

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK KALİTESİ KAVRAMI VE
DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR
(2010-2024)

ASSIA MOHAMED YOUSOUF

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2025

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAY

Assia MOHAMED YOUSOUF tarafından hazırlanan “Toprak Kalitesi Kavramı ve Değerlendirilmesinde Kullanılan Yenilikçi Yaklaşımlar (2010-2024)” adlı tez çalışması 04/07/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Seval Sünal KAVAKLIGİL

Jüri Üyeleri :

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Seval Sünal KAVAKLIGİL
Çankırı Karatekin Üniversitesi
Orman Fakültesi Orman Mühendisliği

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ebru GÜL
Çankırı Karatekin Üniversitesi
Orman Fakültesi Orman Mühendisliği

Üye : Prof. Dr. Sabit ERŞAHİN
İğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Toprak Bilimi Ve Bitki Besleme Bölümü

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ersoy YILMAZ
Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “**Toprak Kalitesi Kavramı ve Değerlendirilmesinde Kullanılan Yenilikçi Yaklaşımlar (2010-2024)**” konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı” ile tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (04/07/2025).

Assia MOHAMED YOUSOUF

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOPRAK KALİTESİ KAVRAMI VE DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR (2010-2024)

Assia MOHAMED YOUSOUF

Çankırı Karatekin Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seval Sünal KAVAKLIGİL

Her bilimsel ilerleme, önceki araştırmalara dayanarak yaklaşımları geliştirmeye, boşlukları doldurmaya ve yeni bakış açıları keşfetmeye olanak tanır. Toprak da sürdürülebilirlik, toprağın korunması, çevre sağlığı ve gıda güvenliği açısından toprak kalitesinin izlenmesi son derece önemlidir. Toprak kalitesi terimini açıklamak için toprağın işlevlerini yeterince bilmek ve toprak özellikleri ile toprak kalitesi arasındaki ilişkiyi anlamak son derece önemlidir. Bu tez çalışmasında, toprak kalitesi kavramı ve 2010-2024 yılları arasında bu kavramın değerlendirilmesinde kullanılan yenilikçi yaklaşımlar kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Toprak kalitesi, tarımsal verimlilik, ekosistem sürdürülebilirliği ve çevresel sağlık açısından kritik bir göstergedir. Geleneksel değerlendirme yöntemlerinin yanı sıra, son yıllarda gelişen teknolojiler ve disiplinlerarası analiz teknikleri ile toprak kalitesinin daha doğru ve bütüncül bir şekilde belirlenmesi mümkün hale gelmiştir. Bu bağlamda tezde, biyolojik, kimyasal ve fiziksel göstergelere dayalı değerlendirme kriterleri ile uzaktan algılama, yapay zekâ, makine öğrenimi, coğrafi bilgi sistemleri (CBS), çok kriterli karar analizleri (MCDA) gibi teknolojik yeniliklerin toprak kalite analizlerine entegrasyonu ele alınmıştır. Ayrıca, karbon döngüsü, mikrobiyal çeşitlilik, biyoindikatör kullanımı ve toprak sağlığı indeksleri gibi yeni parametrelerin değerlendirmelerde nasıl kullanıldığı tartışılmıştır. Literatür taramasına ek olarak, belirli pilot bölgelerde yapılan uygulamalı analizlerle yeni yöntemlerin doğruluk ve etkinlik düzeyleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, toprak kalitesinin değerlendirilmesinde çok disiplinli yaklaşımların önemini ortaya koymakta ve sürdürülebilir toprak yönetimi stratejileri için bilimsel bir temel sunmaktadır.

