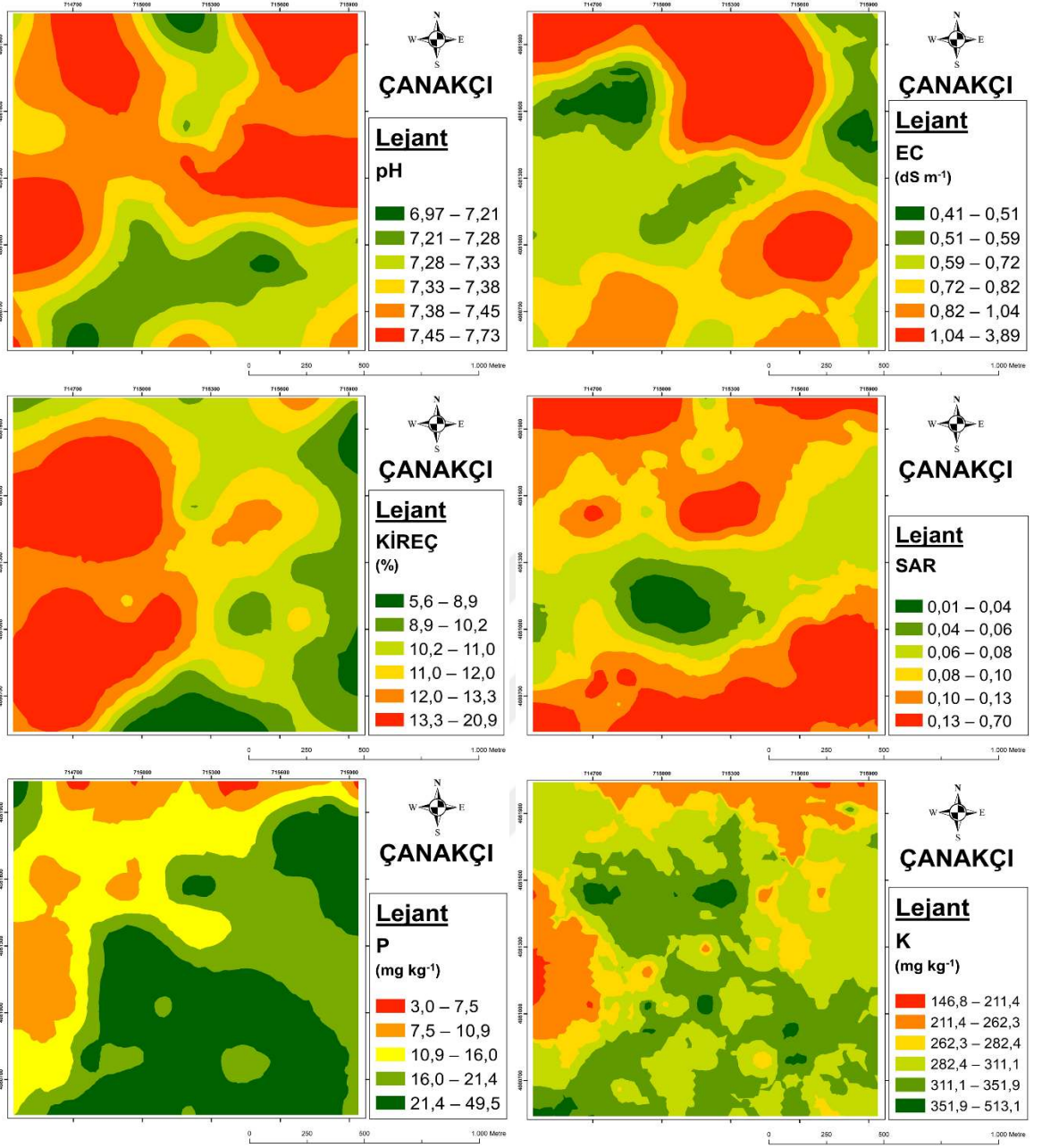
Şekil 4.10. Çanakçı serisi örnekleme alanında tarla kapasitesi (TK), solma noktası (SN), yarıyışlı su içeriği (YSİ), toplam gözeneklilik (TG), mikro gözeneklilik (MiG) ve makro gözenekliliğin (MaG) mesafeye bağlı değişimi

Örnekleme noktalarının çoğunluğunu meyve bahçelerinin oluşturduğu Çanakçı serisinde toprakların tarla kapasitesi, solma noktası ve yarıyışlı su içeriklerine ait mesafeye bağlı değişim haritaları Şekil 4.10'da verilmiştir. Yarıyışlı su içeriği örnekleme alanının genelinde %10 ile %15 arasında olduğu görülmektedir. Yarıyışlı su içeriğinin örnekleme alanının büyük çoğunluğunda Hillel (1980) tarafından belirtilen ideal aralıkta olduğu görülmektedir. Buna karşın çalışma alanının güneyinde yarıyışlı su içeriğinin geriye kalan büyük alana kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Bu alanda özellikle solma noktasının da beklenenden daha yüksek olduğu görülmüştür. Tarla

kapasitesi ile solma noktası arasındaki farktan belirlenen yarayışlı su içeriğinde tarla kapasitesinin beklenen aralıkta iken, solma noktasının beklenen aralıktan daha yüksek gelmesi yarayışlı su içeriğinin düşmesine neden olmuştur.

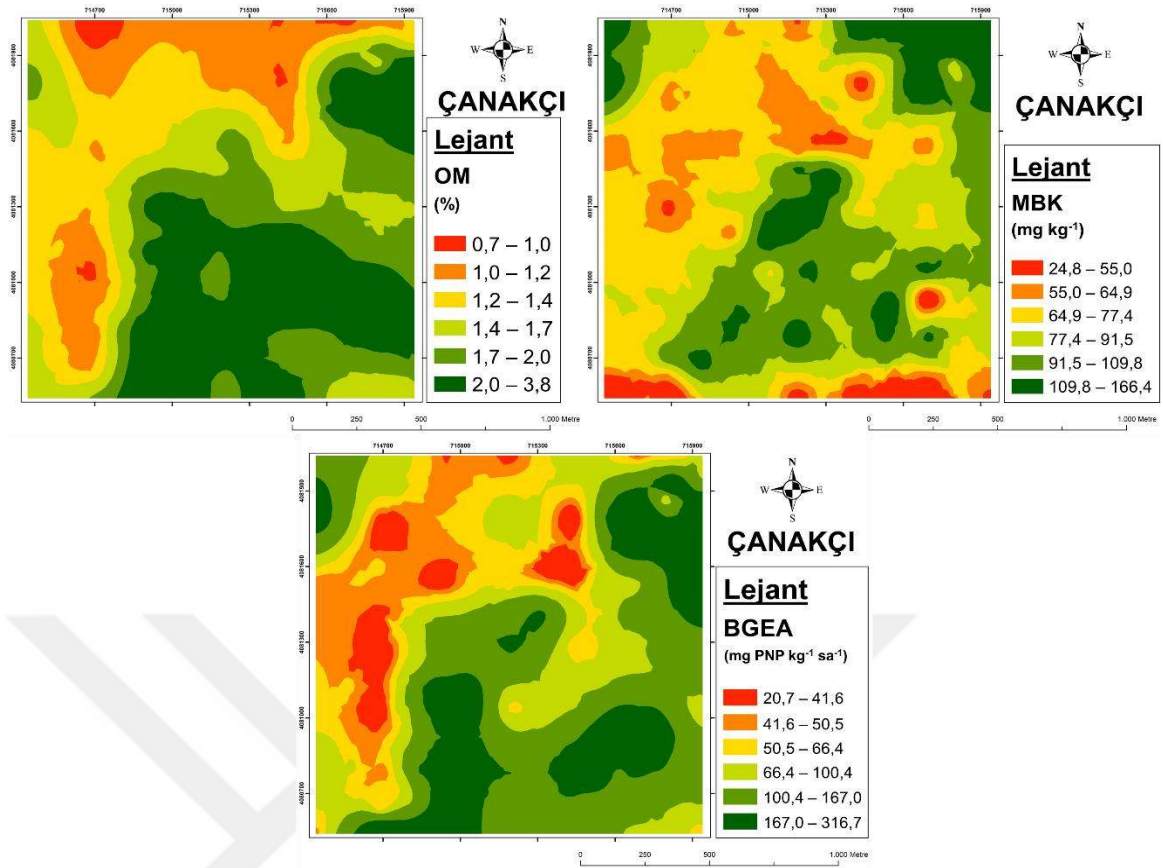
Çanakçı serisindeki toprakların gözeneklilik durumuna ait mesafeye bağlı değişim haritaları Şekil 4.10'da verilmiştir. Suyun toprakta tutunmasını sağlayan mikro gözenekler çalışma alanının büyük çoğunluğunda $0.30-0.33 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ arasında, suyun hareketi ve havalandırmadan sorumlu olan makro gözenekler örneklem alanının genelinde $0.15-0.23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ arasındadır. Toplam gözeneklilik ise alanın büyük çoğunluğunda $0.48-0.53 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ arasında dağılım göstermiştir. Kök gelişiminin yeterli olabilmesi için toprakta makro gözenekliliğin $<0.10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ olmaması istenmektedir (Carter, 1990). Bu kapsamda çalışma alanının büyük çoğunluğunda gözeneklilik ile ilgili bir sorun olmadığı görülmektedir.

Toprak pH'sı Çanakçı serisinde 6.97-7.73 arasında hafif alkalin eğilimdedir (Şekil 4.11). Örneklem alanının güneyinde ve kuzeyinde küçük bir alanda nötr olan toprak pH'sı, geriye kalan büyük alanda hafif alkalidir. Örneklem alanı topraklarının kireç içeriği orta kireçliden çok kireçliye kadar değişmektedir (Şekil 4.11). Örneklem alanının doğusundan batısına gidildikçe toprakların kireç içeriği artış göstermiş olup, alanın büyük çoğunluğunda topraklar kireçli sınıfta yer almıştır. Toprakta tuzluluğun göstergesi olan elektriksel iletkenlik değerleri $0.41-3.89 \text{ dS m}^{-1}$ arasında geniş bir aralıkta değişmektedir (Şekil 4.11). Ancak örneklem alanının büyük çoğunluğunda elektriksel iletkenlik $0.41-1.04 \text{ dS m}^{-1}$ arasında dağılım göstermektedir. Örneklem alanının güneydoğusunda ve kuzeyinde elektriksel iletkenlik değeri 1.04 dS m^{-1} 'nin üzerindedir. Alanın kuzeyinde bir arazide ise elektriksel iletkenlik 3.89 dS m^{-1} gibi yüksek bir değer elde etmiştir. Bu arazide tuzluluğa duyarlı meyve yetiştiriciliği yapıldığı dikkate alındığında verim kayıplarının yaşanmaması için sulamada kullanılan suya ve gereğinden fazla gübre kullanımına dikkat edilmelidir. Örneklem alanında sodyum adsorbsiyon oranı en yüksek 0.71 değeri ile toprakların sodiklik probleminden uzak olduğunu göstermektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Çanakçı serisi örnekleme alanında pH, elektriksel iletkenlik (EC), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), kireç, fosfor (P) ve potasyumun (K) mesafeye bağlı değişimi

Yarayışlı fosfor içeriği, örnekleme alanının büyük çoğunluğunda optimum aralık olan 10.9-21.4 mg kg⁻¹ arasındadır (Şekil 4.11). Yarayışlı fosfor alanın kuzeyinde ve batısında düşük iken, alanın güneyinde ve doğusunda ise yüksektir. Özellikle bu alanlarda fosforlu gübrelerin kullanımına dikkat edilmelidir. Alanın kuzeyinde ve batısında fosforlu gübrelerin kullanımına ihtiyaç var iken, alanın güneyinde ve doğusunda ise bu gübrelerin kullanımına dikkat edilmelidir. Çanakçı serisi örnekleme alanında toprakların potasyum içerikleri, bitkisel üretim için yeterli ve fazla olarak belirlenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.12. Çanakçı serisi örnekleme alanında organik madde (OM), mikrobiyal biyokütle karbonu (MBK) ve beta glikosidaz enzim aktivitesinin (BGEA) mesafeye bağlı değişimi

Çanakçı serisinde toprakların organik madde içeriği, %0.7-3.8 arasında değişmektedir (Şekil 4.12). Çanakçı serisi örnekleme alanının kuzeyinde ve batısında küçük bir alanda düşük olan organik madde, alanın güneyinde ve doğusunda %2'nin üzerine çıkmıştır. Biyolojik göstergelerden biri olan mikrobiyal biyokütle karbon örnekleme alanının büyük çoğunluğunda 52-96 mg kg⁻¹ arasındadır. Örnekleme alanında mikrobiyal biyokütle karbonu alanın kuzeybatısında, kuzeydoğusunda ve yer yer küçük alanlarda yüksek iken, geriye kalan büyük bir alanda ise düşüktür. Mikrobiyal biyokütle karbon çalışma alanının büyük çoğunluğunda 65-110 mg kg⁻¹ arasındadır. Organik maddenin bozunumunda önemli bir rol oynayan beta glikosidaz enzim aktivitesi (Stott ve ark., 2010) örnekleme alanında toprakların organik madde içeriklerine nispeten benzerdir. Beta glikosidaz enzim aktivitesi örnekleme alanının kuzeyinden batısına uzanan bir hatta düşük iken, alanın güneydoğusunda olmak üzere yer yer çok küçük alanlarda ise yüksektir.

Helvacı serisi örnekleme alanında toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri için elde edilen semivariogram modelleri ve bu modellere ait parametreler Çizelge 4.7'de verilmiştir. Solma noktasının mesafeye bağlı değişkenliğinin belirlenmesi için geçerli bir model oluşturulamamıştır. Ancak solma noktası ArcGIS ortamında kriging metodu ile programın optimize model aracılığıyla haritalanmıştır. Hacim ağırlığı, yarıyışlı su içeriği, elektriksel iletkenlik ve fosfor

özelliklerinin mesafeye bağlı değişkenliğini üssel model en iyi temsil etmiştir. Geriye kalan diğer özellikler için en iyi model ise küresel model olmuştur (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Helvacı serisinde toprak özelliklerine ait semivariogram modeller ve parametreleri

Helvacı	Model	Nugget (Co)	Sill (Co+C)	UB (%)	Range (m)	Aktif Lag (m)	Lag mesafesi (m)	r ²	RSS
AOÇ	Küresel	0.00463	0.02076	22.3	156	470	48	0.817	2.97E-05
AS	Küresel	33.4	142.8	23.4	192	600	77	0.828	719
PD	Küresel	0.01	0.496	2.0	506	1050	96	0.919	0.0162
HA	Üssel	1E-07	0.00202	0.0	123	700	79	0.521	1.85E-07
SDGH	Küresel	0.00011	0.00354	3.1	518	1300	144	0.973	1.85E-07
TK	Küresel	1.19	6.82	17.4	504	850	79	0.894	3.22
SN	Model oluşturulamadı								
YSİ	Üssel	2.47	7.241	34.1	630	1350	136	0.747	2.96
TG	Küresel	0.00009	0.0005	18.0	189	800	90	0.614	1.36E-08
MiG	Küresel	0.00013	0.0007	18.6	497	830	77	0.877	3.81E-08
MaG	Küresel	0.00014	0.00159	8.8	513	850	78	0.937	1.26E-07
pH	Küresel	0.00721	0.03182	22.7	651	710	79	0.868	6.52E-05
EC	Üssel	0.059	0.558	10.6	852	1400	130	0.85	2.28E-02
Kireç	Küresel	1.657	3.315	50.0	1267	1950	169	0.864	0.406
SAR	Küresel	0.1593	0.3856	41.3	1414	1700	156	0.866	7.49E-03
P (Log)	Üssel	0.0216	0.0982	22.0	402	1800	171	0.577	5.51E-04
K	Küresel	75	1412	5.3	558	1200	95	0.934	114661
OM	Küresel	0.0361	0.0927	38.9	324	800	84	0.857	2.29E-04
MBK	Küresel	67.2	148	45.4	601	1100	104	0.857	907
BGEA*	Küresel	1.1	173.8	0.6	150	1100	95	0.842	1013

AOÇ: Ağırlıklı ortalama çap, AS: Agregat stabilitesi, PD: Penetrasyon direnci, HA: Hacim ağırlığı, TK: Tarla kapasitesi, SN: Solma noktası, YSI: Yarayışlı su içeriği, TG: Toplam gözeneklilik, MiG: Mikro gözeneklilik, MaG: Makro gözeneklilik, SDGH: Su dolu gözenek hacmi, EC: Elektriksel iletkenlik, SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı, OM: Organik madde, P: Fosfor, K: Potasyum, MBK: Mikrobiyal biyokütle karbonu, BGEA: Beta glikosidaz enzim aktivitesi, UB: Uzaysal bağımlılık, RSS: Hata kareler toplamı, *: Veri setinden örnek/örnekler çıkarılmıştır.

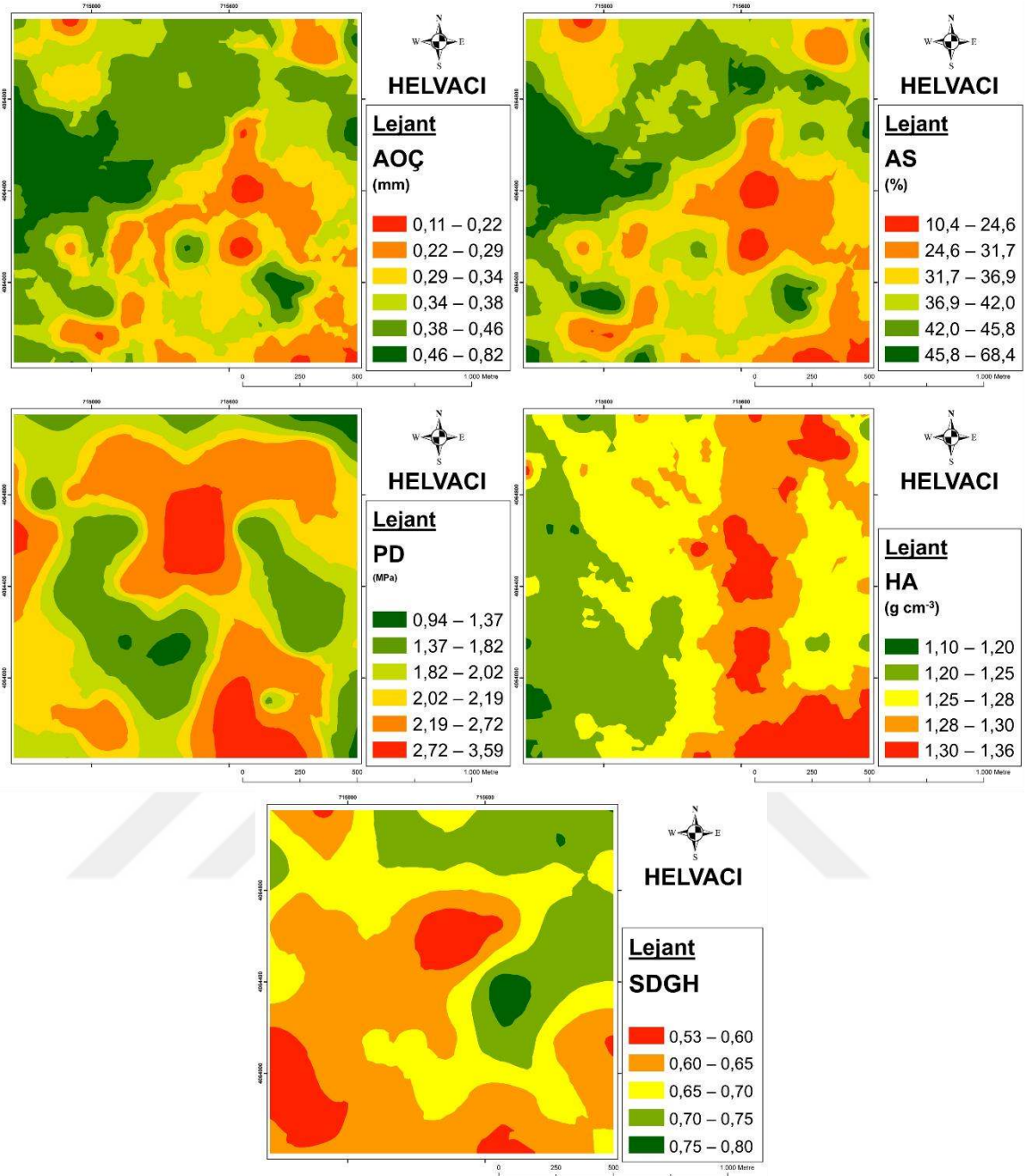
Çalışma alanında kireç, mikrobiyal biyokütle karbonu, sodyum adsorbsiyon oranı, organik madde ve yarayışlı su içeriği sırasıyla %50.0, %45.4, %41.3, %38.9 ve %34.1 ile orta derece mesafeye bağımlılık göstermiştir. Geriye kalan tüm özellikler ise kuvvetli derecede mesafeye bağımlı bulunmuştur. Çalışma alanında ayırım mesafesini gösteren range değeri ise 123-1414 m arasında değişim göstermiştir. Ayırım mesafesinin en yüksek olduğu özellikler kireç ve sodyum adsorbsiyon oranı, en düşük olduğu özellikler ise hacim ağırlığı, beta glikosidaz enzim aktivitesi ve ağırlıklı ortalama çap olmuştur. Helvacı serisi örnekleme alanının genelinde geleneksel işleme yöntemleri kullanılmakta olup, bu yöntemde kullanılan aletlerin işleme derinliği ve yoğunluğu değişkenlik göstermektedir. Ayrıca alanda bulunan arazilerde kullanılan gübrelerin miktarları da benzer değildir. Bu da işleme ve gübreleme yöntemine hassas olan beta glikosidaz enzim aktivitesi, hacim ağırlığı ve ağırlıklı ortalama çap özelliklerinin (Roldan ve ark., 2005a, b; Usowicz ve Lipiec,

2017) kısa mesafelerde değişim göstermesine neden olmuştur. Parsel genişliklerinin düşük olduğu benzer çalışmalarda da beta glikosidaz enzim aktivitesi, hacim ağırlığı ve ağırlıklı ortalama çap özellikleri için mesafeye bağlı değişkenliğinin belirlenmesinde düşük range değerleri elde edilmiştir (Parfitt ve ark., 2009; Piotrowska-Dlugosz ve Dlugosz, 2017; Sani ve ark., 2023).

Helvacı serisi örnekleme alanının fiziksel toprak özelliklerine ait mesafeye bağlı değişim haritaları Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de, kimyasal toprak özelliklerine ait mesafeye bağlı değişim haritaları Şekil 4.15’de ve biyolojik toprak özelliklerine ait mesafeye bağlı değişim haritaları ise Şekil 4.16’da verilmiştir.

Helvacı serisi örnekleme alanında ağırlıklı ortalama çap ve agregat stabilitesine ait yersel değişim haritaları nispeten birbirine benzerdir (Şekil 4.13). Alanın genelinde agregat stabilitesi %25-42 ve ağırlıklı ortalama çap değerleri 0.22-0.46 mm arasında değişmektedir. Çalışma alanının kuzeybatısında strüktür göstergelerine ait değerlerin alanda elde edilen en yüksek değerler olduğu görölmektedir. Bu alanlarda toprakların erozyona karşı dayanıklılığının geriye kalan büyük çoğunluktaki diğer alana kıyasla daha yüksek olduğu söylenebilir.

Helvacı serisi örnekleme alanında su dolu gözenek hacmi diğer çalışma alanlarına benzer şekilde 0.53 ile 0.80 arasında geniş bir aralıkta değişmektedir (Şekil 4.13). Örnekleme alanında yetiştirilen farklı bitkiler çiftçiler tarafından farklı zamanlarda ve miktarlarda sulanmaktadır. Bu da su dolu gözenek hacminin geniş bir aralıkta değişmesine neden olmaktadır. Çalışma alanının büyük bölümünde su dolu gözenek hacminin %60-70 arasında olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma alanının genelinde su dolu gözenek hacminden dolayı mikrobiyal aktiviteyi olumsuz etkileyecek durumun olmadığı görölmektedir.



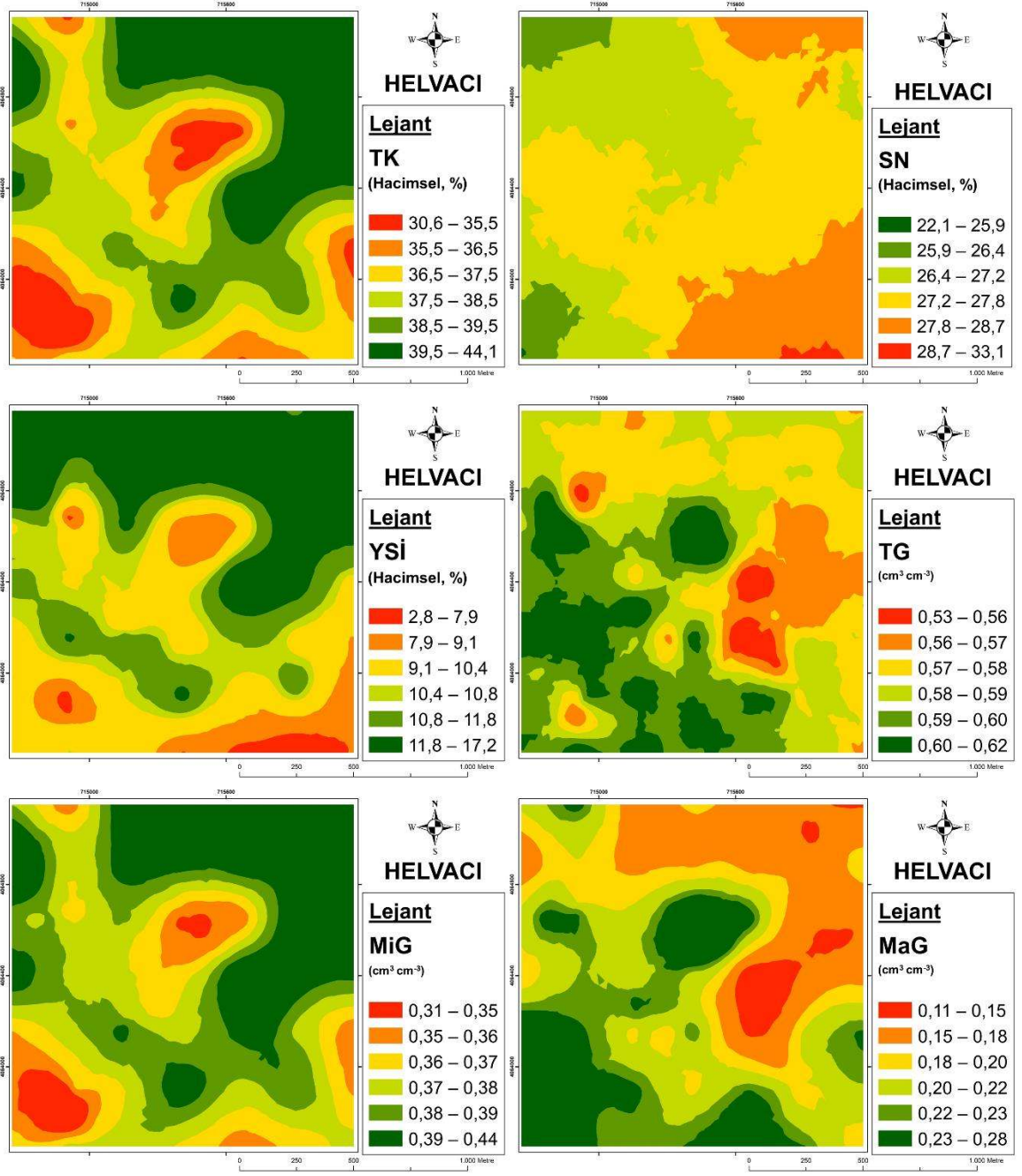
Şekil 4.13. Helvacı serisi örnekleme alanında ağırlıklı ortalama çap (AOÇ), agregat stabilitesi (AS), penetrasyon direnci (PD), hacim ağırlığı (HA) ve su dolu gözenek hacminin (SDGH) mesafeye bağlı değişimi

Toprakta sıkışmanın göstergesi olan hacim ağırlığına ait yersel değişim haritası Şekil 4.13’de verilmiştir. Çalışma alanının genelinde %45’den daha fazla kil içeren kil bünyeli toprakların hacim ağırlığı $1.20-1.30 \text{ g cm}^{-3}$ arasında olup, bu topraklar için kritik olduğu belirtilen 1.39 g cm^{-3} (NRCS, 2022) değerinin altındadır. Bu durum Helvacı serisi topraklarının amenajman kaynaklı sıkışma problemi yaşamadığını göstermektedir. Bununla birlikte örnekleme alanının kuzeyinden güneyine doğru uzanan alanda hacim ağırlığı değerleri, belirtilen kritik değerlere oldukça yakındır. Örnekleme alanında kulaklı pullukla toprağın işlenmesi ve anız artıklarının yakılması gibi geleneksel yöntemlerin yoğun bir şekilde kullanılıyor olması, özellikle organik madde içeriğinin düşük olduğu

bu alanda gelecekte sıkışma sorunlarının yaşanmasına neden olabilir. Zira Karlen ve ark. (2013), kulaklı pulluğun kullanıldığı daha agresif toprak işleme uygulamalarının hacim ağırlığı üzerine olumsuz bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Toprakta sıkışmanın yaşandığı katmanı ve sıkışmanın derecesini belirten penetrasyon direncine ait yersel değişim haritaları hacim ağırlığına nispeten benzerdir. Örnekleme alanının genelinde penetrasyon direncinin kritik değer olarak belirtilen 3 MPa'dan daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak alanın güneyinde ve orta bölümünde penetrasyon direnci, kritik değer üzerinde 3.5 MPa'a kadar ulaşmaktadır. Hacim ağırlığının da genel olarak yüksek çıktığı bu alanlarda tarımsal üretimde sıkışma problemine dikkat edilmesi gerekmektedir. Kulaklı pullukla işlemeden ziyade diskli tırmık gibi ikincil işleme aletlerinin kullanılması ve anızların yakılması yerine tekrar toprak içerisine dahil edilmesi, toprakların organik madde içeriklerinin ve dolayısıyla penetrasyon direnci ve hacim ağırlığının iyileşmesine yol açacaktır.

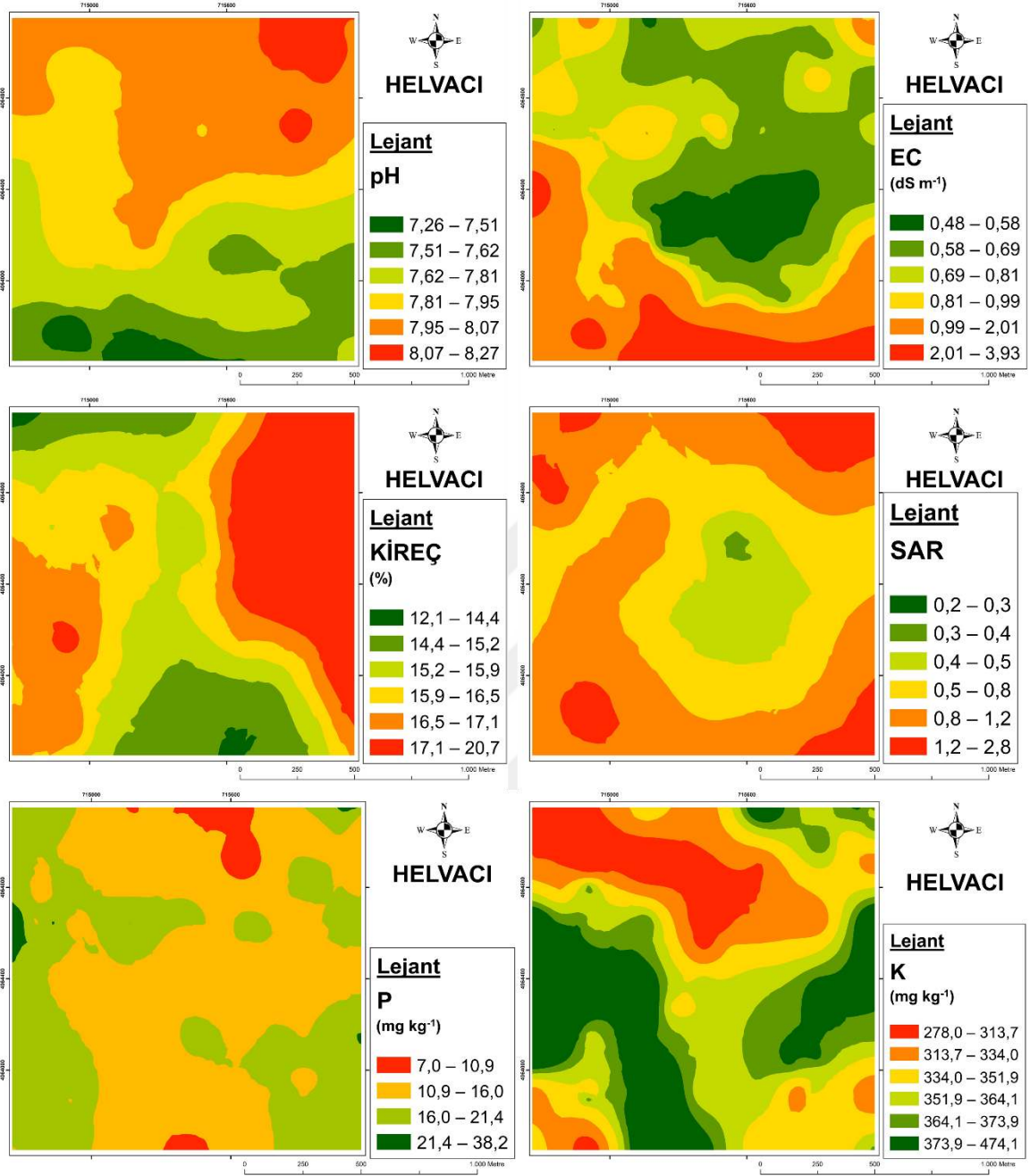
Helvacı serisi örnekleme alanında toprakların gözeneklilik ve su tutma kapasitelerine ait mesafeye bağlı değişim haritaları Şekil 4.14'de verilmiştir. Çalışma alanında düşük tarla kapasitesi ve yüksek solma noktası değerlerinin elde edildiği güneydoğu ve yer yer küçük alanlarda düşük yarayışlı su içeriği değerleri elde edilmiştir. Buna karşın alanın genelinde yarayışlı su içeriğinin Hillel (1980)'in killi topraklar için belirttiği %12 civarında olduğu görülmektedir.

Toprakların gözeneklilik durumuna ait mesafeye bağlı değişim haritasına göre toplam gözeneklilik dar bir aralıkta değişmekle birlikte $0.56-0.60 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ arasında dağılım göstermiştir. Suyun tutulmasından sorumlu olan mikro gözeneklilik örnekleme alanının büyük çoğunluğunda $0.37-0.44 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ arasında bulunurken, havalandırmadan sorumlu olan makro gözeneklilik ise $0.20-0.23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ arasında yer almıştır.



Şekil 4.14. Helvacı serisi örnekleme alanında tarla kapasitesi (TK), solma noktası (SN), yarıyışlı su içeriği (YSİ), toplam gözeneklilik (TG), mikro gözeneklilik (MiG) ve makro gözenekliliğin (MaG) mesafeye bağlı değişimi

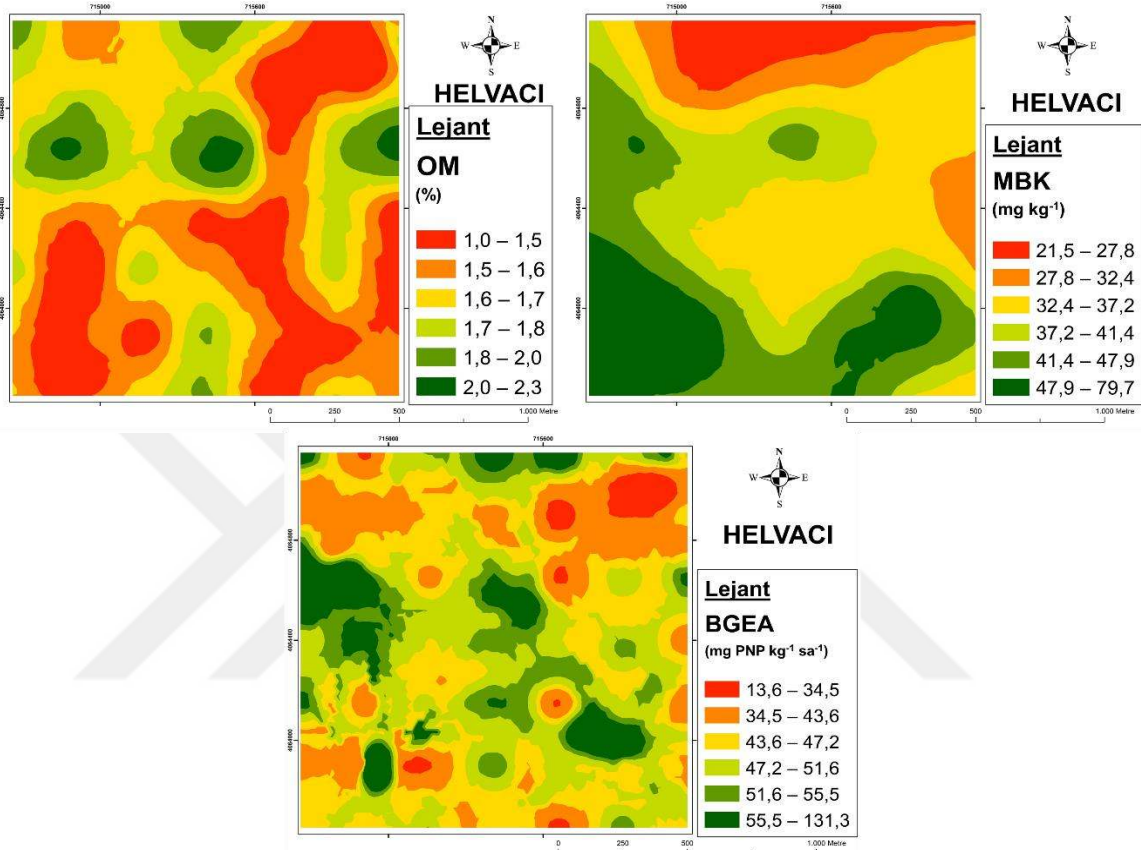
Toprak pH'sı Helvacı serisindeki çalışma alanında hafif alkalin ile orta derecede alkalin aralığında değişim göstermiştir (Şekil 4.15). Toprak pH'sı alanın güneyinde hafif alkalin iken, kuzeyinde 8.27'ye ulaşarak orta derecede alkalidir. Örnekleme alanında ana materyale bağlı olarak kireç içeriği alanın büyük çoğunluğunda %15-20 arasında yer almış ve çok kireçli olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.15). Örnekleme alanında yüksek pH ve kireç içeriği kaynaklı fosfor ve mikro besin elementlerinin yarıyışlılığında karşılaşılabilecek problemlere karşı dikkatli olunmalıdır. Bu nedenle tarımsal üretimde asit karakterli gübrelerin kullanımına özen gösterilmelidir.



Şekil 4.15. Helvacı serisi örnekleme alanında pH, elektriksel iletkenlik (EC), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), kireç, fosfor (P) ve potasyumun (K) mesafeye bağlı değişimi

Elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorbsiyon oranı örnekleme alanının genelinde dar bir aralıkta değişmiştir. Dinç ve ark. (1995)'nin Çukurova Bölgesi topraklarının etüdünü yaptıkları çalışmada Helvacı serisinin tuzlu topraklara sahip olduğu vurgulansa da zaman içerisinde yapılan drenaj çalışmaları ile özellikle örnekleme alanının büyük çoğunluğunda yüzeyde tuzluluk problemi görülmemiştir. Ancak yüksek elektriksel iletkenlik değerlerinin elde edildiği örnekleme alanının güneyinde özellikle sulama suyunun tuz içeriğine ve gereğinden fazla kimyasal gübre kullanımına dikkat edilmelidir. Zira alanda özellikle kullanılan salma sulama yöntemi, tuzluluk problemi açısından bir tehdit oluşturmaktadır.

Yarayırlı fosfor örnekleme alanının kuzeyinde ve güneyinde çok küçük alanlarda 7-10 mg kg⁻¹ arasında iken, geriye kalan arazilerde 10-21 mg kg⁻¹ arasındadır (Şekil 4.15). Bu durum Helvacı serisi topraklarının büyük çoğunluğunda yarayırlı fosfor içeriklerinin optimum ürün verimi için yeterli düzeyde olduğunu göstermektedir. Diğer serilerde olduğu gibi Helvacı serisi örnekleme alanı topraklarının potasyum içerikleri bitkisel üretim için yeterli ve fazla olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.16. Helvacı serisi örnekleme alanında organik madde (OM), mikrobiyal biyokütle karbonu (MBK) ve beta glikosidaz enzim aktivitesinin (BGEA) mesafeye bağlı değişimi

Helvacı serisi örnekleme alanının genelinde toprakların organik madde içerikleri %1.5-2.0 arasında düşük sınıfta yer almaktadır (Şekil 4.16). Çalışma alanının neredeyse hepsinde tarla tarımı yapılmakta ve topraklar kulaklı pulluk kullanılarak geleneksel yöntemlerle yoğun bir şekilde işlenmekte ve ayrıca anızlar yakılmaktadır. Bu durumda toprağın organik madde içeriğinin azalmasına neden olmaktadır. Biyolojik göstergelerden biri olan mikrobiyal biyokütle karbonu alanın genelinde 21-41 mg kg⁻¹ arasında değişmiştir. Alanın güneyinde ve doğusunda ise mikrobiyal biyokütle karbonu bu değerlerden daha yüksektir. Ancak genel olarak bakıldığında üç seri arasında en düşük mikrobiyal biyokütle karbonları bu seride elde edilmiştir. Helvacı serisi diğer iki seriye kıyasla örnekleme noktalarının genelinde kulaklı pulluk geleneksel olarak işlenmektedir. Bu da toprakların mikrobiyal biyokütle karbon içeriğinin düşük olmasına neden olmaktadır. Literatürde yer alan 96 araştırmadan elde edilen verilere dayanan meta analiz çalışmasında da benzer sonuçlar elde

edilmiştir (Li ve ark., 2018). Çalışmada anızların tutulmadığı geleneksel toprak işleme sisteminde mikrobiyal biyokütle karbonun önemli şekilde azaldığı vurgulanmıştır. Aynı araştırmaca anızsız geleneksel işlemeye göre anızsız sıfır işlemenin mikrobiyal biyokütle karbonu %33 ($P<0.05$) ve anızlı sıfır işlemenin ise %25 ($P<0.05$) arttırdığı rapor edilmiştir. Beta glikosidaz enzim aktivitesi de alanın genelinde 43-56 mg PNP $\text{kg}^{-1} \text{sa}^{-1}$ arasında düşük denilebilecek bir aralıkta belirlenmiştir. Çalışma alanında organik maddenin düşük çıkmasına paralel olarak toprakta mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi de düşük bulunmuştur.

4.3. Toprak Kalite Göstergeleri

Tez kapsamında toprak kalitesinin belirlenmesinde kullanılan toprak göstergeleri **doğrusal ve doğrusal olmayan skorlama yöntemleri** kullanılarak skorlanmış ve aşağıdaki başlıklar altında sunulmuştur.

4.3.1. Doğrusal Skorlama Yöntemi ile Elde Edilen Toprak Kalite Göstergeleri

Bu tez çalışmasında doğrusal skorlama tekniğinde her bir gösterge için ilk olarak literatürden araştırma alanı dikkate alınarak optimum değer veya aralıklar belirlenmiştir (Çizelge 3.13). Optimum aralıkta göstergeler en yüksek skor olan 1 değerini almıştır. Gösterge değerinin, optimum değer veya aralığın üstünde veya altında olmasına ve toprak kalitesine etkisinin “iyi” veya “kötü” olmasına bağlı olarak “daha fazla daha iyidir” ve “daha az daha iyidir” eğrileri kullanılarak skorlanmıştır. Doğrusal skorlama ile elde edilen kalite gösterge skorlarının tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10’da sunulmuştur.

Toprak fiziksel göstergelerinden biri olan penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı toprak sıkışmasının önemli göstergelerindendir (Abu-Hamdeh, 2003). Bu göstergelerin yüksek skorlar alması, toprakta sıkışmış katmanların az veya hiç olmadığı anlamına gelmektedir. Aksine bu göstergelerin düşük skorlar alması ise toprakta sıkışmanın varlığına işaret etmektedir. Doğrusal skorlama ile Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde penetrasyon direnci için elde edilen en düşük skorlar sırasıyla 0.82, 0.74 ve 0.83 iken, her üç seride de en yüksek 1.00 skorunu almıştır (Çizelge 4.8). Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serileri örnekleme alanlarının genelinde ise ortalama penetrasyon direnci skorları 0.99 gibi çok yüksek düzeydedir. Penetrasyon direncine benzer şekilde hacim ağırlığı da her üç seri örnekleme alanında çok yüksek skorlar almıştır. Arıklı serisi örnekleme alanında sadece bir noktada hacim ağırlığı skoru 0.99 skorunu alırken, geriye kalan tüm örnekleme noktaları da dahil olmak üzere üç seride hacim ağırlığı 1.00 skorunu almıştır. Doğrusal olarak skorlanan penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı skorları her üç seride de birbirine oldukça yakın olup, örnekleme yapılan arazilerde sıkışma probleminin olmadığını göstermiştir.

Çizelge 4.8. Doğrusal skorlama yöntemi ile elde edilen fiziksel gösterge skorlarına ait tanımlayıcı istatistikler

Seri	Tanımlayıcı istatistik	PD	HA	AS	YSİ	SDGH
Arıklı	En Küçük Değer	0.82	0.99	0.43	0.15	0.76
	En Büyük Değer	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Ortalama	0.99	1.00	0.87	0.72	0.92
	Standart Sapma	0.03	0.00	0.16	0.22	0.05
	Varyasyon Katsayısı (%)	2.6	0.1	18.1	29.8	5.6
	Yatıklık	-5.42	-9.54	-1.12	-0.71	-0.73
Çanakçı	En Küçük Değer	0.74	1.00	0.09	0.47	0.76
	En Büyük Değer	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Ortalama	0.99	1.00	0.38	0.88	0.89
	Standart Sapma	0.04	-	0.19	0.14	0.07
	Varyasyon Katsayısı (%)	4.3	-	50.4	15.8	7.8
	Yatıklık	-4.63	-	0.72	-0.94	-0.28
Helvacı	En Küçük Değer	0.83	1.00	0.17	0.19	0.76
	En Büyük Değer	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Ortalama	0.99	1.00	0.64	0.71	0.91
	Standart Sapma	0.03	-	0.20	0.17	0.07
	Varyasyon Katsayısı (%)	3.1	-	30.5	24.2	7.2
	Yatıklık	-3.57	-	-0.38	-0.20	-0.53

PD: Penetrasyon direnci, HA: Hacim ağırlığı, AS: Agregat stabilitesi, YSİ: Yarayırlı su içeriği, SDGH: Su dolu gözenek hacmi

Agregat stabilitesi Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde doğrusal skorlama ile sırasıyla en düşük olarak 0.43, 0.09 ve 0.17 skorlarını alırken, her üç seride en yüksek 1.00 skorunu elde etmiştir (Çizelge 4.8). Genel anlamda ise Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde ortalama agregat stabilitesi sırasıyla 0.87, 0.38 ve 0.64 skorlarını almıştır. Bu skorlara göre Arıklı serisi örnekleme alanı topraklarında genel olarak agregatların yağmur ve rüzgar erozyonuna ve işleme aletleri gibi toprağı mekanik olarak parçalayıcı kuvvetlere karşı dirençli olduğu anlaşılmaktadır. Meyve bahçelerinin yoğunlukta olduğu Çanakçı serisinde ortalama agregat stabilitesi 0.38 skorunu almıştır. Bahçe arazilerinde sıra aralarında toprak işleme ya hiç yapılmamakta ya da çok gerekmedikçe ender de olsa arada bir yapılmaktadır. Bu sebeple bahçede trafiğin azalması agregatların bozulmasını önlemekte ve daha iyi gelişmesine sebep olmaktadır. Çanakçı serisi örnekleme alanı topraklarının genelinde ise agregatların dış kuvvetlere karşı direncinin iyi olması beklenirken, doğrusal skorlama ile ortalama agregat stabilitesi 0.38 gibi oldukça düşük skor aldığı görülmüştür. Helvacı serisi örnekleme alanında toprak agregatlarının %64 düzeyinde dış kuvvetlere karşı dirençli olduğu görülmektedir. Üç seride gerek arazi kullanımı gerekse amenajman yöntemlerinin birbirinden farklı olması agregat stabilite skorlarının farklılaşmasına sebep olmuştur. Bununla birlikte toprağın kil içeriği, demir ve alüminyum oksit ve oksihidroksitlerin varlığı, değişebilir kalsiyum ya da bazların toplamı, değişebilir sodyum yüzdesi ve organik madde çoğunlukla agregat oluşumu ve dayanıklılığı ile ilişkilendirilen toprak özellikleridir (Meyer ve Harmon, 1984; Bradford ve ark., 1987; Chenu ve Guerif, 1991; Shainberg, 1992; Le Bissonnais ve Singer, 1993). Bu özellikler içerisinde toprağın kil içeriği diğer özelliklere kıyasla çalışma alanında daha yüksek değişkenlik göstermiştir. Bu çalışmada da toprakların kil

içeriğinin agregat dayanıklılığına olan etkisi görülmektedir. Çanakçı serisine kıyasla yüksek düzeyde kil içeren Arıklı ve Helvacı serilerinde daha yüksek agregat stabilite skoru elde edilmiştir.

Arıklı serisi örnekleme alanında doğrusal olarak skorlanan yarayışlı su içeriği skorları 0.15-1.00, Çanakçı serisinde 0.47-1.00 ve Helvacı serisinde 0.19-1.00 arasında değişmektedir (Çizelge 4.8). Özellikle bazı arazilerde elde edilen düşük yarayışlı su skorları bitkinin gelişimleri için ihtiyaç duydukları suyu topraktan rahat bir şekilde alamamalarına sebep olabilir. Buna karşın ortalama yarayışlı su içeriği skoru ise Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla 0.72, 0.88 ve 0.71 olup, bitkilerin topraktan su alımında bir problem olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, Çanakçı serisinde yarayışlı su içeriği skorları diğer iki seriye kıyasla daha yüksektir. Çanakçı serisinde ortalama yarayışlı su skoru Gugino ve ark. (2009)'nın sınıflandırmasına göre çok yüksek iken, diğer iki seri de ise yüksektir. Su dolu gözenek hacmi skorları üç seride de 0.76-1.00 arasında değişmektedir (Çizelge 4.8). Ortalama su dolu gözenek hacmi skoru Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde nispeten birbirlerine yakın olup, sırasıyla 0.92, 0.89 ve 0.91'dir. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde su dolu gözenek hacmi çok yüksek olup, bu skorlar mikrobiyal aktivite açısından toprakların su dolu gözenek hacminin istenilen seviyelerde olduğunu göstermektedir.

Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde genel olarak hafif alkalin/orta alkalin arasında bir eğilim gösteren toprak pH'sı skorları sırası ile ortalama olarak 0.93, 0.99, 0.93'dür (Çizelge 4.9). Doğrusal skorlama ile elde edilen çok yüksek pH skorları, çalışma alanlarında bitkilerin besin elementi alımı açısından pH'nın sınırlayıcı bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Tuzluluğun göstergesi olan elektriksel iletkenlik skorları Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serileri örnekleme alanlarında sırasıyla 0.20-1.00, 0.13-1.00 ve 0.13-1.00 arasında değişmekte olup, ortalama 0.74, 0.71 ve 0.64'dür (Çizelge 4.9). Elektriksel iletkenlik skorları alanın genelinde tuzluluk probleminin olmadığını göstermektedir. Ancak bazı noktalardaki düşük skorlar, tuzluluğa sebep olabilecek fazla gübre kullanımı ve salma sulama gibi yöntemlerin ileride tehlike yaratabileceğini göstermektedir. Özellikle salma sulama yönteminin kullanıldığı Helvacı serisinde tuzluluk problemine dikkat edilmesi gerekmektedir. Toprakta sodikliğin göstergesi olan sodyum adsorbsiyon oranı skorları her üç seri örnekleme alanında en yüksek skor olan 1 değerini almıştır (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Doğrusal skorlama yöntemi ile elde edilen kimyasal gösterge skorlarına ait tanımlayıcı istatistikler

Seri	Tanımlayıcı istatistik	pH	EC	SAR	P	K
Arıklı	En Küçük Değer	0.89	0.20	1.00	0.22	0.74
	En Büyük Değer	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00
	Ortalama	0.93	0.74	1.00	0.84	0.98
	Standart Sapma	0.01	0.18	-	0.18	0.06
	Varyasyon Katsayısı (%)	1.4	24.8	-	21.5	6.3
	Yatıklık	0.88	-0.93	-	-1.16	-2.68
Çanakçı	En Küçük Değer	0.94	0.13	1.00	0.28	0.72
	En Büyük Değer	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Ortalama	0.99	0.71	1.00	0.82	0.98
	Standart Sapma	0.02	0.24	-	0.20	0.06
	Varyasyon Katsayısı (%)	1.5	33.8	-	25.0	5.9
	Yatıklık	-1.06	-0.56	-	-0.64	-3.16
Helvacı	En Küçük Değer	0.88	0.13	1.00	0.56	0.78
	En Büyük Değer	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Ortalama	0.93	0.64	1.00	0.97	0.98
	Standart Sapma	0.03	0.24	-	0.08	0.04
	Varyasyon Katsayısı (%)	2.9	37.9	-	8.1	3.7
	Yatıklık	0.54	-0.50	-	-3.06	-3.21

EC: Elektriksel iletkenlik, SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı, P: Yarayırlı fosfor, K: Ekstrakte edilebilir potasyum

Toprakların yarayırlı fosfor skoru, Arıklı serisinde 0.22-1.00, Çanakçı serisinde 0.28-1.00 ve Helvacı serisinde 0.56-1.00 skorları arasında değişmektedir (Çizelge 4.9). Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serileri örnekleme alanlarının genelinde ortalama yarayırlı fosfor skorları sırasıyla 0.84, 0.82 ve 0.97 gibi çok yüksek skorlardır. Potasyum ise Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla 0.74-1.00, 0.72-1.00 ve 0.78-1.00 arasında değişmektedir. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerindeki toprakların ortalama potasyum skorları 0.98 gibi oldukça yüksek skorlardır. Her üç çalışma alanında genel olarak yüksek skorlar alan yarayırlı fosfor ve potasyum göstergeleri, bitki beslenmesinde toprakların fosfor ve potasyumca yarayırlı durumda olduğunu göstermektedir.