2025, 84 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Toprak kalitesi, toprak kalite kriterleri, sürdürülebilir toprak yönetimi, toprak kalitesinin değerlendirilmesi.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

THE CONCEPT OF SOIL QUALITY AND INNOVATIVE APPROACHES USED IN ITS ASSESSMENT (2010-2024)

Assia MOHAMED YOUSSEF

Çankırı Karatekin University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Forest Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Seval Snal KAVAKLIGL

Each scientific advancement enables the development of approaches, the filling of knowledge gaps, and the discovery of new perspectives based on prior research. In this context, monitoring soil quality is of critical importance in terms of sustainability, soil conservation, environmental health, and food security. To accurately define the concept of soil quality, it is essential to understand soil functions and the relationship between soil properties and soil quality. This thesis comprehensively examines the concept of soil quality and the innovative approaches used in its assessment between 2010 and 2024. Soil quality is a key indicator of agricultural productivity, ecosystem sustainability, and environmental health. In addition to traditional assessment methods, recent technological advancements and interdisciplinary analytical techniques have enabled a more accurate and holistic evaluation of soil quality. Accordingly, this study addresses the integration of biological, chemical, and physical indicators with technological innovations such as remote sensing, artificial intelligence, machine learning, geographic information systems (GIS), and multi-criteria decision analysis (MCDA) in soil quality assessments. Furthermore, the thesis discusses how emerging parameters such as the carbon cycle, microbial diversity, the use of bioindicators, and soil health indices are employed in recent evaluations. In addition to an extensive literature review, practical analyses conducted in selected pilot regions were used to compare the accuracy and effectiveness of these new methods. The findings underscore the significance of multidisciplinary approaches in the assessment of soil quality and provide a scientific basis for the development of sustainable soil management strategies.

2025, 84 Sayfa

Keywords: Soil quality, sustainable soil management, artificial intelligence, remote sensing, soil health indices, environmental indicators.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

“Toprak Kalitesi Kavramı ve Değerlendirilmesinde Kullanılan Yenilikçi Yaklaşımlar (2010-2024)” isimli bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmanın sonunda öncelikle bana bu çalışma boyunca güç, sabır ve sağlık veren Yüce Allah'a en içten teşekkürlerimi sunmak isterim.

Çalışmanın başından sonuna tüm aşamasında sabır ve hoşgörü ile her zaman destek olan; bilgi, fikir ve literatür temini konusunda her türlü desteği sağlayan ve hep yol gösteren değerli danışman hocam Dr. Seval Sünal KAVAKLIGİL’e sonsuz teşekkür ederim. Kalbimin derinliklerinden teşekkür ederim hocam, başarımlarınızın kıymetli desteğiniz ve bana gösterdiğiniz sabır olmadan mümkün olmazdı.

Yüksek lisans tez raporumu değerlendirmeyi kabul eden jüri üyelerine de en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi ve Fen Bilimleri Enstitüsü akademik ve idari personeline çalışmam boyunca bana gösterdikleri ilgi, maddi ve manevi destekleri için teşekkür ederim.

Assia MOHAMED YOUSSEF

Çankırı, Haziran 2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR.....	3
2.1. Toprak Kalitesi.....	3
2.1.1 Arazi bozulması.....	7
2.2. Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesi.....	10
2.2.1 Toprak Kalitesi Değerlendirme Yaklaşımları.....	12
2.2.1.1 Skor Kartları	12
2.2.1.2 Toprak Koşullandırma İndeksi (SCI)	13
2.2.1.3 Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi (SMAF).....	13
2.2.1.4 Tarımsal Ekosistem Değerlendirme Aracı (AEPAT)	14
2.2.1.5 Cornell Toprak Sağlığı Testi (CASH)	14
2.2.1.6 Avrupa Birliği (AB) Yaklaşımlı Toprak Kalitesi ve Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi	15
2.3 Toprak Kalitesi Değerlendirme Yöntemleri.....	15
2.3.1 Minumum veri setlerinin oluşturulması	16
2.3.2 Skarlama	17
2.3.3 Skorların ağırlıklandırılması	18
2.3.4 Skorların indeks olarak birleştirilmesi	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1 Çalışmanın Tasarımı.....	20
3.2 Veri Kaynakları.....	20
3.3 Anahtar Kelimeler	21