Organik karbon skoru, Arıklı serisi örnekleme alanında 0.43-1.00 arasında değişirken, ortalama skoru 0.76 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.10). Çanakçı serisinde organik karbon skorları 0.28-1.00 arasında değişirken, ortalama 0.66 gibi orta düzeyde bir skor almıştır (Çizelge 4.10). Helvacı serisinde ise organik karbon skorları 0.40-0.95 arasında değişirken, ortalama 0.66 ile orta düzeyde bir skor almıştır (Çizelge 4.10). Genel olarak çalışma alanlarını içinde bulunduran bölge topraklarına benzer olarak yoğun üretim altında olan çalışma alanı topraklarının organik madde/karbon içerikleri düşüktür. Yoğun tarımsal üretim altındaki topraklarda organik maddenin azalması sıklıkla görülen bir durumdur (Zalidis ve ark., 2002). Toprakların geleneksel yöntemlerle işlenmesi ve özellikle tek yıllık kültür bitkisi yetiştiriciliğinin yapıldığı alanlarda potansiyel organik madde kaynakları olan anızların yakılması, budama artıklarının araziden uzaklaştırılması toprakta organik maddenin azalmasına ve organik karbon skorlarının düşmesine sebep olmuştur.

Çalışma alanlarının organik madde içeriklerine paralel olarak mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi göstergeleri de düşük skorlar almıştır. Yapılan çalışmalarda da organik madde ile biyolojik aktivite arasında önemli bir ilişki olduğu rapor edilmiştir (Kanchikerimath ve Singh, 2001; Ge ve ark., 2010). Mikrobiyal biyokütle karbon skorları Arıklı serisinde 0.17 ile 0.42, Çanakçı serisinde 0.07 ile 0.48 ve Helvacı serisinde 0.06 ile 0.23 arasında değişmekle birlikte, sırasıyla ortalama olarak 0.24, 0.25 ve 0.12 gibi çok düşük skorlar almıştır (Çizelge 4.10). Bir diğer biyolojik kalitenin göstergesi olan beta glikosidaz enzim aktivite skorları ise mikrobiyal biyokütle karbon skorlarına kıyasla daha yüksek skorlar almıştır. Beta glikosidaz enzim aktivitesi Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla 0.27 ile 1.00, 0.17 ile 1.00 ve 0.11 ile 1.00 arasında değişmektedir. Her üç seride ortalama beta glikosidaz enzim aktivite skorları sırasıyla 0.61, 0.69 ve 0.42 gibi orta, orta ve düşük düzeyde skorlar almıştır.

Çizelge 4.10. Doğrusal skorlama yöntemi ile elde edilen biyolojik gösterge skorlarına ait tanımlayıcı istatistikler

Seri	Tanımlayıcı istatistik	OK	MBK	BGEA
Arıklı	En Küçük Değer	0.43	0.17	0.27
	En Büyük Değer	1.00	0.42	1.00
	Ortalama	0.76	0.24	0.61
	Standart Sapma	0.12	0.05	0.21
	Varyasyon Katsayısı (%)	16.4	22.4	35.2
	Yatıklık	-0.18	1.29	0.70
Çanakçı	En Küçük Değer	0.28	0.07	0.17
	En Büyük Değer	1.00	0.48	1.00
	Ortalama	0.66	0.25	0.69
	Standart Sapma	0.21	0.10	0.30
	Varyasyon Katsayısı (%)	31.5	38.5	42.8
	Yatıklık	0.25	0.36	-0.19
Helvacı	En Küçük Değer	0.40	0.06	0.11
	En Büyük Değer	0.95	0.23	1.00
	Ortalama	0.66	0.12	0.42
	Standart Sapma	0.12	0.04	0.13
	Varyasyon Katsayısı (%)	18.9	32.1	30.4
	Yatıklık	0.09	0.77	1.04

OK: Organik karbon, MBK: Mikrobiyal biyokütle karbonu, BGEA: Beta glikosidaz enzim aktivitesi

Bireysel kalite göstergelerinin arazi içindeki değişkenliğini gösteren varyasyon katsayısı üç seride sodyum adsorbsiyon oranı tüm örnekleme noktalarında 1 skorunu aldığı için hesaplanmamıştır. Bununla birlikte Çanakçı ve Helvacı serilerinde tüm örnekleme noktalarında hacim ağırlığı 1 skorunu aldığı için varyasyon katsayısı hesaplanmamıştır. Arıklı serisinde genel olarak varyasyon katsayısı orta derecede değişkenliğe sahiptir. Çalışma alanında varyasyon katsayısı %0.1 ile en düşük hacim ağırlığı göstergesinde elde edilmiş ve penetrasyon direnci, su dolu gözenek hacmi, pH, potasyum ile birlikte düşük değişkenliğe sahip göstergeler olmuştur (Çizelge 4.8 ve 4.9).

Arıklı serisinde orta derecede değişkenliğe sahip göstergeler organik karbon, agregat stabilitesi, fosfor, mikrobiyal biyokütle karbon, elektriksel iletkenlik ve yarayışlı su içeriği olmuştur (Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10). Beta glikosidaz enzim aktivitesi ise çalışma alanında yüksek derecede değişkenliğe sahip kalite göstergesi olmuştur.

Çanakçı serisindeki çalışma alanında en düşük değişkenlik %1.5 ile pH göstergesinde elde edilmiştir (Çizelge 4.9). Agregat stabilitesi ise çalışma alanında %50.4 ile en yüksek değişkenliğe sahip gösterge olmuştur (Çizelge 4.8). Bununla birlikte Çanakçı serisinde penetrasyon direnci, su dolu gözenek hacmi ve potasyum düşük değişkenliğe; yarayışlı su içeriği, fosfor, elektriksel iletkenlik ve organik karbon orta derecede değişkenliğe ve mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi ise yüksek derecede değişkenliğe sahip göstergeler olmuştur (Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10). Helvacı serisinde ise pH %2.9 varyasyon katsayısı ile en düşük değişkenliğe sahip gösterge olmuştur (Çizelge 4.9). Penetrasyon direnci, su dolu gözenek hacmi, potasyum ve fosfor göstergeleri düşük değişkenliğe sahip diğer göstergeler olmuştur (Çizelge 4.8 ve 4.9). Organik karbon, yarayışlı su içeriği, agregat stabilitesi, beta glikosidaz enzim aktivitesi ve mikrobiyal biyokütle karbon orta değişkenliğe sahip göstergeler olurken, elektriksel iletkenlik ise yüksek değişkenlik gösteren gösterge olmuştur.

4.3.2. Doğrusal Olmayan Skorlama Yöntemi ile Elde Edilen Toprak Kalite Göstergeleri

Aşağı Seyhan Ovasında yer alan Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde toprak kalitesinin değerlendirilmesi için seçilen göstergelerin normalizasyonunda doğrusal olmayan skorlama tekniklerinden olan ve Amerika Tarım Bakanlığı personeli tarafından geliştirilen “Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi, SMAF” (Andrews ve ark., 2004) ile Cornell Üniversitesi (ABD) tarafından geliştirilen “Cornell Toprak Sağlığı Değerlendirmesi” (Gugino ve ark., 2009) kullanılmış ve bu skora ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.11, 4.12 ve 4.13’de verilmiştir. Doğrusal olmayan tekniklerde toprak tipi, iklim, yetiştirilen bitki ve analiz yöntemine göre göstergeler için beklenen aralıklar tanımlanarak skorlanmaktadır (Günel ve ark., 2015b). Bu nedenle toprak kalite indeksini belirlemek için kullanılan skorlamada hem tarımsal hem de çevre ile ilgili yorumları kapsadığından dolayı doğrusal olmayan skorlama yöntemleri tercih edilen yöntemlerden birisidir (Karlen ve Stott, 1994; Andrews ve ark., 2004; Wienhold ve ark., 2009; Askari ve Holden, 2014; Raiesi, 2017; Lisboa ve ark., 2019; da Luz ve ark., 2019). Bu kapsamda yürütölen doktora tezi çalışmasında penetrasyon direnci Cornell Üniversitesi (ABD) tarafından geliştirilen “Cornell Toprak Sağlığı Değerlendirmesi” (Gugino ve ark., 2009) ile skorlanırken, geriye kalan göstergeler Amerika Tarım Bakanlığı personeli tarafından geliştirilen “Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi, SMAF” (Andrews ve ark., 2004) ile skorlanmıştır.

Doğrusal skorlama yöntemine kıyasla doğrusal olmayan skorlama yönteminde göstergeler genel olarak daha düşük skorlar almıştır. Özellikle penetrasyon direnci, hacim ağırlığı, yarayışlı su içeriği, toprak pH’sı, organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi doğrusal yöntemle kıyasla

doğrusal olmayan skorlamada daha düşük skorlar almıştır. Buna karşın agregat stabilitesi ve elektriksel iletkenlik ise tam tersi olarak doğrusal olmayan yöntemde daha yüksek skorlar almıştır. Doğrusal ve doğrusal olmayan skorlama yöntemlerinin ilk defa karşılaştırıldığı çalışmalar arasında olan Andrews ve ark. (2002) benzer durumlar tespit etmiştir. Özellikle topraklarda tuzluluk ve sodiklik problemi bulunmasa da doğrusal skorlama ile elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorbsiyon oranının düşük skorlar alabildiğini, bu sebeple birçok göstergenin işlevselliğinin doğrusal olmayan yöntemle daha iyi temsil edildiğini rapor etmişlerdir. Doğrusal olmayan skorlama yöntemlerinin kullanıldığı pek çok çalışmada da toprak kalite indeksinin değerlendirilmesinin başarılı bir şekilde yapıldığı belirtilmiştir (Masto ve ark., 2008; Askari ve Holden, 2014; Cherubin ve ark., 2017; Yu ve ark., 2018; da Luz ve ark., 2019).

“Daha az daha iyidir” eğrisiyle skorlanan penetrasyon direnci Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde en düşük skor olarak 0.01 değerini elde etmiştir (Çizelge 4.11). Her üç seride en düşük penetrasyon direnci skorlarının 0.01 olması, bireysel penetrasyon direnci değerlerinin doğrusal olmayan skorlama yönteminde skorlamada kullanılan eşik değerin çok üzerinde ve bu arazilerde toprakta sıkışmanın önemli seviyelerde olduğunu göstermektedir. Buna karşın Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde penetrasyon direnci en yüksek skor olarak sırasıyla 0.87, 0.73 ve 0.82 gibi yüksek skorlar almıştır (Çizelge 4.11). Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde yer alan çalışma alanlarının genelinde ise ortalama penetrasyon direnci sırasıyla 0.21, 0.29 ve 0.25 gibi oldukça düşük skorlar elde etmiştir. Her bir serinin genelinde elde edilen ortalama penetrasyon direnci skorları toprakta sıkışmanın ciddi seviyelerde olduğuna işaret etmektedir. Toprak sıkışmasının bir diğer göstergesi olan hacim ağırlığı skorları, penetrasyon direnci skorlarından nispeten daha yüksek skorlar almıştır. Doğrusal olmayan yöntemle skorlanan hacim ağırlığı Arıklı serisinde 0.29-0.96, Çanakçı serisinde 0.28-0.99 ve Helvacı serisinde 0.37-0.81 skorları arasında değişim göstermiştir. Hacim ağırlığına ait ortalama skorlar ise bu serilerde sırasıyla 0.53, 0.65 ve 0.53’tür (Çizelge 4.11). Penetrasyon direncinin aksine hacim ağırlığı skorları genel anlamda Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde nispeten daha yüksek skorlar alarak toprakta sıkışmanın daha orta seviyelerde olduğunu göstermektedir. Ancak toprak sıkışmasının önemli bir tehdit olduğu düşünüldüğünde her iki gösterge de Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sıkışmanın yaşandığını ve bazı arazilerde ise ileri seviyede olduğunu işaret etmektedir. Bununla birlikte toprakta sıkışmanın göstergeleri olarak kabul edilen penetrasyon direnci ile hacim ağırlığı (Abu-Hamdeh, 2003) arasında birbirine yakın ve destekleyici sonuçlar beklenmesine rağmen, birbirinden nispeten uzak sonuçlar elde edilmiştir. Her iki sıkışma göstergesi arasında ortaya çıkan bu farklılığın temelinde doğrusal olmayan skorlama tekniğinde kullanılan yöntem farklılığının olduğu düşünülmektedir. Zira hacim ağırlığı SMAF ile “daha az daha iyidir” eğrisiyle skorlanırken, penetrasyon direnci ise “Cornell Toprak Sağlığı Değerlendirmesi” ile “daha az daha iyidir” eğrisiyle skorlanmaktadır. Skorlama esnasında SMAF hacim ağırlığı için toprak tekstürü ve mineralojiyi (Andrews ve ark., 2004), “Cornell Toprak Sağlığı Değerlendirmesi” ise penetrasyon direnci için sadece toprak tekstürünü (Gugino ve ark., 2009) dikkate almaktadır

(Çizelge 3.14). Bu durum da penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı gösterge skorları arasında değerlendirme açısından farklılıklara yol açmaktadır.

Çizelge 4.11. Doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile elde edilen fiziksel gösterge skorlarına ait tanımlayıcı istatistikler

Seri	Tanımlayıcı İstatistikler	PD	HA	AS	YSİ	SDGH
Arıklı	En Küçük Değer	0.01	0.29	0.53	0.04	0.61
	En Büyük Değer	0.87	0.96	1.00	0.78	0.95
	Ortalama	0.21	0.53	0.94	0.47	0.91
	Standart Sapma	0.25	0.13	0.11	0.18	0.06
	Varyasyon Katsayısı (%)	115.1	23.9	12.2	38.4	7.1
	Yatıklık	1.29	0.59	-1.90	-0.52	-2.53
Çanakçı	En Küçük Değer	0.01	0.28	0.34	0.20	0.55
	En Büyük Değer	0.73	0.99	1.00	0.85	0.97
	Ortalama	0.29	0.65	0.71	0.54	0.87
	Standart Sapma	0.21	0.22	0.20	0.13	0.12
	Varyasyon Katsayısı (%)	73.3	34.5	27.8	24.3	13.3
	Yatıklık	0.55	-0.08	-0.21	-0.35	-1.26
Helvacı	En Küçük Değer	0.01	0.37	0.01	0.05	0.60
	En Büyük Değer	0.82	0.81	1.00	0.77	0.95
	Ortalama	0.26	0.53	0.73	0.49	0.87
	Standart Sapma	0.25	0.10	0.24	0.15	0.09
	Varyasyon Katsayısı (%)	98.9	18.69	32.9	30.3	9.9
	Yatıklık	0.86	0.83	-1.06	-0.29	-1.26

PD: Penetrasyon direnci, HA: Hacim ağırlığı, AS: Agregat stabilitesi, YSİ: Yarayışlı su içeriği, SDGH: Su dolu gözenek hacmi

Agregat stabilitesi toprak işleme gibi mekanik olarak parçalayıcı ve suyun dispers edici dış güçlere karşı toprağın direncini göstermektedir (Günel ve ark., 2008). Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde doğrusal olmayan yöntemle elde edilen en düşük agregat stabilite skorları sırasıyla 0.53, 0.34 ve 0.01 iken, her üç seride en yüksek skor 1.00 olmuştur. Genel anlamda ise Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde ortalama agregat stabilitesi sırasıyla 0.94, 0.71 ve 0.73 gibi yüksek skorlar almıştır (Çizelge 4.11). Elde edilen bu skorlar Arıklı serisi başta olmak üzere yoğun tarımsal üretimin yapıldığı çalışma alanlarında toprakların erozyona karşı dirençli olduğunu göstermektedir. Ancak agregat stabilite skorunun düşük olduğu arazilerde rüzgar ve su erozyonuna karşı toprakların hassas hale geldiği unutulmamalıdır (Karlen ve ark., 2013). Zira toprak agregatlarının dayanıklılığının artması toprak yüzeyinde kabuk oluşumunu engellemesinin yanı sıra, toprağın su ve rüzgar erozyonuna karşı direnç kazanmasını da sağlamaktadır.

Tarla kapasitesi ile solma noktası arasında bulunan ve bitkinin topraktan en rahat alabildiği aralık olan yarayışlı su içeriği skorları Arıklı serisinde 0.04-0.78, Çanakçı serisinde 0.20-0.85 ve Helvacı serisinde 0.05-0.77 arasında değişmektedir. Ortalama yarayışlı su içeriği skoru ise Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla 0.47, 0.54 ve 0.49 olmuştur (Çizelge 4.11). Kil içeriği yüksek olan Arıklı ve Helvacı serilerinde yarayışlı su içeriği skorlarının genel anlamda birbirlerine oldukça

yakın olarak orta seviyelerde olduğu görülmüştür. Bu durum, toprakların su depolama kapasitesinin ve sulama aralığının da aynı seviyelerde olduğu anlamına gelmektedir. Bahçelerin yoğunlukta bulunduğu ve orta bünyeli toprakların yer aldığı Çanakçı serisinde ise yarayışlı su içeriği skorları nispeten daha iyi ortalama skor almıştır. Bu oluşan küçük farkta, diğer serilere kıyasla Çanakçı serisinde daha yüksek olarak kapasitesinin %62'sinde işlev gösteren organik madde/karbonun etkili olduğu düşünülmektedir (Çizelge 4.13). Zira organik madde toprakta su tutumunda etkili olan önemli bir materyal olarak bilinmektedir (Huntington, 2016). Bununla birlikte Helvacı serisi topraklarının killi tekstüre sahip olduğu ve genelinde salma sulamanın kullanıldığı dikkate alındığında sulamanın ilerleyen zamanlarda önemli bir problem olarak çıkması muhtemeldir. Bunun için çalışma alanında yoğun bir şekilde kullanılan ve geleneksel yöntemlerden olan salma sulamadan vazgeçilmeli ve Dünya Bankası (2006) ve Avrupa Çevre Ajansı (2009) gibi uluslararası kuruluşlar tarafından su kullanım etkinliği yüksek olarak kabul edilen damla sulama yöntemlerine geçilmelidir.

Su dolu gözenek hacmi Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile birbirine oldukça yakın skorlar almıştır (Çizelge 4.11). Su dolu gözenek hacmi Arıklı serisinde 0.61 ile 0.95, Çanakçı serisinde 0.55 ile 0.97 ve Helvacı serisinde 0.60 ile 0.95 skorları arasında değişmektedir. Ortalama su dolu gözenek hacmi skorları ise sırasıyla 0.91, 0.87 ve 0.87 ile çok yüksek düzeydedir (Çizelge 4.11). Su dolu gözenek hacminin her üç seride ortalama olarak birbirine yakın ve çok yüksek skorlar alması, mikrobiyal olarak aktiviteyi sınırlandıran faktörün su dolu gözenek hacminin olmadığını, aksine mikro organizmalar için temel ihtiyaç olan su ve havanın uygun koşullarda olduğu anlamına gelmektedir.

Her üç seride genel itibari ile hafif alkalın-orta derecede alkalın eğilimi gösteren toprak pH'sı besin elementlerinin alımını kontrol etmektedir. Arıklı serisinde pH skorları 0.28-0.88 arasında değişirken, 0.68 skoru ile pH genel anlamda ortalamanın üzerinde skora sahip olmuştur (Çizelge 4.12). Arıklı serisinin aksine bahçelerin yoğunlukta olduğu Çanakçı serisinde pH değerlerinin nötre daha yakın olması sebebi ile daha yüksek pH skorları elde edilmiştir. Çanakçı serisinde toprak pH skorları 0.55-0.98 arasında değişirken, ortalama skor 0.90 olmuştur (Çizelge 4.12). Çalışma alanının genelinde toprak pH skorunun 0.90 olması, bahçelerin yoğunlukta olduğu Çanakçı serisinde toprakların besin elementi alımı açısından pH ile ilgili bir sorunun olmadığını göstermektedir. Helvacı serisinde pH skorları ise Arıklı serisine benzer şekilde 0.26-0.94 arasında değişirken, ortalama skor 0.75'dir. Çanakçı serisine kıyasla daha düşük pH skorları elde edilen Arıklı ve Helvacı serilerinde pH skorlarının besin elementlerinin alımında bir sorunun varlığına işaret etse de, alanların genelinde besin elementlerinin alımını açısından toprak pH'sının bir problem olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.12. Doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile elde edilen kimyasal gösterge skorlarına ait tanımlayıcı istatistikler

Seri	Tanımlayıcı İstatistikler	pH	EC	SAR	P	K
Arıklı	En Küçük Değer	0.28	1.00	0.80	0.41	1.00
	En Büyük Değer	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00
	Ortalama	0.68	1.00	0.95	0.97	1.00
	Standart Sapma	0.18	-	0.07	0.07	-
	Varyasyon Katsayısı (%)	27.1	-	7.8	7.0	-
	Yatıklık	-0.98	-	-1.62	-6.60	-
Çanakçı	En Küçük Değer	0.55	0.64	0.80	0.50	0.80
	En Büyük Değer	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00
	Ortalama	0.90	1.00	0.94	0.98	0.99
	Standart Sapma	0.07	0.04	0.09	0.07	0.03
	Varyasyon Katsayısı (%)	7.5	3.7	9.2	7.6	3.1
	Yatıklık	-3.52	-9.54	-0.95	-4.94	-3.57
Helvacı	En Küçük Değer	0.26	0.63	0.79	0.93	1.00
	En Büyük Değer	0.94	1.00	0.98	1.00	1.00
	Ortalama	0.75	0.99	0.92	0.99	1.00
	Standart Sapma	0.18	0.04	0.06	0.01	-
	Varyasyon Katsayısı (%)	23.4	4.1	6.3	1.3	-
	Yatıklık	-1.77	-8.44	-1.32	-3.07	-

EC: Elektriksel iletkenlik, SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı, P: Yarayırlı fosfor, K: Ekstrakte edilebilir potasyum

Toprakta tuzluluğun göstergesi olan elektriksel iletkenlik Arıklı ve Çanakçı serilerinde ortalama 1.00 skorunu alarak çalışma alanlarında toprakların tuzluluk probleminden etkilenmediğini göstermektedir. Helvacı serisinde ise elektriksel iletkenlik skorları 0.63 ile 1.00 arasında değişirken, ortalama skor 0.99 olmuştur (Çizelge 4.12). Normalde Aşağı Seyhan Ovasında tuz içeriği yüksek serilerin başında gelen Helvacı serisinde (Dinç ve ark., 1995) son yıllarda alanda drenajın iyileştirilmesi ile birlikte özellikle örnekleme noktalarının yüzey (0-20 cm) toprağında tuzluluğun büyük oranda azalmaya başladığı görülmektedir. Ancak alanda kullanılan salma yöntemine dikkat edilmelidir. Zira özellikle sıcak ve nemli yaz günlerinde salma sulama sonrası kapillar yükselme ile toprak yüzeyinde tuz birikimi olabilir. Sodikliğin göstergesi olan sodyum adsorbsiyon oranı her üç seride doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile birbirine oldukça yakın ve çok yüksek skorlar almıştır. Sodyum adsorbsiyon oranı ortalama olarak Arıklı serisinde 0.95, Çanakçı serisinde 0.94 ve Helvacı serisinde 0.92 gibi çok yüksek skorlar almıştır (Çizelge 4.12). Bu skorlar her bir seride sodyum adsorbsiyon oranının bitkisel üretim için sorun teşkil edecek seviyelerin çok uzağında olduğunu göstermektedir.

Bitkisel üretimde en önemli makro elementler arasında yer alan fosfor ve potasyumun turunçgil ağaçlarının ve tek yıllık kültür bitkilerinin verim ve kalitesini önemli şekilde etkilediği bilinmektedir. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde örnekleme alanlarının genelinde doğrusal olmayan skorlama ile yarayırlı fosfor ve potasyum göstergeleri birbirine oldukça yakın ve çok yüksek düzeyde skorlar elde etmiştir. Ortalama yarayırlı fosfor ve potasyum skorları sırasıyla Arıklı

serisinde 0.97 ve 1.00, Çanakçı serisinde 0.98 ve 0.99 ve Helvacı serisinde 0.99 ve 1.00'dir (Çizelge 4.12). Çalışma alanlarında yayırlı fosfor ve potasyum skorlarının yüksek çıkması, bitkilerin beslenmesi açısından toprakta yeterli düzeyde yayırlı formda fosfor ve potasyumun olduğunu göstermiştir.

Arıklı serisi topraklarının organik karbon içerikleri 0.06-0.32 arasında skorlar almış olup, karbon içeriği bakımından oldukça fakir arazilerden oluşmaktadır (Çizelge 4.13). Arıklı serisine benzer olarak Helvacı serisinde de toprakların organik karbon skorları 0.05 ile 0.21 gibi oldukça düşük skorlar arasında değişmektedir (Çizelge 4.13). Her iki seri üzerinde bulunan arazilerde genellikle buğday, mısır, soya ve pamuk gibi tek yıllık kültür bitkileri yetiştiriciliği yapılmakta ve topraklar toprağı alt üst eden kulaklı pulluğun kullanıldığı geleneksel toprak işleme yöntemi ile işlenmekte ve genel olarak bir önceki ürüne ait anızlar yakılmaktadır. Yoğun tarımsal üretim altındaki toprakların bu şekilde geleneksel toprak işleme yöntemleri ile işlenmesi karbonun toprakta oksidasyonunu hızlandırarak azalmasına neden olmaktadır (Acar ve ark., 2018). Buna ek olarak potansiyel organik madde kaynakları olan anızların yasal olmamakla birlikte yakılması da organik karbon skorlarının azalmasına yol açan bir başka olumsuz uygulamadır. Arıklı ve Helvacı serilerinde kullanılan bu uygulamalar neticesinde toprakların organik karbon skorları oldukça düşük düzeylerde olmuştur.

Çizelge 4.13. Doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile elde edilen biyolojik gösterge skorlarına ait tanımlayıcı istatistikler

Seri	Tanımlayıcı İstatistikler	OK	MBK	BGEA
Arıklı	En Küçük Değer	0.06	0.05	0.03
	En Büyük Değer	0.32	0.14	0.99
	Ortalama	0.14	0.07	0.19
	Standart Sapma	0.05	0.02	0.25
	Varyasyon Katsayısı (%)	32.4	25.6	136.1
	Yatıklık	1.28	1.87	2.52
Çanakçı	En Küçük Değer	0.14	0.11	0.06
	En Büyük Değer	1.00	0.96	1.00
	Ortalama	0.62	0.43	0.58
	Standart Sapma	0.26	0.26	0.38
	Varyasyon Katsayısı (%)	41.4	61.5	64.8
	Yatıklık	-0.14	0.68	-0.09
Helvacı	En Küçük Değer	0.05	0.06	0.02
	En Büyük Değer	0.21	0.17	0.13
	Ortalama	0.11	0.09	0.06
	Standart Sapma	0.03	0.03	0.02
	Varyasyon Katsayısı (%)	30.6	29.7	44.1
	Yatıklık	0.82	1.17	1.16

OK: Organik karbon, MBK: Mikrobiyal biyokütle karbonu, BGEA: Beta glikosidaz enzim aktivitesi

Arıklı ve Helvacı serisine nazaran organik karbon bakımından daha yüksek skorlar alan Çanakçı serisinde toprakların organik karbon skorları 0.14 ile 1.00 arasında değişim göstermiş ve ortalama organik karbon skoru 0.62 olmuştur (Çizelge 4.13). Örnekleme noktalarının çoğunluğunda çok yıllık bahçelerin bulunduğu Çanakçı serisinde toprakların organik karbon skorlarının genel anlamda diğer serilere kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Organik karbonun SMAF ile doğrusal olmayan yöntem kullanılarak skorlanması organik madde, tekstür ve iklim dikkate alınmaktadır (Çizelge 3.14). Tez çalışması için seçilen alanların iklimi aynı olduğu için doğrusal olmayan skorlama yönteminde toprakların organik madde ve tekstürleri organik karbon skorlamasında değişkenliğe sebep olmaktadır. Bu üç veriden organik karbon skorlamasında, organik madde SMAF'a tanıtılırken toprakların alt ordo düzeyinde tanımlanması dikkate alınarak dört farklı sınıf içerisinde değerlendirilmektedir. Xerert ve Aquept alt ordolarına sahip olan sırasıyla Arıklı ve Helvacı serilerinde (Dinç ve ark., 1995) organik madde açısından 2. sınıf seçilirken, Fluvent alt ordosuna sahip olan Çanakçı serisinde (Dinç ve ark., 1995) ise 4. sınıf seçilmiştir. Sınıf sırası 1'den 4'e doğru gidildikçe organik karbon skorlamasında dikkate alınan ham verilerin üst aralığı azalmaktadır. Bir başka deyişle aynı organik karbon değeri skorlama aralığı daha küçük olan 4. sınıfta tanımlandığı zaman 1.00 skorunu alabilirken, aynı veri 2. sınıfta tanımlandığı zaman alacağı skor değeri 4. sınıfa giren skordan daha düşük olacaktır. Bu sebeple üç seride nispeten birbirine yakın elde edilen organik madde/karbon verileri olmasına karşın, Çanakçı serisinde skorlamanın üst sınırının daha düşük olması sebebiyle diğer serilere kıyasla daha yüksek organik karbon skorları elde edilmiştir. Organik maddenin yanı sıra toprakların tekstürü de skorlamada dikkate alınan bir diğer faktördür. Kil içeriği yüksek topraklarda organik karbon skorlamasında ham veriye ait üst sınır, kum içeriği yüksek topraklarınkinden daha yüksektir. Bu sebeple nispeten birbirine yakın değerler alan organik karbon/madde değerleri, doğrusal olmayan yöntemle skorlandığında diğer serilere kıyasla Çanakçı serisinde daha yüksek skorlar almaktadır.

Organik maddenin canlı kısmı olarak bilinen mikrobiyal biyokütle karbonu (Vance ve ark., 1987) Arıklı ve Helvacı serilerinde sırasıyla 0.05 ile 0.14 ve 0.06 ile 0.17 gibi oldukça düşük skorlar arasında değişmiştir (Çizelge 4.13). Her iki çalışma alanında mikroorganizmaların besin ve enerji kaynağı olan organik maddenin (Lal, 2016) düşük olması, mikrobiyal biyokütle karbon skorlarının da böylesine düşük olmasına sebep olmuştur. Çanakçı serisi topraklarının ise kapasiteleri düşünüldüğünde organik madde içeriklerinin nispeten iyi olması, mikrobiyal biyokütle karbon skorlarının da genelinde tarla tarımı yapılan diğer seri topraklarına kıyasla daha yüksek olmasına sebep olmuştur. Mikrobiyal biyokütle karbon skorları çalışma alanında 0.11 ile 0.96 arasında değişmekle birlikte, ortalama olarak 0.43 skorunu almıştır.

Bir diğer biyolojik gösterge olan beta glikosidaz enzim aktivitesi skorlarında da mikrobiyal biyokütle karbon skorlarına benzer bir durum gözlemlenmiştir. Arıklı ve Helvacı serisinde oldukça düşük skorlar alan beta glikosidaz enzim aktivitesi Çanakçı serisinde daha yüksek skorlar almıştır. Beta glikosidaz enzim aktivitesi Arıklı serisinde 0.03-0.99 ve Helvacı serisinde 0.02-0.13 arasında

değişirken, sırasıyla ortalama skorlar 0.19 ve 0.06 olmuştur (Çizelge 4.13). Çanakçı serisinde ise beta glikosidaz enzim aktivitesi 0.06-1.00 skorları arasında değişirken, ortalama skor 0.58'dir. Serilerde toprakta mevcut organik madde düzeyinin genel olarak düşük olması, beta glikosidaz enzim aktivitesinin de düşük olmasına sebep olmuştur. Zira toprakta parçalanacak organik madde olmayınca beta glikosidaz enzim aktivitesi de organik madde düzeyine paralel olarak düşük olmaktadır. Genel anlamda tek yıllık kültür bitkilerinin yetiştiriciliğinin daha yoğun olduğu Arıklı ve Helvacı serilerine kıyasla çok yıllık meyve bahçelerinin yoğun olduğu Çanakçı serisinde organik karbon skorunun daha yüksek olmasından dolayı enzim aktivitesi de diğer serilere kıyasla yüksek olmuştur.

Arıklı serisinde bireysel kalite göstergelerinin değişkenliği Wilding ve ark. (1994)'na göre incelendiğinde en düşük değişkenlik %7.0 ile fosfor göstergesinde elde edilmiştir (Çizelge 4.12). Sodyum adsorbsiyon oranı, agregat stabilitesi ve su dolu gözenek hacmi değişkenliği düşük diğer göstergeler olmuştur (Çizelge 4.11 ve 4.12). Çalışma alanında hacim ağırlığı, mikrobiyal biyokütle karbonu, pH ve organik karbon orta düzeyde değişkenliğe sahip iken, yarayışlı su içeriği, penetrasyon direnci ve beta glikosidaz enzim aktivitesi ise yüksek derecede değişkenliğe sahip göstergeler olmuştur (Çizelge 4.11, 4.12 ve 4.13). Arıklı serisinde örnekleme alanında elektriksel iletkenlik ve potasyum göstergeleri tüm noktalarda 1.00 skorunu aldığı için varyasyon katsayısı hesaplanmamıştır. Çanakçı serisinde pH, elektriksel iletkenlik, sodyum adsorbsiyon oranı, fosfor, potasyum ve su dolu gözenek hacmi düşük değişkenlik gösteren göstergelerdir. Çalışma alanında yarayışlı su içeriği, agregat stabilitesi ve hacim ağırlığı skorları orta derecede değişken grubunda yer alırken, organik karbon, mikrobiyal biyokütle karbonu, beta glikosidaz enzim aktivitesi ve penetrasyon direnci skorları ise yüksek derecede değişken grubunda yer almıştır. Helvacı serisinde ise tüm örnekleme noktalarında potasyum skorları 1.00 olduğu için varyasyon katsayısı hesaplanmamıştır. Çalışma alanında fosfor, elektriksel iletkenlik, sodyum adsorbsiyon oranı ve su dolu gözenek hacmi düşük değişkenlik gösterirken hacim ağırlığı, pH, mikrobiyal biyokütle karbonu, yarayışlı su içeriği, organik karbon ve agregat stabilitesi orta derecede değişkenlik, beta glikosidaz enzim aktivitesi ve penetrasyon direnci ise yüksek derecede değişkenlik gösteren göstergeler olmuştur.

4.4. Toprak Fonksiyonları

Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serileri topraklarının verimlilik, su ilişkileri ve fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonlarını belirlemek için uzman görüşüne dayalı veri setleri oluşturulmuş ve Çizelge 3.18'de sunulmuştur. Veri setinde yer alan göstergeler doğrusal ve doğrusal olmayan skorlama yöntemlerinin kullanımı ile skorlanmıştır. Toprakların ilgili fonksiyonlarını yerine getirme kapasitesinin belirlenmesi için doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle skorlanmış göstergelere basit eklemeli yöntem ve AHP ile Çizelge 3.18'de belirtilen ağırlıklar verilerek hesaplanmış ve sırasıyla Çizelge 4.14 ve 4.15'de sunulmuştur.

Verimlilik fonksiyonu 21. yüzyılın gıda güvenliği, enerji ve su talepleri, karbon dengesi ve iklim değişikliği gibi ana küresel konularıyla yakından ilişkilidir. Bu kapsamda yoğun tarımsal üretimin yapıldığı Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serileri örnekleme alanı topraklarının verimlilik fonksiyonlarının ne derecede yerine getirildiğinin bilinmesi oldukça önemlidir. Zira bir toprağın verimlilik fonksiyonu %40 ise o toprak verimlilik kapasitesinin %40'ında, bir başka deyişle kapasitesinin %60 daha altında çalışıyor demektir. Bu nedenle toprakta sürdürülebilirliğin sağlanması adına toprağın fonksiyon gösterme yeteneğinin belirlenmesi üreticiler için sorunun tespit edilip erken uyarı sistemi olarak işlev görmesine yardımcı olmaktadır.

Çizelge 4.14. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde doğrusal yöntem ile elde edilen toprak fonksiyon indeks değerleri

N=91		Verimlilik		Su ilişkileri		Fiziksel Bozulmaya Karşı Direnç Gösterme	
		Basit Ekl.	AHP	Basit Ekl.	AHP	Basit Ekl.	AHP
		(%)					
Arıklı	En Küçük Değer	62.1	64.6	72.0	70.2	72.1	69.6
	En Büyük Değer	85.0	85.6	94.9	96.5	100.0	100.0
	Ortalama	74.4 a	74.2 a	85.9 a	83.4 a	87.1 a	86.5 a
	Standart Sapma	4.84	4.57	4.69	5.23	5.80	6.14
	VK (%)	6.5	6.2	5.5	6.3	6.7	7.1
	Yatıklık	0.12	0.34	-0.57	-0.21	-0.03	-0.34
	Duyarlılık	1.37	1.32	1.32	1.37	1.39	1.44
Çanakçı	En Küçük Değer	57.2	57.0	63.3	62.2	60.3	56.8
	En Büyük Değer	88.0	89.1	91.6	93.4	100.0	100.0
	Ortalama	75.6 a	75.0 a	78.9 b	77.9 b	78.6 b	76.0 b
	Standart Sapma	5.47	6.11	5.56	6.89	9.93	10.61
	VK (%)	7.2	8.1	7.0	8.8	12.6	14.0
	Yatıklık	-0.41	-0.13	-0.36	0.18	0.20	0.30
	Duyarlılık	1.54	1.56	1.45	1.50	1.66	1.76
Helvacı	En Küçük Değer	59.4	59.2	62.8	61.4	64.9	62.4
	En Büyük Değer	79.7	78.4	90.7	88.4	90.0	90.0
	Ortalama	71.5 b	70.1 b	79.5 b	77.0 b	78.4 b	77.4 b
	Standart Sapma	4.74	4.49	6.16	6.11	5.67	6.35
	VK (%)	6.6	6.4	7.7	7.9	7.2	8.2
	Yatıklık	-0.57	-0.32	-0.71	-0.45	-0.22	-0.26
	Duyarlılık	1.34	1.33	1.45	1.44	1.39	1.44
ANOVA		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

VK: Varyasyon Katsayısı, N: örnek sayısı

Verimlilik fonksiyonu altında tanımlanan ve doğrusal skorlama ile skorlanan göstergelere basit eklemeli yöntem ve AHP ile ağırlıklar verildiğinde, verimlilik fonksiyonu indeks değerleri önemli ölçüde değişmemiştir (Çizelge 4.14). Serilerin verimlilik fonksiyonu üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Seriler açısından her ne kadar farklılıklar oluşsa da, her üç

seri örnekleme alanlarında toprakların verimlilik fonksiyonunu yerine getirme kapasitesi yüksek düzeydedir. Her iki ağırlıklandırma yöntemi ile hesaplanan Çanakçı ve Arıklı serilerindeki verimlilik fonksiyonları Helvacı serisine kıyasla daha yüksek indeks değerine sahip olmuştur. Çanakçı serisi topraklarının basit eklemeli ve AHP ile belirlenen ağırlıkların kullanımı ile hesaplanan verimlilik fonksiyonları sırasıyla %57.2-88.0 ve %57.0-89.1 arasında değişmektedir (Çizelge 4.14). Çoğunlukla meyve bahçelerinin yer aldığı örnekleme alanında, Çanakçı serisi toprakları verimlilik fonksiyonu kapasitesinin yaklaşık %75'ini yerine getirebilmektedir. Arıklı seri örnekleme alanı topraklarının verimlilik fonksiyonu indeks değeri, eşit ağırlıklar ile hesaplandığında %62.1 ile 85.0 arasında değişirken, ortalama verimlilik fonksiyon indeks değeri %74.4 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.14). Göstergelere AHP ile ağırlıklar verildiğinde ilgili fonksiyon indeks değeri %64.6-85.6 arasında değişmiş ve ortalama değer %74.2 olarak hesaplanmıştır. Arıklı serisi toprakları, verimlilik adına kapasitesinin yaklaşık %74'ünde işlev göstermektedir. Helvacı serisi örnekleme alanı verimlilik fonksiyon indeks değeri diğer iki seriye kıyasla daha düşüktür (Çizelge 4.14). Helvacı serisi verimlilik fonksiyon indeks değeri basit eklemeli ve AHP ile ağırlıklandırmada sırasıyla %59.2-79.7 ve %59.2-78.4 arasında değişirken, ortalama verimlilik fonksiyon indeksi yaklaşık %71 olarak hesaplanmıştır.

Kil içeriği yüksek diğer serilere kıyasla orta bünyeli olan Çanakçı serisinin verimlilik fonksiyonu daha yüksek bulunmuştur. Bu seri üzerinde yer alan arazilerde ürün çeşitliliği daha fazla ve Dinç ve ark. (1995) tarafından Aşağı Seyhan Ovasının en verimli serilerden birisi olarak tanımlanmıştır. Verimlilik fonksiyonu yüksek olan Arıklı ve Çanakçı serileri arasındaki küçük farklılık, organik karbon, toprak pH'sı ve yarayışlı su göstergelerinin ağırlıklarının yüksek olması ile ilişkilidir. AHP değerlendirmesinde en yüksek ağırlığın verildiği organik karbon (Çizelge 3.18) Çanakçı serisine kıyasla Arıklı serisinde daha yüksek skor alırken (Çizelge 4.10), pH ve yarayışlı su Çanakçı serisinde daha yüksek skor elde etmiştir (Çizelge 4.8 ve 4.9). Bu göstergelerin haricindeki göstergelere ise AHP ile atanan ağırlıklar daha düşük ve bu göstergeler birbirine oldukça yakın skorlar almıştır. Basit eklemeli yöntemde ise göstergelere eşit ağırlık verildiği için ağırlıklandırmanın etkisinden ziyade göstergelerin almış olduğu skor değerleri etkili olmuştur. Örnekleme noktalarının çoğunluğunu meyve bahçelerinin oluşturduğu Çanakçı serisi topraklarında toprak işleme çoğunlukla ihtiyaç duyulduğunda kullanılmaktadır. Buna karşın Arıklı serisi çalışma alanının genelinde tarla tarımı olduğu için toprak işleme geleneksel olarak yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Helvacı serisi topraklarında ise neredeyse tüm alanda geleneksel olarak toprak yoğun bir şekilde işlenmektedir. Tarla tarımının yapıldığı çoğu arazilerde ise bir önceki ürüne ait anızlar yakılmaktadır. Her ne kadar Arıklı serisinde bu uygulamaların verimlilik fonksiyonuna etkisi görülme de Helvacı serisinde toprakların yoğun bir şekilde işlenmesi ve anızların yakılması ile organik karbon, mikrobiyal biyokütle karbonu başta olmak üzere toprağın verimlilik fonksiyonu indeks değerinde azalışlar meydana gelmiştir. Çalışma alanı ile benzer iklim koşullarında yürütülen bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Çelik ve ark., 2021). Toprakların geleneksel olarak işlenmesi ile organik

madde okside olarak azalmakta (Prasad ve ark., 2016), biyolojik göstergeler olumsuz etkilenmekte (Alvear ve ark., 2005) ve bu da toprakların verimliliğini düşürmektedir (Busari ve ark., 2015). Bununla birlikte Helvacı serisinde toprakların elektriksel iletkenlik skorunun düşük olması diğer serilere kıyasla verimlilik fonksiyonunun kapasitesinin altında işlev göstermesinde etkili olmuştur. Helvacı serisi topraklarının salma sulama yöntemi ile sulanması toprakta tuzluluk problemi için tehlike oluşturmaktadır. Denize yakın bir konumda bulunan ve yüksek kil içeriğine sahip olan Helvacı serisinde özellikle hava sıcaklığı ve neminin yüksek olduğu yaz aylarında profilde bulunan tuzların kapillarite ile birlikte yüzeye bitki kök bölgesine gelmesi kolaylaşmaktadır (Ekmekçi ve ark., 2005). Bu da toprakta verimlilik fonksiyonunun tam olarak yerine getirilememesine ve üründe verim kayıplarının yaşanmasına sebep olmaktadır (Cox ve ark., 2018). Helvacı serisine kıyasla daha yüksek verimlilik fonksiyonu indeks değerine sahip olan Arıklı serisinde ise uzun süredir geleneksel olarak yoğun bir şekilde toprakların işlenmesi, uzun vadede arzu edilmeyen problemler yaratması muhtemeldir. Zira yoğun toprak işleme kaynaklı toprakta meydana gelen değişiklikler, ürün gelişimi için toprağın bozunmasını sağlayarak ve çevresel bozulma potansiyelini artırarak uzun vadeli zarar verebilmektedir (Reicosky ve ark., 2011; Lal, 2015).

Toprağın su ilişkileri fonksiyonu, besin elementlerinin ve yararlı mikro organizmaların kök bölgesindeki çözeltide hareket etmesini sağlayarak (Andrews ve ark., 2004) besin elementi döngüsünü ve biyo-çeşitlilik fonksiyonlarını etkilemektedir (Acar ve ark., 2020). Bu yönüyle su ilişkileri fonksiyonu suyun ve çözeltilerin depolanması ve yeraltı suyunun yeniden doldurulması için derine sızdırmayı en üst düzeye çıkarabilirken, aynı zamanda toprakların erozyona neden olan kuvvetlere karşı dirençli durmasına da yardımcı olabilmektedir (Andrews ve ark., 2004). Doğrusal olarak skorlanmış göstergelere basit eklemeli yöntem ve AHP ile ağırlıklar verildiğinde su ilişkileri fonksiyonu indeks değerleri önemli ölçüde değişmemiştir (Çizelge 4.14). Ancak toprak serilerinin su ilişkileri fonksiyonu üzerine etkileri istatistiksel olarak farklılaşmıştır. Diğer serilere kıyasla Arıklı serisinde su ilişkileri fonksiyonu indeks değeri daha yüksektir. Çanakçı ve Helvacı serileri ise birbirlerine oldukça yakın skorlar alarak istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Her ne kadar istatistiksel olarak farklılıklar olsa da her üç seride ortalama su ilişkileri fonksiyonu indeks değeri yüksek düzeydedir. Arıklı serisi topraklarının doğrusal skora ile hesaplanan su ilişkileri fonksiyonu için tanımlanan göstergeler basit eklemeli ve AHP ile ağırlıklandırıldığında indeks değerleri sırasıyla %72.0-94.9 ve %70.2-96.5 arasında değişmiştir (Çizelge 4.14). Alanın genelinde su ilişkileri fonksiyonu sırasıyla %85.9 ve %83.4 ile yüksek seviyede yer almaktadır (Çizelge 4.14). Çanakçı serisinde su ilişkileri fonksiyonu için tanımlanan göstergeler basit eklemeli ve AHP ile ağırlıklandırıldığında indeks değerleri sırasıyla %63.3-91.6 ve %62.2-93.4 arasında değişirken, ortalama su ilişkileri fonksiyonu indeks değerleri %78.9 ve %77.9 olarak hesaplanmıştır. Helvacı serisinde ise su ilişkileri fonksiyonu indeks değerleri %62.8-90.7 ve %61.4-88.4 arasında değişmiş ve ortalama su ilişkileri fonksiyonu indeks değerleri %79.5 ve %77.0 olarak hesaplanmıştır. Arıklı serisine kıyasla diğer iki seride daha düşük su ilişkileri fonksiyonunun elde edilmesinde etkili

göstergeler agregat stabilitesi ve organik karbon olmuştur. AHP ile en yüksek ağırlığı alan organik karbon (Çizelge 3.18) ile birlikte agregat stabilitesi Arıklı serisinde diğer serilere kıyasla daha yüksek skorlar almıştır (Çizelge 4.8 ve 4.10). Toprakta kil, kireç, organik madde gibi materyaller toprak tekstürünün bireysel bileşenleri olan kum, kil ve silt arasında bağlayıcı görev görmektedir (Budak ve ark., 2018a; Acir ve ark., 2020). Bu özellikler incelediğinde Arıklı serisinin genelinin killi ve kireç içeriğinin yüksek olması ve organik madde içeriğinin diğer serilere kıyasla nispeten yüksek olması toprakta agregatlaşmaya ve agregat stabilite skorunun ve dolayısıyla su ilişkileri fonksiyonunun da yüksek olmasına sebep olmuştur.

Fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu toprağın fiziksel yapısının durumunu ifade etmeye yardımcı olur. Fiziksel bozulmaya karşı dirençli olan bir toprak, rüzgâr ve suyun erozyona neden olan kuvvetlerine karşı dayanıklı fiziksel bir yapıya sahip olan toprak anlamına gelmektedir (Andrews ve ark., 2004). Bu sebeple fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu altında toprakta rüzgâr ve suyun aşındırıcı etkisine karşı direnç gösteren agregat stabilitesi ve onunla ilişkili göstergeler tanımlanmıştır. Doğrusal skorlama eğrileri kullanılarak hesaplanan fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu indeks değerleri Arıklı serisinde çok yüksek düzeyde iken, Çanakçı ve Helvacı serilerinde yüksek seviyededir. Toprak serilerinin fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermiştir. Basit eklemeli ve AHP ile ağırlıklandırma sonucunda her üç seride fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu indeks değerleri diğer fonksiyonlarda olduğu gibi birbirine oldukça yakındır. Arıklı serisi topraklarının fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu indeks değeri basit eklemeli yöntem ile %72.1-100.0 arasında değişirken, ortalama indeks değeri %87.1 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.14). AHP ile ağırlıklandırılan skorların kullanımı ile hesaplanan fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyon indeksi %69.6-100.0 arasında değişirken, ortalama %86.5 olarak hesaplanmıştır. Çanakçı serisi örnekleme alanında fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu indeksi basit eklemeli yöntem ve AHP ile ağırlıklandırmada sırasıyla %60.3-100.0 ve %56.8-100.0 arasında değişmektedir. Çalışma alanının genelinde ise fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyon indeksi sırasıyla %78.6 ve %76.0 ile yüksek düzeyde işlev göstermiştir (Çizelge 4.14). Çanakçı serisi ve Helvacı serisi örnekleme alanlarının fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme indeksleri birbirine yakındır. Helvacı serisindeki örnekleme alanında göstergelere eşit ağırlıklar verildiğinde %64.9-90.0 arasında değişen fiziksel bozulmaya karşı direnç fonksiyonu indeks değeri, ortalama %78.4 olarak hesaplanmıştır. AHP ile göstergelere farklı düzeyde ağırlık verildiğinde ise basit eklemeli yöntemle benzer olarak %62.4-90.0 arasında değişen fiziksel bozulmaya karşı direnç fonksiyon indeksi elde edilmiştir. Ortalama fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu indeksi ise %77.4 olarak hesaplanmıştır. Fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu indeksinin Arıklı serisinde daha yüksek olması, AHP ile yüksek ağırlıklar alan agregat stabilitesi ve organik karbon gösterge skorlarının diğer serilerden daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (Çizelge 3.18, 4.8 ve 4.10).

Su ilişkileri fonksiyonunda etkili olan göstergeler fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunda da etkili olmuştur.

Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde doğrusal skorlama yöntemi ile belirlenen verimlilik, su ilişkileri ve fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonlarının indeks değerlerinin değişkenliği düşüktür (Çizelge 4.14). En düşük değişkenlik %5.5 ile Arıklı serisindeki örnekleme alanında basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırılan su ilişkileri fonksiyonunda elde edilmiştir. En yüksek değişkenlik ise %14.0 ile Çanakçı serisindeki AHP ile ağırlıklandırılan fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunda belirlenmiştir.