3.4. Çalışma Seçim Kriterleri	21
3.5 Veri Analizi	22
3.6 Yapılan değerlendirmeler	22
4. BULGULAR VE TARTISMA	43
4.1. Toprak Kalitesi Kavramında Disiplinlerarası Genişleme	44
4.2. Kalite Göstergelerinde Değişiklik	44
4.3. Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesinde Yaklaşımlar	45
4.3.1 Minimum Veri Seti (MVS)	45
4.3.2 Ağırlıklı Toplam Skor	45
4.3.3 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	45
4.4 Jeostatistiksel Yaklaşımlar	46
4.5 Uzaktan Algılama ve Sayısal Modelleme Yöntemleri	46
4.6 Bütüncül Yaklaşımlar ve Karar Destek Sistemleri	47
4.7 Türkiye'de Toprak Kalitesi Değerlendirme Uygulamaları	48
4.7.1 Kurumsal Uygulamalar ve Politikalar	49
4.7.2. Bölgesel Akademik Uygulamalar	49
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AB	Avrupa Birliği Komisyonu
AEPAT	Tarımsal Ekosistem Değerlendirme Aracı
AGTE	Arazi Bozulması Uzman Grubu
AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
ANN	Yapay Sinir Ağları
ATD	Arazi Tahribatının Dengelenmesi
AWC	Yarayışlı Su Kapasitesi
CASH	Cornell toprak sağlığının kapsamlı değerlendirmesi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
EC	Elektriksel İletkenlik
EO	Uzman Görüşü
ESDAC	Avrupa Toprak Veri Merkezi
EU	Avrupa Birliği
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
GIS	Coğrafi Bilgi Sistemi
GLADA	Küresel Arazi Bozulması ve İyileştirme Değerlendirmesi
GO	Geometrik ortalama
GSP	Küresel Toprak Ortaklığı
GT	Geçici Toprak İşleme
HA	Hümik Asit
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin testi
LST	Arazi Yüzey Sıcaklığı
MAE	Ortalama Mutlak Hata
MBC	Mikrobiyal biyokütle karbonu
MCDM	Çok Kriterli Karar Verme
MEDALUS	Mediterranean Desertification and Land Use (Akdeniz Çölleşme ve Arazi Kullanımı)
MVS	Minimum Veri Seti
NDVI	Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi
NRCS	Doğal Kaynakları Koruma Servisi
ODDEG	Cibuti Jeotermal Enerji Geliştirme Ofisi
OK	Ordinary Kriging
PCA	Principal Components Analysis (Temel Bileşenler Analizi)
pH	Hidrojen Potansiyeli

PMN	Potansiyel mineralize olabilen azot
RF	Rastgele Orman
RMSE	Kök Ortalama Kare Hata
SAVI	Toprak Düzeltilmiş Bitki Örtüsü İndeksi
SCI	Organik madde dinamiklerine odaklanarak
SMAF	Toprak Yönetim Değerlendirme Çerçevesi
SMMM	İstatistiksel Çoklu Model Yöntemi
SOC	Toplam Organik Karbon
SQI	Toprak Kalite İndeksi
SSSA	Amerikan Toprak Bilimi Derneği
ST	Sıfır Toprak İşleme
SVM	Destek Vektör Makineleri
TAGEM	Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü
TGSKME	Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü
TKE	Toprak Kalite Endeksi
TKİ	Toprak Kalite İndeksi
TKİa	Ağırlıklı Katkılı Toprak Kalitesi İndeksi
TKİGO	Geometrik ortalama ile hesaplanan toprak kalite indeksi
TKİk	Katkılı Toprak Kalitesi İndeksi
TKİn	Nemoro Toprak Kalitesi İndeksi
TKİPCA	Temel bileşenler yöntemi kullanılarak hesaplanan kalite indeksi
TOC	Toplam Organik Karbon
TOM	Toprak Organik Madde
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerlik ile Sıralama Terimi Teknikleri
TOVBİS	Toprak Veritabanı Bilgi Sistemi
TTI	Karacabey Tarım İşletmesi'nde toprak kalite indeksinin
UNCCD	Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi
UNFCCC	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Sekreteryası
USDA	Amerika Birleşik Devletleri Tarım Departmanı
WFPS	Su dolu gözenek hacmi
Na	Sodyum
Mg	Magnezyum
Ca	Kalsiyum
Al	Alüminyum
Mn	Manganez
Fe	Demir
Ni	Nikel
Cu	Bakır
Zn	Çinko
Cd	Kadmiyum