Doğrusal olarak skorlanan göstergelere eşit ağırlıkların verildiği basit eklemeli yöntem ve farklı ağırlıkların verildiği AHP yöntemi ile belirlenen toprak fonksiyonları dikkate alınarak ağırlıklandırma yöntemlerinin değerlendirilmesi için duyarlılık testi kullanılmıştır (Çizelge 4.14). Buna göre Arıklı serisinde verimlilik fonksiyonu için en duyarlı yöntem basit eklemeli yöntemle eşit ağırlıkların verildiği verimlilik fonksiyonu olmuştur. Çanakçı ve Helvacı serilerinde ise topraklarının verimlilik fonksiyonu için basit eklemeli ve AHP ile ağırlıklandırma arasında duyarlılık açısından büyük bir farklılık olmamıştır. Benzer şekilde Helvacı serisinde su ilişkileri fonksiyonunda da ağırlıklandırma yöntemlerinin duyarlılığı birbirine yakındır. Bu fonksiyonlar dışında geriye kalan fonksiyonlarda ise basit eklemeli yöntemle kıyasla AHP ile farklı ağırlıklar verildiğinde duyarlılık artmıştır. Her bir göstergenin, altında tanımlandığı toprak fonksiyonu veya toprak kalitesine etkileri eşit değildir. Bu sebeple son zamanlarda farklı ağırlıkların kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Basit eklemeli yöntem ile farklı ağırlıkları kullanan Cherubin ve ark. (2016a), kalite indeks değerlerinin istatistiksel olarak benzer olduğunu bildirmiştir. Ancak Cherubin ve ark. (2016a) fiziksel, kimyasal ve biyolojik göstergelerin sayılarının eşit olmadığı durumlarda toprak kalitesinin belirlenmesinde farklı ağırlıklandırmanın kullanılmasını önermişlerdir. Doğrusal ve doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile basit eklemeli ve farklı ağırlıklandırmanın değerlendirildiği bir başka çalışmada ise Askari ve Holden (2014) göstergelere farklı ağırlıkların verilmesinin toprak kalitesini belirlemede en güvenilir yöntem olduğunu vurgulamıştır. Bu tez çalışmasında ise her üç seride genel olarak fonksiyonların tanımlanmasında göstergelere basit eklemeli yöntemle eşit ağırlık verilmesinden ziyade AHP ile farklı ağırlıklar verildiğinde literatür sonuçlarına benzer şekilde fonksiyonların duyarlılığı artmıştır. Her ne kadar birbirine yakın fonksiyon skorları elde edilse de, göstergelere farklı ağırlıklar vererek, onların önem derecelerini belirten AHP yöntemi bir adım daha ön plana çıkmaktadır.

Uzun süredir yoğun tarımsal üretim altında olan toprakların fonksiyon gösterme kapasiteleri doğrusal skorlama yöntemine kıyasla doğrusal olmayan skorlama yönteminde daha belirgin hale gelmiştir. Genel olarak doğrusal skorlama yöntemi ile yüksek düzeyde indeks değerleri elde edilen fonksiyonlara kıyasla doğrusal olmayan yöntemle elde edilen fonksiyon indeks değerleri daha düşüktür. Bununla birlikte fonksiyonlara basit eklemeli yöntem yerine AHP ile ağırlıklandırma yapıldığında fonksiyon indeksleri daha da düşük elde edilmiştir.

Doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile elde edilen skorların basit eklemeli yöntem ve AHP ile ağırlıklandırıldığı verimlilik fonksiyonu üzerine toprak serilerinin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Basit eklemeli yöntem ile hesaplanan verimlilik fonksiyonu indeks değeri Çanakçı serisinde en yüksektir. Bunu sırasıyla Helvacı ve Arıklı serileri izlemiştir. Çanakçı serisi örnekleme alanında toprakların verimlilik kapasiteleri basit eklemeli yöntem ile %65.8-93.5 arasında değişirken, ortalama %77.9 ile yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür (Çizelge 4.15). Helvacı ve Arıklı serilerinde basit eklemeli yöntem ile hesaplanan verimlilik fonksiyonu indeks değerleri sırasıyla %54.8-68.9 ve %56.4-71.9 arasında değişmiş ve ortalama verimlilik fonksiyonu indeks değerleri ise %63.2 ve %61.7 olmuştur. Ortalama verimlilik fonksiyonu Çanakçı serisinde yüksek seviyede iken, Helvacı ve Arıklı serilerinde ise orta düzeydedir. Göstergelere AHP ile ağırlık verildiğinde verimlilik fonksiyonu indeks değerleri düşmüştür. Verimlilik fonksiyonu indeks değerleri Çanakçı serisinde %59.1-93.1 arasında değişirken, ortalama indeks değeri %74.5 olarak hesaplanmıştır. Helvacı ve Arıklı serilerindeki verimlilik fonksiyonu indeks değerleri ise sırasıyla %41.6-60.3 ve %44.8-64.9 arasında değişmiş ve ortalama verimlilik fonksiyonu indeks değerleri ise %53.7 ve %52.3 olmuştur. Göstergelerin AHP ile ağırlıklandırıldığı verimlilik fonksiyonu ortalama indeks değeri Çanakçı serisinde yüksek düzeyde iken, diğer iki seride düşük düzeydedir.

Çizelge 4.15. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde doğrusal olmayan yöntem ile elde edilen toprak fonksiyon indeks değerleri

N=91		Verimlilik		Su ilişkileri		Fiziksel Bozulmaya Karşı Direnç Gösterme	
		Basit Ekl.	AHP	Basit Ekl.	AHP	Basit Ekl.	AHP
		(%)					
Arıklı	En Küçük Değer	56.4	44.8	60.5	45.2	35.5	30.4
	En Büyük Değer	71.9	64.9	81.8	70.1	75.8	68.9
	Ortalama	61.7 c	52.3 b	70.7 b	57.9 b	49.4 b	44.0 b
	Standart Sapma	3.33	4.22	4.02	4.76	7.70	7.39
	VK (%)	5.4	8.1	5.7	8.2	15.6	16.8
	Yatıklık	0.66	0.43	0.16	0.02	0.91	0.69
	Duyarlılık	1.28	1.45	1.35	1.55	2.14	2.26
Çanakçı	En Küçük Değer	65.8	59.1	61.1	50.8	35.8	31.2
	En Büyük Değer	93.5	93.1	92.4	90.6	88.7	87.5
	Ortalama	77.9 a	74.5 a	76.1 a	70.3 a	63.2 a	60.2 a
	Standart Sapma	7.00	9.04	7.34	9.12	12.86	13.39
	VK (%)	9.0	12.1	9.6	13.0	20.3	22.3
	Yatıklık	0.30	0.19	0.10	0.12	0.18	0.19
	Duyarlılık	1.42	1.58	1.51	1.78	2.47	2.80
Helvacı	En Küçük Değer	54.8	41.6	50.6	41.4	22.2	16.2
	En Büyük Değer	68.9	60.3	75.8	64.4	59.0	56.1
	Ortalama	63.2 b	53.7 b	66.2 c	54.2 c	43.3 c	38.1 c
	Standart Sapma	2.69	3.57	5.18	5.04	6.29	6.87
	VK (%)	4.3	6.7	7.8	9.3	14.5	18.0
	Yatıklık	-0.98	-1.51	-0.71	-0.42	-0.56	-0.45
	Duyarlılık	1.26	1.45	1.50	1.56	2.65	3.46
ANOVA		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

VK: Varyasyon katsayısı, N: örnek sayısı

Çanakçı serisi topraklarının doğrusal olmayan skorlama yöntemi kullanılarak elde edilen verimlilik kapasiteleri üç seri arasında en yüksek indeks değerleri almıştır (Çizelge 4.15). Çalışma alanının yer aldığı Çukurova Bölgesinin detaylı etüdünde, Çanakçı serisi bölgede verimliliği yüksek serilerden biri olarak tanımlanmıştır (Dinç ve ark., 1995). Çanakçı serisinde yüksek düzeyde gerçekleşen verimlilik yeteneğinin en önemli sebebi çalışma alanının genelinde organik karbon, yarayışlı su içeriği, toprak pH'sı ve mikrobiyal biyokütle karbon skorlarının (Çizelge 4.11, 4.12 ve 4.13) diğer iki seriye kıyasla yüksek olmasıdır. Bu göstergeler AHP ile en yüksek ağırlıkları almış olup (Çizelge 3.18), toprağın verimlilik fonksiyonuna katkıları yüksektir. Bahçelerin yoğunlukta olduğu çalışma alanında organik karbonun okside olmasına neden olan toprak işlemenin terk edilmesi veya sadece ihtiyaç duyulduğunda yapıyor olması, oksidasyon olayının azalmasına bağlı olarak organik karbon ve onunla ilişkili mikrobiyal biyokütle karbon skorunu iyileştirmiştir. Yapılan çalışmalarda da toprak işleme sayısı azaldıkça toprakta organik karbon ve mikrobiyal biyokütle karbonun arttığı rapor edilmiştir (Pareja-Sánchez ve ark., 2020; Nunes ve ark., 2020; Acir ve ark., 2022). Organik karbonun aynı zamanda toprakta suyun tutulmasında da önemli etkileri bulunmaktadır. Bu etki yapılan bir meta analize göre her ne kadar küçük olsa da (Minasny ve McBratney (2018), orta bünyeli olan çalışma alanında kil içeriği yüksek serilere kıyasla daha belirgin olmuştur. Ayrıca çalışma alanını içeren Aşağı Seyhan Ovasında toprak pH'sı hafif alkaline iken (Dinç ve ark., 1995), Çanakçı serisinde nötr ve hafif alkaline değerler aldığı görülmüştür. Bu da bitkilerin topraktan besin elementi alımında etkili olan toprak pH'sının istenilen seviyelerde olduğunu göstermektedir. Toprağın fonksiyon göstermesinde önemli olan bu göstergelerin yüksek skorlar alması ise verimlilik fonksiyonunun indeks değerlerinin diğer iki seriye kıyasla yüksek olmasına sebep olmuştur. Buna karşın kil içeriği yüksek olan Arıklı ve Helvacı serilerinde ise toprağın verimlilik fonksiyonu basit eklemeli yöntemde orta seviyede iken, AHP ile ağırlıklandırıldığında düşük düzeydedir. Kil içeriği yüksek toprakların, katyon değişim kapasitesi ve su tutma kapasitelerindeki yükseklikten dolayı doğal verimliliklerinin fazla olması beklenmektedir (Günel ve ark., 2020). Ancak yoğun tarımsal üretim altındaki toprakların özellikle organik madde içeriğinin, kapasitesinin oldukça altında olması toprakta verimlilik fonksiyonunun istenilen seviyelerde olmamasına neden olmuştur. Benzer şekilde Scotti ve ark. (2015) da yoğun tarımsal üretimin, toprak organik maddesindeki azalış nedeniyle toprak verimliliğini olumsuz etkilediğini vurgulamıştır. Çalışma alanının genelinde toprakların geleneksel yöntemlerle yoğun bir şekilde işlenmesi ve anızların yaygın olarak yakılması verimlilik fonksiyonu için önemli bir gösterge olan organik karbon göstergesinin düşük skorlar almasına (Çelik ve ark., 2021) ve toprakların verimlilik fonksiyonunun kapasitesinin oldukça altında işlev göstermesine önemli derecede etki etmiştir. Bölgede uzun süreli yoğun tarımsal üretim altında bulunan ve farklı toprak işleme yöntemlerinin değerlendirildiği bir çalışmada ise toprağın verimlilik fonksiyonunun Arıklı ve Helvacı serisilerindeki örneklem alanına yakın sonuçlar elde ettiği rapor edilmiştir (Çelik ve ark., 2021). Çelik ve ark. (2021) toprağın verimlilik fonksiyonunun toprak işleme yöntemlerine bakılmaksızın yoğun tarımsal aktiviteler

nedeniyle %55.8 ile %65.4 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında ise ağırlıklandırma yöntemleri dikkate alınmadığında verimlilik fonksiyonu Arıklı ve Helvacı serilerinde sırasıyla %44.8-71.9 ve %41.6-68.9 aralıklarında değişmektedir. Çalışma alanının genelinde ise verimlilik indeksi yaklaşık %57.0 ve %58.5 ile Çelik ve ark. (2021)'nın sonuçlarıyla örtüşmektedir. Bu sonuçlar, toprakların yoğun tarımsal üretim altında kullanılırken, organik maddeyi koruyan ve geliştiren korumalı toprak işleme yöntemleri ve organik gübrelerin kullanılmasının verimlilik fonksiyonunun sürdürülebilirliği açısından önemli olduğunu göstermektedir.

Doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile elde edilen gösterge skorlarının basit eklemeli yöntem ve AHP ile ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonu üzerine toprak serilerinin etkisi istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermiştir. Her iki yöntemde su ilişkileri fonksiyonu indeks değeri Çanakçı serisinde en yüksektir. Bunu sırasıyla Arıklı ve Helvacı serileri takip etmiştir. Narenciye bahçelerinin yoğunlukta olduğu Çanakçı serisindeki örnekleme alanında su ilişkileri fonksiyonu indeksi basit eklemeli yöntem ile %61.1-92.4 indeksleri arasında değişmektedir (Çizelge 4.15). AHP ile ağırlıklandırmada su ilişkileri fonksiyonu basit eklemeli yöntemle kıyasla azalış göstererek %50.8-90.6 arasında değişmiştir. Çalışma alanının genelinde basit eklemeli ve AHP ile ağırlıklandırmada toprakların su ilişkileri fonksiyonu kapasitesinin sırasıyla yaklaşık %76'sını ve %70'ini olmak üzere yüksek düzeyde yerine getirmektedir. Su ilişkileri fonksiyonu indeksi Arıklı serisinde göstergelere eşit ağırlık verildiğinde %60.5-81.8 arasında değişirken, ortalama olarak %70.7 ile yüksek seviyededir (Çizelge 4.15). Buna karşın göstergelere AHP ile farklı ağırlıklar verildiğinde su ilişkileri fonksiyonu indeksi ciddi şekilde düşmüştür. AHP ile ağırlıklandırmada su ilişkileri fonksiyonu indeks değeri %45.2-70.1 arasında değişirken, ortalama %57.9 ile orta seviyededir. En düşük indekslerin elde edildiği Helvacı serisinde su ilişkileri fonksiyonu basit eklemeli ve AHP ile ağırlıklandırma sonucunda sırasıyla %50.6-75.8 ve %41.4-64.4 arasında değişirken, ortalama %66.2 ve %54.2 ile orta ve düşük seviyelerde işlev göstermektedir (Çizelge 4.15).

Su ilişkileri fonksiyonun değişkenlik göstermesinde organik karbon, agregat stabilitesi, yarayışlı su içeriği ve hacim ağırlığı göstergeleri etkili olmuştur (Çizelge 4.11 ve 4.13). Bu göstergelerden de organik karbon, yarayışlı su içeriği ve hacim ağırlığı AHP ile yüksek ağırlıklar alarak su ilişkileri fonksiyonu için ön plana çıkmıştır (Çizelge 3.18). En yüksek ağırlığı alan organik karbon, toprakta fiziksel, kimyasal ve biyolojik göstergeleri etkilemesinden dolayı (Acar ve ark., 2018), toprağın verimlilik, su ilişkileri ve fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneklerinin önemli bir göstergesidir. Bu sebeple toprakta bir fonksiyon bir başka fonksiyondan bağımsız olamamakla birlikte aksine birbirlerini etkileyebilmektedir. Toprakların geleneksel olarak yoğun bir şekilde işlenmesi ve anızların yakılması, Arıklı ve Helvacı serilerinde organik karbon skorunun ve dolayısıyla verimlilik ve su ilişkileri fonksiyonunun da düşük olmasına sebep olmuştur. Buna karşın toprakların ya az işlendiği ya da hiç işlenmediği Çanakçı serisinde ise organik karbon skorları yüksek bulunmuştur. Organik karbonla ilişkili olan yarayışlı su ve hacim ağırlığı göstergeleri (Lal, 2020) de

benzer şekilde Çanakçı serisinde daha yüksek skorlar alarak su ilişkileri fonksiyonunun indeks değerlerinin yüksek olmasına katkı sunmuştur.

Doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile elde edilen gösterge skorlarının basit eklemeli yöntem ve AHP ile ağırlıklandırıldığı fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu üzerine toprak serilerinin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.15). Her iki yöntemde fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu indeks değeri Çanakçı serisinde en yüksektir. Bunu sırasıyla istatistiksel olarak farklı gruplarda yer alan Arıklı ve Helvacı serileri takip etmiştir. Üç fonksiyon arasında fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunda en düşük indeks değerleri elde edilmiştir. Çanakçı serisi örnekleme alanında toprakların fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yetenekleri basit eklemeli yöntem ve AHP ile ağırlıklandırmada sırasıyla %35.8-88.7 ve %31.2-87.5 arasında değişmektedir. Çalışma alanının genelinde ise sırasıyla topraklar kapasitesinin %63.2'sinde ve %60.2'sinde işlev göstermektedir. Arıklı serisi örnekleme alanında toprakların fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneğini belirlemek için göstergelere eşit ağırlıklar ve AHP ile farklı ağırlıklar verildiğinde fonksiyon indeksi sırasıyla %35.5-75.8 ve %30.4-68.9 arasında değişirken, ortalama indeks %49.4 ve %44.0 ile her iki indeks düşük seviyede belirlenmiştir. Helvacı serisi örnekleme alanında Arıklı ve Çanakçı serilerine kıyasla en düşük ortalama fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyon indeksi elde edilmiştir. Helvacı serisi topraklarının fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yetenekleri eşit ağırlık verildiğinde %22.2-59.0 arasında değişmekle birlikte, ortalama indeks %43.3 olmuştur (Çizelge 4.15). AHP ile farklı ağırlıklar verildiğinde ise basit eklemeli yöntemle kıyasla daha düşük indeksler elde edilmiştir. AHP ile ağırlıklandırmada fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yetenekleri %16.2 gibi çok düşük bir indeks ile %56.1 ile orta düzeyde bir indeks arasında değişirken, ortalama olarak %38.1 gibi çok düşük bir indeks elde etmiştir.

Doğrusal olmayan yöntemle hesaplanan verimlilik ve su ilişkileri fonksiyonlarında olduğu gibi Çanakçı serisinde toprakların fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneklerinin de daha yüksek indeks değerleri elde ettiği görülmüştür. Fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu altında tanımlanan organik karbon, penetrasyon direnci, hacim ağırlığı ve beta glikosidaz enzim aktivitesi göstergeleri kil içeriği yüksek serilere kıyasla Çanakçı serisinde daha yüksek indeks değerleri almıştır (Çizelge 4.11 ve 4.13). Bu göstergelerin yüksek skorlar alması, Çanakçı serisi topraklarının fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneğinin diğer serilerden daha yüksek olmasına katkıda bulunmuştur. Bununla birlikte uzun süredir yoğun tarımsal üretim altında bulunan Arıklı ve Helvacı serileri topraklarının fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yetenekleri düşük indeks değerleri almıştır. Acar ve ark. (2020) toprak sisteminin karmaşıklığından dolayı toprak kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için önemli olan toprak fonksiyonlarının birbirinden bağımsız değerlendirilebilmelerinin mümkün olmadığını belirtmişlerdir. Örnek olarak, fiziksel bozulmaya karşı dirençli olan topraklar yoğun yağış koşullarında hızlı bir şekilde suyun emilebilmesini ve süzülmesini, kuru dönemlerde ise suyu tutmasını ve tedarik etmesini sağlayarak (Nouri ve ark.. 2019)

su ilişkileri fonksiyonunu ve bu sayede maksimum ürün performansı ve minimum çevresel bozunmayı hedefleyen (Topp ve ark.. 1997; Reynolds ve ark.. 2002) verimlilik fonksiyonunu etkilemektedir. Bu sebeple Arıklı ve Helvacı serilerindeki örnekleme alanlarında toprakların fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneklerine bağlı olarak verimlilik ve su ilişkileri fonksiyonunun da düşük olduğu görülmektedir. Bunda da yoğun tarımsal uygulamaların etkisi söz konusudur. Yoğun tarımsal üretimde toprakların geleneksel olarak çok sayıda işlenmesi organik karbon ve onunla ilişkili beta glikosidaz enzim aktivitesinin azalmasına (Çelik ve ark., 2021) ve bu sebeple fiziksel bozulmaya karşı direncinin de düşük olmasına sebep olmuştur. Zira organik karbon toprakta fiziksel yapının sürdürülebilir bir şekilde korunmasını sağlamak, toprağın mikrobiyal aktivitesini sürdürmek ve yüksek ürün verimlerinin elde edilmesini ve sürdürülmesini sağlamakta önemli roller oynadığı bilinmektedir (Johnston ve Poulton, 2005; Lal, 2006; Lal, 2007; Dexter ve ark., 2008). Organik maddenin, tarımsal üretimde harcanandan/kaybolandan fazlasının yerine konması ve korunması gerekmektedir. Bu sayede toprakta fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneği başta olmak üzere, su ilişkileri ve verimlilik gibi çok çeşitli fonksiyonların iyileşmesi de söz konusu olacaktır.

Doğrusal olmayan skorlama eğrilerinin kullanımı ile belirlenen toprak fonksiyonlarına ait değişkenlikler Wilding ve ark. (1994)'na göre incelendiğinde her üç seride AHP ile ağırlıklandırılan fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneği ile Arıklı ve Çanakçı serisinde basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırılan fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneği orta düzeyde değişkenlik göstermiştir (Çizelge 4.15). Bu fonksiyonlar dışında geriye kalan tüm fonksiyonlar düşük değişkenlik göstermiştir. Değişkenliğin en düşük olduğu fonksiyon ise Helvacı serisi örnekleme alanında basit eklemeli yöntem ile elde edilen verimlilik fonksiyonu olmuştur.

Ağırlıklandırma yöntemlerinin duyarlılıkları incelendiğinde doğrusal olmayan skorlama ile elde edilen göstergelere AHP ile ağırlık verilmesinin toprağın fonksiyon gösterme yeteneğinde meydana gelecek değişimleri belirlemede duyarlılığı arttırdığı görülmüştür (Çizelge 4.15). Her üç seride ve her fonksiyon altında göstergelere eşit ağırlık verilmesine kıyasla AHP ile farklı ağırlıklar verildiğinde fonksiyon duyarlılıklarının arttığı belirlenmiştir. En düşük indekslerin elde edildiği fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu, duyarlılığı yüksek olan bir fonksiyon olmuştur. En yüksek duyarlılık ise 3.46 ile Helvacı serisi örnekleme alanında AHP ile ağırlıklandırılan fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunda belirlenmiştir. Bu durum toprak fonksiyonunun belirlenmesinde ağırlıklandırmanın önemli olduğunu ve AHP yönteminin güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Zira son zamanlarda yapılan başka çalışmalarda ise ağırlıklandırma yöntemlerinin ciddi şekilde kullanılması yöntemin önemini ortaya koymaktadır (Liu ve ark., 2017; Budak ve ark., 2018b; Koca ve ark., 2019; Dengiz, 2020; Türkeş ve ark., 2020).

4.5. Toprak Fonksiyonlarının Mesafeye Bağlı Değişimleri

Arıklı serisinde toprak fonksiyonlarına ait semivariogram modeller ve bu modellerin parametreleri Çizelge 4.16'da verilmiştir. Çalışma alanında doğrusal olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırıldığı verimlilik ve su ilişkileri ile AHP ile ağırlıklandırılan su ilişkileri fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişimini en iyi üssel model temsil etmiştir. Geriye kalan doğrusal skorlama yönteminin kullanıldığı fonksiyonların mesafeye bağlı değişiminde küresel model kullanılmıştır. Küresel model, doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile skorlanan göstergelerin basit eklemeli ve AHP ile ağırlıklandırıldığı fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişiminde en iyi model olarak kullanılmıştır. Doğrusal olmayan skorlama yönteminin kullanıldığı fonksiyonlar arasında geriye kalan fonksiyonlar için üssel model en iyi model olarak seçilmiştir (Çizelge 4.16). Doğrusal olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli ve AHP ile ağırlıklandırıldığı su ilişkileri ve AHP ile ağırlıklandırılan verimlilik fonksiyonları ile doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile skorlanan göstergelerin basit eklemeli ve AHP ile ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonları orta derecede mesafeye bağımlı iken, geriye kalan tüm fonksiyonlar kuvvetli derecede mesafeye bağımlılık göstermiştir. Doğrusal olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırıldığı fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu 1811 m range değeri ile ayırım mesafesi en yüksek fonksiyon olmuştur. Doğrusal olmayan skorlama yöntemi skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırıldığı fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu ise 137.3 m range değeri ile en düşük ayırım mesafesine sahip fonksiyon olmuştur.

Çizelge 4.16. Arıklı serisinde toprak fonksiyonlarına ait semivariogram modeller ve parametreleri

Arıklı	Model	Nugget (Co)	Sill (Co+C)	UB (%)	Range (m)	Aktif Lag (m)	Lag mesafesi i (m)	r ²	RSS	
Doğrusal	Verimlilik _{BE}	Üssel	5.07	21.2	23.9	219	670	76	0.808	22.8
	Su İlişkileri _{BE}	Üssel	11.13	25.76	43.2	522	620	80	0.800	18.9
	FBKD _{BE}	Küresel	10.7	48.22	22.2	1811	2000	200	0.958	58.2
	Verimlilik _{AHP}	Küresel	11.96	26.37	45.4	1766	1850	102	0.779	100
	Su İlişkileri _{AHP}	Üssel	9.35	27.12	34.5	264	700	80	0.662	35.8
	FBKD _{AHP}	Küresel	10.8	51.41	21.0	1627	2000	200	0.936	106
Doğrusal Olmayan	Verimlilik _{BE}	Üssel	2.37	11.61	20.4	687	1600	120	0.808	12.7
	Su İlişkileri _{BE}	Üssel	7.3	15.07	48.4	190.5	400	45	0.752	7.03
	FBKD _{BE}	Küresel	4.7	45.6	10.3	137.3	400	45	0.789	199
	Verimlilik _{AHP}	Üssel	1.21	19.06	6.3	744	1700	170	0.888	16.5
	Su İlişkileri _{AHP}	Üssel	11.92	23.85	50.0	290	400	45	0.838	10.7
	FBKD _{AHP}	Küresel	10.4	46.52	22.4	152.5	400	45	0.753	210

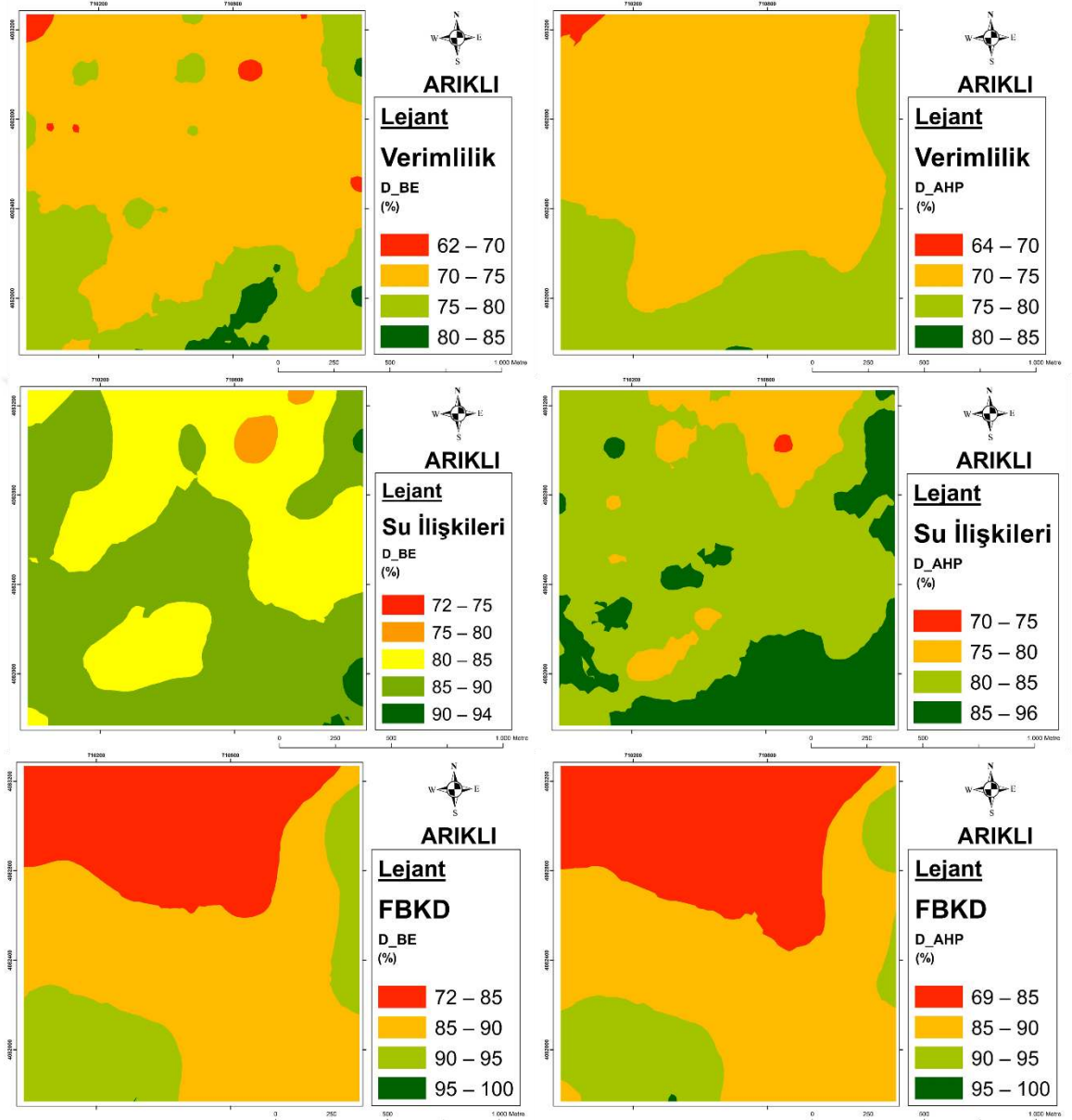
AHP: Analitik hiyerarşi süreci, BE: Basit eklemeli, FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç, UB: Uzaysal bağımlılık, RSS: Hata kareler toplamı

Arıklı serisinde doğrusal olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli ve AHP yöntemleri ile ağırlıklandırıldığı toprak fonksiyonlarına ait mesafeye bağlı değişim haritaları Şekil 4.17’de doğrusal olmayan yöntemle elde edilen toprak fonksiyonlarına ait mesafeye bağlı değişim haritaları ise Şekil 4.18’de verilmiştir.

Arıklı serisi çalışma alanında doğrusal yöntemle belirlenen verimlilik fonksiyonu her iki ağırlıklandırma yönteminde birbirine benzer dağılım göstermiştir (Şekil 4.17). Doğrusal yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırıldığı verimlilik fonksiyonu %62-85 ve AHP ile ağırlıklandırıldığı verimlilik fonksiyonu %64-85 arasında işlev göstermektedir. Her iki verimlilik fonksiyonu çalışma alanının kuzeybatısında küçük bir alanda orta düzeydedir. Bu alanda toprakların elektriksel iletkenlik, yarıyıllı fosfor, organik karbon ve mikrobiyal biyokütle karbon değerlerinin düşük olması (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8) ve doğrusal olarak skorlandığında bu göstergelerin çok düşük düzeyde skorlar alması (Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10), verimlilik fonksiyonunun kapasitesinin yaklaşık olarak %35 altında orta düzeyde işlev göstermesinde etkili olmuştur. Buna karşın alanın geriye kalan büyük çoğunluğunda ise verimlilik fonksiyonunun yüksek düzeyde olduğu görülmektedir. Verimlilik fonksiyonu altında tanımlanan göstergelerden yarıyıllı su içeriği, elektriksel iletkenlik ve organik karbon alanın genelinde yüksek düzeyde skorlar alırken, pH, yarıyıllı fosfor ve potasyum ise çok yüksek düzeyde skorlar almıştır (Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10). Bununla birlikte mikrobiyal biyokütle karbon skorlarının alanın genelinde çok düşük skorlar alması, verimlilik fonksiyonunun tam kapasite ile işlev gösterememesine ve %20-30 düşüşle yüksek düzeyde işlev göstermesine neden olmuştur.

Doğrusal olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntemle ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonu Arıklı serisi çalışma alanındaki topraklarda %72-94 arasında işlev göstermiştir (Şekil 4.17). Çalışma alanının kuzeyinde, doğusunda ve güneyinde küçük bir alanda topraklar su ilişkileri fonksiyonunu yüksek düzeyde yerine getirirken, geriye kalan alanda ise su ilişkileri çok yüksek düzeydedir. Göstergeler AHP ile ağırlıklandırıldığında basit eklemeli yöntemle benzer şekilde su ilişkileri fonksiyonu %70-96 arasında değişim göstermiştir. Ancak çalışma alanının genelinde basit eklemeli yöntemle kıyasla AHP ile ağırlıklandırılan su ilişkileri fonksiyonunda yüksek düzeyde işlev gösteren dağılım alanı daha fazladır. AHP ile ağırlıklandırılan su ilişkileri fonksiyonu alanın güneyinde, doğusunda ve yer yer küçük alanlarda çok yüksek iken, geriye kalan alanın büyük çoğunluğunda ise yüksek düzeydedir. Su ilişkileri fonksiyonu altında tanımlanan göstergelerden özellikle agregat stabilitesi, elektriksel iletkenlik ve organik karbon göstergeleri çalışma alanının kuzeyinde daha düşük değerler almışlardır (Şekil 4.5, 4.7 ve 4.8). Düşük değerler alan bu özellikler doğrusal skorlama ile düşük skorlar alarak (Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10), su ilişkileri fonksiyonunun alanın kuzeyinde daha düşük indeks değerleri almasına ve tam kapasite ile işlev gösterememesine neden olmuştur. Bununla birlikte çok yüksek düzeyde skorlar alan agregat stabilitesi ve sodyum adsorbsiyon oranı basit eklemeli yöntemle kıyasla AHP ile daha düşük ağırlık almıştır. Yüksek düzeyde skorlar alan yarıyıllı su içeriği ve organik karbon göstergeleri ise basit eklemeli yöntemle

kıyasla AHP ile daha yüksek ağırlıklar almıştır (Çizelge 3.18). Genel olarak değerlendirildiğinde ise bu durum, basit eklemeli yöntemle kıyasla AHP ile belirlenen su ilişkileri fonksiyonunda yüksek düzeyde işlev gösteren dağılım alanının daha fazla olmasına neden olmuştur.

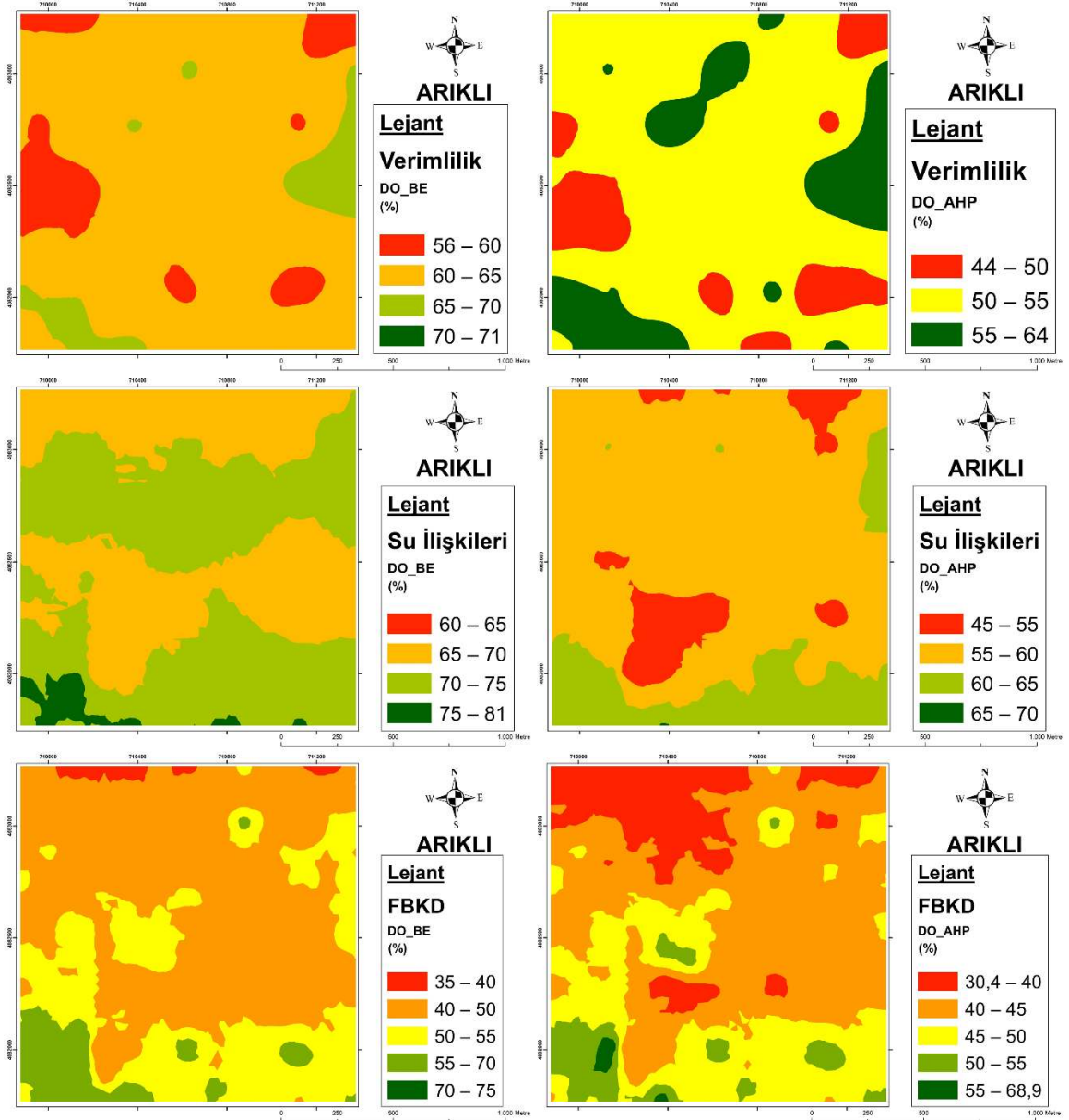


Şekil 4.17. Arıklı serisinde doğrusal (D) olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli (BE) ve AHP yöntemleri kullanılarak elde edilen toprak fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişimi (FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç)

Arıklı serisi çalışma alanında doğrusal yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntemle ve AHP ile ağırlıklandırıldığı fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunun mesafeye bağlı değişim haritaları birbirine benzerdir. Alanın kuzeyinde yüksek düzeyde olan fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneği, geriye kalan büyük çoğunluğunda çok yüksek düzeydedir (Şekil 4.17). Fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneğinin alanın güneyine kıyasla kuzeyinde daha düşük olmasında etkili olan göstergeler agregat stabilitesi, organik karbon ve beta

glikosidaz enzim aktivitesidir. Alanın güneyine kıyasla kuzeyinde bu göstergeler daha düşük değerler almış (Şekil 4.5 ve 4.8) ve doğrusal skorlama sonucunda düşük/çok düşük düzeyde skorlar elde etmiştir (Çizelge 4.8 ve 4.10). Bu nedenle fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunun alanın kuzeyinde daha düşük olarak yüksek düzeyde işlev göstermiştir.

Arıklı serisindeki çalışma alanında doğrusal skorlama ile elde edilen fonksiyon indekslerinin genel olarak yüksek düzeyde olduğu görülmüştür. Doğrusal yöntemle kıyasla doğrusal olmayan yöntemde fonksiyon indeks değerleri daha düşük ve değişim daha belirgindir. Doğrusal olmayan yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırıldığı verimlilik fonksiyonu, alanın büyük çoğunluğunda orta düzeydedir (Şekil 4.18). Verimlilik fonksiyonu Arıklı serisindeki çalışma alanında %56-71 arasında işlev göstermiştir. Göstergelerin AHP ile ağırlıklandırılarak belirlendiği verimlilik fonksiyonu, basit eklemeli yöntemle elde edilen verimlilik fonksiyonuna nispeten benzer dağılım göstermiştir. Ancak eşit ağırlık vermek yerine AHP ile farklı ağırlık verildiğinde verimlilik fonksiyonu daha düşük indeks değerleri almıştır. Alanın güneybatısında, doğusunda ve yer yer küçük alanlarda verimlilik fonksiyonu orta düzeyde iken, geriye kalan büyük alanda ise düşük düzeyde dağılım göstermiştir (Şekil 4.18). Çalışma alanının genelinde organik karbon ve mikrobiyal biyokütle karbonu doğrusal olmayan skorlama ile oldukça düşük skorlar almıştır (Çizelge 4.13). Bununla birlikte yarayışlı su içeriğinin düşük olduğu alanlarda (Şekil 4.6) verimlilik fonksiyonunun da düşük seviyelerde indeks değerleri aldığı görülmektedir. Alanın genelinde toprakların geleneksel olarak işlenmesi organik karbon ve onunla ilişkili olan mikrobiyal biyokütle karbon ve yarayışlı su içeriği skorlarının düşük olmasına ve verimlilik fonksiyonunun kapasitesinin yaklaşık olarak %50 altında işlev göstermesinde etkili olmuştur. Benzer şekilde Busari ve ark. (2015) ve Nunes ve ark. (2018) da geleneksel olarak işlenen arazilerde toprak verimliliğinin düştüğünü rapor etmişlerdir.



Şekil 4.18. Arıklı serisinde doğrusal olmayan (DO) yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli (BE) ve AHP yöntemleri kullanılarak elde edilen toprak fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişimi (FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç)

Arıklı serisi örnekleme alanında doğrusal olmayan yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonu alanın kuzeyinde ve orta kesiminde orta düzeyde iken, geriye kalan alanda ise yüksek düzeydedir (Şekil 4.18). Göstergelerin AHP ile ağırlıklandırılarak belirlendiği su ilişkileri fonksiyonu, basit eklemeli yöntemle elde edilen su ilişkileri fonksiyonuna kıyasla daha düşük indeks değerleri almıştır. Alanın kuzeyinde ve orta bölümünde yer yer küçük alanlarda düşük olan su ilişkileri, geriye kalan büyük alanda orta düzeyde dağılım göstermiştir (Şekil 4.18). Su ilişkileri altında tanımlanan göstergelerden çalışma alanının genelinde özellikle organik karbon, yarayışlı su içeriği ve hacim ağırlığı doğrusal olmayan skorlama ile düşük skorlar almıştır (Çizelge 4.11 ve 4.13). Bu göstergelerin düşük skorlar alması, su ilişkileri fonksiyonunun kapasitenin altında işlev göstermesinde etkili olmuştur. Çalışma alanının genelinde

uzun yıllardır tarımsal üretimde uygulanan geleneksel işleme yöntemi, toprakların organik karbon içeriğini ve onunla ilişkili olan hacim ağırlığı ve yarıyışlı su içeriğini olumsuz etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda da özellikle işleme ile birlikte organik karbonun hızla okside olarak azaldığı rapor edilmiştir (Prasad ve ark., 2016; Acar ve ark., 2018). Bunun yanı sıra Aziz ve ark. (2013) işlemenin başta biyolojik özellikler olmak üzere fiziksel özellikleri olumsuz etkilediğini ve kalite indeksini düşürdüğünü bildirmiştir.

Arıklı serisi çalışma alanında doğrusal olmayan yöntemle skorlanan göstergelere basit eklemeli yöntemle ağırlıkların verildiği fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneği, alanın genelinde düşük düzeydedir. Çalışma alanının kuzeyinde çok düşük düzeyde olan fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu, alanın güneybatısında ve yer yer küçük alanlarda orta düzeydedir (Şekil 4.18). Göstergelerin AHP ile ağırlıklandırıldığı fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu diğer serilerde olduğu gibi basit eklemeli yöntemle kıyasla daha düşük indeks değerleri elde etmiştir. Tez kapsamında belirlenen üç fonksiyon içerisinde en düşük indeks değerleri, fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunda elde edilmiştir. Arıklı serisi çalışma alanında toprakların fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneği üzerine penetrasyon direnci, organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi çok düşük düzeyde, hacim ağırlığı düşük düzeyde ve agregat stabilitesi ve sodyum adsorbsiyon oranı ise çok yüksek düzeyde skorlar alarak etkili olmuştur (Çizelge 4.11, 4.12 ve 4.13). Göstergelerin genelinde düşük skorlar alması, toprakların fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunun düşük çıkmasında etkili olmuştur. Alanın genelinde toprakların uzun süredir kulaklı pullukla işlenmesinin, özellikle organik karbon, beta glikosidaz enzim aktivitesi, hacim ağırlığı ve penetrasyon direnci üzerine olumsuz etkileri olmuştur. Benzer şekilde araştırmacılar da uzun süreli geleneksel uygulamalar altında organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesinin düştüğünü ve hacim ağırlığı ve penetrasyon direncinin yükseldiğini rapor etmişlerdir (de Oliveira ve ark., 2019; Topa ve ark., 2021; Raj ve ark., 2023). Bu göstergelerin düşük skorlar alması, toprağın fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneğinin de kapasitesinin oldukça altında düşük seviye işlev göstermesinde etkili olmuştur.

Çanakçı serisi örnekleme alanında toprak fonksiyonlarına ait semivariogram modeller ve bu modellerin parametreleri Çizelge 4.17’de verilmiştir. Çalışma alanında doğrusal olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntemle ve AHP ile ağırlıklandırıldığı fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişiminde en iyi model olarak üssel model kullanılmıştır (Çizelge 4.17). Doğrusal skollama yönteminin kullanıldığı fonksiyonlar arasında geriye kalan fonksiyonlar için mesafeye bağlı değişimin belirlenmesinde en iyi model küresel model olmuştur. Doğrusal olmayan skollama yönteminin kullanıldığı bütün fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişimini üssel model en iyi temsil etmiştir. Doğrusal olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırıldığı verimlilik ve su ilişkileri fonksiyonları sırasıyla %37.2 ve %46.4 ile orta derecede mesafeye bağımlılık göstermiştir (Çizelge 4.17). Bu fonksiyonların dışında kalan tüm fonksiyonlar ise kuvvetli derecede mesafeye bağımlılık göstermiştir. Doğrusal skollama yöntemi ile

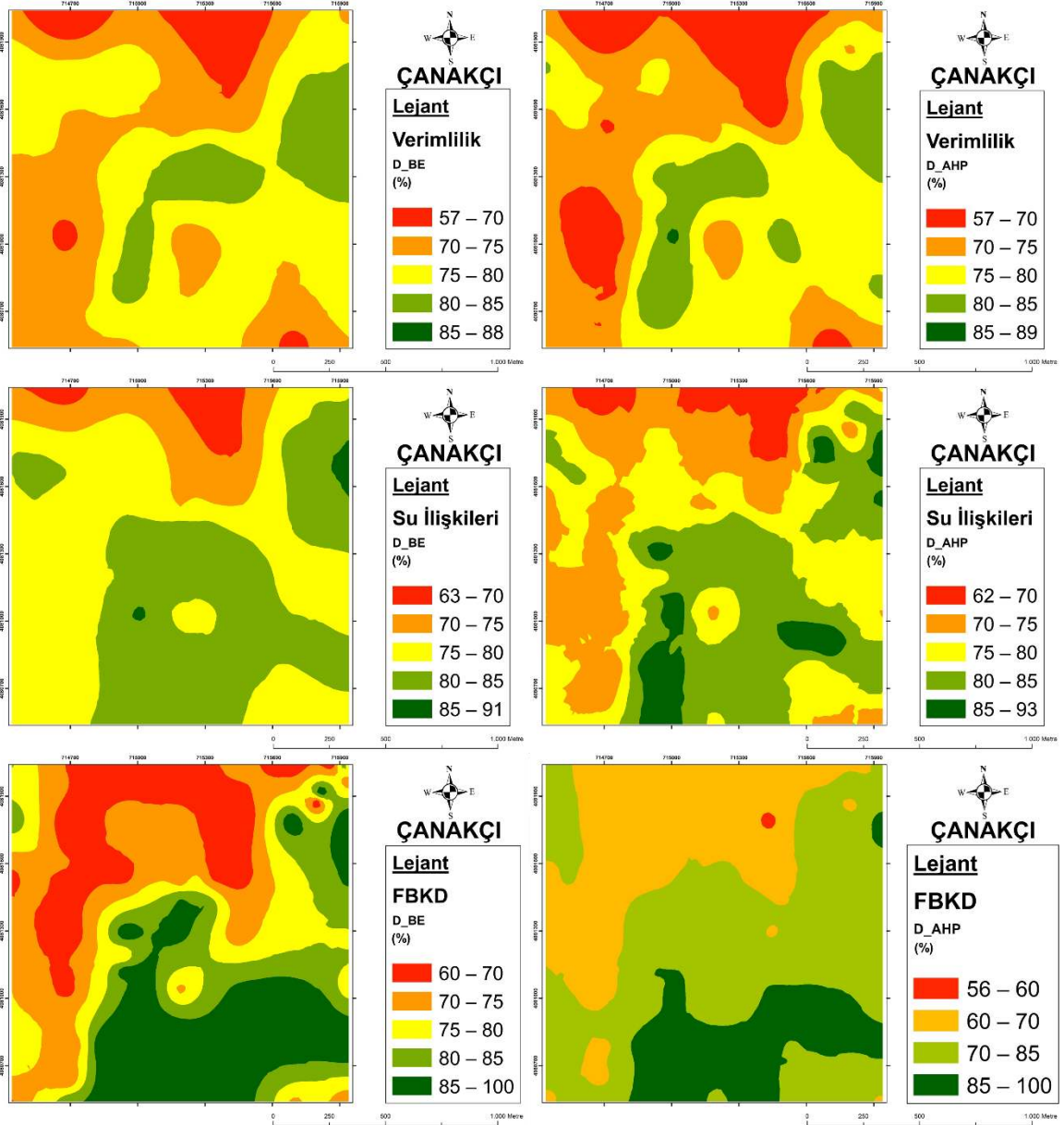
skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonu 477 m ayırım mesafesi ile en yüksek range değerine sahip fonksiyon olmuştur. En düşük ayırım mesafesi ise 109 m ile doğrusal olmayan yöntemle skorlanan göstergelerin AHP ile ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonunda elde edilmiştir.

Çizelge 4.17. Çanakçı serisinde toprak fonksiyonlarına ait semivariogram modeller ve parametreleri

Çanakçı	Model	Nugget (Co)	Sill (Co+C)	UB (%)	Range (m)	Aktif Lag (m)	Lag mesafesi (m)	r ²	RSS	
Doğrusal	Verimlilik _{BE}	Küresel	11.84	31.81	37.2	408	1000	95	0.830	52.9
	Su İlişkileri _{BE}	Küresel	14.34	30.88	46.4	477	970	85	0.820	47.1
	FBKD _{BE}	Üssel	0.1	87.86	0.1	438	950	86	0.972	104
	Verimlilik _{AHP}	Küresel	5.3	38.52	13.8	352	1200	110	0.865	86.4
	Su İlişkileri _{AHP}	Küresel	2.9	47.06	6.2	219	500	40	0.714	601
	FBKD _{AHP}	Üssel	0.1	96.9	0.1	393	950	89	0.950	191
Doğrusal Olmayan	Verimlilik _{BE}	Üssel	0.1	42.27	0.2	228	1000	91	0.768	110
	Su İlişkileri _{BE}	Üssel	0.1	53.32	0.2	186	500	39	0.732	463
	FBKD _{BE}	Üssel	26.3	142.1	18.5	393	1050	100	0.906	522
	Verimlilik _{AHP}	Üssel	0.1	71.62	0.1	261	980	91	0.863	261
	Su İlişkileri _{AHP}	Üssel	0.1	72.93	0.1	109	400	45	0.902	231
	FBKD _{AHP}	Üssel	0.4	147.4	0.3	273	950	91	0.889	667

AHP: Analitik hiyerarşi süreci, BE: Basit eklemeli, FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç, UB: Uzaysal bağımlılık, RSS: Hata kareler toplamı

Çanakçı serisinde doğrusal olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli ve AHP yöntemleri ile ağırlıklandırıldığı toprak fonksiyonlarına ait mesafeye bağlı değişim haritaları Şekil 4.19’da doğrusal olmayan yöntemle elde edilen toprak fonksiyonlarına ait mesafeye bağlı değişim haritaları ise Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.19. Çanakçı serisinde doğrusal (D) olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli (BE) ve AHP yöntemleri kullanılarak elde edilen toprak fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişimi (FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç)

Çanakçı serisindeki çalışma alanında doğrusal yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırıldığı verimlilik fonksiyonu, kapasitesinin %57-88'i arasında işlev göstermektedir (Şekil 4.19). Göstergelerin AHP ile farklı ağırlıklandırıldığı verimlilik fonksiyonu, basit eklemeli yöntemle elde edilen verimlilik fonksiyonuna benzer şekilde dağılım göstermiştir. Göstergelerin AHP ile ağırlıklandırılarak belirlendiği verimlilik fonksiyonu, kapasitesinin %57-89'u arasında işlev göstermektedir. Alanın kuzeyinde çok küçük alanlarda topraklar orta seviyede verimlilik göstermiştir (Şekil 4.19). Alanın büyük kısmında ise verimlilik fonksiyonu yüksek düzeydedir. Çanakçı serisi topraklarının verimlilik fonksiyonunun tam kapasite ile işlev gösterememesinde elektriksel iletkenlik, yarıyışlı fosfor, organik karbon ve mikrobiyal biyokütle

karbon göstergeleri etkin olmuştur. Çalışma alanının kuzeyinde bu göstergelerin daha düşük değerler alması (Şekil 4.11 ve 4.12) ve doğrusal skorlama sonucunda da daha düşük skorlar alması (Çizelge 4.9 ve 4.10), bu alanlarda verimlilik fonksiyonunun daha düşük olmasına neden olmuştur.

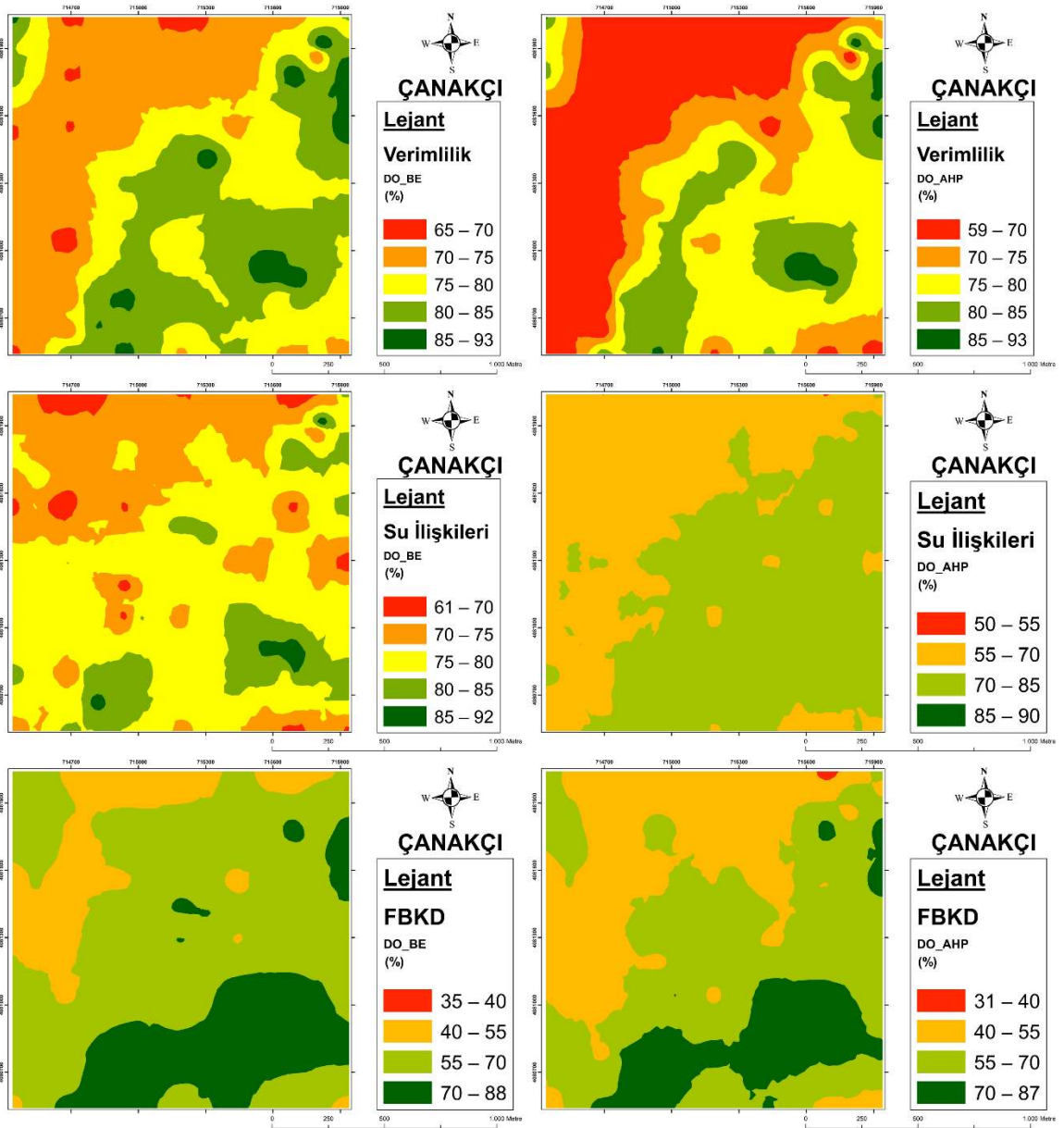
Doğrusal olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntemle ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonu Çanakçı serisindeki çalışma alanında %63-91 arasında işlev göstermiştir (Şekil 4.19). Göstergelerin AHP ile ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonu, basit eklemeli yöntemle elde edilen su ilişkileri fonksiyonuna benzer şekilde dağılım göstermiştir. Göstergelerin AHP ile ağırlıklandırılarak belirlendiği su ilişkileri fonksiyonu, kapasitesinin %62-93'ü arasında dağılım göstermiştir (Şekil 4.19). Çalışma alanının kuzeyinde orta düzeyde olan su ilişkileri, alanın büyük çoğunluğunda yüksek düzeyde fonksiyon göstermiştir. Alanın kuzeyinde agregat stabilitesi, elektriksel iletkenlik ve organik karbon göstergeleri düşük değerler almıştır (Şekil 4.9, 4.11 ve 4.12). Bu göstergelerin doğrusal olarak skorlanması sonucunda da düşük skorlar alması (Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10), su ilişkileri fonksiyonunun alanın kuzeyinde daha düşük indeks değerleri almasında etkili olmuştur.

Çanakçı serisindeki çalışma alanında fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu %60-100 arasında işlev göstermektedir (Şekil 4.19). Çalışma alanının kuzeyinden batısına doğru uzanan kısımda fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu orta düzeyde iken, güneyde çok yüksek düzeydedir. Fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneği bu iki alanın ortasında ve yer yer küçük alanlarda ise yüksek düzeyde işlev göstermiştir. Fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu AHP ile ağırlıklandırıldığında %56-100 arasında işlev göstermiştir. Basit eklemeli yöntemle kıyasla AHP ile ağırlıklandırıldığında fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu nispeten daha düşük indeks değerine sahip olmakla birlikte, iki haritada ilgili fonksiyon birbirine benzer şekilde dağılım göstermiştir. Çalışma alanının kuzeyinden batısına doğru uzanan kısımda agregat stabilitesi, organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi göstergelerinin düşük değerler (Şekil 4.9 ve 4.12) ve skorlar alması (Çizelge 4.8 ve 4.10), fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunun daha düşük indeks değerleri almasına neden olmuştur.

Çanakçı serisi çalışma alanının büyük çoğunluğunda doğrusal olmayan yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırıldığı verimlilik fonksiyonu, yüksek düzeyde işlev göstermektedir (Şekil 4.20). Göstergelerin AHP ile ağırlıklandırıldığı verimlilik fonksiyonu, basit eklemeli yöntemle elde edilen verimlilik fonksiyonuna nispeten benzer dağılım göstermiştir (Şekil 4.20). Çalışma alanının kuzeybatısında orta düzeyde olan verimlilik fonksiyonu, geriye kalan alanın büyük çoğunluğunda yüksek düzeyde indeks değerler elde etmiştir. AHP ile ağırlıklandırılan verimlilik fonksiyonunun, çalışma alanının kuzeybatısında orta düzeyde indeks değerleri elde etmesinde yarayışlı fosfor, organik karbon ve mikrobiyal biyokütle karbonu etkili göstergeler olmuştur. Bu göstergeler alanın güneydoğusuna kıyasla kuzeybatısında daha düşük değerler (Şekil 4.11 ve 4.12) ve skorlar (Çizelge 4.12 ve 4.13) alarak verimlilik fonksiyonunun daha düşük olmasına neden olmuştur. Bununla birlikte bahçelerin yoğunlukta olduğu Çanakçı serisi çalışma alanında

doğrusal olmayan yöntemle elde edilen verimlilik fonksiyonu diğer serilere kıyasla daha yüksektir. Toprak işlemenin olmadığı veya daha az yapıldığı bu seride özellikle organik karbon ve diğer biyolojik parametreler daha yüksek skorlar almıştır. Benzer şekilde literatürde toprak işleme sayısı azaldıkça toprakta organik karbon ve mikrobiyal biyokütle karbonun arttığına yönelik pek çok çalışma mevcuttur (Pareja-Sánchez ve ark., 2020; Nunes ve ark., 2020; Acir ve ark., 2022). İşlemenin azaltılması ile toprak organik maddesi okside olmadan birikmekte (Coppens ve ark., 2006) ve bu da biyolojik aktivitenin iyileşmesine (Nunes ve ark., 2020) ve dolayısıyla toprakta verimliliğin artmasına neden olmaktadır.

Çanakçı serisindeki çalışma alanında doğrusal olmayan yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntemle ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonu %61-92 arasında işlev göstermiştir. Su ilişkileri fonksiyonu çalışma alanının büyük çoğunluğunda yüksek düzeydedir (Şekil 4.20). Göstergelere AHP ile ağırlık verildiğinde basit eklemeli yöntemle elde edilen su ilişkileri fonksiyonuna kıyasla nispeten daha düşük skorlar elde edilmiştir. Çalışma alanında AHP ile ağırlıklandırma yapıldığında su ilişkileri fonksiyonu alanın kuzeybatısında orta düzeyde iken, güneydoğusunda ise yüksek düzeydedir. Su ilişkileri altında tanımlanan göstergelerden özellikle su dolu gözenek hacmi ve organik karbon göstergeleri çalışma alanının kuzeybatısında daha düşük skorlar elde ederek (Çizelge 4.11 ve 4.13) AHP ile ağırlıklandırılan su ilişkilerinin orta düzeyde işlev göstermesinde etkili olmuştur. Bununla birlikte Çanakçı serisinde elde edilen su ilişkileri fonksiyonu verimlilik fonksiyonunda olduğu gibi diğer serilere kıyasla daha yüksektir. Toprak işlemenin kullanılmaması veya ihtiyaç duyulduğunda kullanılması toprağın verimlilik ile birlikte su ilişkileri fonksiyonunun da iyileşmesine neden olmuştur. Zira toprak işleminin azaltılması ile birlikte artan organik karbon (Nunes ve ark., 2020), toprakta suyun tutulmasını sağlayarak (Lal, 2020) su ilişkileri fonksiyonunun işlev göstermesinde etkili olmaktadır.



Şekil 4.20. Çanakçı serisinde doğrusal olmayan (DO) yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli (BE) ve AHP yöntemleri kullanılarak elde edilen toprak fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişimi (FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç)

Arıklı serisinde olduğu gibi Çanakçı serisinde de en düşük indeks değerleri fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunda elde edilmiştir. Çanakçı serisinde göstergelerin basit eklemeli yöntemle ağırlıklandırıldığı fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu alanın kuzeyinden batısına doğru uzanan kısımda düşük düzeydedir. Fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu alanın güneydoğusunda yüksek iken, geriye kalan büyük çoğunlukta ise orta düzeyde işlev göstermiştir (Şekil 4.20). Çalışma alanında toprakların fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneği üzerine penetrasyon direnci çok düşük düzeyde, hacim ağırlığı, organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi orta düzeyde, agregat stabilitesi yüksek düzeyde ve sodyum adsorbsiyon oranı ise çok yüksek düzeyde skorlar olarak etkili olmuştur (Çizelge 4.11, 4.12 ve 4.13). Fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunun altında tanımlanan göstergelerin geneli

düşük düzeyde skorlar aldığı için ilgili fonksiyon da düşük indeks değerleri elde etmiştir. Fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu altında tanımlanan göstergelere AHP ile farklı ağırlıklar verildiğinde basit eklemeli yöntemle kıyasla fonksiyonun indeks değerleri hafif düşüş göstermiştir. Basit eklemeli yöntemle kıyasla AHP ile ağırlıklandırıldığında alanın kuzeyinden batısına uzanan kısımda düşük düzeyde işlev gösteren fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu daha fazla dağılım göstermiştir (Şekil 4.20). Alanın güneydoğusunda fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu yüksek düzeyde iken, geriye kalan alanda ise orta düzeyde işlev göstermiştir. Alanın kuzeyinden batısına uzanan kısımda fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunun düşüş göstermesinde penetrasyon direnci, organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi etkili olmuştur. Bu göstergelerin doğrusal olmayan skorlama ile düşük skorlar alması (Çizelge 4.11 ve 4.13), bu alanda fiziksel bozulmaya karşı direnç göstermesinin düşük olmasına neden olmuştur.

Helvacı serisinde toprak fonksiyonlarına ait semivariogram modeller ve bu modellere ait parametreler Çizelge 4.18’de verilmiştir. Çalışma alanında doğrusal olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli ve AHP ile ağırlıklandırıldığı verimlilik fonksiyonları ile doğrusal olmayan yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli ve AHP ile ağırlıklandırıldığı fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişiminde en iyi model olarak küresel model kullanılmıştır (Çizelge 4.18). Geriye kalan fonksiyonlar için mesafeye bağlı değişimde en iyi model üssel model olmuştur. Doğrusal olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırıldığı fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu %14.9 uzaysal bağımlılık ile kuvvetli derecede mesafeye bağımlı iken, geriye kalan doğrusal skorlama yönteminin kullanıldığı fonksiyonlar orta derecede mesafeye bağımlılık göstermiştir. Doğrusal olmayan yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntemle ağırlıklandırıldığı verimlilik fonksiyonu %39.9 uzaysal bağımlılık ile orta derecede mesafeye bağımlılık göstermiştir. Bu fonksiyonların dışında geriye kalan doğrusal olmayan yöntemin kullanıldığı fonksiyonlar ise kuvvetli derecede mesafeye bağımlılık göstermiştir. Doğrusal skorlama yöntemi ile skorlanan göstergelerin AHP ile ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonu 1877 m ayırım mesafesi ile en yüksek range değerine sahip fonksiyon olmuştur. En düşük ayırım mesafesi ise 102 m ile doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile skorlanan göstergelerin AHP ile ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonunda elde edilmiştir.

Çizelge 4.18. Helvacı serisinde toprak fonksiyonlarına ait semivariogram modeller ve parametreleri

Helvacı	Model	Nugget (Co)	Sill (Co+C)	UB (%)	Range (m)	Aktif Lag (m)	Lag mesafesi (m)	r ²	RSS
Doğrusal	Verimlilik _{BE}	Küresel	7.04	23.77	29.6	981	1500	0.910	11.7
	Su ilişkileri _{BE}	Üssel	10.96	31.12	35.2	201	850	0.635	57.7
	FBKD _{BE}	Üssel	4.68	31.37	14.9	183	700	0.814	40.1
	Verimlilik _{AHP}	Küresel	10.74	21.49	50.0	1156	1500	0.824	17.5
	Su ilişkileri _{AHP}	Üssel	19.53	50.73	38.5	1877	2100	0.406	2562
	FBKD _{AHP}	Üssel	14.24	38.72	36.8	213	700	0.887	38.8
Doğrusal Olmayan	Verimlilik _{BE}	Üssel	2.45	6.136	39.9	360	650	0.711	2.41
	Su ilişkileri _{BE}	Üssel	4.2	24.16	17.4	219	1000	0.734	20.4
	FBKD _{BE}	Küresel	0.1	38.87	0.3	211	1000	0.844	126
	Verimlilik _{AHP}	Üssel	0.81	8.373	9.7	147	660	0.488	9.75
	Su ilişkileri _{AHP}	Üssel	0.11	21.65	0.5	102	700	0.614	9.42
	FBKD _{AHP}	Küresel	0.1	47.26	0.2	199	660	0.944	60.4

AHP: Analitik hiyerarşi süreci, BE: Basit eklemeli, FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç, UB: Uzaysal bağımlılık, RSS: Hata kareler toplamı

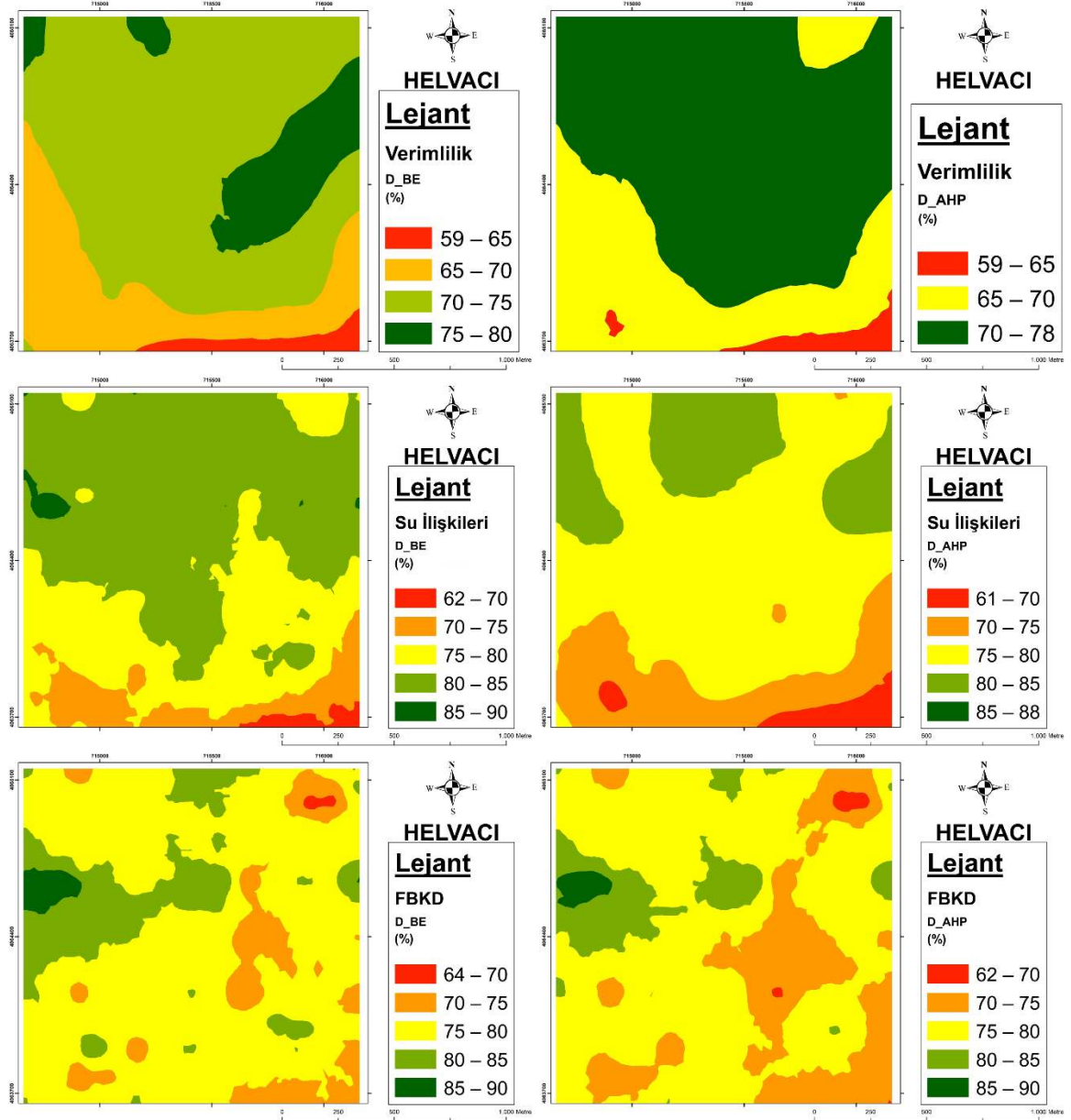
Helvacı serisinde doğrusal olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli ve AHP yöntemleri ile ağırlıklandırıldığı toprak fonksiyonlarına ait mesafeye bağlı değişim haritaları Şekil 4.21’de doğrusal olmayan yöntemle elde edilen toprak fonksiyonlarına ait mesafeye bağlı değişim haritaları ise Şekil 4.22’de verilmiştir.

Helvacı serisi çalışma alanında doğrusal yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırıldığı verimlilik fonksiyonu %59-80 arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.21). Alanın güneyinde orta düzeyde işlev gösteren verimlilik fonksiyonu, geriye kalan alanda ise yüksek düzeyde işlev göstermektedir. Çalışma alanında doğrusal yöntemle skorlanan göstergelerin AHP ile ağırlıklandırılarak belirlendiği verimlilik fonksiyonu %59-78 arasındadır (Şekil 4.21). Basit eklemeli yöntemle elde edilen verimlilik fonksiyonuna nispeten benzer şekilde dağılım gösteren AHP ile elde edilen verimlilik fonksiyonu, alanın güneyinde orta düzeyde ve kuzeyinde ise yüksek düzeyde verimlilik göstermiştir. Verimlilik fonksiyonunun daha düşük elde edildiği çalışma alanının güneyinde yarayışlı su içeriği, elektriksel iletkenlik, organik karbon ve mikrobiyal biyokütle karbonu etkili olmuştur. Çalışma alanında mikrobiyal biyokütle karbonu, organik karbon, yarayışlı su içeriği ve elektriksel iletkenlik düşük değerler (Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16) ve düşük skorlar (Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10) almıştır. Bu da verimlilik fonksiyonunun alanın güneyinde daha düşük indeks değeri olarak orta düzeyde işlev göstermesine etkili olmuştur.

Doğrusal yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntemle ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonu Helvacı serisindeki çalışma alanında %62-90 arasında işlev göstermektedir (Şekil 4.21). Göstergelerin AHP ile ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonu, basit eklemeli fonksiyona benzer dağılım göstermiştir. Her iki fonksiyonda alanın genelinde yüksek düzeyde işlev göstermektedir. Su ilişkileri fonksiyonu altında tanımlanan göstergelerden agregat stabilitesi, su dolu

gözenek hacmi, elektriksel iletkenlik ve organik karbon orta düzeyde, yarayışlı su içeriği yüksek düzeyde ve hacim ağırlığı ve sodyum adsorbsiyon oranı ise çok yüksek düzeyde skorlar alarak etkinlik göstermiştir (Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10). Göstergelerin genelinde doğrusal skorlama sonucu yüksek düzeyde skorların elde edilmesi, Helvacı serisi çalışma alanında su ilişkileri fonksiyonunun yüksek düzeyde işlev göstermesine neden olmuştur.

Helvacı serisindeki çalışma alanında doğrusal olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntemle ağırlıklandırıldığı fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu %64-90 arasında işlev göstermiştir (Şekil 4.21). Çalışma alanında fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneği, alanın genelinde yüksek düzeyde fonksiyon göstermiştir. Fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu altında tanımlanan göstergelere AHP ile ağırlık verildiğinde basit eklemeli yöntemin kullanıldığı fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonuna benzer şekilde dağılım göstermiştir. Çalışma alanında fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu AHP ile ağırlıklandırıldığında %62-90 arasında işlev göstermiştir. Fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu altında tanımlanan göstergelerden beta glikosidaz enzim aktivitesi düşük düzeyde, agregat stabilitesi ve organik karbon orta düzeyde ve penetrasyon direnci, sodyum adsorbsiyon oranı ve hacim ağırlığı ise çok yüksek düzeyde skorlar almıştır (Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10). Göstergelerin genelinde doğrusal skorlama ile yüksek skorlar alması, fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunun da yüksek düzeyde olmasına neden olmuştur.

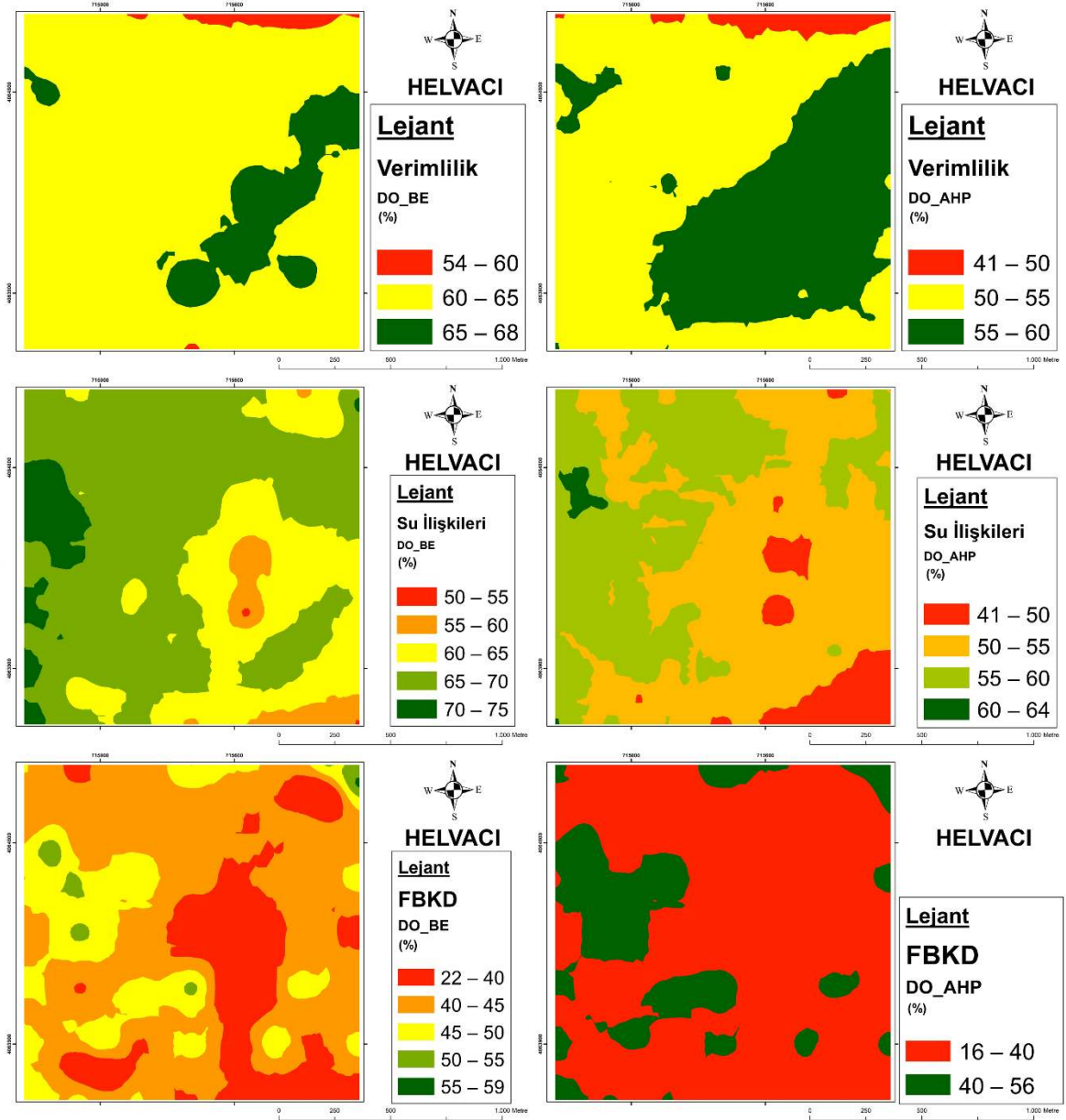


Şekil 4.21. Helvacı serisinde doğrusal (D) olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli (BE) ve AHP yöntemleri kullanılarak elde edilen toprak fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişimi (FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç)

Helvacı serisi çalışma alanında doğrusal olmayan yöntemle skorlanan göstergelere eşit ağırlık verildiğinde verimlilik fonksiyonu %54-68 arasında işlev göstermiştir (Şekil 4.22). Çalışma alanının bütününde verimlilik fonksiyonu orta düzeyde işlev göstermiştir. Doğrusal olmayan skrolama yöntemi ve AHP kullanılarak belirlenen verimlilik fonksiyonu ise basit eklemeli yöntemle elde edilen verimlilik fonksiyonuna kıyasla daha düşük indeks değeri alarak %41-60 arasında değişim göstermiştir. Alanın büyük çoğunluğunda düşük olan verimlilik fonksiyonu, alanın doğusundan güneyine uzanan alanda ve birkaç alanda orta düzeyde indeks değerleri almıştır (Şekil 4.22). Alanın kuzeyinde, doğusunda ve güneyinde düşük verimlilik indisinin elde edilmesinde pH, elektriksel iletkenlik, yarayışlı su içeriği, organik karbon ve mikrobiyal biyokütle karbonu önemli

rol oynamıştır. Toprak pH'sı alanın kuzeyinde (Şekil 4.15) ve elektriksel iletkenlik (Şekil 4.15) ve yarayışlı su içeriği (Şekil 4.14) alanın güneyinde düşük skorlar alırken, organik karbon ve mikrobiyal biyokütle karbonu (Şekil 4.16) ise tüm alanda çok düşük skorlar almıştır. Bu da Helvacı serisi topraklarının verimlilik kapasitesinin yaklaşık olarak %50 altında işlev göstermesine neden olmuştur. Çalışma alanının genelinde toprakların geleneksel olarak işlenmesi, organik madde ve mikrobiyal biyokütle karbonunu azaltmaktadır. Alanda salma sulamanın kullanılması, toprak tuzluluğu açısından verimlilik için bir tehdit oluşturmaktadır. Tüm bu uygulamalar neticesinde ise Helvacı serisi topraklarının verimlilik fonksiyonu düşük düzeyde işlev göstermektedir. Toprakların geleneksel olarak işlenmesi ile organik maddenin azaldığı ve biyolojik özelliklerin kötüleştiğine yönelik pek çok araştırma sonuçları mevcuttur (Busari ve ark., 2015; Nunes ve ark., 2018; Acir ve ark., 2022). Bununla birlikte denize yakın bir konumda bulunan ve yüksek kil içeriğine sahip olan Helvacı serisinde özellikle hava sıcaklığı ve neminin yüksek olduğu yaz aylarında profilde bulunan tuzların kapillarite ile birlikte yüzeye bitki kök bölgesine gelmesi kolaylaşmaktadır (Ekmekçi ve ark., 2005). Bu da salma sulama sonrası oluşabilecek tuzluluğun toprakta verimlilik fonksiyonunun işlevini yerine getirememesi ile sonuçlanabilir. Dolayısıyla toprağın fonksiyonları üzerinde olumsuz etkileri olan geleneksel uygulamaların terk edilerek, azaltılmış işleme ve damla sulama gibi toprak ve su kaynaklarını koruyan yöntemlerin tercih edilmesi gerekmektedir.

Helvacı serisi çalışma alanında doğrusal olmayan yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntemle ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonu %50-75 arasında işlev göstermiştir. Çalışma alanının batısında küçük bir alanda yüksek düzeyde olan su ilişkileri fonksiyonu, geriye kalan büyük alanda ise orta düzeydedir (Şekil 4.22). Göstergelerin AHP ile ağırlıklandırıldığı su ilişkileri fonksiyonu çalışma alanında %41-64 arasındadır (Şekil 4.22). Basit eklemeli yöntemle kıyasla AHP yöntemi ile elde edilen su ilişkileri fonksiyonu daha düşük indeks değerlerine sahiptir. Bununla birlikte her iki fonksiyonun mesafeye bağlı değişim haritası ise birbirine nispeten benzer dağılım göstermiştir. Organik karbon, yarayışlı su içeriği, elektriksel iletkenlik ve hacim ağırlığı çalışma alanının güneydoğusunda su ilişkileri fonksiyonunun daha düşük elde edilmesinde etkili olan göstergelerdir. Çalışma alanında organik karbon çok düşük (Şekil 4.16 ve Çizelge 4.13) ve yarayışlı su içeriği, hacim ağırlığı ve elektriksel iletkenlik düşük (Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15 ve Çizelge 4.11 ve 4.12) skorlar alarak Helvacı serisi topraklarının su ilişkileri fonksiyonunun kapasitesinin oldukça altında işlev göstermesinde etkili olmuşlardır. Alanda tarımsal üretimde uygulanan geleneksel işleme yöntemi, toprakların biyolojik özellikleri başta olmak üzere fiziksel özellikleri üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu uygulamanın uzun yıllardır kullanılıyor olması ise, toprağın fonksiyon gösterme yeteneğini ciddi derecede kötüleştirmektedir.



Şekil 4.22. Helvacı serisinde doğrusal olmayan (DO) yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli (BE) ve AHP yöntemleri kullanılarak elde edilen toprak fonksiyonlarının mesafeye bağlı değişimi (FBKD: Fiziksel bozulmaya karşı direnç)

Helvacı serisi çalışma alanında doğrusal olmayan yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntemle ağırlıklandırıldığı toprağın fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneği, alanın genelinde çok düşük ve düşük düzeyde fonksiyon göstermiştir (Şekil 4.22). Çalışma alanında tanımlanan üç fonksiyon içerisinde en düşük indeks değerleri, diğer serilerde olduğu gibi fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunda elde edilmiştir. Helvacı serisi çalışma alanında toprakların fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneği üzerine penetrasyon direnci, organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi çok düşük düzeyde, hacim ağırlığı düşük düzeyde ve agregat stabilitesi ve sodyum adsorbsiyon oranı ise çok yüksek düzeyde skorlar olarak etkili olmuştur (Çizelge 4.11, 4.12 ve 4.13). Bu göstergelerin genelinde düşük skorların alması, fiziksel bozulmaya

karşı direnç gösterme fonksiyonunun da düşük olmasında etkili olmuştur. Çalışma alanında göstergelerin AHP ile ağırlıklandırıldığı fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonuna ait indeks değerleri ise %16 ile %56 arasında dağılım göstermiştir. Çalışma alanının büyük çoğunluğunda fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonları oldukça düşük indeks değerleri olarak çok düşük düzeyde dağılım göstermiştir (Şekil 4.22). Bununla birlikte fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu, alanın yer yer olmak üzere küçük alanlarında düşük düzeyde işlev göstermektedir. Özellikle çalışma alanında çok düzeyde skorlar alan organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi (Çizelge 4.13) ve penetrasyon direnci (Çizelge 4.11) ve düşük düzeyde skorlar alan hacim ağırlığı (Çizelge 4.11), toprakların fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneğinin kötüleşmesinde etkin rol oynamaktadır. Bu özellikler toprak işleme yöntemine hassas olan özellikler olarak dikkat çekmektedir (Abu-Hamdeh, 2003; Aziz ve ark., 2013). Çalışma alanında kulaklı pullukla toprakların geleneksel olarak işlenmesi, bu özellikleri olumsuz etkileyerek toprakların verimlilik ve su ilişkilerinin yanı sıra fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunun da işlevlerini yerine getirememesine yol açmıştır. Bununla birlikte alanda anızların yakılması ve salma sulamanın kullanılması da fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunun kapasitesinin oldukça altında işlev göstermesinde etkili olmuştur. Toprağın fonksiyon gösterme yeteneği üzerinde ciddi derecede olumsuz etkileri olan geleneksel işleme, anızların yakımı ve salma sulama gibi toprak yönetim uygulamalarının Helvacı serisi örnekleme alanında acilen terk edilmesi ve yerine toprağı ve suyu koruyan azaltılmış işleme, damla sulama ve organik gübreleme gibi yöntemlerin kullanılması gerekmektedir.

4.6. Toprak Kalite İndeksleri

Toprak kalitesi toprağın fonksiyon gösterme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Toprak kalite indeksinin 100 olması, toprağın genetik kapasitesinin %100'ünde, bir başka deyişle kapasitesinin tamamında fonksiyonlarını yerine getirdiğini, 80 olması durumunda ise toprağın genetik performansının %80'inde fonksiyon gösterdiği anlamına gelmektedir (Hammac ve ark., 2016). Bu sebeple toprak kalitesinin belirlenmesi tarımsal üretimde kullanılan toprağın uygulanan amenajman yöntemlerine tepkisini ortaya koymak ve sürdürülebilirliğini sağlamak için oldukça önemlidir. Zira sürdürülebilir toprak yönetimi günümüzde oldukça önemli hale gelen gıda kalitesi ve güvenliğini geliştirmeye yardım edebilirken (Brevik ve Sauer, 2015), aynı zamanda küresel bir problem olan toprak bozunumundan kaçınmayı (Thapa ve Yila, 2012; Zhao ve ark., 2013) ve toprak verimlilik seviyesini geliştirmeyi de sağlayabilmektedir (Chen ve ark., 2020). Bu kapsamda, Aşağı Seyhan Ovasında uzun süredir yoğun tarımsal üretim yapılırken toprak kalitesi çalışmalarının yapılmamış olması, bu tez kapsamında ova içindeki yaygınlığı, üretkenlikleri ve problemleri dikkate alınarak seçilen toprak serilerine ait kalite indekslerinin belirlenmesinin önemini daha da arttırmaktadır.

Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerindeki örnekleme alanlarında toprak kalitesinin değişimi Çizelge 4.19'da verilmiştir. Farklı skorlama ve ağırlıklandırma yöntemleri ile hesaplanan toprak

kalite indeksleri toprak serilerinden istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilenmiştir (Çizelge 4.19). Arıklı ve Çanakçı serileri toprak kalite düzeyleri bakımından ön plana çıkmıştır. Buna karşın çalışma alanının güneyinde denize yakın konumda olan Helvacı serisinde ise genel olarak en düşük indeksler elde edilmiştir. Arıklı serisinde doğrusal skorlama yönteminin kullanıldığı TKİ-1, TKİ-2, TKİ-5, TKİ-6, TKİ-9 ve TKİ-10 indeksleri en yüksek indeks değerleri almıştır. Bu indekslerden TKİ-1, TKİ-2 ve TKİ-5 indekslerinde sırasıyla Çanakçı ve Helvacı serileri Arıklı serisini istatistiksel olarak farklı gruplarda yer alarak izlemiştir. TKİ-6, TKİ-9 ve TKİ-10 indekslerinde bu iki seri istatistiksel olarak aynı grupta yer alarak Arıklı serisini takip etmiştir. Doğrusal olmayan skorlama yönteminin kullanıldığı TKİ-3, TKİ-4, TKİ-7, TKİ-8, TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerinde ise en yüksek indeks değerler Çanakçı serisinde elde edilmiştir. Bu indekslerden TKİ-3, TKİ-11, TKİ-12 indekslerinde Çanakçı serisini istatistiksel olarak farklı gruplarda yer alan Arıklı ve Helvacı serileri sırasıyla takip etmiştir. TKİ-4 indeksinde Arıklı ve Helvacı serileri arasında istatistiksel bir farklılık yok iken, TKİ-7 ve TKİ-8 indekslerinde ise sırasıyla istatistiksel olarak farklı gruplarda yer alan Helvacı ve Arıklı serileri Çanakçı serisini izlemiştir.

Çizelge 4.19. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde farklı skorlama ve ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilen toprak kalite indeksleri

	TKİ (%)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Arıklı												
EKD	72.4	69.1	53.2	42.2	67.3	63.2	27.6	25.2	73.1	71.3	52.0	39.8
EBD	91.3	90.0	75.8	68.3	99.2	99.2	70.7	69.0	93.1	94.1	73.4	65.3
Ort.	81.5 a*	78.8 a	62.0 b	50.6 b	80.3 a	78.6 a	40.1 c	38.9 c	82.5 a	81.6 a	60.6 b	49.5 b
SS	3.53	4.10	4.34	5.14	6.86	7.56	9.67	9.71	3.88	4.52	4.24	4.70
VK (%)	4.3	5.2	7.0	10.2	8.5	9.6	24.1	25.0	4.7	5.5	7.0	9.5
Yatkılık	0.07	0.26	1.04	1.36	0.66	0.61	1.79	1.75	-0.01	-0.02	0.83	0.88
Duyarlılık	1.26	1.30	1.42	1.62	1.47	1.57	2.56	2.74	1.27	1.32	1.41	1.64
Çanakçı												
EKD	66.7	63.2	60.1	51.7	58.7	53.8	53.9	50.1	63.3	60.6	56.2	46.2
EBD	89.6	89.5	88.6	88.2	85.3	91.2	88.0	91.9	90.8	91.2	89.5	88.8
Ort.	78.8 b	76.8 b	73.0 a	68.5 a	75.2 b	75.7 b	68.9 a	72.2 a	77.7 b	76.0 b	72.4 a	67.1 a
SS	5.06	6.53	7.43	9.78	5.52	7.47	7.16	9.45	6.07	7.86	8.48	10.61
VK (%)	6.4	8.5	10.2	14.3	7.3	9.9	10.4	13.1	7.8	10.3	11.7	15.8
Yatkılık	-0.11	-0.01	0.29	0.26	-0.69	-0.07	0.23	0.04	-0.06	0.18	0.24	0.20
Duyarlılık	1.34	1.42	1.48	1.71	1.45	1.69	1.63	1.83	1.43	1.50	1.59	1.92
Helvacı												
EKD	67.8	64.1	50.4	41.5	57.1	63.1	42.2	50.2	64.9	63.5	46.0	35.1
EBD	84.0	81.5	67.6	57.1	86.6	90.6	60.3	70.3	85.5	85.5	66.3	57.6
Ort.	76.7 c	73.2 c	59.9 c	48.9 b	72.6 c	76.4 b	51.1 b	62.4 b	76.5 b	74.7 b	57.5 c	46.6 c
SS	3.59	3.73	3.10	2.98	6.70	6.30	3.42	4.07	4.77	5.08	3.69	3.90
VK (%)	4.7	5.1	5.2	6.1	9.2	8.2	6.7	6.5	6.2	6.8	6.4	8.4
Yatkılık	-0.47	-0.20	-0.28	0.14	-0.17	-0.10	-0.24	-0.77	-0.53	-0.23	-0.52	-0.24
Duyarlılık	1.24	1.27	1.34	1.38	1.52	1.43	1.43	1.40	1.32	1.35	1.44	1.64
ANOVA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

EKD: En küçük değer, EBD: En büyük değer, SS: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı TKİ-1: TVS, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-2: TVS, Doğrusal, AHP, TKİ-3: TVS, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-4: TVS, Doğrusal olmayan, AHP, TKİ-5: MVS_{PCA}, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-6: MVS_{PCA}, Doğrusal, PCA, TKİ-7: MVS_{PCA}, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-8: MVS_{PCA}, Doğrusal olmayan, PCA, TKİ-9: MVS_{UG}, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-10: MVS_{UG}, Doğrusal, AHP, TKİ-11: MVS_{UG}, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-12: MVS_{UG}, Doğrusal olmayan, AHP, VK: Varyasyon katsayısı

Doğrusal skorlamanın kullanıldığı TKİ-1, TKİ-2, TKİ-5, TKİ-6, TKİ-9 ve TKİ-10 indekslerinde doğrusal olmayan yöntemin kullanıldığı TKİ-3, TKİ-4, TKİ-7, TKİ-8, TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerine kıyasla daha yüksek kalite indeksleri elde edilmiştir (Çizelge 4.19). Genel olarak doğrusal olmayan skorlama yönteminin kullanıldığı indekslerde kalite düzeyleri daha belirgin hale gelmiştir. Doğrusal olarak skorlanan indekslere kıyasla doğrusal olmayan yöntemlerin kullanıldığı indekslerde toprak kalitesinde meydana gelecek değişimlerin belirlenmesinde duyarlılığın arttığı görülmüştür. Toplam veri seti ve uzman görüşü dikkate alınarak belirlenen minimum veri setinin kullanıldığı indekslerin hesaplanmasında AHP yöntemine kıyasla basit eklemeli yöntemle eşit ağırlıklar verildiğinde daha yüksek indeksler elde edilmiştir. Benzer şekilde Arıklı serisinde temel bileşenler analizine göre belirlenen kalite indekslerinde temel bileşenler analizinden gelen ağırlığa kıyasla basit eklemeli yöntem kullanıldığında daha yüksek indeksler elde edilmiştir. Buna karşın Çanakçı ve Helvacı serilerinde ise basit eklemeli yönteme kıyasla temel bileşenler analizi ile yapılan ağırlıklandırmada daha yüksek kalite indeksleri elde edilmiştir. Çalışmanın genelinde toprak kalitesinin belirlenmesinde basit eklemeli yönteme kıyasla farklı ağırlıklar kullanıldığında toprak kalite indeksleri daha düşük elde edilse de, farklı ağırlıkların kullanıldığı indekslerde duyarlılık daha yüksek olmuştur. Özellikle son yıllarda kalite göstergelerinin ağırlıklandırılmasının önemli olduğu literatürde çeşitli araştırmalarla vurgulanmıştır (Dengiz ve ark., 2015; Vasu ve ark., 2016; Nabiollahi ve ark., 2017; Budak ve ark., 2018b; Nabiollahi ve ark., 2018; Koca ve ark., 2019). Benzer şekilde Cherubin ve ark. (2016a)'nın yapmış olduğu çalışmada da arazi kullanımındaki değişikliğin neden olduğu toprak kalite değişimlerini belirlemede 38 adet TVS göstergesi ve toprak fonksiyonu çerçevesince sunulan indikatör skorlarının ağırlıklarını kullanan en karmaşık kalite indeksinin en büyük hassasiyete sahip olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte araştırmacılar en düşük hassasiyetin ise indikatör ağırlıkları olmadan hesaplanan toprak kalite indeksine ait olduğunu belirterek ağırlıklandırma işleminin önemine vurgu yapmışlardır. Mukherjee ve Lal (2014) literatürde yaygın olarak kullanılan üç yöntem ile toprak kalite indeksini belirledikleri çalışmada ise skorlara uygun ağırlık verilmesi ile toprak kalitesinin yüksek performans ile tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada da Helvacı serisindeki TKİ-5, TKİ-6, TKİ-7 ve TKİ-8 indeksleri dışında diğer tüm indekslerde ağırlıklandırma yapıldığında toprak kalitesinde meydana gelecek değişimlerin belirlenmesinde duyarlılık artmıştır. Çalışmanın genelinde ise doğrusal olmayan yöntemlerin ve ağırlıklandırılmanın yapıldığı indeksler genel olarak daha duyarlı olmuştur. En duyarlı yöntem Arıklı serisinde TKİ-8 indeksi iken, Çanakçı ve Helvacı serilerinde ise TKİ-12 indeksi olmuştur.

Toplam veri setinin kullanıldığı indekslerde Arıklı ve Çanakçı serileri ön plana çıkarken, Helvacı serisinde elde edilen indeksler en düşük değerlere sahip olmuştur (Çizelge 4.19). Doğrusal olarak skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntemle hesaplandığı TKİ-1 indeksi Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla %72.4-91.3, %66.7-89.6 ve %67.8-84.0 arasında değişim gösterirken, ortalama indeksler %81.5, 78.8 ve 76.7 olmuştur. Doğrusal olarak skorlanan göstergelere AHP ile ağırlık verildiğinde kalite indeksleri düşüş göstererek Arıklı, Çanakçı ve

Helvacı serilerinde sırasıyla %69.1-90.0, %63.2-89.5 ve %64.1-81.5 arasında değişim gösterirken, ortalama indeksler %78.8, 76.8 ve 73.2 olmuştur. Her üç seride ortalama TKİ-1 ve TKİ-2 indeksleri yüksek seviyededir. Doğrusal yöntemle kıyasla doğrusal olmayan yöntemin kullanıldığı TKİ'lerde indeksler düşüş göstermiştir. Doğrusal olmayan yöntemle skorlanan göstergelerin basit eklemeli yöntemle belirlendiği TKİ-3 indeksi Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla %53.2-75.8, %60.1-88.6 ve %50.4-67.6 arasında değişim göstermiştir. Ortalama TKİ-3 indeksi sırasıyla %62.0, 73.0 ve 59.9 olarak hesaplanmıştır. TKİ-3 indeksi Çanakçı serisinde yüksek düzeyde iken, Arıklı ve Helvacı serileri ise düşük düzeydedir. Doğrusal olmayan yöntemin kullanıldığı göstergelere AHP ile ağırlıklar verildiğinde Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde TKİ-4 indeksi sırasıyla %42.2-68.3, %51.7-88.2 ve %41.5-57.1 arasında değişim göstermiştir. Ortalama TKİ-4 indeksi sırasıyla %50.6, 68.5 ve 48.9 olarak hesaplanmıştır. Ortalama TKİ-4 indeksi Çanakçı serisinde orta düzeyde iken, Arıklı ve Helvacı serisinde düşük düzeydedir.

Toplam veri setinin kullanıldığı indekslerde seriler bazında değişime sebep olan göstergeler, skorlama yöntemlerinde farklı skorlar alan hacim ağırlığı, agregat stabilitesi, yarayıslı su içeriği, penetrasyon direnci, pH, elektriksel iletkenlik, organik karbon, mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi olmuştur (Çizelge 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13). Bu göstergelerden özellikle hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, pH, organik karbon, mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi AHP ile yüksek ağırlıklar (Çizelge 3.17) aldığı için diğer göstergelere kıyasla toprak yönetim uygulamalarının değerlendirilmesinde amenajmana hassas göstergeler olarak ön plana çıkmıştır. Birçok çalışmada da bu göstergeler toprak kalitesinin izlenmesinde kullanılan minimum veri setinde yer alan göstergelerdir (Nabiollahi ve ark., 2017; Şeker ve ark., 2017b; da Luz ve ark., 2019; Çelik ve ark., 2021; Ozlu ve ark., 2022).

Yüksek düzeyde indeks değerlerine sahip olan TKİ-1 ile TKİ-2 indeksleri arasında doğrusal olarak skorlanan agregat stabilitesi, yarayıslı su içeriği, pH, elektriksel iletkenlik, organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi etkili olmuştur. Bu göstergelerden özellikle agregat stabilitesi ve organik karbon diğer serilere kıyasla Arıklı serisinde doğrusal olarak skorlama ile daha yüksek skorlar aldığı için TKİ-2'ye kıyasla TKİ-1 indeksinin daha yüksek değer almasına sebep olmuştur. Toplam veri setinin kullanıldığı TKİ-3 ve TKİ-4 indekslerinde ise doğrusal olmayan skorlama yöntemleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan skorlama yönteminde göstergelerin genelinde daha düşük skorlar elde edildiği için bu indekslerde TKİ-1 ve TKİ-2 indekslerine kıyasla daha düşük skorlar almıştır. TKİ-3 ve TKİ-4 indekslerinde Çanakçı serisi diğer serilere kıyasla daha yüksek indeks değerleri elde etmiştir. Bahçelerin olduğu bu seride topraklarının organik karbon içerikleri kapasitesinin %62'sinde iken, Arıklı ve Helvacı serilerinde ise bu düzey sırasıyla %14 ve %11 olmuştur (Çizelge 4.13). AHP ile en yüksek ağırlığı alan organik karbon (Çizelge 3.17) temel olarak TKİ-3 ile TKİ-4 indekslerinin arasındaki farka sebep olmuştur. Yine AHP ile yüksek ağırlıklar alan mikrobiyal biyokütle karbon ve toprak pH'sı diğer serilere kıyasla Çanakçı serisinde daha yüksek skorlar (Çizelge 4.12 ve 4.13) aldığı için etkili olan diğer göstergeler olmuştur. Uzun süredir yoğun

tarımsal üretim altında olan toprakların kalite düzeyleri doğrusal yöntemlerin kullanıldığı indekslerde yüksek düzeyde iken, farklılık doğrusal olmayan yöntemlerin kullanıldığı indekslerde daha belirgin olmuştur. Toprakların sürekli olarak kulaklı pullukla alt üst edilerek işlenmesi ve anız artıklarının yakılması, organik maddenin ve onunla ilişkili biyolojik göstergelerin azalmasına sebep olmaktadır. Toprağın fonksiyon gösterme yeteneğinde agregatların oluşumu ve dayanıklılığı (Six ve ark., 2000), su ve besin elementlerinin tutulması (Lal, 2009) gibi pek çok önemli görevleri olan organik karbon toprak kalitesinin Arıklı ve Helvacı serilerinde daha düşük indeks değerleri almasına sebep olmuştur. Bu sonuçlar literatürde yer alan çalışma sonuçları ile tutarlılık göstermektedir. Da Luz ve ark. (2019) Brezilya’da arazi kullanımının kıyaslandığı bir çalışmada geleneksel şeker kamışının yetiştirildiği alanda organik maddenin azalışına bağlı olarak kalite indeksinin düştüğünü rapor etmiştir. Yılda üç ürünün yetiştirildiği bir başka çalışmada ise Nath ve ark. (2021) 7 yıllık geleneksel işlemeye kıyasla geleneksel işlemeyi bırakıp anızlı sıfır işlemenin uygulandığı arazilerde artan organik karbon ve enzim aktivitesinin toprak kalitesi ve pirinç verimini artırdığını belirtmiştir. Toprakta organik maddenin korunduğu uygulamalar toprak kalitesinin ve dolayısıyla bitki veriminin iyileşmesine katkı sunmaktadır. Üç seri arasında en düşük indekslerin elde edildiği Helvacı serisinde ise geleneksel işleme yöntemlerine ek olarak topraklar salma sulama ile sulanmaktadır. Bu da toprakta tuzluluğun diğer serilere kıyasla problem oluşturma olasılığını yükseltmektedir. Her ne kadar bitkisel üretimi etkileyecek elektriksel iletkenlik değerleri elde edilmese de, üç seri arasında toprakların tuzluluk göstergesi diğer serilere kıyasla daha düşük skorlar almıştır. Bu da toprak kalitesinin Helvacı serisinde kapasitesinin altında işlev göstermesinde etkili olmuştur. Zira toprak tuzluluğu, su ve besin elementlerinin emilimini engellemektedir. Ki bu olay bitki gelişimini ve verimini olumsuz etkileyen K, P, Ca, nitrat emiliminde bir azalmaya ve hücreler arası iyon konsantrasyonunda ve ozmotik geriliminde bir artışa yol açmaktadır (Rahimi ve ark., 2021). İran’da tuzdan etkilenmiş tarım arazileri için toprak kalite indekslerinin değerlendirildiği bir çalışmada da tuzun toprak kalitesini önemli şekilde olumsuz etkilediği ve tuzluluğun giderilmesi için toprak kalitesinin sürekli olarak izlenmesi gerektiği rapor edilmiştir (Nabiollahi ve ark., 2017). Bu nedenle tarımsal üretimde sürdürülebilirliğin sağlanması için toprağın fonksiyon göstermesinde etkili olan organik karbonun korunması ve iyileştirilmesini sağlayan uygulamaların kullanılması, salma sulamadan ziyade damla sulama gibi suyun tasarruflu kullanımı sağlayan uygulamaların tercih edilmesi ve kullanılan sistemlerin etkilerinin belirlenmesi için toprak kalitesinin de periyodik olarak izlenmesi gerekmektedir.