Pb	Kurşun
CaCO ₃	Kireç
P	Fosfor
K	Potasyum
C	Karbon
N	Azot
Co	Nugget effect
(C)	Sill değeri
Ha	Hektar
Cm	Santimetre
Db	Hacim ağırlığı
r	Korelasyon Katsayısı
p	Anlamlılık Düzeyi
β	Beta
%	Yüzde
>	Büyüktür
<	Küçüktür
$\geq$	Büyüktür eşit
$\leq$	Küçüktür eşit

ŞEKİLLER DİZİ

Şekil 1. USDA (2022)'ye göre toprağın kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi için yapılması gereken temel işlemler (Günel vd. 2022)5



ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 1. Yöntemlere Göre Avantaj–Dezavantaj Tablosu.....	47
Tablo 2. Yöntemlere Göre Literatürden Örnek Uygulamalar.....	47



1. GİRİŞ

Günümüzde nüfus artışı, ormanlık alanların tahribi, iklimsel değişiklikler ve tarımsal girdilerin kontrolsüz kullanımı, toprak sistemlerinde geri dönüşü olmayan bozulmalara yol açmaktadır. Karasal ekosistemlerin temel bileşeni olan toprak, biyosferdeki çeşitli biyofiziksel süreçleri doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen kritik bir ortamdır. Toprak; bitki, atmosfer ve su arasındaki dinamik ilişkileri düzenleyerek sadece tarımsal üretimi değil, aynı zamanda gıda güvenliğini, çevresel sürdürülebilirliği ve ekosistem fonksiyonlarını da şekillendirmektedir (Doran and Jones 1996; Doran and Zeiss 2000).

Ancak bu hayati sistem, yoğun arazi kullanımı ve bilinçsiz yönetim yaklaşımları nedeniyle toprak sıkışması, organik madde kaybı, tuzluluk, erozyon, ağır metal birikimi, karbon kaybı ve su tutma kapasitesinde azalma gibi bir dizi tehditle karşı karşıyadır (Smith et al. 1996). Bu olumsuzluklar, toprağın üretkenliğini ve işlevselliğini kaybetmesine yol açarak uzun vadede biyolojik üretkenliğin azalmasına neden olabilir. Bu nedenle, modern ekolojik araştırmalar, toprağın doğru şekilde nasıl yönetileceğine ve iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmede toprağın rolüne odaklanmaktadır.

Toprak, insan yaşamının sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmez bir doğal kaynaktır. Ancak bu kaynağın verimliliği sınırsız değildir; dolayısıyla toprakların korunması ve fonksiyonlarını sürdürebilmesi, temel fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin devamlılığına bağlıdır. Son yıllarda toprak bilimi alanında kaydedilen ilerlemeler, toprakların sürdürülebilir yönetiminde yeni bakış açıları sunmuş ve “toprak kalitesi” kavramını ön plana çıkarmıştır (Bayram vd 2015).

Toprak kalitesi, ilk olarak 1970’li yıllarda gündeme gelmiş ve özellikle 1990’lardan itibaren hem tarımsal hem de çevresel açılardan çok boyutlu bir araştırma alanına dönüşmüştür (Negiş, 2019). Warkentin ve Fletcher (1977) tarafından tanımlanan bu kavram, daha sonra farklı disiplinlerden bilim insanlarının katkısıyla zenginleşmiştir

(Larson and Pierce 1994; Karlen et al. 1997; Nortcliff 2002). Toprak Kalitesi Tanım Komitesi'ne (SSSA 1997) göre, bu kavram; belirli bir toprağın bitki ve hayvan üretimini sürdürebilme, su ve hava kalitesini koruyup geliştirme ve insan sağlığını destekleme kapasitesini tanımlar.