Temel bileşenler analizi ile oluşturulan veri setindeki göstergeler için doğrusal skorlama ve basit eklemeli yöntemler kullanıldığında Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla %67.3-99.2, %58.7-85.3 ve %57.1-86.6 arasında indeksler elde edilmiştir (Çizelge 4.19). Ortalama TKİ-5 indeksi sırasıyla %80.3, 75.2 ve 72.6 ile yüksek düzeydedir. Göstergelere temel bileşenler analizinden gelen ağırlık verildiğinde TKİ-6 indeksi Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla %63.2-99.2, %53.8-91.2 ve %63.1-90.6 arasında değişim göstermiş ve ortalama indeks %78.6, 75.7 ve 76.4 ile

yüksek düzeydedir. Toplam veri setinde olduğu gibi temel bileşenler analizinin kullanıldığı veri setinde de göstergeler doğrusal olmayan yöntemle skorlandığında doğrusal yöntemle kıyasla daha düşük indeksler elde edilmiştir. Doğrusal olmayan yöntem ve basit eklemeli yöntemin kullanıldığı TKİ-7 indeksi Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla %27.6-70.7, %53.9-88.0 ve %42.2-60.3 arasında değişim göstermiştir. Ortalama TKİ-7 indeksi sırasıyla %40.1, 68.9 ve 51.1 olmuştur. Ortalama TKİ-7 indeksi Çanakçı serisinde orta düzeyde iken, Arıklı ve Helvacı serileri ise düşük düzeydedir. Göstergelere temel bileşenler analizinden gelen ağırlık verildiğinde TKİ-8 indeksi Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla %25.2-69.0, %50.1-91.9 ve %50.2-70.3 arasında değişim göstermiştir. Ortalama TKİ-8 indeksi sırasıyla %38.9, 72.2 ve 62.4 olmuştur. Ortalama TKİ-8 indeksi Çanakçı serisinde yüksek düzeyde, Helvacı serisinde orta düzeyde ve Arıklı serisinde ise çok düşük düzeydedir.

Her bir seride minimum veri seti oluşturmak için yapılan temel bileşenler analizi ile veri setine seçilen göstergelerin geneli doğrusal skorlama ile yüksek skorlar aldığı için TKİ-5 ve TKİ-6 indekslerinde yüksek düzeyde indeks değerleri elde edilmiştir. Buna karşın doğrusal olmayan yöntemlerde ise toplam veri setinde olduğu gibi daha düşük indeks değerleri elde edilmiştir. Öyle ki, Arıklı serisinde en düşük TKİ-7 ve TKİ-8 indeksleri %27.6 ve %25.2 gibi oldukça düşük indeks değerleri almıştır. TKİ-7 ve TKİ-8 indekslerinin hesaplanmasında kullanılan organik karbon, beta glikosidaz enzim aktivitesi Arıklı serisinde oldukça düşük skorlar (Çizelge 4.13) almıştır. Bununla birlikte bu indeksler altında değerlendirilen yarayışlı su içeriği ve hacim ağırlığı düşük düzeyde ve toprak pH'sı ise orta düzeyde skorlar almıştır (Çizelge 4.11 ve 4.12). Bu göstergelerin kalite indeksi içerisinde entegre edilmesi ile ortalama TKİ-7 ve TKİ-8 indeksleri Arıklı serisinde çok düşük düzeydedir. Arıklı serisinde veri setine seçilen göstergelerden pH dışındaki tüm göstergeler işleme sistemlerine duyarlıdır (Aziz ve ark., 2013; Raiesi ve Kabiri, 2016; Çelik ve ark., 2019). Örnekleme noktalarının genelinde toprakların geleneksel olarak işlendiği Arıklı serisinde toprak kalitesi, göstergelerin düşük skorlar almasından dolayı düşük indeks değeri almıştır. Buna karşın Çanakçı serisinde ortalama TKİ-7 indeksi %68.9 ile orta düzeyde iken, TKİ-8 indeksi ise %72.2 ile yüksek düzeydedir. Diğer serilere kıyasla daha yüksek TKİ-7 ve TKİ-8 indeksinin elde edildiği Çanakçı serisinde tanımlanan göstergelerden elektriksel iletkenlik, sodyum adsorbsiyon oranı ve su dolu gözenek hacmi çok yüksek düzeyde, organik karbon orta düzeyde, mikrobiyal biyokütle karbonu düşük düzeyde ve penetrasyon direnci ise çok düşük düzeyde skorlar almıştır. Çanakçı serisinde tanımlanan göstergelerin geneli yüksek düzeyde skorlar aldığı için TKİ-7 indeksi de yüksek düzeye yakın indeks değerine sahip olmuştur. TKİ-8 indeksinde ise özellikle düşük ve çok düşük düzeyde skorlar alan göstergeler temel bileşenler analizi ile en düşük ağırlıkları almıştır. Buna karşın çok yüksek ve yüksek düzeyde skorlar alan göstergeler ise temel bileşenler analizi ile yüksek ağırlıklar aldığı için TKİ-8 indeksi yüksek düzeyde işlev göstermiştir. Helvacı serisinde ise ortalama TKİ-7 ve TKİ-8 indeksleri her iki serinin arasında yer almıştır. Helvacı serisinde tanımlanan göstergeler doğrusal olmayan skorlama ile elektriksel iletkenlik ve su dolu gözenek hacmi çok yüksek, hacim

ağırlığı düşük ve organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi ise çok düşük düzeyde skorlar almıştır. Helvacı serisinde topraklar geleneksel olarak işlenmekte ve salma sulama ile sulanmaktadır. Bu seride temel bileşenler analizi ile seçilen göstergeler ise alanda uygulanan yöntemlere karşı oldukça hassastır (Nabiollahi ve ark., 2017; Çelik ve ark., 2019). Bu sebeple bu göstergeler, alanda uygulanan yöntemlerden olumsuz etkilendiği için, basit eklemeli yöntemle TKİ-7 indeksi içerisinde entegre edildiğinde kalite indeksi düşük düzeyde olmuştur. Bu göstergelerden çok düşük düzeyde skorlar alan göstergeler temel bileşenler analizi ile en düşük ağırlıkları, çok yüksek düzeyde skorlar alan göstergeler ise en yüksek ağırlıkları aldığı anda ise TKİ-8 indeksi TKİ-7 indeksine kıyasla artış göstererek orta düzeyde olmuştur.

Uzman görüşü dikkate alınarak doğrusal skorlama ve basit eklemeli yöntemle toprak fonksiyonlarının değerlendirildiği TKİ-9 indeksi Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla %73.1-93.1, %63.3-90.8 ve %64.9-85.5 arasında değişim gösterirken, ortalama indeks değerleri %82.5, 77.7 ve 76.5 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.19). Göstergelere ve fonksiyonlara AHP ile ağırlık verildiğinde TKİ-10 indeksi Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla %71.3-94.1, %60.6-91.2 ve %63.5-85.5 arasında değişim göstermiştir. Ortalama TKİ-10 indeksi Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla %81.6, 76.0 ve 74.7 olmuştur. Her üç seride ise ortalama TKİ-9 ve TKİ-10 indeksleri yüksek düzeydedir. Doğrusal olmayan yöntem ve basit eklemeli yöntemin kullanıldığı TKİ-11 indeksi Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla %52.0-73.4, %56.2-89.5 ve %46.0-66.3 arasında değişmiştir. Ortalama TKİ-11 indeksi Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla %60.6, 72.4 ve 57.5 olmuştur. Ortalama TKİ-11 indeksi Çanakçı serisinde orta düzeyde iken kil içeriği yüksek serilerde ise orta düzeydedir. Göstergelerin ve fonksiyonların AHP ile ağırlıklandırıldığı TKİ-12 indeksi ise Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sırasıyla %39.8-65.3, %46.2-88.8 ve %35.1-57.6 arasında değişim gösterirken, ortalama indeks değerleri %49.5, 67.1 ve 46.6 olarak hesaplanmıştır. Ortalama TKİ-12 indeksi Çanakçı serisinde orta düzeyde iken, diğer iki seride ise düşük düzeydedir.

Uzman görüşü dikkate alınarak toprak fonksiyonlarının değerlendirildiği kalite indekslerinde diğer indekslerde olduğu gibi doğrusal skorlamaya kıyasla doğrusal olmayan skorlama ile daha düşük indeks değerleri elde edilirken, doğrusal skorlama ile Arıklı serisi ve doğrusal olmayan skorlama ile Çanakçı serisi ön plana çıkmıştır (Çizelge 4.19). Doğrusal skorlamanın kullanıldığı indeksler her üç seride yüksek düzeyde işlev göstermiştir. Ancak doğrusal olmayan skorlamanın kullanıldığı indekslerde ise farklılık daha da belirgin hale gelmiştir. Basit eklemeli yöntemin kullanıldığı TKİ-11 indeksi Çanakçı serisinde yüksek, Arıklı ve Helvacı serilerinde orta düzeyde iken, AHP yönteminin kullanıldığı TKİ-12 indeksi ise Çanakçı serisinde orta, Arıklı ve Helvacı serilerinde ise düşük düzeydedir. Çanakçı serisi topraklarının verimlilik, su ilişkileri ve fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonlarını yerine getirmesi kil içeriği yüksek serilere kıyasla daha yüksek olduğu için (Çizelge 4.15) TKİ-11 ve TKİ-12 indeksleri daha yüksek elde edilmiştir. Bununla birlikte TKİ-11 indeksine kıyasla TKİ-12 indeksinde daha düşük değerlerin elde

edilmesinde ise fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu etkili olmuştur. Bu fonksiyon diğer fonksiyonlara kıyasla daha düşük indeks değeri alırken, AHP ile ağırlıklandırmada ise en yüksek ağırlığı alarak kalite indeksinin düşük olmasında etkili olmuştur. Fonksiyonların birbirinden bağımsız düşünülmemeyeceği toprak kalitesinin de geniş tanımında açıkça yer almaktadır. Toprakta verimliliğin yüksek olması için öncelikle fiziksel koşulların iyi olması gerekmektedir. Zira toprağın fiziksel koşullarında meydana gelecek bozulmalar kök gelişimini olumsuz etkilerken (Baquero ve ark., 2012; Souza ve ark., 2015), su ve besin elementlerinin alımını da sınırlandıracak ve dolayısıyla bitkisel üretimde verimliliğin düşmesine neden olacaktır (Reynolds ve ark., 2002). Bu yönüyle toprağın fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneği yüksek olan Çanakçı serisinde diğer serilere kıyasla su ilişkileri ve verimlilik fonksiyonları da daha yüksektir. Bu seri topraklarının ihtiyaç olmadıkça işlenmemesi toprağın fonksiyon gösterme yeteneğini iyileştirirken, toprakların geleneksel olarak işlendiği serilerde ise toprak kalite indeksinin düştüğü belirlenmiştir. Benzer şekilde Brezilya’da şeker kamışı üretim alanlarının toprak fiziksel kalitesine etkisinin incelendiği bir çalışmada doğal vejetasyon alanının uzun süreli mera alanına dönüşümünün toprakta sıkışmayı artırarak fiziksel kaliteyi düşürdüğünü ve en düşük ise toprakların işlendiği şeker kamışı üretim alanlarında elde edildiği rapor edilmiştir (Cherubin ve ark., 2016b). Güney Brezilya’da uzun süreli olarak yürütülen bir çalışmada geleneksel uygulamaya kıyasla sıfır işleme sistemleri altındaki killi Oxisollerin zamanla yapısal kalitesini koruduğunu ve ürün gelişimi için uygun toprak fiziksel koşullarını sağladığı rapor edilmiştir (Moraes ve ark., 2016). Toprak işleme yöntemlerinin değerlendirildiği bir başka çalışmada ise fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneğinin 0-10 cm derinlikte korumalı işleme yöntemleri ile iyileştiği ancak 10-30 cm derinlikte bu iyileşmenin geleneksel yöntemlerde daha iyi olduğu görülmüştür (Çelik ve ark., 2021). Aynı çalışmada 9 yıldır sıfır işlemenin uygulandığı alanda ise bir kez derin işleme ile 0-30 cm derinlikte toprağın fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneğinin diğer yöntemlere kıyasla daha iyi olduğu rapor edilmiştir. Toprak işlemenin ihtiyaç duyulduğunda yapılıyor olmasının, toprağın fonksiyon gösterme yeteneğini iyileştirmesi sonucuna benzer şekilde bu çalışmada da ulaşılmıştır. Dolayısıyla tarımsal üretimde kullanılan toprağın korunması esasına dayanarak üretim yapılması toprak kalitesinin sürdürülebilirliğini sağlanmasında yardımcı olacaktır.

4.7. Toprak Kalite İndekslerinin Mesafeye Bağlı Değişimleri

Arıklı serisi örnekleme alanında toprak kalite indekslerine ait semivariogram modeller ve bu modellere ait parametreler Çizelge 4.20’de verilmiştir. Çalışma alanında TKİ-3, TKİ-4, TKİ-7 ve TKİ-11 indekslerinin mesafeye bağlı değişimi için üssel model, en iyi model olarak kullanılmıştır. Geriye kalan tüm indekslerin mesafeye bağlı değişiminde ise küresel model en iyi model olarak kullanılmıştır. TKİ-11 indeksi %50.0 ile en yüksek uzaysal bağımlılığa sahip olup, orta derecede mesafeye bağımlılık göstermiştir. TKİ-11 indeksi ile birlikte TKİ-1, TKİ-5, TKİ-6, TKİ-8, TKİ-9, TKİ-10 ve TKİ-12 indeksleri de orta derecede mesafeye bağımlılık göstermiştir. TKİ-2, TKİ-3, TKİ-

4 ve TKİ-7 indeksleri ise çalışma alanında kuvvetli bir şekilde mesafeye bağımlılık göstermiştir. Çalışma alanında 1918 m ile TKİ-1 indeksi en yüksek range değerine sahip indeks olmuştur. TKİ-12 indeksi ise 195 m ile en düşük range değerine sahip indeks olmuştur. Diğer indeksler ise bu iki indeks arasında ayırım mesafesine sahiptir.

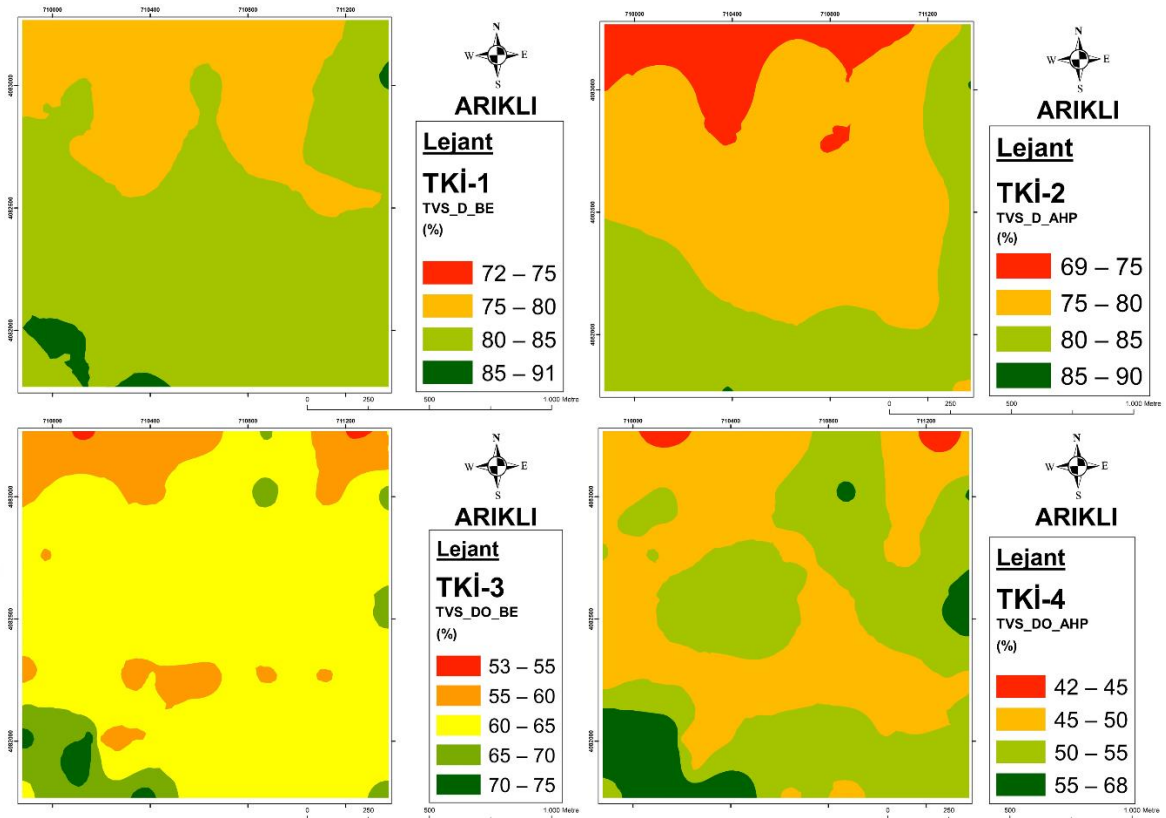
Çizelge 4.20. Arıklı serisinde toprak kalite indekslerine ait semivariogram modeller ve parametreleri

Arıklı	Model	Nugget (Co)	Sill (Co+C)	UB (%)	Range (m)	Aktif Lag (m)	Lag mesafesi (m)	r ²	RSS
TKİ-1	Küresel	5.54	17.61	31.5	1918	2000	153	0.825	37.7
TKİ-2	Küresel	4.62	24.86	18.6	1864	2000	152	0.925	41
TKİ-3*	Üssel	0.01	12.67	0.1	330	630	76	0.884	6.83
TKİ-4*	Üssel	0.48	14.23	3.4	390	630	63	0.871	15.1
TKİ-5	Küresel	16.67	46.25	36.0	658	730	62	0.930	69.6
TKİ-6	Küresel	20.9	56.73	36.8	609	830	72	0.933	100
TKİ-7*	Üssel	3.09	25.79	12.0	474	1030	77	0.797	74.5
TKİ-8*	Küresel	10.4	28	37.1	334	800	93	0.897	18.4
TKİ-9	Küresel	7.74	19.54	39.6	1742	2100	172	0.798	40.1
TKİ-10	Küresel	7.08	27.39	25.8	1637	2100	167	0.870	70.6
TKİ-11	Üssel	8.42	16.85	50.0	525	700	64	0.724	15.1
TKİ-12	Küresel	7.47	19.38	38.5	195	310	38	0.804	21

TKİ-1: TVS, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-2: TVS, Doğrusal, AHP, TKİ-3: TVS, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-4: TVS, Doğrusal olmayan, AHP, TKİ-5: MVS_{PCA}, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-6: MVS_{PCA}, Doğrusal, PCA, TKİ-7: MVS_{PCA}, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-8: MVS_{PCA}, Doğrusal olmayan, PCA, TKİ-9: MVS_{UG}, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-10: MVS_{UG}, Doğrusal, AHP, TKİ-11: MVS_{UG}, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-12: MVS_{UG}, Doğrusal olmayan, AHP, UB: Uzaysal bağımlılık, RSS: Hata kareler toplamı, *: Veri setinden örnek/örnekler çıkarılmıştır.

Arıklı serisinde TVS dikkate alınarak belirlenen TKİ-1, TKİ-2, TKİ-3 ve TKİ-4 indeksleri Şekil 4.23’de verilmiştir. Temel bileşenler analizi ile oluşturulan MVS dikkate alınarak belirlenen TKİ-5, TKİ-6, TKİ-7 ve TKİ-8 indeksleri Şekil 4.24’de verilmiştir. Uzman görüşü ile oluşturulan veri setlerinin dikkate alınarak belirlendiği TKİ-9, TKİ-10, TKİ-11 ve TKİ-12 indeksleri Şekil 4.25’de verilmiştir.

Arıklı serisi çalışma alanında TVS göstergelerinin doğrusal olarak skorlanması ve basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırılması sonucu belirlenen TKİ-1 indeksi ile AHP ağırlıklarının kullanıldığı TKİ-2 indeksi birbirine benzerdir (Şekil 4.23). TKİ-1 ve TKİ-2 indeksleri sırasıyla %72-91 ve %69-90 arasında olup, alanın büyük çoğunluğunda yüksek düzeyde indeks değerler almıştır. TKİ-1 ve TKİ-2 indeksinin kapasitesinin altında işlev göstermesinde çok yüksek skorlar alan göstergelere kıyasla daha düşük skorlar alan yarayıslı su içeriği, elektriksel iletkenlik, yarayıslı fosfor, organik karbon, mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi (Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10) etkili olmuştur. Bu göstergelerin geneli her ne kadar çalışma alanında doğrusal skorlama ile skorlandığında çok düşük skorlar almasa da kalite indeksinin tam kapasite ile işlev gösterememesine neden olmuştur.



Şekil 4.23. Arıklı serisinde TKİ-1, TKİ-2, TKİ-3 ve TKİ-4 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi

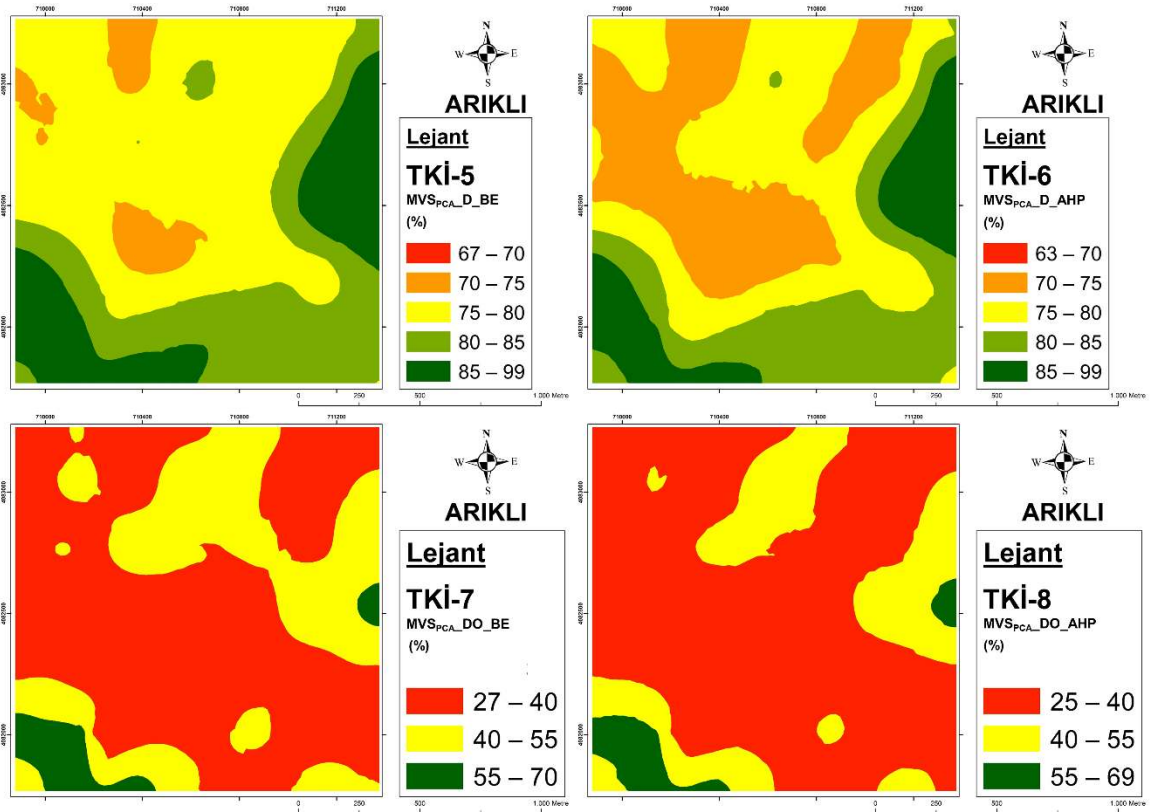
Arıklı serisi çalışma alanında TVS göstergelerinin doğrusal olmayan yöntemle skorlanmasında doğrusal yönteme kıyasla kalite indekslerinin düştüğü görülmektedir (Şekil 4.23). Basit eklemeli yöntem yerine AHP ile ağırlıklandırılma yapıldığında kalite indeksi daha da düşmüştür. TKİ-3 ve TKİ-4 indeks değerleri %53-75 ve %42-68 arasında işlev göstermektedir. TVS göstergelerinin doğrusal skorlaması ile elde edilen TKİ-1 ve TKİ-2 indeksine kıyasla doğrusal olmayan yöntemin kullanıldığı TKİ-3 ve TKİ-4 indeksinde değişimler daha belirgin olmuştur. TKİ-3 indeksi alanın genelinde orta düzeyde iken, TKİ-4 indeksi alanın genelinde düşük düzeydedir. Doğrusal olmayan yöntemle elde edilen göstergelerden düşük düzeyde skorlar alan penetrasyon direnci, hacim ağırlığı, yarıyışlı su içeriği, organik karbon, mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi (Çizelge 4.11 ve 4.13) ve orta düzeyde skorlar alan toprak pH'sı (Çizelge 4.12), TKİ-3 ve TKİ-4 indekslerinin kapasitesinin altında işlev göstermesinde rol oynamıştır. Toprak pH'sı dışında kalan diğer göstergelerin tümü alanın genelinde uygulanan geleneksel işleme yöntemine hassas göstergelerdir. Pek çok çalışmada da bu göstergeler toprak işleme ve gübreleme gibi yönetim uygulamalarının toprak kalite indeksi üzerine etkilerinin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılmıştır (Aziz ve ark., 2013; Karlen ve ark., 2013; Cherubin ve ark., 2016a; Çelik ve ark., 2021; Ozlu ve ark., 2022). Yüksek kil içeriğinden dolayı doğal verimliliklerinin yüksek olması beklenen Arıklı serisinde (Günel ve ark., 2020) uzun süredir alanda uygulanan kulaklı pullukla toprakların işlenmesi ve anızların yakılması toprak kalitesinin ciddi derecede düşmesine neden olmuştur. Zira

ABD'nin merkez Iowa eyaletinde uzun süreli işleme ve ürün rotasyonu uygulamalarının toprak kalitesine tepkilerinin araştırıldığı bir çalışmada Karlen ve ark. (2013), kulaklı pullukla geleneksel olarak işlemenin toprak kalitesini olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Arıklı serisine benzer iklim ve toprak tipinde yürütülen uzun süreli bir başka çalışmada ise anızların tutulduğu ve yakıldığı geleneksel uygulamaların korumalı işleme yöntemlerine kıyasla yüzey toprağında verimliliği ve toprak kalite indeksini düşürdüğü rapor edilmiştir (Çelik ve ark., 2021). Bu tez çalışmasında da literatür sonuçlarını destekler şekilde Arıklı serisi çalışma alanında TVS kullanılarak belirlenen toprak kalitesinin kapasitesinin altında olması, mevcut uygulanan toprak yönetiminin değiştirilmesi gerektiğini göstermiştir.

Arıklı serisi çalışma alanında PCA ile oluşturulan MVS göstergelerinin doğrusal olarak skorlanması ve basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırılması sonucu belirlenen TKİ-5 indeksi ile PCA'dan gelen ağırlıkların kullanımı sonucu belirlenen TKİ-6 indeksi arasında belirgin farklılıklar oluşmamıştır. TKİ-5 ve TKİ-6 indeksleri sırasıyla %67-99 ve %63-99 arasında işlev göstermekte olup, alanın genelinde yüksek indeks değerleri almıştır (Şekil 4.24). Her iki indeks de çalışma alanının güneybatısında ve doğusunda çok yüksek iken, geriye kalan büyük alanda ise yüksek düzeydedir. TKİ-5 ve TKİ-6 indekslerinin tam kapasitesinin altında işlev göstermesinde ise orta düzeyde skorlar alan beta glikosidaz enzim aktivitesi (Çizelge 4.10) ve yüksek düzeyde skorlar alan yarayışlı su içeriği (Çizelge 4.8) etkili olmuştur. Bu göstergelerin diğer göstergelere kıyasla düşük skorlar alması kalite indeksinin tam kapasite ile çalışmasına engel olmuştur.

Doğrusal olmayan skorlama yönteminin kullanıldığı TKİ-7 ve TKİ-8 indeksleri, TKİ-5 ve TKİ-6 indekslerine kıyasla daha düşük indeks değerleri almıştır (Şekil 4.24). Doğrusal skorlamaya benzer şekilde doğrusal olmayan skorlamanın kullanıldığı her iki indeksin değişim haritası da birbirine benzerdir. Alanın kuzeybatısından güneydoğusuna uzanan hatta toprak kalite indeksi oldukça düşük iken, yer yer küçük alanlarda toprak kalite indeksi orta ve yüksek düzeydedir. TKİ-7 ve TKİ-8 indekslerinin değişiminde ise çok düşük düzeyde skorlar alan beta glikosidaz enzim aktivitesi, düşük düzeyde skorlar alan hacim ağırlığı ve yarayışlı su içeriği ve orta düzeyde skorlar alan toprak pH'sı rol oynamıştır. Andrews ve ark. (2004) ve Karlen ve ark. (2008), her biri toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini ve süreçlerini temsil eden en az bir tane olması koşuluyla, toprak kalite değerlendirmelerinin en az beş gösterge kullanılarak yapılabileceğini önermiştir. Arıklı serisinde PCA sonucu dikkate alınan göstergeler bu kriterleri karşılamıştır. Ancak TKİ-7 ve TKİ-8 indekslerinin değişiminde ön plana çıkan göstergeler dikkate alındığında ise en az beş gösterge olmasa bile her bir sektörden birer tane göstergenin dengeli bir şekilde ön plana çıkması, yapılan temel bileşenler analizi değerlendirmesinin güvenilir olduğunu göstermektedir. Örnekleme alanının genelinde geleneksel işleme yönteminin kullanıldığı Arıklı serisinde toprak kalitesinin TVS'den ziyade MVS dikkate alınarak izlenmesi zaman ve maliyetten tasarruf edilmesine olanak tanıyacaktır. PCA ile başarılı bir şekilde MVS oluşturan Lima ve ark. (2008), minimum veri setinin, alternatif ürünler yetiştirmek, nerede tarımın yapılacağı ve arazinin satın alınacağı gibi arazi yönetim

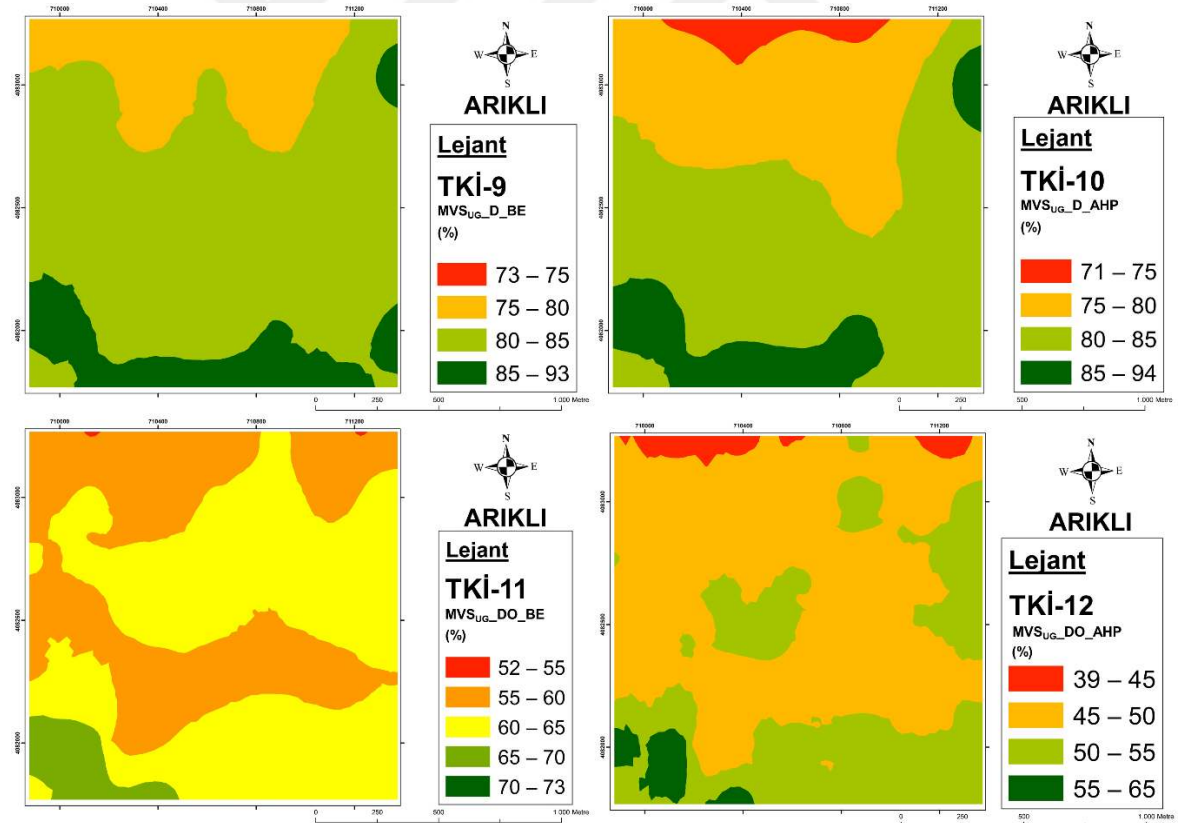
seçeneklerini değerlendirmek için bir erken uyarı aracı olabileceği rapor edilmiştir. Genel olarak bakıldığında ise alanın genelinde toprakların uzun yıllardır geleneksel olarak işlenmesi ile toprak kalitesinin dūřtūęu belirlenmiştir. Zalidis ve ark. (2002), uzun vadede yoğun tarımsal üretim altındaki topraklarda organik maddenin azalması ve toprakta sıkışmanın meydana gelmesinin olası olduğunu belirtmiştir. Arıklı serisinde de toprak kalitesinin dūřük olmasının, uzun yıllardır alanda kullanılan geleneksel işleme ile birlikte biyolojik bir parametre olan beta glikosidaz enzim aktivitesi skorunun çok dūřük (izelge 4.13) ve sıkışmasının gōstergesi olan hacim ağırlığı ve yarıyışlı su içeriğine ait skorların dūřük (izelge 4.11) olmasının bir sonucu olduğu dūřünölmektedir.



şekil 4.24. Arıklı serisinde TKİ-5, TKİ-6, TKİ-7 ve TKİ-8 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi

Tez kapsamında seçilen verimlilik, su ilişkileri ve fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonları kullanılarak elde edilen TKİ-9 ile TKİ-10 indeksleri, doğrusal skorlamanın kullanıldığı diğer indekslerde olduğu gibi birbirine benzer dağılım gōstermiřtir (şekil 4.25). TKİ-9 ve TKİ-10 indeksleri sırasıyla %73-93 ve %71-94 arasında değişim gōstermiřtir. Her iki indeksin mesafeye bağlı değişim haritalarında indeks değerleri alanın gōneyinde çok yōksek dōzeyde iken, geriye kalan bōyōk çoğunlukta ise yōksek dōzeydedir. TKİ-9 ile TKİ-10 indekslerinin Arıklı serisindeki değişimlerinde çok yōksek dōzeyde indeks değerleri alan su ilişkileri ve fiziksel bozulmaya karşı direnç gōsterme fonksiyonlarından ziyade yōksek dōzeyde indeks değerleri alan verimlilik fonksiyonu (izelge 4.14) etkili olmuştur.

Doğrusal olmayan skorlamanın kullanıldığı TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerinin mesafeye bağlı değişim haritaları değişkenlik göstermiştir. TKİ-11 ve TKİ-12 indeksleri TKİ-9 ve TKİ-10 indekslerine kıyasla daha düşük olarak %52-73 ve %39-65 arasında işlev göstermiştir (Şekil 4.25). TKİ-11 indeksi alanın genelinde orta düzeyde iken, TKİ-12 indeksi düşük düzeydedir. Doğrusal olmayan skorlama ile elde edilen TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerinin değişiminde düşük indeks değerleri alan fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu ön plana çıkmıştır. Çalışma alanının kuzeyinde daha düşük indeks değerlerinin elde edildiği çalışma alanında fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonunun da düşük indeks değerleri aldığı görülmektedir (Şekil 4.18). Alanın genelinde uzun süredir geleneksel işleme yöntemlerinin kullanıldığı Arıklı serisinde toprakların fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme yeteneğinin düşmesi beklenen bir durumdur. Zira geleneksel işleme ile fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu için önemli olan organik madde artan havalanma ile okside olarak azalma eğilimindedir (Prasad ve ark., 2016). Toprakta fiziksel, kimyasal ve biyolojik göstergeler üzerinde önemli etkileri olan organik maddenin düşmesi (Bongiorno ve ark., 2019) ile toprakların fonksiyon gösterme yeteneği de olumsuz etkilenmektedir.



Şekil 4.25. Arıklı serisinde TKİ-9, TKİ-10, TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi

Çanakçı serisinde toprak kalite indekslerine ait semivariogram modeller ve bu modellerin parametreleri Çizelge 4.21’de verilmiştir. Çalışma alanında TKİ-4 ve TKİ-8 indekslerinin mesafeye

bağlı değişkenliğinin belirlenmesinde üssel model, en iyi model olarak kullanılmıştır. Geriye kalan bütün indekslerin mesafeye bağlı değişkenliğinin belirlenmesinde ise en iyi model, küresel model olmuştur. Çanakçı serisi örnekleme alanında uzaysal bağımlılık en yüksek %44.5 (TKİ-7) ile en düşük %0.1 (TKİ-4 ve TKİ-12) arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.29). TKİ-7 ve TKİ-11 indeksleri sırasıyla %44.5 ve %38.5 değerleri ile orta derecede mesafeye bağımlılık göstermiştir. Geriye kalan bütün indeksler ise %25'ten daha düşük bir uzaysal bağımlılık ile kuvvetli derecede mesafeye bağlı değişkenlik göstermiştir. Çalışma alanında ayırım mesafesi 658 m ile 165 m range değerleri arasında değişmiştir. TKİ-12 indeksi ise en düşük range değeri ile diğer indekslere kıyasla daha düşük değişim aralığına sahip olmuştur.

Çizelge 4.21. Çanakçı serisinde toprak kalite indekslerine ait semivariogram modeller ve parametreleri

Arıklı	Model	Nugget (Co)	Sill (Co+C)	UB (%)	Range (m)	Aktif Lag (m)	Lag mesafesi (m)	r ²	RSS
TKİ-1	Küresel	4.93	24.79	19.9	310	800	73	0.902	31.1
TKİ-2	Küresel	2.5	40.85	6.1	355	1000	85	0.932	64.6
TKİ-3	Küresel	3.9	46.43	8.4	197	940	80	0.852	89.2
TKİ-4	Üssel	0.1	81.95	0.1	264	950	91	0.833	326
TKİ-5	Küresel	8.07	35	23.1	516	850	77	0.920	58.6
TKİ-6	Küresel	13.7	55.97	24.5	428	800	67	0.878	233
TKİ-7	Küresel	22.24	49.93	44.5	658	1000	99	0.855	116
TKİ-8	Üssel	3.6	75.8	4.7	255	820	80	0.794	309
TKİ-9	Küresel	0.1	35.16	0.3	248	880	59	0.870	129
TKİ-10	Küresel	12.6	55.51	22.7	339	900	74	0.905	158
TKİ-11	Küresel	22.6	58.73	38.5	219	800	67	0.851	232
TKİ-12	Küresel	0.1	91.9	0.1	165	950	82	0.878	258

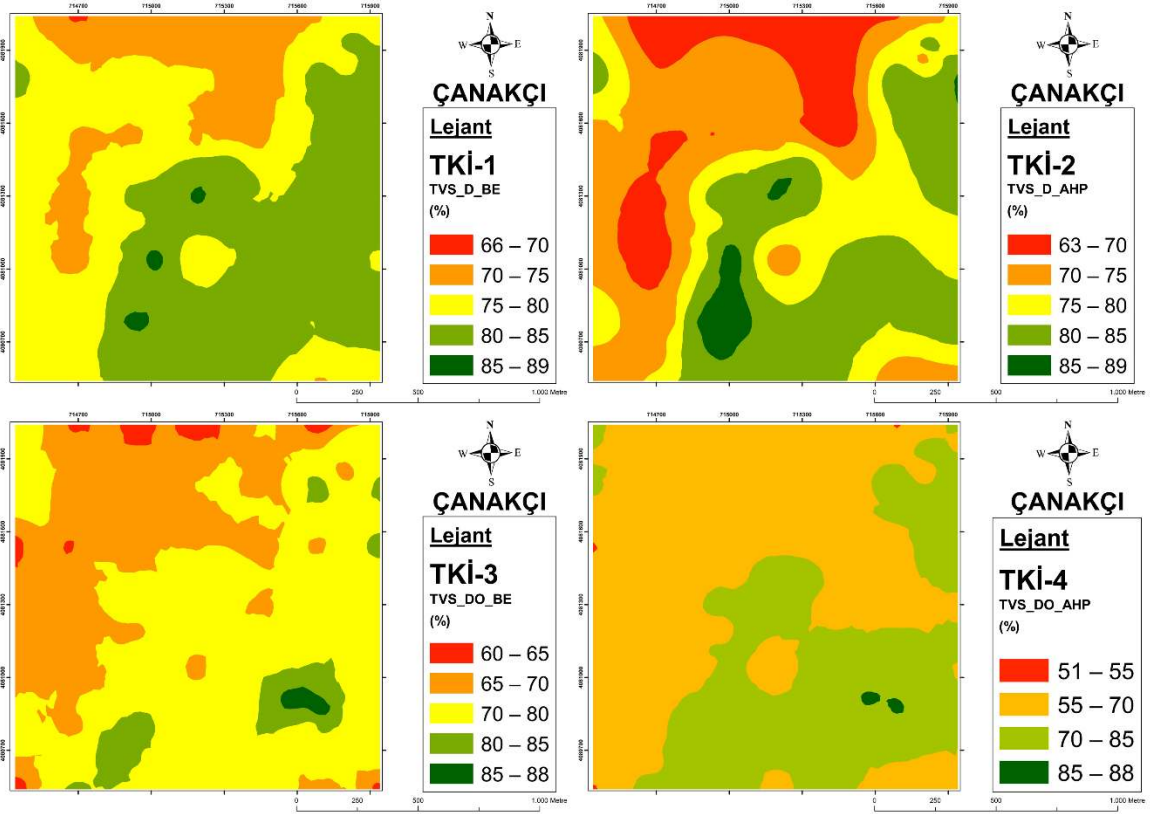
TKİ-1: TVS, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-2: TVS, Doğrusal, AHP, TKİ-3: TVS, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-4: TVS, Doğrusal olmayan, AHP, TKİ-5: MVS_{PCA}, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-6: MVS_{PCA}, Doğrusal, PCA, TKİ-7: MVS_{PCA}, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-8: MVS_{PCA}, Doğrusal olmayan, PCA, TKİ-9: MVS_{UG}, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-10: MVS_{UG}, Doğrusal, AHP, TKİ-11: MVS_{UG}, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-12: MVS_{UG}, Doğrusal olmayan, AHP, UB: Uzaysal bağımlılık, RSS: Hata kareler toplamı

Çanakçı serisinde TVS dikkate alınarak belirlenen TKİ-1, TKİ-2, TKİ-3 ve TKİ-4 indeksleri Şekil 4.26'da verilmiştir. Temel bileşenler analizi ile oluşturulan MVS dikkate alınarak belirlenen TKİ-5, TKİ-6, TKİ-7 ve TKİ-8 indeksleri Şekil 4.27'de verilmiştir. Uzman görüşü ile oluşturulan veri setlerinin dikkate alınarak belirlendiği TKİ-9, TKİ-10, TKİ-11 ve TKİ-12 indeksleri Şekil 4.28'de verilmiştir.

Çanakçı serisindeki çalışma alanında TVS göstergelerinin doğrusal olarak skorlanması ve basit eklemeli yöntemle ağırlıklandırılması sonucu elde edilen TKİ-1 indeksi %66-89 arasında değişmiştir (Şekil 4.26). Aynı göstergelerin AHP ile ağırlıklandırılması sonucunda belirlenen TKİ-2 indeksi ise %63-89 arasında dağılım göstermiştir. TKİ-1 ve TKİ-2 indekslerinin mesafeye bağlı değişim haritaları doğrusal skorlamanın kullanıldığı diğer indekslerde olduğu gibi birbirine oldukça

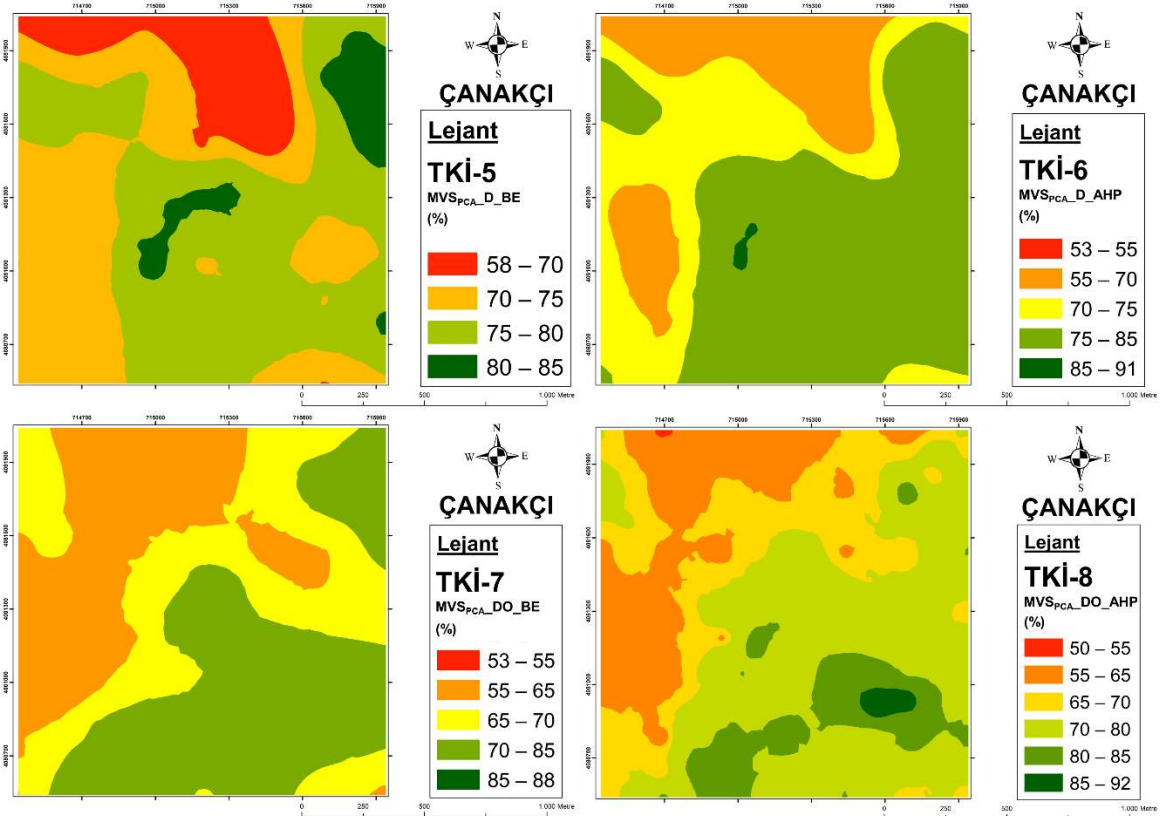
benzerdir. TKİ-1 indeksi alanın genelinde yüksek düzeydedir. TKİ-2 indeksi alanın kuzeyinde ve batısında orta düzeyde iken, geriye kalan büyük çoğunlukta yüksek düzeydedir. TKİ-1 ve TKİ-2 indeksinin tam kapasite ile işlev gösterememesinde örnekleme alanında oldukça düşük skorlar alan mikrobiyal biyokütle karbonu, agregat stabilitesi ve orta düzeyde skorlar alan organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi (Çizelge 4.8 ve 4.10) etkili olmuştur. Çalışma alanının kuzeyinde daha düşük indeks değerlerinin elde edildiği Çanakçı serisinde, bu alanlarda biyolojik göstergeler (Şekil 4.12) ve agregat stabilitesi (Şekil 4.9) de düşük değerler almıştır.

Bahçelerin yoğunlukta olduğu çalışma alanında TVS göstergelerinin doğrusal olmayan yöntemle skorlanması doğrusal yöntemle kıyasla toprak kalite indeksleri düşmüştür (Şekil 4.26). AHP ile ağırlıklandırıldığında kalite indeksi daha da düşmüştür. TKİ-3 ve TKİ-4 indeks değerleri sırasıyla %60-88 ve %51-88 arasında değişim göstermektedir. TVS göstergelerinin doğrusal skorlaması ile elde edilen TKİ-1 ve TKİ-2 indeksine kıyasla doğrusal olmayan yöntemin kullanıldığı TKİ-3 ve TKİ-4 indeksinde değişimler daha belirgindir. TKİ-3 indeksi alanın kuzeybatısında orta düzeyde iken, güneydoğusunda yüksek düzeydedir. TKİ-4 indeksinde TKİ-3 indeksine kıyasla alanın kuzeybatısında orta düzeyde kalite indeksi daha fazla ve güneydoğusunda ise yüksek düzeyde kalite indeksi daha az dağılım göstermiştir. Doğrusal olmayan yöntemle elde edilen göstergelerden düşük düzeyde skorlar alan penetrasyon direnci, mikrobiyal biyokütle karbonu ve yarayışlı su içeriği, orta düzeyde skorlar alan organik karbon, beta glikosidaz enzim aktivitesi ve hacim ağırlığı ve yüksek düzeyde skorlar alan agregat stabilitesi (Çizelge 4.11 ve 4.13), TKİ-3 ve TKİ-4 indekslerinin değişiminde etkili olmuştur. TKİ-3 ve TKİ-4 indekslerinin değişiminde rol oynayan fiziksel ve biyolojik göstergeler amana hıman hassas göstergeler olarak sıklıkla çalışmalarda kullanılmaktadır (Karlen ve ark., 2013; Lisboa ve ark., 2019; Çelik ve ark., 2020; Nath ve ark., 2021). Bu göstergelerle birlikte çok sayıda göstergenin değerlendirildiği TVS kullanarak Çanakçı serisi topraklarının kalitesinin belirlendiği bu çalışmada, uzun süredir alanda uygulanan yöntemler nedeniyle toprağın fonksiyon gösterme yeteneği kapasitesinin altında belirlenmiştir. Albiach ve ark. (2000) uzun süreli geleneksel bahçeciliğin, pestisit ve gübrelerin yoğun kullanımından kaynaklı toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin bozulmasına yol açan ana faaliyet olduğunu vurgulamıştır. Dolayısıyla uzun süredir tarımsal üretim altında bulunan Çanakçı serisi topraklarının kalitesinin izlenmesi ve sürdürülebilirliğin sağlanması için mevcut uygulamaların gözden geçirilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.26. Çanakçı serisinde TKİ-1, TKİ-2, TKİ-3 ve TKİ-4 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi

Çanakçı serisi örnekleme alanında PCA ile oluşturulan MVS göstergelerinin doğrusal olarak skorlanması ve basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırılması sonucu belirlenen TKİ-5 indeksi ile PCA'dan gelen ağırlıkların kullanımı sonucu belirlenen TKİ-6 indeksi arasında belirgin bir fark oluşmamıştır. TKİ-5 ve TKİ-6 indeksleri sırasıyla %58-85 ve %53-91 arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.27). TKİ-5 indeksi alanın kuzeyinde orta düzeyde iken, geriye kalan kısımda yüksek düzeydedir. TKİ-6 indeksi ise alanın kuzeyinde ve batısında orta düzeyde iken, geriye kalan kısımda yüksek düzeydedir. Doğrusal skorlama ile elde edilen TKİ-5 ve TKİ-6 indekslerinin değişiminde ise çok düşük düzeyde skorlar alan mikrobiyal biyokütle karbonu ve orta düzeyde skorlar alan organik karbon (Çizelge 4.10) etkili olmuştur. Alanın özellikle kuzeyinde organik karbon ve mikrobiyal biyokütle karbon değerlerinin de düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.12).

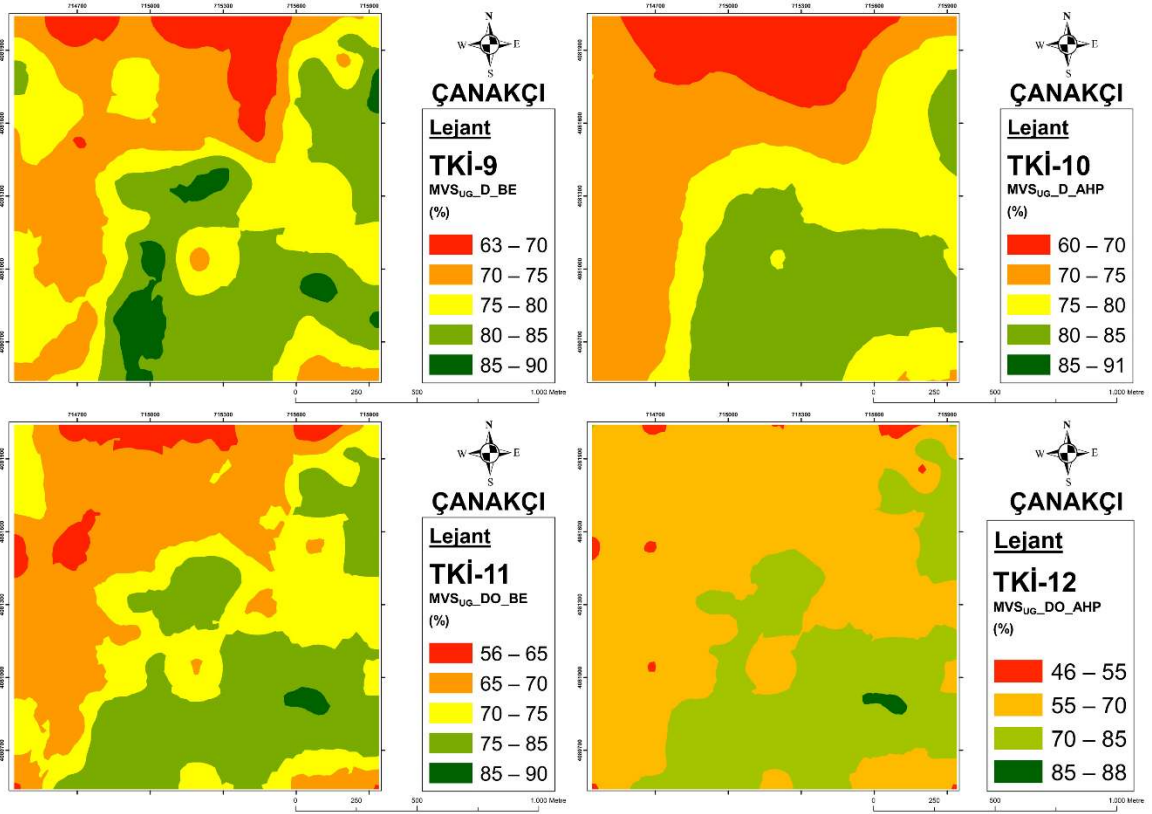


Şekil 4.27. Çanakçı serisinde TKİ-5, TKİ-6, TKİ-7 ve TKİ-8 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi

Çalışma alanında PCA ile oluşturulan MVS göstergelerinin doğrusal olmayan yöntemle skorlanması ve basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırılması sonucu belirlenen TKİ-7 indeksi %53-88 ve PCA ile ağırlıklandırılan TKİ-8 indeksi ise %50-92 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.27). TKİ-7 ile TKİ-8 indekslerinin haritaları nispeten birbirine benzerdir. TKİ-7 indeksi alanın kuzeybatısında ve doğusunda orta düzeyde iken, geriye kalan alanlarda yüksek düzeydedir. TKİ-7 indeksine kıyasla TKİ-8 indeksi alanın kuzeybatısında daha az orta düzeyde indeks, alanın güneydoğusunda ise daha fazla yüksek düzeyde indeks dağılımı göstermiştir. Doğrusal olmayan yöntemin kullanıldığı TKİ-7 ve TKİ-8 indekslerinin kapasitelerinin altında işlev göstermesinde MVS’de bulunan organik karbon, mikrobiyal biyokütle karbonu, penetrasyon direnci ve yarayışlı su içeriği etkili olmuştur. Bu göstergelerden penetrasyon direnci alanın genelinde çok düşük düzeyde skorlar alırken, mikrobiyal biyokütle karbonu orta düzeyde ve organik karbon ve yarayışlı su içeriği ise orta düzeyde skorlar almıştır (Çizelge 4.11 ve 4.13). Bahçelerin yoğunlukta olduğu çalışma alanının genelinde toprakların işlenmemesi ile birlikte diğer iki seriye kıyasla organik madde içeriklerinde büyük değişiklikler olmamıştır. Ancak skor düzeyinde bakıldığında diğer iki seride kapasitesinin oldukça altında olan organik karbon Çanakçı serisinde kapasitesinin yarıdan fazlasında işlev göstermiştir. Çanakçı serisinde TKİ-7 ve TKİ-8 indekslerinin kapasitesinin altında işlev göstermesinde temel olarak organik karbon içeriğinin yeterli olamaması ve bundan dolayı organik karbon ile ilişkili özelliklerin düşük skorlar almasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca alanda uzun süredir yoğun bir üretim yapıldığı ve toprakların çoğunlukla işlenmediği dikkate

alındığında penetrasyon direncine ait skorların düşük çıkması beklenen bir durumdur. Zira Blanco-Canqui ve Ruis (2018) sıfır işleme ile geleneksel işlemenin penetrasyon direnci üzerindeki etkisini araştırdığı bir çalışmada, 34 çalışmanın yarısında 0-30 cm derinlikte sıfır işlemenin geleneksele kıyasla penetrasyon direncini %27-99 arttırdığı ve 14 çalışmada değişiklik olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte Çelik ve ark. (2019)'nın yaptığı bir çalışmada ise 10 yıldır sıfır işlemenin uygulandığı parselin bir kere geleneksel işlenmesi ile yüksek olan penetrasyon direncinin düştüğü rapor edilmiştir. Çanakçı serisinde bahçe topraklarının da ara sıra işlenerek yüksek olan penetrasyon direnci düşürülebilir. Bu da tarımsal üretim altındaki toprakların fonksiyon gösterme kapasitesini iyileştirebilir. Zira Çelik ve ark. (2021) uzun süreli sıfır işlemenin uygulandığı parselin bir kere geleneksel işlenmesi ile birlikte toprak fonksiyonları ve genel kalite indeksinin iyileştiğini rapor etmiştir.

Toprak fonksiyonları kullanılarak elde edilen TKİ-9 ile TKİ-10 indeksleri, doğrusal skorlamanın kullanıldığı diğer indekslerde olduğu gibi birbirine benzer dağılım göstermiş ve alanın genelinde yüksek indeks değerleri almıştır (Şekil 4.28). TKİ-9 ve TKİ-10 indeksleri sırasıyla %73-93 ve %71-94 arasında değişim göstermiştir. Her iki indeksin mesafeye bağlı değişim haritalarında indeks değerleri alanın kuzeyinde orta düzeyde iken, geriye kalan büyük çoğunlukta ise yüksek düzeydedir. TKİ-9 ile TKİ-10 indekslerinin orta düzeyde indeks değerleri aldığı Çanakçı serisindeki çalışma alanının kuzeyinde her üç fonksiyonunda geriye kalan alana kıyasla düşük indeks değerleri aldığı görülmektedir (Şekil 4.19). Benzer şekilde geriye kalan büyük çoğunlukta alanda da her üç fonksiyon yüksek indeks değerleri almıştır.



Şekil 4.28. Çanakçı serisinde TKİ-9, TKİ-10, TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi

Doğrusal olmayan skorlamanın kullanıldığı TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerinin mesafeye bağlı değişim haritaları değişkenlik göstermiştir (Şekil 4.28). TKİ-11 ve TKİ-12 indeksleri TKİ-9 ve TKİ-10 indekslerine kıyasla daha düşük indeks değerleri olarak %56-90 ve %46-55 arasında değişim göstermiştir. TKİ-11 indeksi alanın kuzeybatısında orta düzeyde iken, güneydoğusunda yüksek düzeydedir. TKİ-12 indeksi alanın kuzeybatısında orta düzeyde indekslerin dağılım alanı daha fazladır. TKİ-12 indeksi alanın güneyinde ve doğusunda küçük bir alanda yüksek düzeyde iken, geriye kalan büyük çoğunlukta orta düzeydedir. Doğrusal olmayan skorlama ile elde edilen TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerinin daha düşük indeks değerleri aldığı alanın kuzeybatı kesiminde her üç fonksiyonun da düşük indeks değerleri aldığı görülmüştür (Şekil 4.20). Toprakların sürekli işlenmesi kadar işlenmemesi de problem yaratabilmektedir. Bahçelerin bulunduğu Çanakçı serisinde uzun süredir bitkisel yetiştiricilik yapılmakta olup, topraklar genellikle ihtiyaç duyulduğunda işlenmektedir. Mevcut duruma bakıldığında ise toprağın bir kereye mahsus işlenmesi, toprak fonksiyonlarının ve neticesinde toprak kalite indeksinin de iyileşmesine neden olabilir.

Helvacı serisinde toprak kalite indekslerine ait semivariogram modeller ve bu modellerin parametreleri Çizelge 4.22’de verilmiştir. Çalışma alanında TKİ-1, TKİ-2, TKİ-5, TKİ-6, TKİ-9 ve TKİ-10 indekslerinin mesafeye bağlı değişimini en iyi temsil eden model üssel model olmuştur. Geriye kalan tüm indekslerin mesafeye bağlı değişkenliğinin belirlenmesinde ise küresel model kullanılmıştır. Helvacı serisi örnekleme alanında uzaysal bağımlılık %34.2 ile %8.8 arasında değişim

göstermiştir (Çizelge 4.22). TKİ-1, TKİ-2, TKİ-3, TKİ-6, TKİ-7, TKİ-9, TKİ-10 ve TKİ-11 indeksleri orta derecede mesafeye bağımlılık göstermiştir. Geriye kalan indekslerin tümü ise kuvvetli derecede mesafeye bağımlı olarak bulunmuştur. Örnekleme alanında 380 m ile TKİ-8 indeksi en yüksek range değerine sahip olmuştur. Diğer indekslere kıyasla TKİ-10 indeksi 147 m değeri ile daha düşük ayrım mesafesindedir.

Çizelge 4.22. Helvacı serisinde toprak kalite indekslerine ait semivariogram modeller ve parametreleri

Helvacı	Model	Nugget (Co)	Sill (Co+C)	UB (%)	Range (m)	Aktif Lag (m)	Lag mesafesi (m)	r ²	RSS
TKİ-1	Üssel	3.79	11.73	32.3	237	660	76	0.918	1.18
TKİ-2	Üssel	3.86	12.6	30.6	258	900	78	0.823	4.21
TKİ-3	Küresel	2.53	9.86	25.7	281	830	76	0.836	5.54
TKİ-4	Küresel	1.64	9.06	18.1	238	650	53	0.881	5.09
TKİ-5	Üssel	3.6	41.01	8.8	291	800	70	0.885	78.1
TKİ-6	Üssel	11.78	35.74	33.0	351	750	69	0.859	47.1
TKİ-7	Küresel	3.15	9.74	32.3	363	900	83	0.82	5.97
TKİ-8	Küresel	1.92	13.05	14.7	380	900	83	0.79	21.4
TKİ-9	Üssel	6.49	19	34.2	201	780	72	0.767	12.6
TKİ-10	Üssel	5.56	21.87	25.4	147	770	68	0.75	15.7
TKİ-11	Küresel	4.11	13.08	31.4	227	800	68	0.844	8.56
TKİ-12	Küresel	3.41	15.12	22.6	208	740	66	0.888	9.29

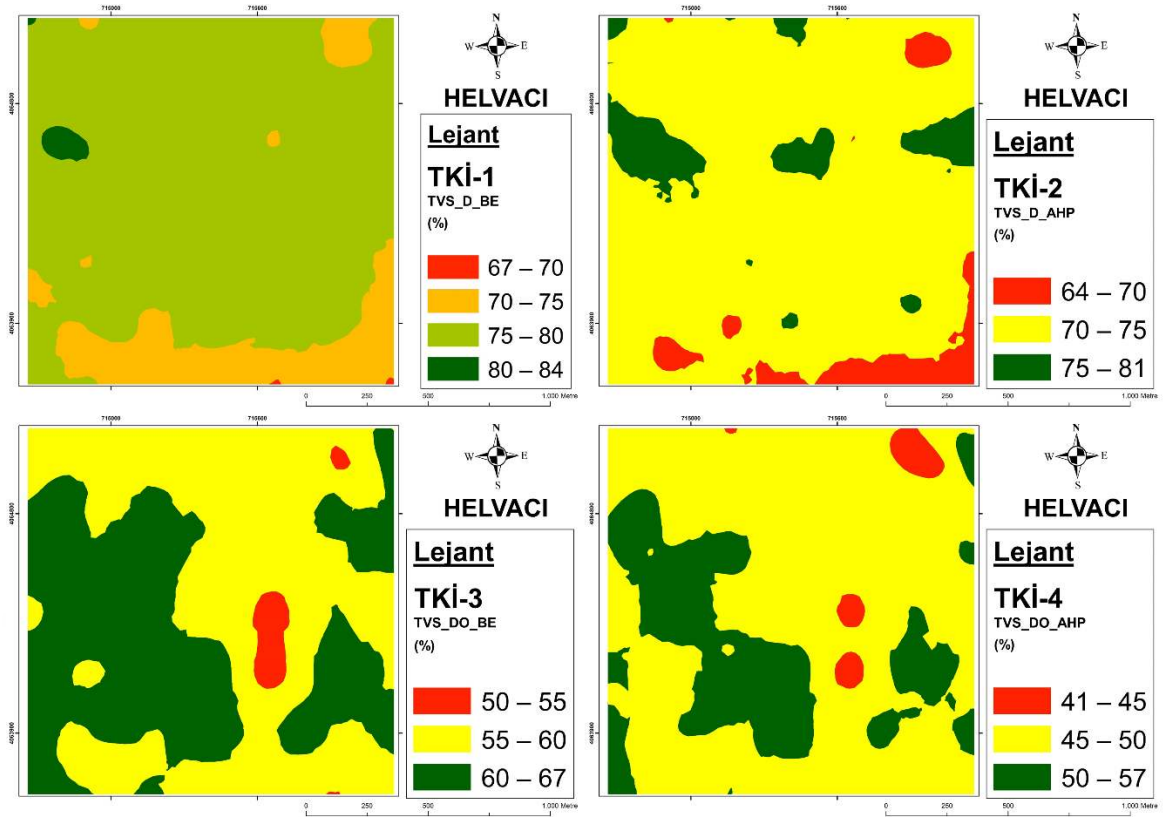
TKİ-1: TVS, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-2: TVS, Doğrusal, AHP, TKİ-3: TVS, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-4: TVS, Doğrusal olmayan, AHP, TKİ-5: MVS_{PCA}, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-6: MVS_{PCA}, Doğrusal, PCA, TKİ-7: MVS_{PCA}, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-8: MVS_{PCA}, Doğrusal olmayan, PCA, TKİ-9: MVS_{UG}, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-10: MVS_{UG}, Doğrusal, AHP, TKİ-11: MVS_{UG}, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-12: MVS_{UG}, Doğrusal olmayan, AHP, UB: Uzaysal bağımlılık, RSS: Hata kareler toplamı

Helvacı serisinde TVS dikkate alınarak belirlenen TKİ-1, TKİ-2, TKİ-3 ve TKİ-4 indeksleri Şekil 4.29'da verilmiştir. Temel bileşenler analizi ile oluşturulan MVS dikkate alınarak belirlenen TKİ-5, TKİ-6, TKİ-7 ve TKİ-8 indeksleri Şekil 4.30'da verilmiştir. Uzman görüşü ile oluşturulan veri setlerinin dikkate alınarak belirlendiği TKİ-9, TKİ-10, TKİ-11 ve TKİ-12 indeksleri Şekil 4.31'de verilmiştir.

Helvacı serisi çalışma alanında TVS göstergelerinin doğrusal olarak skorlanması ve basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırılması sonucu belirlenen TKİ-1 indeksi %67-84 arasında işlev göstermiştir (Şekil 4.29). TKİ-1 indeksi alanın genelinde yüksek düzeydedir. Aynı göstergelerin AHP ile ağırlıklandırılması sonucunda belirlenen TKİ-2 indeksi TKİ-1 indeksine nispeten benzer olup, %64-81 arasında işlev göstermiştir. TKİ-2 indeksi alanın güneydoğusunda ve yer yer küçük alanlarda orta düzeyde iken, geriye kalan büyük alanda yüksek düzeydedir. TKİ-1 ve TKİ-2 indeksinin değişiminde örnekleme alanında oldukça düşük skorlar alan mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi ve orta düzeyde skorlar alan organik karbon, elektriksel

iletkenlik ve agregat stabilitesi (Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10) önemli rol oynamıştır. Uzun süredir geleneksel olarak işlenen Helvacı serisinde toprakların özellikle organik karbon, mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi başta olmak üzere agregat stabilitesi olumsuz etkilenmektedir. Bu da toprakların kalite düzeylerinin kapasitesinin altında gerçekleşmesine yol açmaktadır.

Çalışma alanında TVS göstergelerinin doğrusal olmayan yöntemle skorlanması doğrusal yönteme kıyasla toprak kalite indeksleri daha düşüktür (Şekil 4.29). Basit eklemeli yöntem yerine AHP ile ağırlıklandırma yapıldığında kalite indeksleri daha da düşmüştür. TKİ-3 ve TKİ-4 indeks değerleri sırasıyla %50-67 ve %41-57 arasında değişim göstermektedir. TKİ-3 indeksi alanın genelinde orta düzeyde iken, TKİ-4 indeksi ise alanın genelinde düşük düzeydedir. Doğrusal olmayan yöntemle elde edilen göstergelerden oldukça düşük düzeyde skorlar alan biyolojik göstergeler ve penetrasyon direnci ve düşük düzeyde skorlar alan hacim ağırlığı ve yarayışlı su içeriği (Çizelge 4.11 ve 4.13), TKİ-3 ve TKİ-4 indekslerinin değişiminde etkili olmuştur. Örnekleme alanının genelinde toprakların işlendiği Arıklı serisinde de benzer göstergeler ön plana çıkmıştır. TKİ-3 ve TKİ-4 indekslerinin değişiminde rol oynayan bu göstergeler özellikle işleme uygulamalarına oldukça hassastırlar (Aziz ve ark., 2013; Karlen ve ark., 2013). Bu yönüyle toprakların sürekli olarak geleneksel yöntemlerle işlendiği ve anızların yakıldığı Helvacı serisinde toprakların kalite indeksleri kapasitesinin oldukça altında işlev göstermektedir. Toprak işleme ile birlikte özellikle organik madde oksidasyon ile azalmakta (Acar ve ark., 2018) ve onunla ilişkili biyolojik parametreler ve fiziksel parametrelerde olumsuz etkilenmekte (Gozukara ve ark., 2022) ve dolayısıyla toprağın fonksiyon gösterme yeteneği azalmaktadır. Ayrıca alanda salma sulamanın kullanılıyor olması, toprak kalitesini olumsuz etkileyen tuzluluk problemini tetiklemektedir. Bu nedenle alanın genelinde toprakların geleneksel olarak işlendiği, anızların yakıldığı ve salma sulamanın kullanıldığı çalışma alanında toprağın fonksiyon gösterme yeteneğinin iyileşmesi için mevcut yönetim uygulamalarının terk edilerek toprak ve suyu koruyan korumalı işleme, damla sulama gibi yöntemlerin kullanılması gerekmektedir.

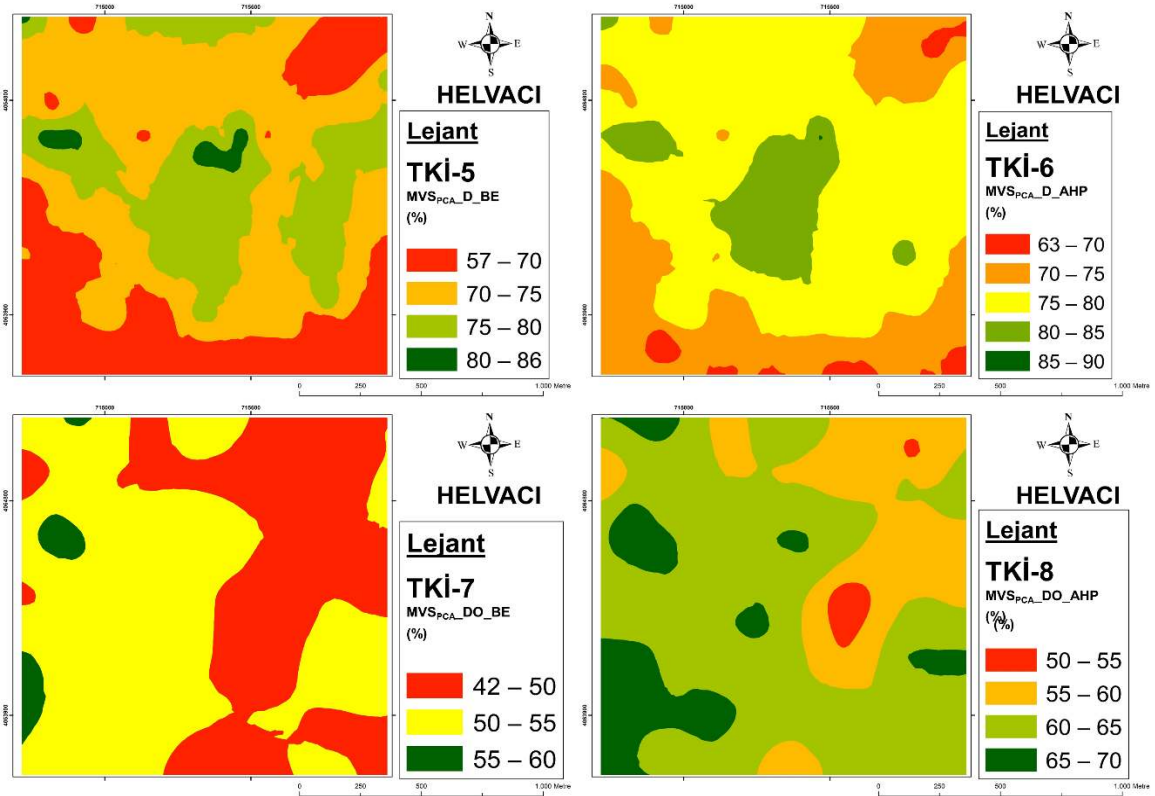


Şekil 4.29. Helvacı serisinde TKİ-1, TKİ-2, TKİ-3 ve TKİ-4 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi

Helvacı serisi örnekleme alanında PCA ile oluşturulan MVS göstergelerinin doğrusal olarak skorlanması ve basit eklemeli yöntem ile ağırlıklandırılması sonucu belirlenen TKİ-5 indeksi %57-86 ve PCA'dan gelen ağırlıkların kullanımı sonucu belirlenen TKİ-6 indeksi %63-90 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.30). TKİ-5 indeksi alanın güneyinde ve kuzeydoğusunda orta düzeyde iken, geriye kalan kısımda yüksek düzeydedir. TKİ-6 indeksi ise alanın genelinde yüksek düzeydedir. Doğrusal skorlama ile elde edilen TKİ-5 ve TKİ-6 indekslerinin kapasitesinin altında işlev göstermesinde düşük düzeyde skorlar alan beta glikosidaz enzim aktivitesi ve orta düzeyde skorlar alan organik karbon (Çizelge 4.10) etkili olmuştur. Kalite indeksinin düşük olduğu çalışma alanının güneyinde özellikle bu göstergelerin de düşük değerler aldığı görülmektedir (Şekil 4.16).

Doğrusal olmayan skorlama yönteminin kullanıldığı TKİ-7 ve TKİ-8 indeksleri, TKİ-5 ve TKİ-6 indekslerine kıyasla daha düşük indeks değerleri almıştır (Şekil 4.30). TKİ-7 indeksi alanın genelinde düşük düzeyde iken, TKİ-8 indeksi ise orta düzeydedir. Her iki indeksin değişiminde ise çok düşük düzeyde skorlar alan organik karbon, beta glikosidaz enzim aktivitesi ve penetrasyon direnci ile düşük düzeyde skorlar alan hacim ağırlığı rol oynamıştır (Çizelge 4.11 ve 4.13). Neredeyse tüm alanda toprakların geleneksel olarak işlenmesi, Helvacı serisinde biyolojik özelliklerin olumsuz etkileneşine ve toprakların sıkışmasına ve dolayısıyla toprak kalitesinin de kapasitesinin oldukça altında olmasına neden olmuştur. Toprakların sürekli olarak geleneksel işlenmesi ile birlikte biyolojik parametrelerin olumsuz etkilendiğine yönelik pek çok çalışma mevcuttur (Green ve ark., 2007; Nunes ve ark., 2020; Acir ve ark., 2022). Bununla birlikte Yang ve ark. (2021) uzun süreli

geleneksel işlemenin, bir pulluk tabakasının oluşmasına ve toprağın sıkışmasına yol açtığını, bunun da toprağın fiziksel özelliklerini, suyun taşınmasını ve bitki köklerinin daha derine doğru büyümesini etkilediğini ve bunun sonucunda da toprağın bozunuma uğradığını ve ürün verimliliğinin düştüğünü bildirmiştir. Toprağın işlenmesi ile birlikte gerçekleşen bu sonuçlar, toprağın fonksiyon gösterme yeteneğinde düşüşlerle kendini göstermektedir.

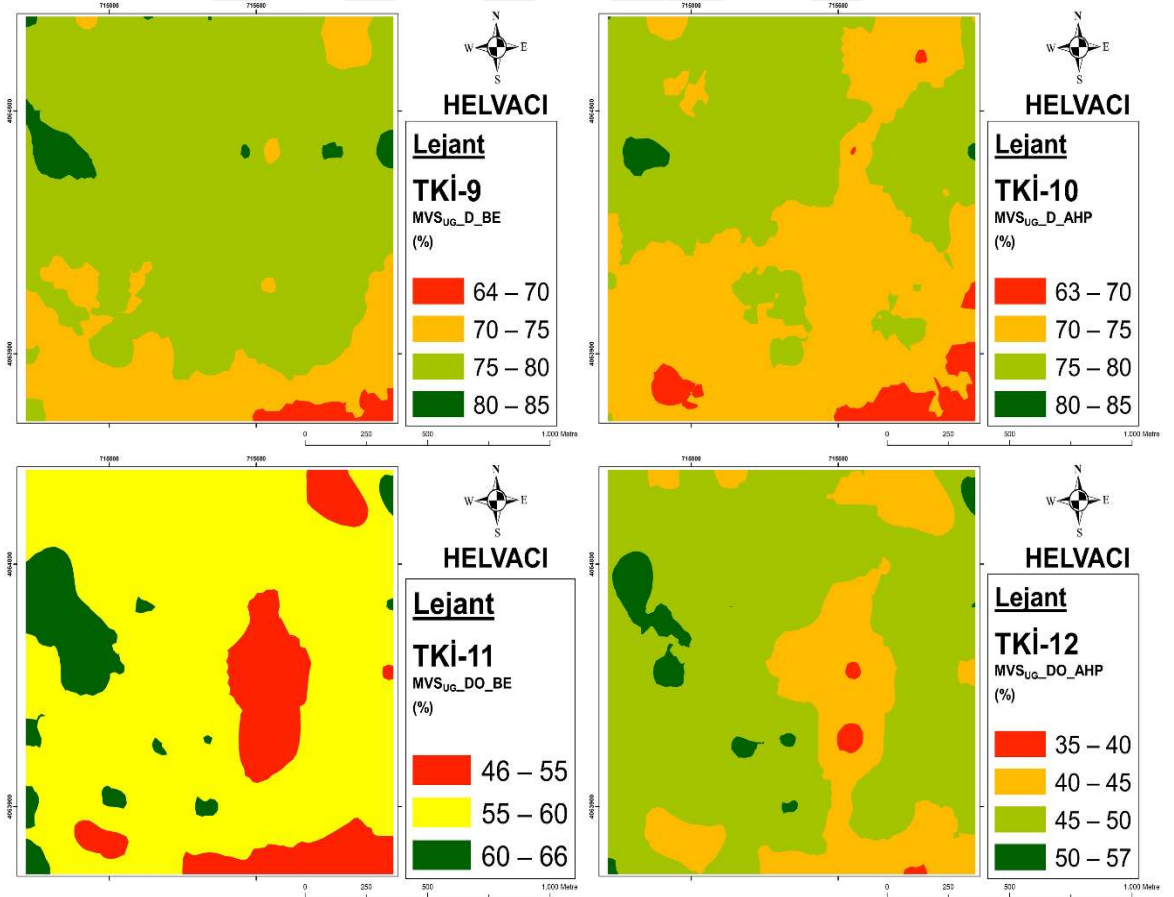


Şekil 4.30. Helvacı serisinde TKİ-5, TKİ-6, TKİ-7 ve TKİ-8 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi

Verimlilik, su ilişkileri ve fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonları kullanılarak elde edilen TKİ-9 ile TKİ-10 indeksleri birbirine benzer dağılım göstermiştir. TKİ-9 ve TKİ-10 indeksleri sırasıyla %64-85 ve %63-85 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.31). Her iki indeksin mesafeye bağlı değişim haritalarında indeks değerleri alanın güneydoğusunda küçük bir alanda orta düzeyde iken, geriye kalan büyük çoğunlukta ise yüksek düzeydedir. TKİ-9 ile TKİ-10 indekslerinin Helvacı serisinde orta düzeyde indeks aldığı alanın güneydoğusundaki küçük alanda özellikle verimlilik ve su ilişkileri fonksiyonlarının da orta düzeyde indeks değerleri aldığı görülmektedir (Şekil 4.21). Ayrıca bu alanda fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu da alandaki en düşük indeks değerlerini almıştır.

Doğrusal olmayan skorlamanın kullanıldığı TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerinin mesafeye bağlı değişim haritaları değişkenlik göstermiştir. TKİ-11 ve TKİ-12 indeksleri TKİ-9 ve TKİ-10 indekslerine kıyasla daha düşük indeks değerleri almıştır (Şekil 4.31). AHP ile ağırlıklandırılan TKİ-12 indeksi basit eklemeli ile ağırlıklandırılan TKİ-11 indeksine kıyasla daha düşük indeks değerleri

almıştır. TKİ-11 ve TKİ-12 indeksleri sırasıyla %46-66 ve %35-57 arasında işlev göstermiştir. TKİ-11 indeksi alanın güneyinde, orta bölümünde ve yer yer küçük alanlarda düşük düzeyde iken, geriye kalan büyük çoğunlukta orta düzeydedir. TKİ-12 indeksinde ise alanın genelinde düşük düzeyde indeks değerleri almıştır. Doğrusal olmayan skrolama ile elde edilen TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerinin kapasitelerinin oldukça altında işlev göstermesinde fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu etkili olmuştur. Bu fonksiyon alanın büyük çoğunluğunda çok düzeyde indeks değerler olarak (Şekil 4.22) genel kalite indeksini düşürmüştür. Alanın genelinde toprakların geleneksel olarak işlenmesi, anızların yakılması ve salma sulama yöntemi gibi geleneksel yöntemlerin kullanılması toprağın fonksiyon gösterme yeteneğinin düşmesine yol açmıştır. Bu uygulamalar özellikle biyolojik göstergeler başta olmak üzere fiziksel bir takım göstergelerin olumsuz etkilemiştir. Benzer iklim ve toprak tipinde çalışma yapan Çelik ve ark. (2021) da geleneksel olarak işlenen arazide özellikle yüzeyde toprakların biyolojik özelliklerinin, agregat stabilitesi ve yarıyışlı su gibi bir kısım fiziksel özelliklerinin, toprak fonksiyonlarının ve genel kalite indekslerinin olumsuz etkilendiğini rapor etmiştir. İşleme yöntemlerinin değerlendirildiği bir başka çalışmada Aziz ve ark. (2013), geleneksel işleme yönteminin toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik kalitesini olumsuz etkilediğini ve dolayısıyla genel toprak kalite indeksini düşürdüğünü bildirmiştir.



Şekil 4.31. Helvacı serisinde TKİ-9, TKİ-10, TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerine ait mesafeye bağlı değişimi

4.8. Mesafeye Bağlı Değişkenlik Haritalarının Validasyonu

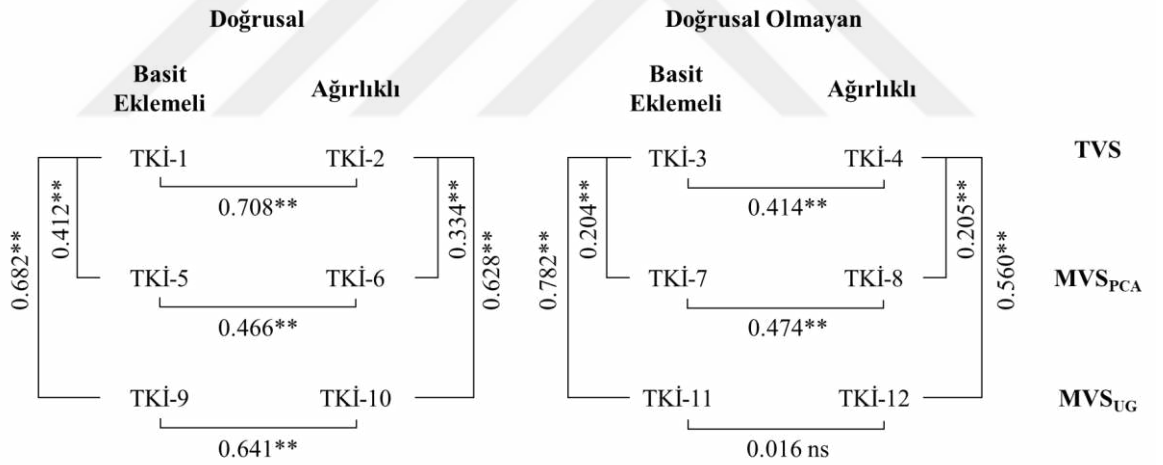
Toprak kalite indeksine ait haritaların doğruluklarını test etmek için validasyon işleminde kalite indekslerinin birbiri arasındaki uyumu gösteren Kappa analizi yapılmıştır. Bunun için her bir seride elde edilen noktasal bazdaki toplam 273 adet toprak kalite indeksi, en küçük değer ile en büyük değer arasında eşit olacak şekilde 1-5 arasında gruplandırılmış (Çizelge 4.23) ve analize tabii tutulmuştur. Kappa analizi sonucunda veri seti ve ağırlıklandırma yöntemlerinin aralarındaki uyumlar Şekil 4.32’de ve skorlama yöntemlerinin uyumları ise Şekil 4.33’de verilmiştir. Ayrıca uyumlu bulunan toprak kalite indekslerinin arasında doğrusal regresyon yapılmıştır (Şekil 4.34 ve 4.35). Son olarak toprak kalite indeksinin önemli göstergelerinden olan agregat stabilitesi, organik madde ve mikrobiyal biyokütle karbonu gibi kalite göstergeleri ile kalite indeksleri arasındaki ilişki test edilmiştir (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.23. Kappa analizi için toprak kalite indekslerinin sınıflandırılması

	Toprak Kalite Sınıfı				
	1	2	3	4	5
TKİ-1	$TKİ \geq 86.4$	$86.4 > TKİ \geq 81.4$	$81.4 > TKİ \geq 76.5$	$76.5 > TKİ \geq 71.6$	$71.6 > TKİ$
TKİ-2	$TKİ \geq 84.6$	$84.6 > TKİ \geq 79.2$	$79.2 > TKİ \geq 73.9$	$73.9 > TKİ \geq 68.5$	$68.5 > TKİ$
TKİ-3	$TKİ \geq 81.0$	$81.0 > TKİ \geq 73.4$	$73.4 > TKİ \geq 65.7$	$65.7 > TKİ \geq 58.1$	$58.1 > TKİ$
TKİ-4	$TKİ \geq 78.9$	$78.9 > TKİ \geq 69.6$	$69.6 > TKİ \geq 60.2$	$60.2 > TKİ \geq 50.9$	$50.9 > TKİ$
TKİ-5	$TKİ \geq 90.8$	$90.8 > TKİ \geq 82.4$	$82.4 > TKİ \geq 73.9$	$73.9 > TKİ \geq 65.5$	$65.5 > TKİ$
TKİ-6	$TKİ \geq 90.2$	$90.2 > TKİ \geq 81.1$	$81.1 > TKİ \geq 72.0$	$72.0 > TKİ \geq 62.9$	$62.9 > TKİ$
TKİ-7	$TKİ \geq 75.9$	$75.9 > TKİ \geq 63.8$	$63.8 > TKİ \geq 51.8$	$51.8 > TKİ \geq 39.7$	$39.7 > TKİ$
TKİ-8	$TKİ \geq 78.6$	$78.6 > TKİ \geq 65.2$	$65.2 > TKİ \geq 51.9$	$51.9 > TKİ \geq 38.5$	$38.5 > TKİ$
TKİ-9	$TKİ \geq 87.1$	$87.1 > TKİ \geq 81.2$	$81.2 > TKİ \geq 75.2$	$75.2 > TKİ \geq 69.2$	$69.2 > TKİ$
TKİ-10	$TKİ \geq 87.4$	$87.4 > TKİ \geq 80.7$	$80.7 > TKİ \geq 74.0$	$74.0 > TKİ \geq 67.3$	$67.3 > TKİ$
TKİ-11	$TKİ \geq 80.8$	$80.8 > TKİ \geq 72.1$	$72.1 > TKİ \geq 63.4$	$63.4 > TKİ \geq 54.7$	$54.7 > TKİ$
TKİ-12	$TKİ \geq 78.0$	$78.0 > TKİ \geq 67.3$	$67.3 > TKİ \geq 56.6$	$56.6 > TKİ \geq 45.8$	$45.8 > TKİ$

Farklı veri setleri ve ağırlıklandırma yöntemlerinin kullanıldığı toprak kalite indekslerinin aralarındaki uyum istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Şekil 4.32). Bu uyum sadece uzman görüşü dikkate alınarak fonksiyonların değerlendirildiği TKİ-11 ile TKİ-12 arasında elde edilememiştir. En yüksek uyum TKİ-3 ile TKİ-11 ve TKİ-1 ile TKİ-2 arasında elde edilmiş olup, uyumlar %20.4-78.2 arasında değişmiştir. Doğrusal skorlama yöntemi altında her bir veri setindeki göstergelere eşit ağırlık verildiğinde TKİ-1 ile TKİ-5 arasındaki uyum orta iken, TKİ-1 ile TKİ-9 arasındaki uyum güçlüdür. Farklı ağırlıklar verildiğinde indekslerin uyumları hafif düşüş göstermiş ve TKİ-2 ile TKİ-6 ve TKİ-2 ile TKİ-10 arasındaki uyumlar sırasıyla zayıf ve güçlü olmuştur. Benzer şekilde doğrusal olarak skorlanan göstergelere AHP veya temel bileşenler analizi ile farklı ağırlıklar kullanıldığında da, toprak kalite indeksleri arasında istatistiksel olarak önemli bir uyum olduğu görülmüştür. Bu uyum AHP yönteminde (TKİ-1 ile TKİ-2 ve TKİ-9 ile TKİ-10) güçlü iken, temel bileşenler analizinde (TKİ-5 ile TKİ-6) ise orta düzeyde olmuştur. Doğrusal olmayan skorlama

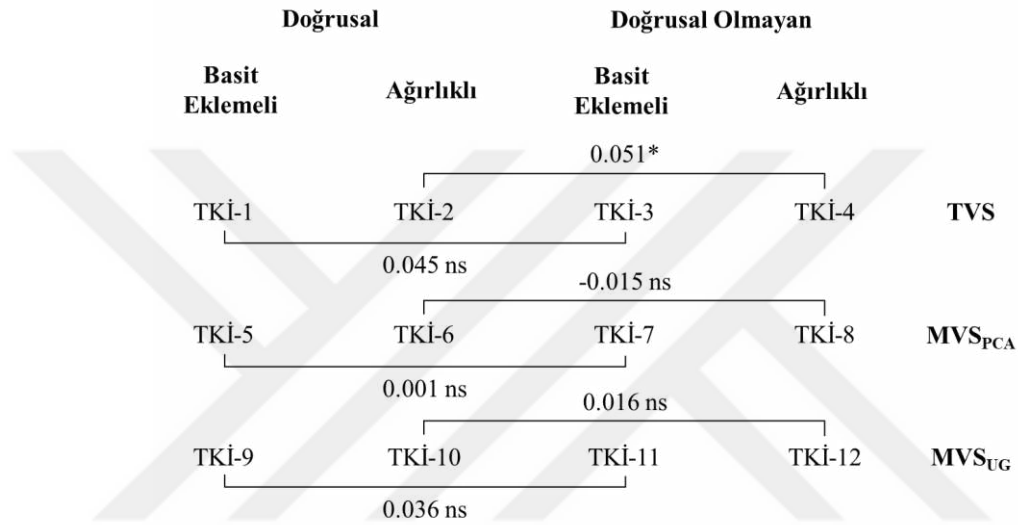
yöntemi altında farklı veri setlerinin kullanıldığı indekslerde göstergelere basit eklemeli yöntemle eşit ağırlıklar verildiğinde TKİ-3 ile TKİ-7 arasındaki zayıf iken, TKİ-3 ile TKİ-11 arasındaki uyum güçlüdür. Farklı ağırlıklar verildiğinde TKİ-4 ile TKİ-8 arasındaki uyum zayıf iken, TKİ-4 ile TKİ-12 arasındaki uyum orta düzeydedir. Doğrusal olmayan yöntemle skorlanan göstergelere ağırlık verildiğinde TKİ-3 ile TKİ-4 ve TKİ-7 ile TKİ-8 arasındaki uyum orta düzeyde olmuştur. Toprak kalite indekslerinin aralarındaki uyum, regresyon katsayısı ile de doğrulanmıştır (Şekil 4.34 ve 4.35). Bu sonuçlar toprak kalite indeksinin belirlenmesinde çok sayıda verinin kullanılmasından ziyade daha az veri ile değerlendirilebileceğini ve zaman ve maliyetten tasarruf edilebileceğini göstermektedir. Bu çalışma sonuçlarını destekler şekilde Rahmanipour ve ark. (2014), Nabiollahi ve ark. (2018) ve Zeraatpisheh ve ark. (2020) da, toplam veri seti ile minimum veri seti arasında önemli bir uyum bulmuş ve minimum veri setlerinin kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte toprak kalitesine göstergelerin katkıları eşit değildir (Karlen ve ark., 2006). Bu da ağırlıklandırmanın önemli olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada ise ağırlıklandırma yapıldığında istatistiksel olarak önemli bir uyumun olduğu görülmüştür. Zira yapılan çalışmalarda da toprak kalitesinin belirlenmesi için ağırlıklandırmanın önemli olduğu sıklıkla vurgulanmaktadır (Mukherjee ve Lal, 2014; Cherubin ve ark., 2016a; Nabiollahi ve ark., 2018).



Şekil 4.32. Farklı veri seti ve ağırlıklandırma yöntemlerinin aralarındaki uyum

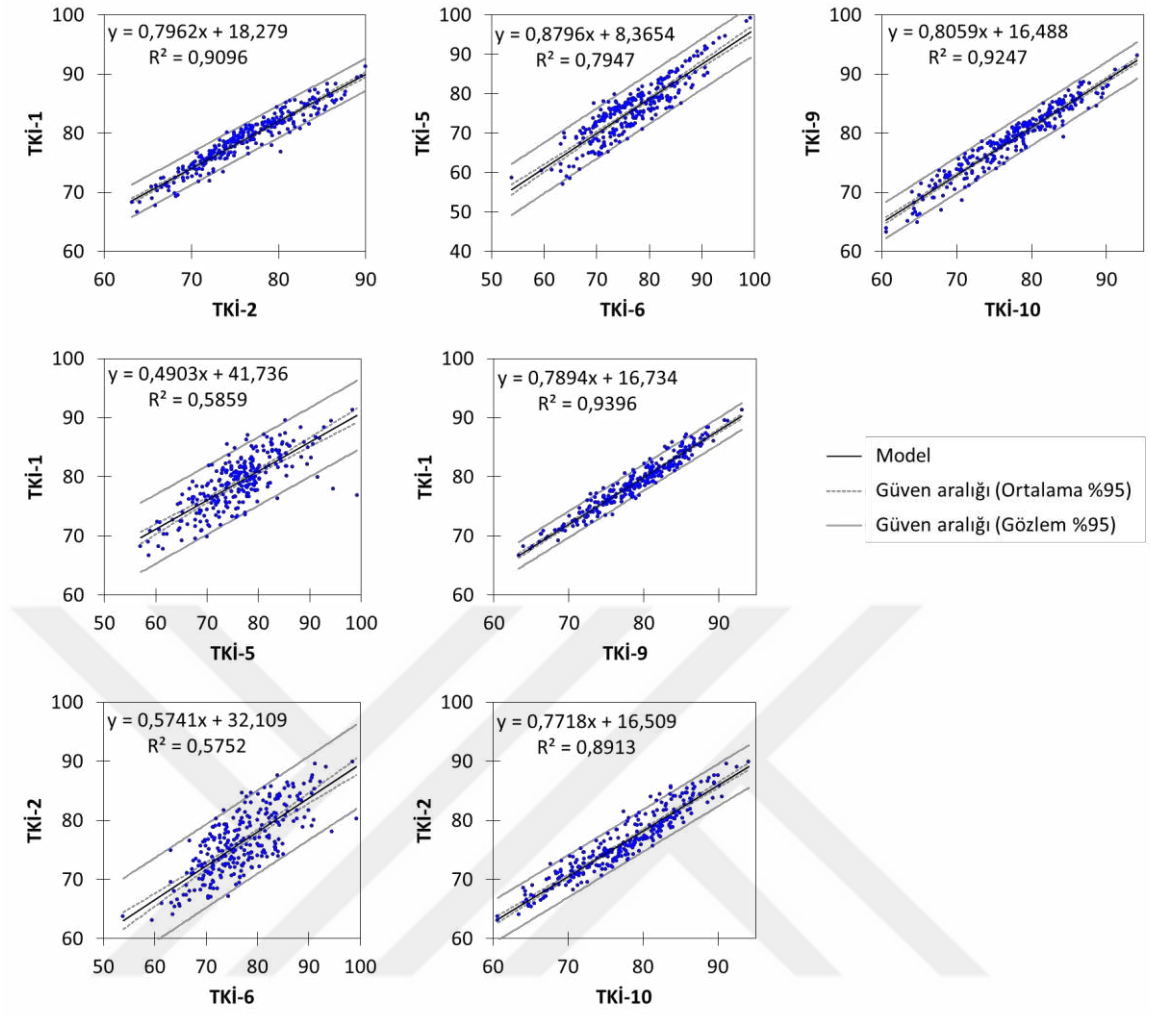
Skorlama yöntemlerinin değerlendirildiği Kappa analizinde sadece TKİ-2 ile TKİ-4 arasında bir uyum bulunmuştur (Şekil 4.33). Bu uyum, oldukça düşük bir uyum olup, kötü düzeydedir. Bunun dışında geriye kalan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerin uyumunda ise istatistiksel bir ilişki bulunmamıştır. Toprak kalitesinin değerlendirilmesinde doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerin karşılaştırıldığı çalışmalarda ise bu çalışma sonuçlarının aksine her iki yöntem arasında uyum bulunmuştur (Nabiollahi ve ark., 2018; Zeraatpisheh ve ark., 2020). Nabiollahi ve ark. (2018), toprak kalitesinin değerlendirilmesinde doğrusal olmayan skorlama yönteminin en iyi yaklaşım olduğunu belirtmiştir. Skorlama yöntemlerinin kıyaslandığı bir çalışmada ağırlıklandırılmış doğrusal olmayan skorlama yönteminin daha güvenilir bir toprak kalite değerlendirmesi sağladığı rapor edilmiştir

(Askari ve Holden, 2014). Buna karşın aynı araştırmacıların bir başka çalışmasında, doğrusal skorlama yönteminin kullanıldığı indeksin en güvenilir indeks olduğu bildirilmiştir (Askari ve Holden, 2015). Bununla birlikte Zeraatpisheh ve ark. (2020) ise doğrusal skorlama yönteminde doğrusal olmayan skorlama yöntemine kıyasla daha iyi uyum gösterdiğini ifade etmiştir. Literatürde skorlama yöntemlerinin kıyaslandığı çalışmalarda bir tutarlılık olmadığı görülmüştür. Bu çalışmada da skorlama yöntemleri arasında bir uyum olmasa da, doğrusal olmayan yöntemle elde edilen göstergelerin doğrusal yöntemle kıyasla daha belirgin skorlar elde etmesi, yöntemin daha güvenilir olduğunu göstermiştir.

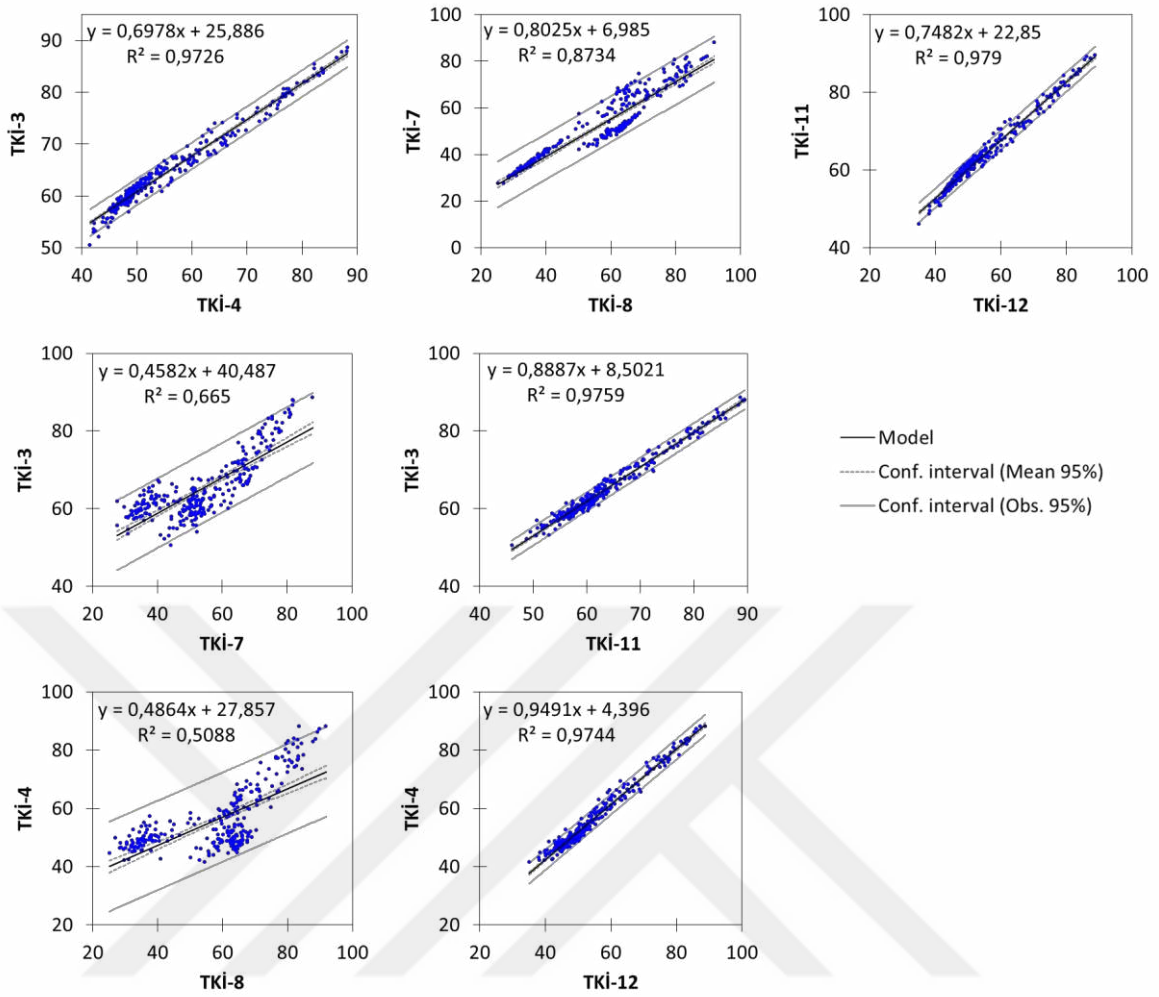


Şekil 4.33. Skorlama yöntemleri arasındaki uyum

Aralarında uyum bulunan toprak kalite indekslerinin doğrusal regresyon ile doğrulaması yapılmıştır. Regresyon analizinde R^2 'nin 1'e yakın olması beklenmektedir (Kirkwood ve Sterne, 2003). Bu kapsamda her iki skorlama yöntemi altında toprak kalite indeksleri arasındaki regresyon önemli bulunmuştur. Doğrusal skorlama yönteminin kullanıldığı indekslerde en iyi ilişki TKİ-1 ile TKİ-9 arasında elde edilmiştir (Şekil 4.34). Bununla birlikte TKİ-1 ile TKİ-2, TKİ-9 ile TKİ-10 ve TKİ-2 ile TKİ-10 arasındaki ilişkilerde yüksektir. Geriye kalan ilişkiler ise daha düşük olmuştur. Doğrusal olmayan skorlama yönteminin kullanıldığı indekslerde en iyi ilişki TKİ-11 ile TKİ-12 arasında elde edilmiştir (Şekil 4.35). TKİ-3 ile TKİ-4, TKİ-7 ile TKİ-8, TKİ-3 ile TKİ-11, TKİ-4 ile TKİ-12 arasındaki ilişkiler de yüksektir. TKİ-3 ile TKİ-7 ve TKİ-4 ile TKİ-8 indeksleri arasındaki ilişkiler ise diğerlerine göre daha düşüktür.