Karlen et al. (1997) göre toprak kalitesi iki ana boyutta ele alınabilir: İlki, toprak oluşum faktörlerine (iklim, topografya, ana materyal vb.) bağlı olarak şekillenen doğal kapasite; ikincisi ise antropojenik etkilerle değişebilen, yönetime duyarlı dinamik kapasitedir. Bu tanımlar, toprak kalitesinin hem doğal koşulları hem de insan faaliyetlerini dikkate alan çok yönlü bir kavram olduğunu göstermektedir. Ayrıca bazı çalışmalarda “toprak sağlığı” terimi ile eşanlamlı kullanıldığı görülse de bu kavram toprağın uzun vadeli ekolojik ve üretim kapasitesini daha vurgulayıcı şekilde ele almaktadır (Karlen et al. 2008).

Toprak kalitesinin korunması yalnızca tarım üretimi açısından değil, aynı zamanda genel ekosistem sağlığı açısından da kritik önemdedir (Doran & Parkin, 1994). Uygunsuz arazi yönetimi teknikleri, toprak yapısını ve işlevlerini zayıflatarak verimlilikte düşüşe neden olabilir. Bununla birlikte, toprak kalitesi doğrudan ölçülemeyen bir özellik olduğundan, değerlendirmelerde fiziksel, kimyasal ve biyolojik göstergelere dayalı bütüncül analiz yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir (Doran 2002; Cambardella et al. 2004).

Bu bağlamda hazırlanan bu tez çalışması, 2010–2024 yılları arasında yapılan araştırmalara dayanarak toprak kalitesinin değerlendirilmesine yönelik yöntemleri, kullanılan kriterleri ve gelişen bilimsel yaklaşımları incelemeyi amaçlamaktadır. Literatürdeki farklı yöntemlerin karşılaştırmalı bir analizi sunulurken, toprak kalitesinin ölçümü ve izlenmesine dair güncel eğilimler ortaya konulacaktır.

2. LİTERATÜR

2.1. Toprak Kalitesi

Toprak, bitki büyümesini destekleyen ve dünya nüfusunun temel besin ihtiyacını karşılayan birincil üretim ortamıdır. Aynı zamanda biyolojik, kimyasal ve fiziksel süreçlerin etkileşim hâlinde gerçekleştiği, canlı organizmaların yaşadığı dinamik bir ekosistem bileşenidir (Buol 2011). Bu çok yönlü yapısı nedeniyle toprak, karasal ekosistemlerin işleyişinde merkezi bir rol üstlenmektedir.

Toprak kalitesi, yalnızca tarımsal üretimle sınırlı olmayıp; su yönetimi, çevresel koruma ve genel ekosistem sağlığı açısından da belirleyici bir unsurdur. Bu nedenle, çevresel risklerin değerlendirilmesinde, sürdürülebilir toprak yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde ve uygun arazi kullanımının planlanmasında referans olarak kullanılabilecek bir değerlendirme çerçevesidir (Raphaël 2016).

Toprak kalitesinin tanımlanmasında farklı bakış açıları geliştirilmiştir. Bu farklılıklar; bölgesel toprak özellikleri, arazi yapısı, sosyo-ekonomik koşullar ve toprak değişkenliği gibi faktörlere dayanmaktadır (Acir 2014). Örneğin, Mausel (1971) toprak kalitesini, belirli tarım ürünlerini üretme kapasitesiyle ilişkilendirmiştir. FAO (1976) ise bu kavramı, toprak kaynaklarının karmaşık doğasını yansıtan geniş bir çerçevede tanımlamıştır. Warkentin and Fletcher (1977), toprakların ekosistem süreçlerindeki çok yönlü işlevlerini vurgulayarak, kavramın daha bütüncül şekilde ele alınması gerektiğini savunmuşlardır.