Şekil 4.34. Doğrusal skarlama yönteminin kullanıldığı indeksler arasındaki regresyon



Şekil 4.35. Doğrusal olmayan skorlama yönteminin kullanıldığı indeksler arasındaki regresyon

Toprak kalite indeksleri ve toprak kalite indeksi ile ilişkili olan agregat stabilitesi, organik madde ve mikrobiyal biyokütle karbonu gibi fiziksel ve biyokimyasal toprak özellikleri arasındaki korelasyon incelenmiştir (Çizelge 4.24). Bu göstergeler aynı zamanda toprak kalite çalışmalarında amenajmana hassas göstergeler olarak sıklıkla veri setlerinde yer almaktadır (Şeker ve ark., 2017b; Lisboa ve ark., 2019; Nath ve ark., 2021). Bu sebeple de amenajman uygulamaları kaynaklı meydana gelecek değişimlerin incelenmesinde farklı yöntemlerle belirlenmiş kalite indeksleri ile göstergeler arasındaki korelasyon önemli bir gösterge olacaktır. Değişkenlerin parametrik olmayan doğaları nedeni ile toprak kalite indeksleri ile göstergeler arasındaki ilişki Spearman Sıra korelasyonları hesaplanarak yapılmıştır. Agregat stabilitesi toprak kalite indekslerinin bütünü ile istatistiksel olarak önemli bir korelasyon göstermiştir. Organik madde ve mikrobiyal biyokütle karbonu göstergeleri ile TKİ-7 ve TKİ-8 indeksleri dışındaki bütün indeksler ile arasındaki ilişki önemli bulunmuştur. Genel olarak TKİ-7 ve TKİ-8 indeksleri dışındaki indekslerin kalite göstergeleri ile ilişkileri önemlidir. Bu da oluşturulan sayısal haritaların çoğunluğunda güvenilirliğin olduğunu göstermektedir. Bu indeksler içerisinde ise genel olarak yüksek korelasyon katsayılarına sahip olan TKİ-9 ve TKİ-10 indekslerinin haritalarının diğerlerine göre güvenilirliği daha yüksek olmuştur.

Çizelge 4.24. Toprak kalite indeksine ait haritaların doğruluklarını test etmek için Spearman Sıra korelasyon testi

	Toprak Kalite İndeksi												AS	OM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Toprak Kalite İndeksi	1	1.00												
	2	0.96**	1.00											
	3	0.35**	0.42**	1.00										
	4	0.26**	0.34**	0.98**	1.00									
	5	0.75**	0.76**	0.23**	0.18**	1.00								
	6	0.69**	0.73**	0.23**	0.19**	0.87**	1.00							
	7	-0.01	0.08	0.75**	0.81**	0.01	0.15*	1.00						
	8	0.01	0.10	0.63**	0.69**	0.01	0.24**	0.93**	1.00					
	9	0.97**	0.93**	0.26**	0.16**	0.75**	0.71**	-0.11	-0.08	1.00				
	10	0.91**	0.95**	0.27**	0.18**	0.72**	0.72**	-0.08	-0.04	0.96**	1.00			
	11	0.42**	0.48**	0.98**	0.94**	0.28**	0.27**	0.71**	0.59**	0.34**	0.36**	1.00		
	12	0.36**	0.44**	0.98**	0.97**	0.25**	0.23**	0.74**	0.62**	0.28**	0.30**	0.99**	1.00	
AS	0.53**	0.44**	-0.22**	-0.35**	0.32**	0.26**	-0.57**	-0.51**	0.62**	0.61**	-0.17**	-0.25**	1.00	
OM	0.66**	0.79**	0.18**	0.13*	0.57**	0.64**	-0.03	0.06	0.74**	0.87**	0.25**	0.22**	0.43**	1.00
MBK	0.49**	0.55**	0.52**	0.47**	0.43**	0.21**	0.20**	0.06	0.41**	0.42**	0.53**	0.50**	0.10	0.29**

AS: Agregat stabilitesi, OM: Organik madde, MBK: Mikrobiyal Biyokütle Karbonu TKİ-1: TVS, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-2: TVS, Doğrusal, AHP, TKİ-3: TVS, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-4: TVS, Doğrusal olmayan, AHP, TKİ-5: MVS_{PCA}, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-6: MVS_{PCA}, Doğrusal, PCA, TKİ-7: MVS_{PCA}, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-8: MVS_{PCA}, Doğrusal olmayan, PCA, TKİ-9: MVS_{UG}, Doğrusal, Basit eklemeli, TKİ-10: MVS_{UG}, Doğrusal, AHP, TKİ-11: MVS_{UG}, Doğrusal olmayan, Basit eklemeli, TKİ-12: MVS_{UG}, Doğrusal olmayan, AHP

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, Aşağı Seyhan Ovasında genetik özellikleri, ova içerisindeki dağılımları, problemleri ve üretkenlikleri birbirinden farklı olarak seçilen Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde tarımsal uygulamalara hassas toprak kalitesi göstergelerinin, toprakların çeşitli fonksiyonlarının ve genel kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Toprak sıkışması dünya genelinde tarımsal üretimde karşılaşılan problemlerden birisi olarak toprak bozunumunun en önemli nedeni konumundadır. Sıkışma aynı zamanda toprakta yarayışlı suyun ve toprak ve ürün verimliliğinin de azalmasında etkili olmaktadır. Bu kapsamda toprak sıkışmasının en önemli göstergeleri olan hacim ağırlığı ve penetrasyon direnci, her üç seride de mevcut amenajman altında yer alan topraklarda sıkışma problemi yaşanmadığını göstermektedir. Bununla birlikte özellikle hacim ağırlığı ve penetrasyon direncinin yüksek olduğu noktalarda da yarayışlı su içeriği düşük seviyededir. Bunun en temel sebebi organik madde içeriği düşük olan çalışma alanında yoğun tarımsal üretimde bulunan toprakların sürekli olarak çok sayıda/yoğunlukta geleneksel olarak işlenmesi ve anızların yakılmasıdır. Toprakların organik madde kapsamının düşük olması, mevcut amenajman kaynaklı sıkışma problemi ile yüzleşilmesinde etkili olmaktadır. Bahçelerin yoğun bulunduğu Çanakçı serisinde ise arazi çalışmalarında bazı birkaç bahçede hemen yüzey altında tabakalı bir yapı olduğu not edilmiştir. Bu nedenle, tarımsal üretimde ciddi sıkıntılara neden olabilecek sıkışmaya sebep olan uygulamaların gözden geçirilmesi gerekmektedir. Özellikle tarla tarımı yapılan yerlerde kulaklı pulluk kullanımının zorunlu olmadıkça kullanılmaması ve bunun yerine toprağı alt üst etmeden ikincil işleme aletleri ile az sayıda işlenmesi gerekmektedir. Ayrıca potansiyel organik madde kaynakları olan anızların yakılmadan yüzeye homojen bir şekilde dağıtılması ve ardından ikincil işleme aletleri ile işlenerek çalışma derinliğinde profile dağıtılması sağlanmalıdır. Bahçelerin yoğunlukta olduğu Çanakçı serisinde ise, özellikle yaşlı ağaçların bakımlarının yapılması, budama artıklarının araziden uzaklaştırılmasından ziyade, uygun koşullarda ufalanmasının sağlanması ile toprağı karıştırılması gerekmektedir. Bu sayede tarımsal üretimde kullanılan toprağın korunması ve korunurken de kullanılması sağlanacaktır.

Bitkisel üretimde etkisi her geçen gün daha da net bir şekilde kendini hissettiren iklim değişimi, arazi bozulmasına neden olan en önemli faktörlerin başında gelmektedir. İklimde meydana gelen değişimler bitkisel üretim deseninin ve dolayısıyla toprak kalitesinin de değişmesine sebep olmaktadır. Bu kapsamda özellikle son yıllarda yağışların düzensizliği ve uzun süreli kuraklıklar toprağı giren suyun daha çok yarayışlı olmasının önemini arttırmaktadır. Her üç seride yer alan toprakların yarayışlı su içerikleri genel olarak literatürde belirtilen ideal değerlerine yakındır. Organik maddenin düşük olduğu çalışma alanlarında bazı birkaç arazide ise sıkışma kaynaklı olarak toprakların yarayışlı su içeriğinin düşük olduğu görülmüştür. Çalışma alanlarında yarayışlı su içeriklerinin literatür değerlerine yakın olması veya daha düşük olması, ilerleyen dönemde su kıtlığı ile yüzleşildiğinde ciddi sıkıntılara sebep olacaktır. Bu nedenle toprakta tutulan suyu arttırmaya

yönelik toprakların organik madde kapsamı iyileştirilmelidir. Bunun için ilk olarak toprağın kulaklı pullukla alt üst edilerek işlenmesinin yerine çizel, diskaro gibi ikincil işleme aletleri ile işlenmesi organik maddenin korunması için oldukça önemli bir işlemdir. Ayrıca potansiyel organik madde kaynağı olan anızlar ve budama artıklarının araziden uzaklaştırılmasından ziyade toprağa karıştırılması zamanla organik maddenin ve toprakta yarayışlı suyun iyileşmesine katkıda bulunacaktır.

Aşağı Seyhan Ovasında pH değerleri genel olarak hafif alkalın ile nötr arasında değişmektedir. Çalışma alanlarının toprakları çok kireçlidir. Nispeten yüksek pH ve yüksek kireç içeriği başta makro elementler olmak üzere bitki beslenmesinde önemli olan elementlerin yarayışlılıklarının azalmasına ve bitkiler tarafından alımında sıkıntılar yaşanmasına neden olma potansiyeline sahiptir. Her üç seride yapılan analizler toprakta fosfor ve potasyumun yarayışlılık düzeylerinin yeterli düzeyde olduğunu göstermektedir. Hatta bazı noktalarda fazla düzeyde yarayışlı fosfor ve ekstrakte edilebilir potasyum olduğu da tespit edilmiştir. Özellikle bu alanlarda gereğinden fazla gübre kullanımına dikkat edilmelidir.

Aşağı Seyhan Ovasında Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde sodyum adsorbsiyon oranı toprakların sodyumun dispers edici tehlikesinden oldukça uzak olduğunu göstermektedir. Tuzluluk göstergesi olan elektriksel iletkenlik de benzer şekilde topraklarda tuzluluk probleminin olmadığını göstermektedir. Bölgenin yayınlanmış toprak etüd raporunda ovanın en güneyinde denize yakın konumda yer alan ve yüksek derecede tuzlu olarak tanımlanan Helvacı serisinde, drenajın iyileştirilmesi ile özellikle yüzeyde tuz birikimi azalmıştır. Buna karşın tuzlanmanın ana sebeplerinden olan geleneksel salma sulama Helvacı serisinde yer alan çalışma alanında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Geleneksel yöntemlerle tarımsal üretimde sulama, taban suyunun yükselmesine ve tuzluluğun oluşmasına neden olabileceğinden, damla sulama gibi suyu daha az kullanan ve tuzluluğun önlenmesi için yardımcı olan basınçlı sulama sisteminin kullanımı önerilmektedir.

Ova içerisinde kültür bitkilerinin yetiştiriciliği yapılırken genel olarak topraklar geleneksel yöntemlerle çok sayıda/yoğunlukta işlenmekte ve anızlar yasal olmamakla birlikte yakılmaktadır. Benzer şekilde, bahçelerde ise budama artıkları araziden uzaklaştırılmaktadır. Arazide üretilen biyokütlenin uzaklaştırılması toprakların organik madde içeriklerinin azalmasına yol açmaktadır. Her üç seride de organik madde içeriği ve organik madde ile ilişkili mikrobiyal biyokütle ve beta glikosidaz enzim aktivitesi düşük bulunmuştur. Organik maddenin düşük olduğu çalışma alanlarında toprakların sıkışmaya daha hassas olduğu görülmüştür. Bu da toprakta yarayışlı su içeriği, agregat stabilitesi, penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı gibi fiziksel özelliklerin olumsuz etkilenmesine yol açmıştır. Ova içerisinde toprak kalitesinin önemli bir göstergesi olan organik madde içeriğinin artırılması için toprağı alt üst ederek işleyen kulaklı pullukla toprak işleme yöntemi terk edilerek, çizel veya diskaro gibi toprağı devirmeden işleyen ikincil toprak işleme aletleri kullanılmalıdır. Bu aletlerin kullanımı ile işleme sayısı/yoğunluğu azalacağı için organik madde korunacak ve zamanla

toprağın organik madde içeriği artacaktır. Bu da toprakta biyolojik göstergelerin iyileşmesine ve zamanla biyoçeşitliliğin artmasına ve fiziksel koşulların iyileşmesine katkıda bulunacaktır. Benzer şekilde, bahçelerde budama artıklarının ufalanarak tekrar toprağa karıştırılması da toprağın organik madde içeriğinin artmasına katkı sağlayacaktır.

Toprak kalitesinin belirlenmesi için skorlama işleminde doğrusal ve doğrusal olmayan skorlama olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Tez kapsamında değerlendirilen bu iki yöntemde her üç çalışma alanında doğrusal olmayan yöntemle kıyasla doğrusal skorlama ile göstergelerin genelinde daha yüksek skorlar elde edilmiştir. Özellikle penetrasyon direnci, hacim ağırlığı, yarayışlı su içeriği, toprak pH'sı, organik karbon ve beta glikosidaz enzim aktivitesi doğrusal yöntem ile daha yüksek skorlar almıştır. Buna karşın agregat stabilitesi ve elektriksel iletkenlik ise tam tersi olarak doğrusal olmayan yöntemde daha yüksek skorlar almıştır. Bu göstergelerden özellikle hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, pH, organik karbon, mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta glikosidaz enzim aktivitesi AHP ile yüksek ağırlıklar aldığı için diğer göstergelere kıyasla toprak yönetim uygulamalarının değerlendirilmesinde amenajmana hassas göstergeler olarak ön plana çıkmıştır.

Doğrusal skorlama ile doğrusal olmayan skorlama yöntemleri arasındaki en büyük fark, penetrasyon direnci ile hacim ağırlığı göstergelerinde oluşmuştur. Doğrusal skorlama ile elde edilen penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı skorları her üç seride de oldukça yüksek skorlar almıştır. Bu skorlara göre toprakların sıkışmadan çok fazla etkilenmediği söylenilebilir. Ancak aynı göstergeler doğrusal olmayan yöntemle skorlandığında penetrasyon direnci çok düşük, hacim ağırlığı Arıklı ve Helvacı serilerinde düşük, Çanakçı serisinde ise orta düzeyde skorlar almıştır. Uzun süredir yoğun tarımsal üretimin yapıldığı organik madde içeriği düşük olan alanlarda hiçbir şekilde sıkışmanın olmaması muhtemel değildir. Zira yarayışlı su içeriği skorlarının da alanların genelinde doğrusal skorlama ile yüksek ve doğrusal olmayan skorlama ile düşük skorlar alması, toprakta sıkışmanın olduğuna işaret etmektedir. Bu sonuçlara göre doğrusal olmayan skorlama yönteminin daha güvenilir sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bunun dışında doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile skorlanan penetrasyon direnci diğer göstergelere kıyasla Cornell Toprak Sağlığı testi ile skorlanan tek göstergedir. Bu da SMAF ile doğrusal olmayan yöntemle skorlanan diğer göstergelerle arasında uyum olmamasına ve diğer göstergelere kıyasla oldukça düşük skorlar almasına sebep olmuştur.

Çukurova bölgesinde toprakların organik madde içerikleri düşüktür. Doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile elde edilen organik karbon skorları da bunu desteklemektedir. Buna karşın doğrusal olarak skorlanan organik karbon göstergesi ise doğrusal olmayan skorlama yöntemine kıyasla daha yüksek skorlar almıştır. Organik karbon Arıklı serisinde yüksek, Çanakçı ve Helvacı serisinde ise orta düzeyde skorlar almıştır. Doğrusal skorlama ile doğrusal olmayan skorlama yöntemleri arasındaki bir diğer fark da organik karbon skoru olmuştur. Bununla birlikte doğrusal olmayan skorlama yönteminde ağırlıklı olarak SMAF içerisinde yer alan skorlama eğrileri kullanılmıştır. SMAF içerisinde yer alan 13 adet gösterge toprak kalitesi ile ilişkili önemli göstergelerdir. Ancak bu göstergeler dışında kalan kireç, çinko, bor, katyon değişim kapasitesi,

üreez, fosfataz gibi toprak kalitesinin önemli göstergeleri olan özelliklerin skorlamaları bulunmamaktadır. Bu da SMAF'ın kullanımını sınırlamaktadır. Doğrusal skorlama yönteminin en önemli avantajı ise ölçülebilen her verinin skorlanabilmesidir. Ancak doğrusal skorlama kullanılırken, çalışılan bölgenin koşulları dikkate alınarak optimum nokta veya aralıkların belirlenerek kullanılmasına özen gösterilmelidir.

Toprak kalitesi toprağın ne derece fonksiyon gösterdiğinin bir ölçütü olarak toprak fonksiyonlarının önemini ortaya çıkarmaktadır. Bu kapsamda Aşağı Seyhan Ovasında yoğun tarımsal üretim altında bulunan toprakların verimlilik, fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme ve su ilişkileri fonksiyonları değerlendirilmiştir. Öncelikle fonksiyonlar için veri setleri oluşturulmuştur. Veri setinde yer alan göstergeler doğrusal ve doğrusal olmayan skorlama yöntemleri ile skorlanmış ve basit eklemeli ve AHP yöntemleri ile ağırlıklandırılmıştır. Doğrusal skorlamanın kullanıldığı fonksiyonlar incelendiğinde ağırlıklandırma aşamasında basit eklemeli yöntem ve AHP yöntemi arasında ciddi derecede farklılık görülmemiştir. Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde her üç fonksiyon yüksek düzeyde işlev göstermiştir. Toprakların verimlilik fonksiyonu diğer fonksiyonlara kıyasla daha yüksek indeks değerleri almıştır. Diğer iki fonksiyon ise birbirine oldukça yakın indeks değerler almıştır.

Uzun süredir yoğun tarımsal üretim altında olan toprakların fonksiyon gösterme kapasiteleri doğrusal skorlama yöntemine kıyasla doğrusal olmayan skorlama yönteminde daha belirgin hale gelmiştir. Genel olarak doğrusal skorlama yöntemi ile yüksek düzeyde indeks değerleri elde edilen fonksiyonlara kıyasla doğrusal olmayan yöntemle elde edilen fonksiyon indeks değerleri daha düşüktür. Bununla birlikte fonksiyonlara basit eklemeli yöntem yerine AHP ile ağırlıklandırma yapıldığında fonksiyon indeksleri daha da düşük elde edilmiştir. Üç fonksiyon arasında fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonu üç seride de en düşük indeks değerlerini almıştır. Üç seri arasında en yüksek verimlilik, su ilişkileri ve fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme fonksiyonlarına ait indeks değerleri Çanakçı serisinde elde edilmiştir. Diğer iki serinin fonksiyon indeksleri ise birbirine oldukça yakındır.

Doğrusal skorlama yöntemi ile özellikle penetrasyon direnci, hacim ağırlığı ve organik karbon göstergesi daha yüksek skorlar almıştır. Bu göstergeler fonksiyonların belirlenmesinde ise diğer göstergelere kıyasla daha yüksek ağırlıklar almıştır. Bu sebeple doğrusal olmayan skorlama yöntemine kıyasla doğrusal olarak skorlanan göstergelerin kullanıldığı fonksiyonlar daha yüksek indeks değerleri almıştır. Buna karşın çalışma alanlarında analizler sonucunda elde edilen değerler amenajman kaynaklı toprakların fiziksel özelliklerinin olumsuz etkilendiğini ve organik karbon içeriklerinin düşük olduğunu göstermiştir. Bunun üzerinden yapılan değerlendirmede ise doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile elde edilen fonksiyonların daha güvenilir olduğu söylenebilmektedir.

Toprakların verimlilik, fiziksel bozulmaya karşı direnç gösterme ve su ilişkileri fonksiyonlarının belirlenmesinde göstergelere ağırlık verildiğinde doğrusal skorlamanın kullanıldığı fonksiyonlarda ciddi bir fark görülmemiştir. Buna karşın doğrusal olmayan skorlama yönteminde ise

basit eklemeli yöntemle kıyasla AHP ile ağırlıklar verildiğinde fonksiyon indeks değerleri daha düşük olarak elde edilmiştir. Toprağın fonksiyon gösterme yeteneğinde meydana gelebilecek değişiklikleri belirlemek için yapılan duyarlılık testinde ise genel olarak göstergelere AHP ile farklı ağırlıklar verildiğinde duyarlılığın arttığı görülmüştür. Bu da göstergelerin toprak fonksiyonuna katkısının eşit olmadığı gerçeğini ortaya koymuştur. Bu sebeple toprağın fonksiyon gösterme kapasitesi değerlendirilirken farklı ağırlıkların kullanımı oldukça önemlidir.

Arıklı ve Çanakçı serileri toprak kalite düzeyleri bakımından ön plana çıkmıştır. Buna karşın çalışma alanının güneyinde denize yakın konumda olan Helvacı serisinde ise genel olarak en düşük indeksler elde edilmiştir. Kil içeriği yüksek olan Arıklı serisinde doğrusal skorlama yönteminin kullanıldığı TKİ-1, TKİ-2, TKİ-5, TKİ-6, TKİ-9 ve TKİ-10 indeksleri en yüksek indeks değerleri almıştır. Doğrusal olmayan skorlama yönteminin kullanıldığı TKİ-3, TKİ-4, TKİ-7, TKİ-8, TKİ-11 ve TKİ-12 indekslerinde ise en yüksek indeks değerler Çanakçı serisinde elde edilmiştir. Daha güvenilir sonuçlar ve belirgin farklar veren doğrusal olmayan skorlama yöntemi ile elde edilen kalite indeksleri dikkate alındığında ova içerisinde hemen hemen her yerde bulunan ve verimli topraklar olarak ifade edilen Çanakçı serisinde toprak kalite indeksleri diğer iki seriye kıyasla daha yüksektir. Diğer iki seride ise birbirine yakın kalite indeksi değerleri elde edilmiştir. Her üç seride ortak olarak organik madde kapsamları çok düşüktür. Ancak diğer iki seriye kıyasla toprak işlemenin daha az olduğu Çanakçı serisinde organik madde/karbon kapsamları nispeten yüksek olduğu için kalite belirlenmesinde en önemli gösterge olmuştur. Organik maddenin yüksek olması biyolojik göstergeler olan mikrobiyal biyokütle karbonunun ve beta glikosidaz enzim aktivitesinde yüksek olmasına sebep olmuştur. Toprakta fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerini etkileyen organik madde toprak kalitesinin en önemli göstergeleri arasında yer almakta ve tez sonuçları da bu durumu göstermiştir. Dolayısıyla çalışma alanları topraklarında düşük bulunan organik madde içeriklerinin bir an önce iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda organik madde içerikleri yüksek olan ahır gübresi ve solucan gübresi gibi organik kaynaklı gübrelerin tarımsal üretimde kullanılması sürdürülebilirliğin sağlanması açısından oldukça önemlidir.

Arıklı serisinde yer alan toprakların genelinde geleneksel yöntemlerle işlenmesi ve anızların yakılması organik madde içeriği ve dolayısıyla toprak kalitesinin azalmasına neden olmuştur. Helvacı serisinde ise salma sulama kullanımı ve geleneksel olarak yoğun bir şekilde işlenmesi ve ayrıca yasal olmamakla birlikte anızların yakılması, toprak kalitesinin düşmesine neden olmuştur. Mevcut amenajman uygulamaları toprakta bozunum sürecini hızlandırırken, üretimde kullanılan toprakların iyileştirilmesi adına şiddetle geleneksel uygulamalardan vazgeçilmelidir. Salma sulamanın daha az su tüketen ve su kullanım etkinliği daha yüksek olduğu bilinen damla sulama sisteminin kullanımı, son yıllarda iklim değişikliği sebebiyle karşılaşılan kuraklık ile mücadele de son derece önemlidir.

Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde toprak kalitesinde meydana gelecek değişimlerin belirlenmesi için yapılan duyarlılık testinde, doğrusal olarak skorlanan indekslere kıyasla doğrusal

olmayan yöntemlerin kullanıldığı indeksler ön plana çıkmıştır. Arıklı serisinde doğrusal olmayan yöntemle skorlanan ve PCA ile oluşturulan minimum veri setinde yer alan göstergelere temel bileşenler analizinden gelen ağırlıkların kullanılması ile hesaplanan TKİ-8 indeksi toprak kalitesinde meydana gelecek değişimleri belirlemede en duyarlı yöntemdir. Çanakçı ve Helvacı serisinde ise doğrusal olmayan yöntemle skorlanan toprak fonksiyonlarının AHP ile ağırlıklandırıldığı TKİ-12 indeksi ön plana çıkmıştır. Çalışmanın genelinde toprak kalitesinin belirlenmesinde basit eklemeli yönteme kıyasla farklı ağırlıklar kullanıldığında toprak kalite indeksleri daha düşük elde edilse de, farklı ağırlıkların kullanıldığı indekslerde duyarlılık daha yüksek olmuştur.

Minimum veri setinin kullanımına kıyasla toplam veri setinde yer alan 13 göstergeye AHP ile ağırlık verildiğinde çok sayıda göstergenin değerlendirilmesinde zorluklar yaşanmıştır. Toprak kalite değerlendirmelerinde minimum veri setinin kullanılması için veri setinde yer alan göstergelerin toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini ve süreçlerini temsil eden en az bir tane gösterge olması koşuluyla, en az beş göstergeden oluşturulabileceği literatürde bildirilmiştir. Dolayısıyla temel bileşenler analizi ile oluşturulan veri setlerinin her bir seride toprak kalitesinin belirli zamanlarda izlenmesi için kullanılabileceği belirlenmiştir. Temel bileşenler analizi sonucu oluşturulan veri setinde yer alan göstergeler Arıklı serisinde beta glikosidaz enzim aktivitesi, agregat stabilitesi, su dolu gözenek hacmi, pH, hacim ağırlığı ve yarayışlı su içeriği, Çanakçı serisinde organik karbon, su dolu gözenek hacmi, penetrasyon direnci, mikrobiyal biyokütle karbonu, elektriksel iletkenlik, yarayışlı su içeriği ve sodyum adsorbsiyon oranı ve Helvacı serisinde ise penetrasyon direnci, pH, organik karbon, beta glikosidaz enzim aktivitesi ve hacim ağırlığı olmuştur. Ayrıca bu göstergelerin çoğu bu çalışmada toprak yönetim uygulamalarının değerlendirilmesinde amenajmana hassas göstergeler olarak toplam veri seti içerisinde ön plana çıkan göstergelerdendir.

Toprak kalite indeksine ait haritaların doğruluklarını test etmek için validasyon işleminde dikkate alınan Kappa analizine göre farklı veri setleri ve ağırlıklandırma yöntemlerinin kullanıldığı toprak kalite indekslerinin genelinde uyum belirlenmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan skorlama yöntemi altında her bir veri setindeki göstergelere eşit ağırlık ve farklı ağırlıklar verildiğinde kalite indekslerinin birbiri arasında bir uyum belirlenmiştir. Toprak kalite indekslerinin aralarındaki bu uyum, regresyon katsayısı ile de doğrulanmıştır. Bu uyum sadece uzman görüşü dikkate alınarak fonksiyonların değerlendirildiği TKİ-11 ile TKİ-12 arasında elde edilememiştir. Bu sonuçlar toprak kalite indeksinin belirlenmesinde çok sayıda verinin kullanılmasından ziyade daha az veri ile değerlendirilebileceğini ve zaman ve maliyetten tasarruf edilebileceğini göstermektedir. Çalışmada agregat stabilitesinin toprak kalite indekslerinin bütünü ile istatistiksel olarak önemli bir korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte organik madde ve mikrobiyal biyokütle karbonu göstergeleri ile TKİ-7 ve TKİ-8 indeksleri dışındaki bütün indeksler ile arasındaki ilişki önemli bulunmuştur. Genel olarak bakıldığında TKİ-7 ve TKİ-8 indeksleri dışındaki indekslerin kalite göstergeleri ile ilişkileri önemlidir. Bu da oluşturulan sayısal haritaların çoğunluğunda güvenilirliğin olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, Aşağı Seyhan Ovasında yer alan ve önemli bir yer tutan Arıklı, Çanakçı ve Helvacı serilerinde toprağın fonksiyon gösterme yeteneği üzerine amenajmanın etkilerini değerlendirmek için hassas göstergeler belirlenmiştir. Çalışmada toprak kalitesinin bu serilerde öncelikle sürdürülebilir olması ve sonrasında da iyileştirilebilmesi için mevcut amenajman yöntemlerinin değiştirilmesine ihtiyaç duyulmakta ve dolayısıyla toprak kalitesinin belirli aralıklarla izlenmesi gerekmektedir. Toprak kalitesinin izlenmesi ile iklim değişiminin daha net hissedildiği günümüzde tarımsal üretimde kullanılan toprakların korunması, korunurken de kullanılması mümkün olacaktır.





KAYNAKLAR

- Abbasi, M. K., ve Adams, W. A., 2000. Gaseous N emission during simultaneous nitrification–denitrification associated with mineral N fertilisation to a grassland soil under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 32: 1251–1259.
- Abdellatif, M. A., El Baroudy, A. A., Arshad, M., Mahmoud, E. K., Saleh, A. M., Moghanm, F. S., Shaltout, K. M., Eid, E.M., ve Shokr, M. S., 2021. A GIS-based approach for the quantitative assessment of soil quality and sustainable agriculture. *Sustainability*, 13(23): 13438.
- AbdelRahman, M. A. E., Shalaby, A., ve Mohamed, E. S., 2019. Comparison of two soil quality indices using two methods based on geographic information system. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 22(2): 127-136.
- AbdelRahman, M. A. E., ve Tahoun, S., 2019. GIS model-builder based on comprehensive geostatistical approach to assess soil quality. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13: 204-214.
- Abu-Hamdeh, N. H., 2003. Soil compaction and root distribution for okra as affected by tillage and vehicle parameters. *Soil and Tillage Research*, 74: 25-35.
- Acar, M., Celik, I., ve Günel, H., 2018. Effects of long-term tillage systems on aggregate-associated organic carbon in the eastern Mediterranean region of Turkey. *Eurasian Journal of Soil Science*, 7(1): 51-58.
- Acar, M., Günel, H., ve Çelik, İ., 2020. Tarımsal ve Çevresel Sürdürülebilirliğin Sağlanmasında Toprak İşlevselliği. *Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Akademik Çalışmalar – II. Gece Kitaplığı* s. 37-57.
- Acir, N., 2014. Kurak ve yarı-kurak bölge topraklarının toprak kalitesinin belirlenmesinde kullanılacak minimum veri setlerinin hazırlanması. Doktora tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, 225 s.
- Acir, N., 2019. Assessment of production service capacity by soil quality evaluations. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(10): 7030-7041.
- Acir, N., Günel, H., Celik, I., Barut, Z. B., Budak, M., ve Kılıç, Ş., 2022. Effects of long-term conventional and conservational tillage systems on biochemical soil health indicators in the Mediterranean region. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 68(6): 795-808.
- Acir, N., Günel, H., ve Çelik, İ., 2020. Organik madde uzaklaştırılmasının parçacık büyüklük dağılımına etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(1): 106-114.
- Acir, N., ve Günel, H., 2020. Soil quality of a cropland and adjacent natural grassland in an arid region. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 15(2): 275 – 288.
- Akbaş, F. 2004. Entisol ordosuna ait bir arazide bazı toprak özelliklerinin değişiminin geleneksel ve jeostatistiksel yöntemlerle belirlenmesi. Doktora tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, 113 s.

- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F., Ingelmo, F., 2000. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Bioresource technology*, 75(1): 43-48.
- Alvaro-Fuentes, J., Morell, F. J., Madejon, E., Lampurlanes, J., Arrue, J. L., ve Cantero-Martínez, C., 2013. Soil biochemical properties in a semiarid Mediterranean agroecosystem as affected by long-term tillage and N fertilization. *Soil and Tillage Research*, 129: 69–74.
- Alvear, M., Rosas, A., Rouanet, J. L., ve Borie, F., 2005. Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile. *Soil and Tillage Research*, 82(2): 195-202.
- Amirinejad, A. A., Kamble, K., Aggarwal, P., Chakraborty, D., Pradhan, S., ve Mittal, R. B., 2011. Assessment and mapping of spatial variation of soil physical health in a farm. *Geoderma*, 160: 292–303.
- Amorim, H. C., Ashworth, A. J., Wienhold, B. J., Savin, M. C., Allen, F. L., Saxton, A. M., Owens, P.R. ve Curi, N., 2020. Soil quality indices based on long-term conservation cropping systems management. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3(1): e20036.
- Anderson, J. P. E., ve Domsch, K. H., 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil, *Soil Biology and Biochemistry*, 10(3): 215-221.
- Andrews, S. S., Karlen, D. L., ve Cambardella, C. A., 2004. The soil management assessment framework. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6): 1945-1962.
- Andrews, S. S., Karlen, D. L., ve Mitchell, J. P., 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 90: 25–45.
- Andrews, S. S., ve Carroll, C. R., 2001. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications*, 11(6): 1573-1585.
- Ankenbauer, K. J., ve Loheide II, S. P., 2017. The effects of soil organic matter on soil water retention and plant water use in a meadow of the Sierra Nevada, CA. *Hydrological Processes*, 31(4): 891-901.
- Anonim, 2018. <http://www.stat.gen.tr/index.php?istek=sinif&dersid=ist01&konuid=pca&max=1> [Son Erişim tarihi: 25 Şubat 2018].
- Anonim, 2019. http://soilquality.org/tools/interpret_indicators.html [Son Erişim tarihi: 18.12.2019].
- Anonim, 2023. Devlet Meteoroloji işleri Genel Müdürlüğü, Adana Meteoroloji İstasyonu.
- Apesteguía, M., Virto, I., Orcaay, L., Bescansa, P., Enrique, A., Imaz, M. J., ve Karlen, D. L., 2017. Tillage effects on soil quality after three years of irrigation in Northern Spain. *Sustainability*, 9(8): 1476.
- Arafat, Y., Wei, X., Jiang, Y., Chen, T., Saqib, H., Lin, S., ve Lin, W., 2017. Spatial distribution patterns of root-associated bacterial communities mediated by root exudates in different aged ratooning tea monoculture systems. *International Journal of Molecular Sciences*, 18: 1–16.

- Armenise, E., Redmile-Gordon, M. A., Stellacci, A. M., Ciccarese, A., ve Rubino, P., 2013. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*, 130: 91–98.
- Arslan, H., Günal, H., Güler, M., Cemek, B., ve Acir, N., 2013. Assesment the soil properties affecting salinity and sodicity of bafra plain using multivariate statistical technigues. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8(1): 81-90.
- ASAE, 1994. Soil cone penetrometers. S313.2 in standards engineering practices data. St. Joseph, MI: ASAE Standards.
- Asio, V. B., Jahn R., Perez F. O., Navarrete I. A., ve Abit Jr S. M., 2009. A review of soil degradation in the Philippines. *Annals of Tropical Research*, 31(2): 69-94.
- Askari, M. S., ve Holden, N. M., 2014. Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. *Geoderma*, 230-231: 131-142.
- Askari, M. S., ve Holden, N. M., 2015. Quantitative soil quality indexing of temperate arable management systems. *Soil and Tillage Research*, 150: 57–67.
- Audsley, E., Alber, S., ve Gemeinschaften, E., 1997. Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture (p. 139). European Comm., DG VI Agriculture.
- Avrupa Çevre Ajansı, 2009. Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought. EEA Report No. 2.
- Ayers, R. S., Westcot, ve D. W., 1985. Water quality for agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Vol. 29.
- Aziz, I., Mahmood, T., ve Islam, K. R., 2013. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. *Soil and Tillage Research*, 131: 28-35.
- Babujia, L. C., Hungria, M., Franchini, J. C., ve Brookes, P. C., 2010. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(12): 2174-2181.
- Bai, Z., Li, H., Yang, X., Zhou, B., Shi, X., Wang, B., Li, D., Shen, J., Chen, Q., Qin, W., Oenema, O., ve Zhang, F., 2013. The critical soil P levels for crop yield, soil fertility and environmental safety in different soil types. *Plant and Soil*, 372: 27-37.
- Bakr, N., Weindorf, D. C., Bahnassy, M. H., ve El-Badawi, M. M., 2012. Multi-temporal assessment of land sensitivity to desertification in a fragile agro-ecosystem: Environmental indicators. *Ecological indicators*, 15(1): 271-280.
- Baquero, J.E., Ralisch, R., Medina, C.C., Tavares Filho, J., ve Guimarães, M.F., 2012. Soil physical properties and sugarcane root growth in a red Oxisol. *Revista Brasileira Ciencia do Solo*, 36: 63–70.
- Basak, N., Datta, A., Biswas, S., Mitran, T., ve Mandal, B., 2016. Organic amendment influences soil quality in farmers’ field under rice-based cropping systems in Indo-Gangetic Plains of India. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 64(2): 138-147.

- Batey, T., 2009. Soil compaction and soil management—a review. *Soil use and management*, 25(4): 335-345.
- Batey, T., ve McKenzie, D. C., 2006. Soil compaction: identification directly in the field. *Soil Use and Management*, 22: 123– 131.
- Bayram, M., Günal, H., ve Özgöz, E., 2015. Sürdürülebilir Toprak İşleme Yöntemlerinin Belirlenmesinde Toprak Kalitesi Değerlendirmelerinin Önemi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(3): 337-346.
- Beare, M. H., ve Bruce, R. R., 1993. A Comparison of Methods for Measuring Water Stable Aggregates: Implications for Determining Environmental Effects on Soil Structure. *Geoderma*, 56: 87-104.
- Beaufoy, G., 2002. The environmental impact of olive oil production in the European Union: Practical options for improving the environmental impact. *European Forum on Nature Conservation and Pastoralism*.
- Behera, S. K., ve Shukla, A. K., 2015. Spatial distribution of surface soil acidity, electrical conductivity, soil organic carbon content and exchangeable potassium, calcium and magnesium in some cropped acid soils of India. *Land Degradation & Development*, 26(1): 71-79.
- Bell, M., Seymour, N., Stirling, G. R., Stirling, A. M., Van Zwieten, L., Vancov, T., Sutton, G., ve Moody, P., 2006. Impacts of management on soil biota in Vertosols supporting the broadacre grains industry in northern Australia. *Soil Research*, 44(4): 433-451.
- Bending, G. D., Turner, M. K., Rayns, F., Marx, M. C., ve Wood, M., 2004. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(11): 1785-1792.
- Bengough, A. G., Bransby, M. F., Hans, J., McKenna, S. J., Roberts, T. J., ve Valentine, T. A., 2005. Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. *Journal of Experimental Botany*, 57(2): 437–447.
- Bengough, A. G., ve Mullins, C. E., 1990. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. *European Journal of Soil Science*, 41: 341–358.
- Beretta, G., Granata, P., Ferrero, M., Orioli, M., ve Facino, R. M., 2005. Standardization of antioxidant properties of honey by a combination of spectrophotometric/fluorimetric assays and chemometrics. *Analytica Chimica Acta*, 533(2): 185-191.
- Bhunia, G. S., Chatterjee, U., Shit, P. K., ve Kashyap, A., 2021. Wasteland reclamation and geospatial solution: existing scenario and future strategy. *Modern Cartography Series*, 10: 87-113. Academic Press.

- Bıkmaz Bilgen, Ö., ve Doğan, N., 2017. Puanlayıcılar Arası Güvenilirlik Belirleme Tekniklerinin Karşılaştırılması. Eğitimde ve Psikolojide Ölçme ve Değerlendirme, 8(1): 63-78.
- Biswas, S., Hazra, G. C., Purakayastha, T. J., Saha, N., Mitran, T., Roy, S. S., Basak, N., ve Mandal, B., 2017. Establishment of critical limits of indicators and indices of soil quality in rice-rice cropping systems under different soil orders. Geoderma, 292: 34-48.
- Blake, G. R., ve Hartge, K. H., 1986. Bulk Density In: Klute, A., (Ed.). Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods, 2nd Edition, Agronomy Monograph No.9, Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 363-375.
- Blanco-Canqui, H., ve Lal, R., 2008. Soil and water conservation. Principles of soil conservation and management. Springer, p 1-19.
- Blanco-Canqui, H., ve Ruis, S. J., 2018. No-tillage and soil physical environment. Geoderma, 326: 164-200.
- Bongiorno, G., Bünemann, E. K., Oguejiofor, C. U., Meier, J., Gort, G., Comans, R., Mader, P., Brussaard, L., ve de Goede, R., 2019. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. Ecological Indicators, 99: 38-50.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Oost, K. V., Montanarella, L., ve Panagos, P., 2017. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. Nature Communications, 8(1).
- Bradford, J. M., Ferris, J. E., ve Remley, P. A., 1987. Interrill soil erosion processes: II. Relationship of splash detachment to soil properties. Soil Science Society of America Journal, 51:1571-1575.
- Brejda, J. J., Moorman, T. B., Karlen, D. L., ve Dao, T. H., 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators I. Central and Southern High Plains. Soil Science Society of America Journal, 64(6): 2115-2124.
- Brevik, E. C., ve Sauer, T. J., 2015. The past, present, and future of soils and human health studies. Soil, 1: 35-46.
- Bronick, C. J., ve Lal, R., 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA. Soil and Tillage Research, 81(2): 239-252.
- Budak, M., Günal, H., Çelik, İ., Acir, N., ve Sırrı, M. 2018a. Dicle Havzası Toprak Özelliklerinin Yersel Değişimlerinin Jeostatistik ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Belirlenmesi ve Haritalanması. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 5(2): 103-115.
- Budak, M., Günal, H., Çelik, İ., Yıldız, H., Acir, N., ve Acar, M., 2018b. Soil quality assesment of upper tigris basin. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 13(1): 301- 316.

- Budak, M., Günal, H., Çelik, İ., Yıldız, H., Acir, N., ve Acar, M., 2018c. Environmental sensitivity to desertification in northern Mesopotamia; application of modified MEDALUS by using analytical hierarchy process. *Arabian Journal of Geosciences*, 11: 481.
- Budak, M., Günal, H., Kiliç, O. M., ve Acir, N., 2020. Monitoring the land degradation neutrality in saline and sodic lands after reclamation and agricultural activities. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 7(2): 172-182.
- Budak, M., ve Kılıç, M., 2022. Arazi bozulması ve toprak kalitesi ilişkisi. *Toprak Kalitesi ve Değerlendirilmesi*, İKSAD Yayınevi, s 5-44.
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., de Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mader, P., Pulleman, M., Sukkel, W., ve Brussaard, L., 2018. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120: 105-125.
- Burrough, P. A., 1991. Sampling designs for quantifying map unit composition. *Spatial Variabilities of Soils and Landforms*. SSSA Special Publication No: 28, pp. 89-125.
- Busari, M. A., Kukal, S. S., Kaur, A., Bhatt, R., ve Dulazi, A. A. 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International soil and water conservation research*, 3(2): 119-129.
- Busscher, W. J., 1990. Adjustment of Flat-Tipped Penetrometer Resistance Data to a Common Water Content. *Transactions of the ASAE*, 33: 519-524.
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., ve Konopka, A. E., 1994. Field-Scale Variability Soil Properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 1501-1511.
- Campbell, C. A., Janzen, H. H., ve Juma, N. G., 1997. Case studies of soil quality in the Canadian Prairies: long term field experiments. *Soil Quality for Crop Production*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 351–397.
- Cangir, C., ve Erdem, D. B., 2008. İklim değişikliği ve çölleşme veya toprak/arazi bozulmasının Türkiye'deki boyutları ve çölleşme ile mücadele. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(2):169-186.
- Canton, Y., Solé-Benet A., Asensio C., Chamizo S., ve Puigdefábregas J., 2009. Aggregate stability in range sandy loam soils relationships with runoff and erosion. *Catena*, 77(3): 192-199.
- Carter, M. R., 1990. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loam. *Canadian Journal of Soil Science*, 70: 425-433.
- Celik, I., Barut, Z. B., Ortas, I., Gok, M., Demirbas, A., Tulun, Y., ve Akpınar, C., 2011. Impacts of different tillage practices on some soil microbiological properties and crop yield under semi-arid Mediterranean conditions. *International Journal of Plant Production* 5(3): 237-254.
- Çelik, İ., Günal, H., Acar, M., Acir, N., Bereket Barut, Z., ve Budak, M., 2019. Strategic tillage may sustain the benefits of long-term no-till in a Vertisol under Mediterranean climate. *Soil and Tillage Research*, 185: 17-25.

- Çelik, İ., Günal, H., Acar, M., Acir, N., Bereket Barut, Z., ve Budak, M., 2020. Evaluating the long-term effects of tillage systems on soil structural quality using visual assessment and classical methods. *Soil Use and Management*, 36(2): 223-239.
- Celik, I., Günal, H., Acar, M., Gök, M., Bereket Barut, Z., ve Pamiralan, H., 2017. Long-term tillage and residue management effect on soil compaction and nitrate leaching in a Typic Haploxerert soil. *International Journal of Plant Production*, 11(1): 131-149.
- Çelik, İ., Günal, H., Acir, N., Barut, Z. B., ve Budak, M., 2021. Soil quality assessment to compare tillage systems in Cukurova Plain, Turkey. *Soil and Tillage Research*, 208: 104892.
- Celik, I., Turgut, M. M., ve Acir, N., 2012. Crop rotation and tillage effects on selected soil physical properties of a Typic Haploxerert in an irrigated semi-arid Mediterranean region. *International Journal of Plant Production*, 6(4): 457-480.
- Cetin, M., ve Kırdı, C., 2003. Spatial and temporal changes of soil salinity in a cotton field irrigated with low-quality water. *Journal of Hydrology*, 272: 238-249.
- Cetin, M., ve Ozcan, H., 1999. Problems encountered in the irrigated and non-irrigated areas of the Lower Seyhan Plain and recommendations for solution: a case study. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(1): 207–218.
- Chen, S., Lin, B., Li, Y., ve Zhou, S., 2020. Spatial and temporal changes of soil properties and soil fertility evaluation in a large grain-production area of subtropical plain, China. *Geoderma*, 357: 113937.
- Chen, S., Qi, G., Luo, T., Zhang, H., Jiang, Q., Wang, R., ve Zhao, X., 2018. Continuous-cropping tobacco caused variance of chemical properties and structure of bacterial network in soils. *Land Degradation & Development*, 29: 4106–4120.
- Chen, Y. D., Wang, H. Y., Zhou, J. M., Xing, L., Zhu, B. L., Zhao, Y. C., ve Chen, X. Q., 2013. Minimum data set for assessing soil quality in farmland of Northeast China. *Pedosphere*, 23(5): 564-576.
- Cheng, J., Ding, C., Li, X., Zhang, T., ve Wang, X., 2016. Soil quality evaluation for novel orange production systems in central subtropical China. *Soil and Tillage Research*, 155: 225-232.
- Chenu, C., ve Guerif, J., 1991. Mechanical strength of clay minerals as influenced by an adsorbed polysaccharide. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 1076–1080.
- Cherubin, M. R., Eitelwein, M. T., Fabbris, C., Weirich, S. W., Silva, R. F., Silva, V. R., ve Basso, C. J., 2015. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39: 615-25.
- Cherubin, M. R., Karlen, D. L., Cerri, C. E. P., Franco, A. L. C., Tormena, C. A., Davies, C. A., ve Cerri, C. C., 2016a. Soil Quality Indexing Strategies for Evaluating Sugarcane Expansion in Brazil. *PLOS ONE*, DOI:10.1371/journal.pone.0150860

- Cherubin, M. R., Karlen, D. L., Franco, A. L., Tormena, C. A., Cerri, C. E., Davies, C. A., ve Cerri, C. C., 2016b. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. *Geoderma*, 267: 156-168.
- Cherubin, M. R., Tormena, C. A., ve Karlen, D. L., 2017. Soil quality evaluation using the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in Brazilian Oxisols with contrasting texture. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41. DOI: 10.1590/18069657rbcs20160148
- Cohen, J., 1968. Weighted kappa: nominal scale agreement provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin*, 70(4): 213.
- Contador, J. L., Schnabel, S., Gutierrez, A. G., ve Fernandez, M. P., 2009. Mapping sensitivity to land degradation in Extremadura. SW Spain. *Land Degradation & Development*, 20(2): 129-144.
- Coppens, F., Merckx, R., ve Recous, S., 2006. Impact of crop residue location on carbon and nitrogen distribution in soil and in water-stable aggregates. *European Journal of Soil Science*, 57(4): 570-582.
- Cox, C., Jin, L., Ganjegunte, G., Borrok, D., Loughheed, V., ve Ma, L., 2018. Soil quality changes due to flood irrigation in agricultural fields along the Rio Grande in western Texas. *Applied Geochemistry*, 90: 87-100.
- Craul, P. J., 1999. *Urban Soils: Applications and Practices*. Wiley, Toronto.
- Çullu, M. A., Aydemir, S., Almaca, A., Öztürkmen, A. R., Sönmez, O., Binici, T., Bilgili, A. V., Yılmaz, G., Dikilitaş, M., Karakaş Dikilitaş, S., Sakin, E., Şahin, Y., Aydoğdu, M., Aydemir, A., ve Çeliker, M., 2010. Harran Ovası Tuzluluk Haritasının Oluşturulması ve Tuzlulaşmanın Bitkisel Verim Kayıplarına Etkisinin Tahmini. T.C. Başbakanlık GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı. Proje Raporu. Şanlıurfa.
- D'Hose, T., Cougnon, M., de Vlieghe, A., Vandecasteele, B., Viaene, N., Cornelis, W., Bockstaele, E.V., and Reheul, D., 2014. The positive relationship between soil quality and crop production: A case study on the effect of farm compost application. *Applied Soil Ecology*, 75: 189-198.
- da Luz, F. B., da Silva, V. R., Mallmann, F. J. K., Pires, C. A. B., Debiase, H., Franchini, J. C., ve Cherubin, M. R., 2019. Monitoring soil quality changes in diversified agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 281: 100-110.
- da Luz, F. B., da Silva, V. R., Mallmann, F. J. K., Pires, C. A. B., Debiase, H., Franchini, J. C., ve Cherubin, M. R., 2019. Monitoring soil quality changes in diversified agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 281: 100-110.

- da Silva, A. F., Barbosa, A. P., Zimback, C. R. L., Landim, P. M. B., ve Soares, A., 2015. Estimation of croplands using indicator kriging and fuzzy classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 111: 1–11.
- Dai, F., Lv, Z., ve Liu, G., 2018. Assessing soil quality for sustainable cropland management based on factor analysis and fuzzy sets: A case study in the Lhasa River Valley, Tibetan Plateau. *Sustainability*, 10: 3477.
- Danielson, R. E., ve Sutherland, P. L. 1986. Porosity. *Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition, Agronomy Monograph No.9, Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 443-461.
- de Andrade Barbosa, M., de Sousa Ferraz, R. L., Coutinho, E. L. M., Neto, A. M. C., da Silva, M. S., Fernandes, C., ve Rigobelo, E. C., 2019. Multivariate analysis and modeling of soil quality indicators in long-term management systems. *Science of the Total Environment*, 657: 457-465.
- de la Rosa, D., Mayol, F., Diaz-Pereira, E., Fernandez, M., ve de la Rosa Jr, D., 2004. A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection with special reference to the Mediterranean region. *Environmental Modelling & Software*, 19: 929-942.
- de Oliveira, I. N., de Souza, Z. M., Lovera, L. H., Farhate, C. V. V., Lima, E. D. S., Esteban, D. A. A., ve Fracarolli, J. A., 2019. Least limiting water range as influenced by tillage and cover crop. *Agricultural Water Management*, 225: 105777.
- de Paul Obade, V., ve Lal, R., 2014. Soil quality evaluation under different land management practices. *Environmental Earth Sciences*, 72: 4531-4549.
- de Rouw, A., ve Rajot, J. L., 2004. Soil organic matter, surface crusting and erosion in Sahelian farming systems based on manuring or fallowing. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104(2): 263–276.
- Deiss, L., Franzluebbers, A. L., ve Moraes, D. A., 2017. Soil Texture and Organic Carbon Fractions Predicted from Near-Infrared Spectroscopy and Geostatistics. *Soil Science Society of America Journal*, 81(5): 1222-1234.
- Dengiz, O., 2020. Soil quality index for paddy fields based on standard scoring functions and weight allocation method. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(3): 301-315.
- Dengiz, O., Özyazıcı, M. A., ve Sağlam, M., 2015. Multi-criteria assessment and geostatistical approach for determination of rice growing suitability sites in Gokirmak catchment. *Paddy and Water Environment*. DOI: 10.1007/s10333-013-0400-4
- Dexter, A. R., Richard, G., Arrouays, D., Czyz, E. A., Jolivet, C., ve Duval, O., 2008. Complexed organic matter controls soil physical properties *Geoderma*, 144: 620-627.
- Diaz-Zorita, M., 2000. Effect of deep-tillage and nitrogen fertilization interactions on dryland corn (*Zea mays* L.) productivity. *Soil and Tillage Research*, 54: 11-19.

- Dinç, U., Sarı, M., Şenol, S., Kapur, S., Sayın, M., Derici, R., Çavuşgil, V., Gök, M., Aydın, M., Ekinci, H., ve Ağca, N., 1995. Çukurova Bölgesi Toprakları. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yardımcı Ders Kitabı No:26 sayfa 172.
- Dinç, U., Şenol, S., Kapur, S., Cangir, C., ve Atalay, İ., 2013. Türkiye Toprakları. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yardımcı Ders Kitabı No:51 sayfa 233.
- Dobermann, A., Witt, C., Abdulrachman, S., Gines, H. C., Nagarajan, R., Son, T. T., Tan, P. S., Wang, G. H., Chien, N. V., Thoa, V. T. K., Phung, C. V., Stalin, P., Muthukrishnan, P., Ravi, V., Babu, M., Simbahan, G. C., ve Adviento, M. A. A., 2003. Soil fertility and indigenous nutrient supply in irrigated rice domains of Asia. *Agronomy Journal*, 95(4): 913-923.
- Doran, J. W., ve Linn, D. M., 2018. Microbial Ecology of Conservation Management Systems. *Soil Biology: Effects on Soil Quality*, s. 1-28.
- Doran, J. W., ve Parkin, T. B., 1994. Defining and assessing soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, WI: SSSA; pp.1-20.
- Doran, J. W., ve Parkin, T. B., 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- du Plessis, A., 2019. Current and Future Water Scarcity and Stress. In: Du Plessis A (ed.), *Water as an Inescapable Risk*, Springer, 13-25.
- Du, E., Terrer, C., Pellegrini, A. F., Ahlstrom, A., van Lissa, C. J., Zhao, X., Xia, N., Wu, X., ve Jackson, R. B., 2020. Global patterns of terrestrial nitrogen and phosphorus limitation. *Nature Geoscience*, 13: 221-226.
- Dünya Bankası, 2006. Reengaging in Agricultural Water Management. Challenges and Options. Washington, DC.
- Ekmekçi, E., Apan, M., ve Kara, T., 2005. Tuzluluğun bitki gelişimine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(3): 118-125.
- Erşahin, S., 1999. Aluviyal Bir Tarlada Bazı Fiziksel ve Kimyasal Toprak Özelliklerinin Uzaysal (Spatial) Değişkenliğinin Belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(19): 34-41.
- Erşahin, S., 2015. Toprak Amenajmanı kitabı. Bölüm-1 Toprak Amenajmanının Önemi, sayfa 1-19. Gazi kitapevi, Ankara.
- Esmailzadeh, J., ve Ahangar, A. G., 2014. Influence of soil organic matter content on soil physical, chemical and biological properties. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 4(4): 244-252.
- Eswaran, H., Lal, R., ve Reich, P. F., 2019. Land degradation: an overview. *Response to land degradation*, CRC Press, p. 20-35.
- FAO, 1990. Micronutrient, Assessment at the Country Level: An International Study. *FAO Soil Bulletin by Sillanpaa*, Rome.

- FAO, 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR)—Main report. Natural Resources and Environment Department, Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS), Rome, Italy.
- Fenetahun, Y., ve XU-Xinwen, W. Y. D., 2019. Assessing Rangeland-Soil Degradation Induced By Over Grazing. In Case Of Yabello Rangeland Southern Ethiopia. Haya: The Saudi Journal of Life Sciences. DOI:10.21276/haya.2019.4.2.4
- Field, A., 2000. "Discovering Statistics using SPSS for Windows Sage Publications. London, 2: 44-322.
- Franzluebbers, A. J., 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research*, 66(2): 197–205.
- Fu, W., Tunney, H., ve Zhang, C., 2010. Spatial variation of soil nutrients in a dairy farm and its implications for site-specific fertilizer application. *Soil and Tillage Research*, 106(2): 185-193.
- Fullen, M. A., ve Catt, J. A., 2004. *Soil Management: Problems and Solutions*. Routledge, Arnold, London, p. 269.
- Gallardo, A., ve Paramá, R., 2007. Spatial variability of soil elements in two plant communities of NW Spain. *Geoderma*, 139(1): 199-208.
- Ge, G., Li, Z., Fan, F., Chu, G., Hou, Z., ve Liang, Y., 2010. Soil biological activity and their seasonal variations in response to long-term application of organic and inorganic fertilizers. *Plant and Soil*, 326: 31-44.
- Gee, G. W., ve Bauder, J. W., 1986. Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1-Physical and mineralogical methods*, pp. 383-411.
- Gezgin, S., ve Hamurcu, M., 2006. Bitki beslemede besin elementleri arasindaki etkileşimin önemi ve Bor ile diğer besin elmentleri arasindaki etkileşimler. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 20(39): 24-31.
- Goovaerts, P., 1999. Geostatistics in Soil Science: State of the Art and Perspectives. *Geoderma*, 89(12): 1-45.
- Govaerts, B., Sayre, K. D., ve Deckers, J., 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research*, 87: 163–174.
- Gozukara, G., Acar, M., Ozlu, E., Dengiz, O., Hartemink, A. E., ve Zhang, Y., 2022. A soil quality index using Vis-NIR and pXRF spectra of a soil profile. *Catena*, 211: 105954.
- Grandy, A. S., ve Neff, J. C., 2008. Molecular C Dynamics Downstream: The Biochemical Decomposition Sequence and Its Impact on Soil Organic Matter Structure and Function. *Science of the Total Environment*, 404: 297–307.
- Graves, A. R., Morris, J. D., Rickson, L. K., Kibblewhite, R. J., Harris, M. G., ve Truckle, J. A., 2015. The total costs of soil degradation in England and Wales. *Ecological Economics*, 119: 399–413.

- Green, V. S., Stott, D. E., Cruz, J. C., Curi, N., 2007. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 92(1-2): 114-121.
- Grilli, E., Carvalho, S. C. P., Chiti, T., Coppola, E., D'Ascoli, R., La Mantia, T., Marzaioli, R., Mastrocicco, M., Pulido, F., Rutigliano, F. A., Quatrini, P., ve Castaldi, S., 2021. Critical range of soil organic carbon in southern Europe lands under desertification risk. *Journal of Environmental Management*, 287: 112285.
- Gugino, B. K., Abawi, G. S., Idowu, O. J., Schindelbeck, R. R., Smith, L. L., Thies, J. E., Wolfe, D.W., ve Van Es, H. M., 2009. Cornell soil health assessment training manual. Cornell University College of Agriculture and Life Sciences.
- Gül, G. O., ve Kuzucu, A., 2017. Analysis of Drought Severity in Seyhan River Basin. *European Water*, 60: 211-217.
- Gümüş, V., ve Algin, H. M., 2017. Meteorological and Hydrological Drought Analysis of The Seyhan-Ceyhan River Basins, Turkey. *Meteorological Applications*, 24: 62-73.
- Günel, E., Acir, N., ve Günel, H., 2020. Orta Karadeniz Bölgesinde Tütün Ekim Alanlarının Karbon DepolamaPotansiyeli ve Bitki Beslenme Durumlarının Mesafeye Bağlı Değişkenliği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 6(2): 68-81
- Günel, E., Acir, N., ve Günel, H., 2020. Orta Karadeniz Bölgesinde Tütün Ekim Alanlarının Karbon Depolama Potansiyeli ve Bitki Beslenme Durumlarının Mesafeye Bağlı Değişkenliği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 6(2): 68-81.
- Günel, E., ve Çelik, İ., 2022. Toprak işlemenin toprağın kalitesine etkisi. *Toprak Kalitesi ve Değerlendirilmesi*, İksad yayınevi, Ankara sf. 67-101.
- Günel, E., Wang, X., Kılıc, O. M., Budak, M., Al Obaid, S., Ansari, M. J., ve Brestic, M., 2021. Potential of Landsat 8 OLI for mapping and monitoring of soil salinity in an arid region: A case study in Dushak, Turkmenistan. *PLOS ONE*, 16(11): e0259695.
- Günel, H., Acir, N., ve Budak, M., 2012. Heavy metal variability of a native saline pasture in arid regions of central Anatolia. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7(2): 183-193.
- Günel, H., Akbaş, F., Özgöz, E., Ünlükara, A., Yıldız, H., Kurunç, A., Çetin, A., ve Ersahin, S., 2008. Kazova'da Sürdürülebilir Tarımsal Üretim İçin Gerekli Güncel Veri Tabanının Oluşturulması. TÜBİTAK Projesi Raporu, TOVAG 1050617.
- Günel, H., Önen, H., Özgöz, E., Sayılı, M., Erdem, H., Acir, N., Akbaş, F., ve Yıldız, H., 2015a. Kurak ve Yarı Kurak İki Farklı Bölgede Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesi ve İzlenebilirliği İçin Minimum Veri Setlerinin Belirlenmesi ve Yeni Skorlama Eğrilerinin Geliştirilmesi. TÜBİTAK Projesi Sonuç Raporu, Proje No: 1120039.
- Günel, H., Özgöz, E., Çelik, I., ve Acir, N., 2015b. Toprak Amenajmanı kitabı. Bölüm-4 Toprak Kalitesi, sayfa 111-133. Gazi kitapevi, Ankara.

- Guo, L., Zhao, C., Zhang, H., Chen, Y., Linderman, M., Zhang, Q., ve Liu, Y., 2017. Comparisons of spatial and non-spatial models for predicting soil carbon content based on visible and near-infrared spectral technology. *Geoderma*, 285: 280-292.
- Hakansson, I., ve Lipiec, J., 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil and Tillage Research*, 53(2): 71-85.
- Hammac, W. A., Stott, D. E., Karlen, D. L., ve Cambardella, C. A., 2016. Crop, tillage, and landscape effects on near-surface soil quality indices in Indiana. *Soil Science Society of America Journal*, 80(6): 1638-1652.
- Harris, N. L., Gibbs, D. A., Baccini, A., Birdsey, R. A., de Bruin, S., Farina, M., Fatoyinbo, L., Hansen, M. C., Herold, M., Houghton, R. A., Potapov, P. V., Suarez, D. R., RomanCuesta, R. M., Saatchi, S. S., Slay, C. M., Turubanova, S. A., ve Tyukavina, A., 2021. Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change*, 11: 234–240.
- Herrick, J. E., ve Wander, M. M., 1998. Relationships between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils: The importance of distribution, composition and soil biological activity. *Soil processes and the carbon cycle*, p. 405–425. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Hillel, D., 1980. *Fundamentals of Soil Physics*, Academic, 413 pp., New York.
- Huntington, T. G., 2016. Soil Organic Matter (SOM): Available Water Capacity. *Encyclopedia of Soil Science*, Third Edition, CRC Press, pp. 2117-2122.
- İbrikçi, H., Cetin, M., Karnez, E., Flügel, W. A., Tilkici, B., Bulbul, Y., ve Ryan, J., 2015. Irrigation-induced nitrate losses assessed in a Mediterranean irrigation district. *Agricultural Water Management*, 148: 223-231.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), 2018. The IPBES assessment report on land degradation and restoration. Secretariat of the IPBES, Bonn, Germany.
- IPCC, 2007. Climate change 2007: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 104.
- Isaaks, E. H., ve Srivastava, R. M., 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, NewYork.
- Ishaq, M., Ibrahim, M., Hassan, A., Saeed, M., ve Lal, R., 2001. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. *Soil and Tillage Research*, 60: 153–161
- Jiang, Y., Yuan, D., ve Zhang, C., 2006. Impact of Land-Use Change on Soil Properties in a Typical Karst Agricultural Region of Southwest China. *Journal of Geographical Sciences*, 50(6): 911– 918.

- Jimenez, L. C. Z., Queiroz, H. M., Cherubin, M. R., ve Ferreira, T. O., 2022. Applying the Soil Management Assessment Framework (SMAF) to Assess Mangrove Soil Quality. *Sustainability*, 14(5): 3085.
- Jin, V. L., Wienhold, B. J., Mikha, M. M., ve Schmer, M. R., 2021. Cropping system partially offsets tillage-related degradation of soil organic carbon and aggregate properties in a 30-yr rainfed agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, 209: 104968.
- Johnston, A. E., ve Poulton, P. R., 2005. Soil Organic Matter: Its Importance in Sustainable Agricultural Systems. *The International Fertiliser Society*, 565: 1–46.
- Johnston, K., Hoef, M., Krivoruchko, K., ve Lucas, N., 2001. Using ArcGIS geostatistical Analyst, New York, ESRI.
- Jolliffe, I. T., 2002. *Principal Component Analysis*. Springer-Verlag, New-York.
- Kacar, B., 1994. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III Toprak Analizleri, Ankara Üni. Zir. Fak. Eğitim Araştırma Geliştirme Vakfı Yayınları No.3.
- Kairis, O., Karavitis, C., Salvati, L., Kounalaki, A., ve Kosmas, K., 2015. Exploring the impact of overgrazing on soil erosion and land degradation in a dry Mediterranean agro-forest landscape (Crete, Greece). *Arid Land Research and Management*, 29(3): 360-374.
- Kanchikerimath, M., ve Singh, D., 2001. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize–wheat–cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. *Agriculture, ecosystems & environment*, 86(2): 155-162.
- Karaca, S., Dengiz, O., Turan, İ. D., Özkan, B., Dedeoğlu, M., Gülser, F., Sargin, B., Demirkaya, S., ve Ay, A., 2021. An assessment of pasture soils quality based on multi-indicator weighting approaches in semi-arid ecosystem. *Ecological Indicators*, 121: 107001.
- Karahan, G., Erşahin, S., ve Öztürk, H. S., 2014. Toprak koşullarına bağlı olarak tarla kapasitesi dinamiği. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 2014(1): 1-11.
- Karkaj, E. S., Sepehry, A., Barani, H., Motamedi, J., ve Shahbzi, F., 2019. Establishing a suitable soil quality index for semi-arid rangeland ecosystems in Northwest of Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. DOI: 10.1007/s42729-019-00065-4
- Karlen, D. L., Andrews, S. S., ve Wienhold, B. J., 2003. Soil Quality, Fertility and Health – Historical Context, Status and Perspective. In: *Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture*. Wallingford, Oxon. GBR. CABI Publishing. p. 17-33.
- Karlen, D. L., Andrews, S. S., Wienhold, B. J., ve Zobeck, T. M., 2008. Soil quality assessment: past, present and future. *Journal of Integrative Biosciences*, 6(1): 3-14
- Karlen, D. L., Cambardella, C.A., Kovar, J. L., ve Colvin, T. S., 2013. Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. *Soil and Tillage Research*, 133: 54–64.
- Karlen, D. L., Gardner, J. C., ve Rosek, M. J., 1998. A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. *Journal of Production Agriculture*, 11: 56–60.

- Karlen, D. L., Hurley, E. G., Andrews, S. S., Cambardella, C. A., Meek, D. W., Duffy, M. D., ve Mallarino, A. P., 2006. Crop rotation effects on soil quality at three northern corn/soybean belt locations. *Agronomy journal*, 98(3): 484-495.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., ve Schumann, G. E., 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61: 4-10.
- Karlen, D. L., ve Stott, D. E., 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America special Publication No. 35, Soil Science Society of America, Madison, WI. p. 53-72.
- Keller, T., Carizzoni, M., Berisso, F. E., Stettler, M., ve Lamande, M., 2013. Measuring the dynamic soil response during repeated wheeling using seismic methods. *Vadose Zone Journal*, 12: 1-7.
- Kemper, W. D., ve Rosenau, R. C., 1986. Aggregate stability and size distribution. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. Madison, WI. p 425-42.
- Kepler, R. M., Sung, G. H., Ban, S., Nakagiri, A., Chen, M. J., Huang, B., Li, Z., ve Spatafora, J. W., 2012. New teleomorph combinations in the entomopathogenic genus *Metacordyceps*. *Mycologia* 104: 182-197
- Keskiner, A. D., Çetin, M., Uçan, M., Şimşek, ve M., 2016. Coğrafi Bilgi Sistemleri Ortamında Standardize Yağış İndeksi Yöntemiyle Olasılıklı Meteorolojik Kuraklık Analizi: Seyhan Havzası Örneği. *Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi*, 31(2): 79-90.
- Khan, J., Singh, R., Upreti, P., ve Yadav, R. K., 2022. Geo-statistical assessment of soil quality and identification of Heavy metal contamination using Integrated GIS and Multivariate statistical analysis in Industrial region of Western India. *Environmental Technology & Innovation*, 28: 102646.
- Khangura, R., Ferris, D., Wagg, C., ve Bowyer, J., 2023. Regenerative Agriculture-A literature review on the practices and mechanisms used to improve soil health. *Sustainability*, 15(3): 2338.
- Kılıç, K., Özgöz, E., ve Akbaş, F., 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): 1-11.
- Kılıç, M., Gündoğan, R., Günel, H., ve Budak, M., 2022. An Integrated Framework to Identify and Map Gullies in a Mediterranean region of Turkey. *Geocarto International*, 1-18. DOI: 10.1080/10106049.2022.2071478
- Kirkwood, B. R., ve Sterne, J. A. C., 2003. *Regression Modelling. Medical Statistics*. Blackwell Science. Australia, 315-342.

- Klingebiel, A. A., ve Montgomery, P. H., 1961. Land capability classification. Agricultural Handbook 210, U.S.D.A, Washington.
- Klute, A., 1986. Water Retention. Laboratory Methods. Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd Ed. Agronomy 9. Am. Soc. Agron., 635-660, Madison.
- Knight, T. R., ve Dick, R. P., 2004. Differentiating microbial and stabilized b-glucosidase activity relative to soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 2089–2096.
- Koca, Y. K., Acar, M., ve Turgut, Y. Ş., 2019. Tarım topraklarının jeoistatistiksel modelleme ile kalitesinin değerlendirilmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23(4): 489-499.
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., ve Lombi, E., 2019. Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132: 105078.
- Kouassi, J. L., Gyau, A., Diby, L., Bene, Y., ve Kouamé, C., 2021. Assessing land use and land cover change and farmers' perceptions of deforestation and land degradation in South-West Côte d'Ivoire, West Africa. *Land*, 10(4): 429.
- Krige, D. G., 1951. A Statistical Approach to Some Mine Valuations and Allied Problems at Witwatersrand. University of Witwatersrand, Yüksek lisans tezi.
- Kumar, N., Singh, S. K., Mishra, V. N., Reddy, G. P. O., ve Bajpai, R. K., 2017. Soil quality ranking of a small sample size using AHP. *Journal of Soil and Water Conservation*, 16(4): 339-346.
- Lal, R., 1993. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. *Soil and Tillage Research*, 27(1): 1–8.
- Lal, R., 2005. Soil erosion and carbon dynamics. *Soil and Tillage Research*, 81: 137–142.
- Lal, R., 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation and Development*, 17: 197–209.
- Lal, R., 2007. Anthropogenic influences on world soils and implications for global food security. *Advanced in Agronomy*, 93: 69–93.
- Lal, R., 2009. Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science*, 60(2): 158-169.
- Lal, R., 2015. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5): 5875-5895.
- Lal, R., 2016. Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 5(4): 212–222.
- Lal, R., 2020. Soil organic matter and water retention. *Agronomy Journal*, 112(5): 3265-3277.
- Le Bissonnais, Y., ve Singer, M. J., 1993. Seal formation, runoff and interrill erosion from seventeen California soils. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 224–229.
- Leu, J. M., Traore, S., Wang, Y. M., ve Kan, C. E., 2010. The effect of organic matter amendment on soil water holding capacity change for irrigation water saving: Case study in Sahelian environment of Africa. *Scientific Research and Essays*, 5(23): 3564-3571.
- Li, J., ve Heap, A., 2008. A review of spatial interpolation methods for environmental scientists. *Geoscience Australia*.

- Li, P., Wu, M., Kang, G., Zhu, B., Li, H., Hu, F., ve Jiao, J., 2020. Soil quality response to organic amendments on dryland red soil in subtropical China. *Geoderma*, 373: 114416.
- Li, Y., Chang, S. X., Tian, L., ve Zhang, Q., 2018. Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 121: 50-58.
- Liang, B., Yang, X., He, X., ve Zhou, J., 2011. Effects of 17-Year Fertilization on Soil Microbial Biomass C and N and Soluble Organic C and N in Loessial Soil during Maize Growth. *Biology and Fertility of Soils*, 47: 121–128.
- Liebig, M. A., Doran, J. W., ve Gardner, J. C., 1996. Evaluation of a field test kit for measuring selected soil quality indicators. *Agronomy Journal*, 88: 683–686.
- Liebig, M. A., Miller, M. E., Varvel, G. E., Doran, J. W., ve Hanson, J. D., 2004. AEPAT: a computer program to assess agronomic and environmental performance of management practices in long-term agroecosystem experiments. *Agronomy Journal*, 96: 109-115.
- Liebig, M. A., Varvel, G., ve Doran, J., 2001. A simple performance-based index for assessing multiple agroecosystem functions. *Agronomy Journal*, 93: 313–318.
- Lima, A. C. R., Brussaard, L., Totola, M. R., Hoogmoed, W. B., ve De Goede, R. G. M., 2013. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. *Applied Soil Ecology*, 64: 194-200.
- Lima, A. C. R., Hoogmoed, W. B., Brussaard, L., ve Sacco dos Anjos, F., 2011. Farmers' assessment of soil quality in rice production systems. *NJAS -Wageningen Journal of Life Sciences*, 58: 31–38.
- Lima, A. C. R., Hoogmoed, W., ve Brussaard, L., 2008. Soil quality assessment in rice production systems: establishing a minimum data set. *Journal of Environmental Quality*, 37(2): 623–630.
- Lin, Y., Deng, H., Du, K., Li, J., Lin, H., Chen, C., ve Zhang, G., 2017. Soil quality assessment in different climate zones of China's Wenchuan earthquake affected region. *Soil and Tillage Research*, 165: 315-324.
- Lindsay, W. L., Vlek, P. L. G., ve Chien, S. H., 1989. Phosphate minerals. *Minerals in Soil Environment*, 2nd edn. Soil Science Society of America, pp. 1089-1130.
- Linn, D. M., ve Doran, J. W., 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils. *Soil Science Society of America Journal*, 48(6): 1267-1272.
- Lisboa, I. P., Cherubin, M. R., Satiro, L. S., Siqueira-Neto, M., Lima, R. P., Gmach, M. R., Wienhold, B. J., Schmer, M. R., Jin, V. L., Cerri, C. C., ve Cerri, C. E., 2019. Applying Soil Management Assessment Framework (SMAF) on short-term sugarcane straw removal in Brazil. *Industrial Crops and Products*, 129: 175-184.

- Liu, H., Colombi, T., Jäck, O., Keller, T., ve Weih, M., 2022. Effects of soil compaction on grain yield of wheat depend on weather conditions. *Science of the Total Environment*, 807: 150763.
- Liu, J., Wu, L., Chen, D., Li, M., ve Wei, C., 2017. Soil quality assessment of different *Camellia oleifera* stands in mid-subtropical China. *Applied Soil Ecology*, 113: 29-35.
- Liu, Z., Zhou, W., Shen, J., Li, S., ve Ai, C., 2014. Soil quality assessment of yellow clayey paddy soils with different productivity. *Biology and Fertility of Soils*, 50: 537-548.
- Lopes, A. A. C., Souza, D. M. G., Chaer, G. M., Reis Junior, F. B., Goedert, W. J., ve Mendes, I. C., 2013. Interpretation of Microbial Soil Indicators as a Function of Crop Yield and Organic Carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 77: 461–472.
- Lu, X., Zhang, Y., Lin, Y., Zhang, S., ve Zhao, Q., 2019. Island soil quality assessment and the relationship between soil quality and land-use type/topography. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191: 230.
- Mabit, L., Bernard, C., 2009. Spatial distribution and content of soil organic matter in an agricultural field in eastern Canada, as estimated from geostatistical tools. *Earth Surf. Process. Landforms* 35, 278–283.
- Mahajan, G., Das, B., Morajkar, S., Desai, A., Murgaokar, D., Kulkarni, R., Sale, R., ve Patel, K., 2020. Soil quality assessment of coastal salt-affected acid soils of India. *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 26221-26238.
- Mandal, U. K., Warrington, D. N., Bhardwaj, A. K., Bar-Tal, A., Kautsky, L., Minz, D., ve Levy, G. J., 2008. Evaluating impact of irrigation water quality on a calcareous clay soil using principal component analysis. *Geoderma*, 144(1-2): 189-197.
- Marzaioli, R., D'Ascoli, R., De Pascale, R. A., ve Rutigliano, F. A., 2010. Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use types. *Applied Soil Ecology*, 44: 205-212.
- Masto, R. E., Chhonkar, P. K., Singh, D., ve Patra, A. K., 2008. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilisation and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136: 419-435.
- Matheron, G., 1963. Principles of Geostatistics. *Economic Geology*, 58: 1246-1266.
- Maulood, P., ve Darwesh, D., 2020. Soil quality index models for assessing walnut orchards in northern Erbil Province, Iraq. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2): 1275-1285.
- Melero, S., Lopez-Bellido, R. J., Lopez-Bellido, L., Munoz-Romero, V., Moreno, F., ve Murillo, J. M., 2011. Long-term effect of tillage, rotation and nitrogen fertiliser on soil quality in a Mediterranean Vertisol. *Soil and Tillage Research*, 114(2): 97-107.
- Meyer, L. D., ve Harmon, W. C., 1984. Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 1152-1157.

- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington, D.C., USA.
- Mills, A. J., ve Fey, M. V., 2003. Declining soil quality in South Africa: Effects of land use on soil organic matter and surface crusting. *South African Journal of Plant and Soil*, 99(1): 429–436
- Minasny, B., ve McBratney, A. B., 2018. Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European journal of soil science*, 69(1): 39-47.
- Mishra, G., Marzaioli, R., Giri, K., Borah, R., Dutta, A., ve Jayaraj, R. S. C., 2017. Soil quality assessment under shifting cultivation and forests in Northeastern Himalaya of India. *Archives of Soil Science and Agronomy*, DOI:10.1080/03650340.2017.1281390.
- Moraes, M. T. D., Debiasi, H., Carlesso, R., Franchini, J. C., ve Silva, V. R. D., 2014b. Critical limits of soil penetration resistance in a Rhodic Eutrudox. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38: 288-298.
- Moraes, M. T. D., Debiasi, H., Franchini, J. C., Mastroberti, A. A., Levien, R., Leitner, D., ve Schnepf, A., 2020. Soil compaction impacts soybean root growth in an Oxisol from subtropical Brazil. *Soil and Tillage Research*, 200: 104611
- Moraes, M. T. D., Debiasi, H., Franchini, J. C., ve Silva, V. R. D., 2013. Soil penetration re-sistance in a rhodic eutrudox affected by machinery traffic and soil water content. *Engenharia Agrícola*. 33: 748–757.
- Moraes, M. T. D., Silva, V. R. D., Zwirtes, A. L., ve Carlesso, R., 2014a. Use of penetrometers in agriculture: a review. *Engenharia Agrícola*, 34: 179-193.
- Moraes, M. T., Debiasi, H., Carlesso, R., Franchini, J. C., da Silva, V. R., ve da Luz, F. B., 2016. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. *Soil and Tillage Research*, 155: 351-362.
- Mousavi, S. R., 2011. Zinc in Crop Production and Interaction with Phosphorus. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5: 1503-1509.
- MTA, 2009. 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları: Mersin O-34 paftası No:132. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Mukherjee, A., ve Lal, R., 2014. Comparison of Soil Quality Index Using Three Methods. *PLOS ONE*, 9(8): e105981.
- Mukhopadhyay, S., Maiti, S. K., ve Masto, R. E., 2014. Development of mine soil quality index (MSQI) for evaluation of reclamation success: A chronosequence study. *Ecological Engineering*, 71: 10-20.
- Mulla, D. J., ve McBratney, A. B., 2000. Soil Spatial Variability. *Handbook of Soil Science*. Chapter 9. CRC Press, pp. A321-A352.
- Nabiollahi, K., Golmohamadi, F., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R., ve Davari, M., 2018. Assessing the effects of slope gradient and land use change on soil quality degradation through digital mapping of soil quality indices and soil loss rate. *Geoderma*, 318: 16-28.

- Nabiollahi, K., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R., ve Moradian, S., 2017. Assessment of soil quality indices for salt-affected agricultural land in Kurdistan Province, Iran. *Ecological indicators*, 83: 482-494.
- Nath, C. P., Kumar, N., Das, K., Hazra, K. K., Praharaj, C. S., ve Singh, N. P., 2021. Impact of variable tillage based residue management and legume based cropping for seven years on enzymes activity, soil quality index and crop productivity in rice ecology. *Environmental and Sustainability Indicators*, 10: 100107.
- Nayyar, A., Hamel, C., Lafond, G., Gossen, B. D., Hanson, K., ve Germida, J., 2009. Soil microbial quality associated with yield reduction in continuous-pea. *Applied Soil Ecology*, 43: 115–121
- Negaresh, H., Rakhshani, Z., Firoozi, F., ve Alinia, H., 2016. Desertification assessment using the analytic hierarchy process and GIS in southeast Iran. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 98(1): 1-14.
- Nelson, D. W., ve Sommers, L. E., 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. *Methods of Soil Analysis, Part 2*, pp. 574-577. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Ed. SSS of Am. Inc. Pub., Madison, Wisconsin.
- Nortcliff, S., 2002. Standardization of Soil Quality Attributes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88: 161-168.
- Nosalewicz, A., ve Lipiec, J., 2014. The effect of compacted soil layers on vertical root distribution and water uptake by wheat. *Plant and soil*, 375: 229-240.
- Nouri, A., Lee, J., Yin, X., Tyler, D. D., ve Saxton, A. M., 2019. Thirty-four years of no-tillage and cover crops improve soil quality and increase cotton yield in Alfisols, Southeastern USA. *Geoderma*, 337(1): 998-1008.
- NRCS, 2003. Interpreting the soil conditioning index: A tool for measuring soil organic matter trends. US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality-Agronomy Tech. Note No. 16.
- NRCS, 2022. National Soil Survey Handbook. <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=48824.wba>
- Nunes, M. R., Karlen, D. L., Veum, K. S., Moorman, T. B., ve Cambardella, C. A., 2020. Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis. *Geoderma*, 369: 114335.
- Nunes, M. R., van Es, H. M., Schindelbeck, R., Ristow, A. J., ve Ryan, M., 2018. No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. *Geoderma*, 328: 30-43.
- Oliveira, M., ve Machado, A. V., 2013. The role of phosphorus on eutrophication: A historical review and future perspectives. *Environmental Technology Reviews*, 2: 117–127.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., ve Dean, L. A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Dept. Agric. 939.

- Othman, M. R., Repke, J., ve Wozny, G., 2010. Incorporating Negative Values in AHP Using Rule-Based Scoring Methodology for Ranking of Sustainable Chemical Process Design Options. *Computer Aided Chemical Engineering*, 28: 1045-1050.
- Ouattara, K., Ouattara, B., Assa, A., ve Sédogo, P. M., 2006. Long-term effect of ploughing, and organic matter input on soil moisture characteristics of a Ferric Lixisol in Burkina Faso. *Soil and Tillage Research*, 88(1-2): 217-224.
- Ozlu, E., Gozukara, G., Acar, M., Bilen, S., ve Babur, E., 2022. Field-scale evaluation of the soil quality index as influenced by dairy manure and inorganic fertilizers. *Sustainability*, 14(13): 7593.
- Ozlu, E., ve Kumar, S., 2018. Response of soil organic carbon, pH, electrical conductivity, and water stable aggregates to long-term annual manure and inorganic fertilizer. *Soil Science Society of America Journal*, 82(5): 1243-1251.
- Özyazıcı, M. A., Dengiz, O., Aydoğan, M., Bayraklı, B., Kesim, E., Urla, Ö., Yıldız, H., ve Ünal, E., 2016. Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi tarım topraklarının temel verimlilik düzeyleri ve alansal dağılımları. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(1): 136-148.
- Pacci, S., Kaya, N. S., Turan, İ. D., Odabas, M. S., ve Dengiz, O., 2022. Comparative approach for soil quality index based on spatial multi-criteria analysis and artificial neural network. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(1): 104.
- Page, K. L., Dang, Y. P., ve Dalal, R. C., 2020. The ability of conservation agriculture to conserve soil organic carbon and the subsequent impact on soil physical, chemical, and biological properties and yield. *Frontiers in sustainable food systems*, 4: 31.
- Pareja-Sánchez, E., Cantero-Martínez, C., Álvaro-Fuentes, J., ve Plaza-Bonilla, D., 2020. Soil organic carbon sequestration when converting a rainfed cropping system to irrigated corn under different tillage systems and N fertilizer rates. *Soil Science Society of America Journal*, 84(4): 1219-1232.
- Parfitt, J. M. B., Timm, L. C., Pauletto, E. A., Sousa, R. O. D., Castilhos, D. D., Ávila, C. L. D., ve Reckziegel, N. L., 2009. Spatial variability of the chemical, physical and biological properties in lowland cultivated with irrigated rice. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 819-830.
- Paul, B. K., Vanlauwe, B., Ayuke, F., Gassner, A., Hoogmoed, M., Hurisso, T. T., Koala, S., Lelei, D., Ndabamenye, T., Six, J., ve Pulleman, M. M., 2013. Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164: 14-22.
- Périé, C., ve Ouimet, R., 2008. Organic carbon, organic matter and bulk density relationships in boreal forest soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 88(3): 315–325.
- Piotrowska-Długosz, A., ve Długosz, J., 2017. Spatio-temporal variability of soil Beta-glucosidase activity at the arable field scale. *Polish Journal of Soil Science*, 50(1): 107-119.

- Pires, L. F., Borges, J. A., Rosa, J. A., Cooper, M., Heck, R. J., Passoni, S., ve Roque, W. L., 2017. Soil structure changes induced by tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 165: 66-79.
- Polanía-Hincapié, K. L., Olaya-Montes, A., Cherubin, M. R., Herrera-Valencia, W., Ortiz-Morea, F. A., ve Silva-Olaya, A. M., 2021. Soil physical quality responses to silvopastoral implementation in Colombian Amazon. *Geoderma*, 386: 114900.
- Prasad, J. V. N. S., Rao, C. S., Srinivas, K., Jyothi, C. N., Venkateswarlu, B., Ramachandrapa, B. K., Dhanapal, G.N., Ravichandra, K., ve Mishra, P. K., 2016. Effect of ten years of reduced tillage and recycling of organic matter on crop yields, soil organic carbon and its fractions in Alfisols of semi arid tropics of southern India. *Soil and Tillage Research*, 156: 131-139.
- Pulido, M., Schnabel, S., Contador, J. F. L., Lozano-Parra, J., ve Gómez-Gutiérrez, Á., 2017. Selecting indicators for assessing soil quality and degradation in rangelands of Extremadura (SW Spain). *Ecological indicators*, 74: 49-61.
- Qadir, M., Quillérrou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., Drechsel, P., ve Noble, A. D., 2014. Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*, 38(4): 282-295.
- Qi, Y. B., Darilek, J. L., Huang, B., Zhao, Y. C., Sun, W. X., ve Gu, Z. Q., 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 149: 325–334.
- Rachman, A., Anderson, S. H., Gantzer, C. J., ve Thompson, A. L., 2003. Influence of long-term cropping systems on soil physical properties related to soil erodibility. *Soil Science Society of America Journal*, 67(2): 637-644.
- Rahimi, L., Amanipoor, H., ve Battaleb-Looie, S., 2021. Effect of salinity of irrigation water on soil properties (abadan plain, SW Iran). *Geocarto International*, 36(16): 1884-1903.
- Rahmanipour, F., Marzaioli, R., Bahrami, H. A., Fereidouni, Z., ve Bandarabadi, S. R., 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological indicators*, 40: 19-26.
- Raisei, F., 2017. A minimum data set and soil quality index to quantify the effect of land use conversion on soil quality and degradation in native rangelands of upland arid and semiarid regions. *Ecological Indicators*, 75: 307-320.
- Raisei, F., ve Kabiri, V., 2016. Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. *Ecological Indicators*, 71: 198-207.
- Raj, R., Das, T. K., Chakraborty, D., Bhattacharyya, R., Babu, S., Govindasamy, P., Kumar, V., Ekka, U., Sen, S., Ghosh, S., Roy, A., ve Sharma, T., 2023. Soil physical environment and active carbon pool in rice–wheat system of South Asia: Impact of long-term conservation agriculture practices. *Environmental Technology & Innovation*, 29: 102966.

- Ravindran, K. C., Venkatesan, K., Balakrishnan, V., Chellappan, K. P., ve Balasubramanian, T., 2007. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(10): 2661-2664.
- Reicosky, D. C., Sauer, T. J., ve Hatfield, J. L., 2011. Challenging balance between productivity and environmental quality: Tillage impacts. *Soil management: building a stable base for agriculture*, 13-37.
- Reynolds, W. D., Bowman, B. T., Drury, C. F., Tan, C. S., ve Lu, X., 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, 110(1-2): 131-146.
- Reza, S. K., Nayak, D. C., Chattopadhyay, T., Mukhopadhyay, S., Singh, S. K., ve Srinivasan, R., 2016. Spatial distribution of soil physical properties of alluvial soils: a geostatistical approach. *Archives of agronomy and soil science*, 62(7): 972-981.
- Rhoades, J., Chandavi, D., ve Lesch, S. F., 1999. *Soil Salinity Assessment Methods and Interpretation of Electrical Conductivity Measurement*. FAO Irrigation and Drainage Paper 57 Rome.
- Ries, J. B., ve Hirt, U., 2008. Permanence of soil surface crusts on abandoned farmland in the Central Ebro Basin/Spain. *Catena*, 72: 282-296.
- Robertson, G. P., ve Freckman D. W., 1995. The Spatial Distribution of Nematode Trophic Groups Across a Cultivated Ecosystem. *Ecology*, 76: 1425-1432.
- Roldán, A., Salinas-García, J. R., Alguacil, M. M., Diaz, E., ve Caravaca, F., 2005b. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. *Geoderma*, 129(3-4): 178-185.
- Roldán, A., Salinas-García, J. R., Alguacil, M. M., ve Caravaca, F., 2005a. Changes in soil enzyme activity, fertility, aggregation and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field. *Applied Soil Ecology*, 30(1): 11-20.
- Romig, D. E., Garlynd, M. J., Harris, R. F., ve McSweeney, K., 1995. How farmers assess soil health and quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, 50: 229-236.
- Rozena, J., ve Flowers, T. 2008. Crops for a salinized world. *Science*, 322:1478-1480
- Saaty, T. L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting and Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill.
- Saaty, T. L., 1990. How to make decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1): 9-26.
- Saaty, T. L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1): 83-98.
- Sağlam, M., Dengiz, O., ve Saygın, F., 2015. Assessment of horizontal and vertical variabilities of soil quality using multivariate statistics and geostatistical methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46: 1677-1697.

- Sağlam, M., ve Dengiz, O., 2017. Spatial variability of soil Penetration resistance in an alluvial delta plain under different land uses in middle Black Sea region of Turkey. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(1): 60-73.
- Salehpour Jam, A., Tabatabaei, M., ve Sarreshtehdari, A., 2017. Pedological Criterion Affecting Desertification in Alluvial Fans Using AHP-ELECTRE I Technique (Case Study: Southeast of Rude-Shoor Watershed Area). *ECOPERSIA*, 5(1): 1711-1730.
- Sánchez-Navarro, A., Gil-Vázquez, J. M., Delgado-Iniesta, M. J., Marín-Sanleandro, P., Blanco-Bernardeau, A., ve Ortiz-Silla, R., 2015. Establishing an index and identification of limiting parameters for characterizing soil quality in Mediterranean ecosystems. *Catena*, 131: 35–45.
- Sani, S., Abdulkadir, A., hmad Pantami, S. A., Sani, M., Amin, A. M., ve Abdullahi, M. Y., 2023. Spatial Variability and Mapping of Selected Soil Physical Properties under Continuous Cultivation. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 11(4): 719-729.
- Satır, O., ve Berberoglu, S., 2016. Crop yield prediction under soil salinity using satellite derived vegetation indices. *Field Crops Research*, 192: 134-143.
- Saygın D. S., Cornelis, W., Gabriels, D., ve Erpul, G., 2012. Comparison of different aggregate stability approaches for loamy sand soils. *Applied Soil Ecology*, 54: 1-6.
- Schnepf, A., Leitner, D., ve Klepsch, S., 2012. Modeling phosphorus uptake by a growing and exuding root system. *Vadose Zone Journal*, 11(3).
- Scotti, R., Bonanomi, G., Scelza, R., Zoina, A., ve Rao, M. A., 2015. Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(2): 333-352.
- Şeker, C., Özaytekin, H. H., Negiş, H., Gümüş, İ., Dedeoğlu, M., Atmaca, E., ve Karaca, Ü., 2017a. Assessment of soil quality index for wheat and sugar beet cropping systems on an entisol in Central Anatolia. *Environmental monitoring and assessment*, 189: 1-11.
- Şeker, C., Özaytekin, H. H., Negiş, H., Gümüş, İ., Dedeoğlu, M., Atmaca, E., ve Karaca, Ü., 2017b. Identification of regional soil quality factors and indicators: a case study on an alluvial plain (central Turkey). *Solid Earth*, 8(3): 583-595.
- Şenol, H., Alaboz, P., Demir, S., ve Dengiz, O., 2020. Computational intelligence applied to soil quality index using GIS and geostatistical approaches in semiarid ecosystem. *Arabian Journal of Geosciences*, 13: 1-20.
- Seybold, C. A., ve Herrick, J. E., 2001. Aggregate Stability Kit for Soil Quality Assessments. *Catena*, 44: 37-45.
- Shah, A. N., Tanveer, M., Shahzad, B., Yang, G., Fahad, S., Ali, S., Bukhari, M. A., Tung, S. A., Hafeez, A., ve Souliyanonh, B., 2017. Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 24: 10056-10067.

- Shahid, S. A., Zaman, M., ve Heng, L., 2018a. Introduction to soil salinity, sodicity and diagnostics techniques. Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques. Springer, Cham, p 1–42.
- Shahid, S. A., Zaman, M., ve Heng, L., 2018b. Chapter 2 Soil salinity: Historical perspectives and a world overview of the problem. Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques, Springer, Cham, p 43-53.
- Shainberg, I., 1992. Chemical and mineralogical components of crusting. Soil crusting: Physical and chemical processes, pp. 33-54. Lewis, Boca Raton, Florida.
- Shang, Y., Hasan, M. K., Ahammed, G. J., Li, M., Yin, H., ve Zhou, J., 2019. Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: a review. *Molecules*, 24(14): 2558.
- Shao, Y., Xie, Y., Wang, C., Yue, J., Yao, Y., Li, X., Liu, W., Zhu, Y., ve Guo, T., 2016. Effects of different soil conservation tillage approaches on soil nutrients, water use and wheat-maize yield in rainfed dry-land regions of North China. *European Journal of Agronomy*, 81: 37-45.
- Singh, J. S., ve Gupta, V. K., 2018. Soil microbial biomass: A key soil driver in management of ecosystem functioning. *Science of The Total Environment*, 634: 497-500.
- Sithole, N. J., Magwaza, L. S., ve Thibaud, G. R., 2019. Long-term impact of no-till conservation agriculture and N-fertilizer on soil aggregate stability, infiltration and distribution of C in different size fractions. *Soil and Tillage Research*, 190: 147-156.
- Six, J., Elliott, E. T., ve Paustian, K., 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 2099–2103
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., ve Denef, K., 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter Dynamics. *Soil and Tillage Research*, 79: 7-31.
- Skiba, U., ve Ball, B., 2002. The effect of soil texture and soil drainage on emissions of nitric oxide and nitrous oxide. *Soil Use and Management*, 18: 56–60
- Soil Survey Staff, 1996. Soil survey laboratory methods manual, Soil Survey Investigations Rep. 42, Version 2.0, pp. 693-1036.
- Somasundaram, J., Reeves, S., Wang, W., Heenan, M., ve Dalal, R., 2017. Impact of 47 years of No-tillage and stubble retention on soil aggregation and carbon distribution in a Vertisol. *Land Degradation and Development*, 28: 1589–1602.
- Souza, G. S., Souza, Z. M., Cooper, M., ve Tormena, C. A., 2015. Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. *Scientia Agricola*, 72: 270–277
- Stege, P. W., Messina, G. A., Bianchi, G., Olsina, R. A., ve Raba, J., 2010. Determination of β -glucosidase activity in soils with a bioanalytical sensor modified with multiwalled carbon nanotubes. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 397: 1347–1353.

- Stott, D. E., Andrews, S. S., Liebig, M. A., Wienhold, B. J., ve Karlen, D. L., 2010. Evaluation of β -glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework. *Soil Biology and Biochemistry*, 74(1): 107-119.
- Sun, B., Zhou, S. L., ve Zhao, Q. G., 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*, 115: 85–99.
- Swanepoel, P. A., du Preez, C. C., Botha, P. R., Snyman, H. A., ve Habig, J., 2015. Assessment of tillage effects on soil quality of pastures in South Africa with indexing methods. *Soil Research*, 53(3): 274-285.
- Tabatabai, M. A., 1982. Soil enzymes. *Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy*, pp. 903–948.
- Taghizadeh-Mehrjardi, R., Bawa, A., Kumar, S., Zeraatpisheh, M., Amirian-Chakan, A., ve Akbarzadeh, A., 2019. Soil erosion spatial prediction using digital soil mapping and RUSLE methods for Big Sioux River watershed. *Soil Systems*, 3(3): 43.
- Tesfahunegn, G. B., Tamene, L., ve Vlek, P. L. G., 2011. Evaluation of soil quality identified by local farmers in Mai-Negus catchment northern Ethiopia. *Geoderma*, 163: 209–218.
- Tester, M., 2003. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. *Annals of Botany*, 91: 503–527.
- Thapa, G. B., ve Yila, O. M., 2012. Farmers' land management practices and status of agricultural land in the Jos Plateau, Nigeria. *Land Degradation and Development*, 23: 263–277.
- Thomas, G. W., 1982. Exchangeable Cations. *Methods of Soil Analysis Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 2nd edition, S.S.S.of America Inc. Publisher, Madison, Wisconsin pp. 159-164.
- Tian, Y., Liu, J., Zhang, X., ve Gao, L., 2010. Effects of summer catch crop, residue management, soil temperature and water on the succeeding cucumber rhizosphere nitrogen mineralization in intensive production systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88: 429–446.
- Tisdall, J. M., ve Oades, J. M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33(2): 141-163.
- Topa, D., Cara, I. G., ve Jităreanu, G., 2021. Long term impact of different tillage systems on carbon pools and stocks, soil bulk density, aggregation and nutrients: A field meta-analysis. *Catena*, 199: 105102.
- Topçu, E., ve Seçkin, N., 2016. Drought Analysis of the Seyhan Basin by Using Standardized Precipitation Index (SPI) and L-moments. *Journal of Agricultural Sciences*, 22: 196- 215.
- Topp, G. C., Reynolds, W. D., Cook, F. J., Kirby, J. M., ve Carter, M. R., 1997. Physical attributes of soil quality. *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Developments in Soil Science*, vol. 25. Elsevier, New York, NY, pp. 21– 58.

- Torbert, H. A., ve Wood, C. W., 1992. Effects of soil compaction and water-filled pore space on soil microbial activity and N losses. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 23: 1321-1331.
- Trasar-Cepeda, C., Leirós, M. C., Gil-Sotres, F., ve Seoane, S., 1997. Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. *Biology and Fertility of Soils*, 26: 100–106.
- TÜBİTAK, 2017. Türkiye Çölleşme Modeli Teknik Özet http://www.cem.gov.tr/erozyon/Libraries/su/TEKNİK_OZET_TR.sflb.ashx [Son Erişim Tarihi 14. 06. 2018]
- Tuller, M., ve Or, D., 2005. Water retention and characteristic curve. In: *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Academic Press; 1 edition.
- Tun, K. K., Shrestha, R. P., ve Datta, A., 2015. Assessment of land degradation and its impact on crop production in the Dry Zone of Myanmar. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 22(6): 533-544.
- Türkeş, M., Öztaş, T., Tercan, E., Erpul, G., Karagöz, A., Dengiz, O., Doğan, O., Şahin, K., ve Avcıoğlu, B., 2020. Desertification vulnerability and risk assessment for Turkey via an analytical hierarchy process model. *Land Degradation & Development*, 31(2): 205-214.
- Usovich, B., ve Lipiec, J., 2017. Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil. *Soil and Tillage Research*, 174: 241-250.
- Valani, G. P., Vezzani, F. M., ve Cavalieri-Polizeli, K. M. V., 2020. Soil quality: Evaluation of on-farm assessments in relation to analytical index. *Soil and Tillage Research*, 198: 104565.
- Vance, E. D., Brookes, P. C., ve Jenkinson, D. S., 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19(6): 703-707.
- Vasu, D., Singh, S. K., Ray, S. K., Duraisami, V. P., Tiwary, P., Chandran, P., Nimkar, A. M., ve Anantwar, S. G., 2016. Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. *Geoderma*, 282: 70-79.
- Veum, K. S., Kremer, R. J., Sudduth, K. A., Kitchen, N. R., Lerch, R. N., Baffaut, C., Stott D. E., Karlen, D. L., ve Sadler, E. J., 2015a. Conservation effects on soil quality indicators in the Missouri Salt River Basin. *Journal of Soil and Water Conservation*. DOI: 10.2489/jswc.70.4.232
- Veum, K. S., Sudduth, K. A., Kremer, R. J., ve Kitchen, N. R., 2015b. Estimating a soil quality index with VNIR Reflectance Spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, 79(2): 637-649.
- Veum, K. S., Sudduth, K. A., Kremer, R. J., ve Kitchen, N., 2017. Sensor data fusion for soil health assessment. *Geoderma*, 305: 53-61.

- Walsh, E., ve McDonnell, K. P., 2012. The influence of added organic matter on soil physical, chemical, and biological properties: a small-scale and short-time experiment using straw. *Archives of agronomy and soil science*, 58(sup1): S201-S205.
- Wang, Q., Liu, J., Wang, Y., Guan, J., Liu, Q., ve Lv, D. A., 2012. Land use effects on soil quality along a native wetland to cropland chrono sequence. *European Journal of Soil Biology*, 53: 114-120.
- Wang, Y. Q., ve Shao, M. A., 2013. Spatial variability of soil physical properties in a region of the Loess Plateau of PR China subject to wind and water erosion. *Land Degradation & Development*, 24(3): 296-304.
- Wardle, D., 1992. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews*, 67: 321–358.
- Watanabe, T., Nagano, T., Kanber, R., ve Kapur, S., 2019. Chapter 1 An Integrated Approach to Climate Change Impact Assessment on Basin Hydrology and Agriculture. *Climate Change Impacts on Basin Agro-ecosystems* Springer, pp. 1-15.
- Wienhold, B. J., Karlen, D. L., Andrews, S. S., ve Stott, D. E., 2009. Protocol for indicator scoring in the soil management assessment framework (SMAF). *Renewable Agriculture and Food Systems*, 24(4): 260-266.
- Wilding, L. P., Bouma J., ve Goss D. W., 1994. Impact of spatial variability on interpretative modelling. *Quantitative Modeling of Soil Forming Processes*, SSSA Special Publication Number 39, SSSA, Inc. Madison Wisconsin.
- Willekens, K., Vandecasteele, B., Buchan, D., ve De Neve, S., 2014. Soil quality is positively affected by reduced tillage and compost in an intensive vegetable cropping system. *Applied Soil Ecology*, 82: 61-71.
- Wu, C., Liu, G., Huang, C., ve Liu, Q., 2019. Soil quality assessment in Yellow River Delta: Establishing a minimum data set and fuzzy logic model. *Geoderma*, 334: 82-89.
- Xia, M., Zhao, B., Hao, X., ve Zhang, J., 2015. Soil Quality in Relation to Agricultural Production in the North China Plain. *Pedosphere*, 25: 592–604.
- Xu, J., Han, H., Ning, T., Li, Z., ve Lal, R., 2019. Long-term effects of tillage and straw management on soil organic carbon, crop yield, and yield stability in a wheat-maize system. *Field Crops Research*, 233: 33-40.
- Yang, F., Zhang, G., Yin, X., ve Liu, Z., 2011. Fieldscale spatial variation of saline-sodic soil and its relation with environmental factors in Western Songnen Plain of China. *International Journal Of Environmental Research and Public Health*, 8(2): 374-387.
- Yang, Y., Wu, J., Zhao, S., Mao, Y., Zhang, J., Pan, X., He, F., van der Ploeg, M., 2021. Impact of long-term sub-soiling tillage on soil porosity and soil physical properties in the soil profile. *Land Degradation & Development*, 32(10): 2892-2905.

- Yeşilsoy, M. Ş., ve Erşahin, S., 1997. Soil, water and crop management practices in the dryland farming regions of Turkey. *American Journal of Alternative Agriculture*, 12: 130-132.
- Yu, P., Liu, S., Zhang, L., Li, Q., ve Zhou, D., 2018. Selecting the minimum data set and quantitative soil quality indexing of alkaline soils under different land uses in northeastern China. *Science of the Total Environment*, 616-617: 564-571.
- Zalidis, G., Stamatiadis, S., Takavakoglou, V., Eskridge, K., ve Misopolinos, N., 2002. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2): 137-146.
- Zeraatpisheh, M., Bakhshandeh, E., Hosseini, M., ve Alavi, S. M., 2020. Assessing the effects of deforestation and intensive agriculture on the soil quality through digital soil mapping. *Geoderma*, 363: 114139.
- Zhang, X., Qu, J., Li, H., La, S., Tian, Y., ve Gao, L., 2020. Biochar addition combined with daily fertigation improves overall soil quality and enhances water-fertilizer productivity of cucumber in alkaline soils of a semi-arid region. *Geoderma*, 363: 114170.
- Zhang, Z., Qiang, H., McHugh, A. D., He, J., Li, H., Wang, Q., ve Lu, Z., 2016. Effect of conservation farming practices on soil organic matter and stratification in a mono-cropping system of Northern China. *Soil and Tillage Research*, 156: 173-181.
- Zhao, G., Mu, X., Wen, Z., Wang, F., ve Gao, P., 2013. Soil Erosion, Conservation, and Eco-Environment Changes in the Loess Plateau of China. *Land Degradation and Development*, 24: 499-510.
- Zhao, W. Z., Xiao, H. L., Liu, Z. M., ve Li, J., 2005. Soil degradation and restoration as affected by land use change in the semiarid Bashang area, northern China. *Catena*, 59(2): 173-186.



ÖZGEÇMİŞ

Mert Acar, ilköğrenimini, orta öğrenimini ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünden 2011 yılında mezun oldu. 2013 yılı Kasım ayından beri Çukurova Üniversitesi’nde araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir.