Amerikan Toprak Bilimi Derneği (SSSA 1997), toprak kalitesini; tarımsal ve çevresel sistemler içinde toprağın işlevlerini sürdürülebilirlik kapasitesi olarak tanımlar. Bu işlevler arasında bitkisel ve hayvansal üretimin sürdürülmesi, su ve hava kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi, ayrıca insan ve diğer canlıların yaşam koşullarının desteklenmesi yer alır.

Karlen et al. (1997), toprak kalitesini, toprağın çeşitli ekosistem hizmetlerini sürdürülebilirlik yeteneği üzerinden değerlendirerek kavramı iki ana boyutta tanımlamıştır. İlki, toprak oluşum süreçlerinden (iklim, topoğrafya, ana materyal vb.) kaynaklanan doğal kapasitedir. İkincisi ise yönetim uygulamaları ve insan müdahalesi sonucu zamanla değişebilen dinamik kapasitedir. Doran and Parkin (1994), bu tanımları daha da genişleterek, toprak kalitesini hem biyolojik üretkenliği hem de çevresel kaliteyi koruyan bir sistem olarak tanımlamışlardır. Bu tanım, literatürde en yaygın kabul gören açıklamalardan biridir.

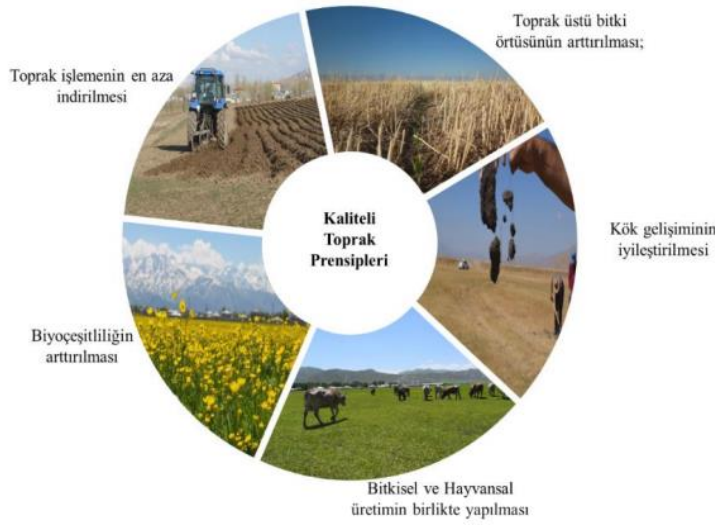
Bouma et al. (2017), kavrama daha modern bir yaklaşım getirerek, toprak kalitesini ekosistem hizmetlerine katkı kapasitesi ile ilişkilendirmiştir. Ulusal Araştırma Konseyi (Sims et al. 1997) ise toprak kalitesini; su döngüsünü düzenleme, tarımsal ve endüstriyel kirleticileri filtreleme ve bitki gelişimini destekleme gibi işlevler üzerinden değerlendirmiştir.

Toprak kalitesi, sürdürülebilirlik ile doğrudan bağlantılı bir kavramdır (Doran and Zeiss 2000). Nitekim Karlen et al. (2006), toprak kalitesini genetik ve yönetimle şekillenen iki boyutta sınıflandırmıştır. Genetik kalite; toprak profilinin oluşumu sırasında gelişen kalıcı özellikleri kapsarken, dinamik kalite; yönetim stratejilerine bağlı olarak zaman içinde değişebilen özellikleri ifade eder (Mohamed et al. 2020).

Doran et al. (1996), toprak kalitesini değerlendirmek için hacim ağırlığı, geçirgenlik, su tutma kapasitesi, toplam organik karbon ve azot içeriği gibi fiziksel ve kimyasal göstergelere, ayrıca mikrobiyal aktivite gibi biyolojik göstergelere işaret etmişlerdir. Bu göstergeler, toprağın ekolojik işlevlerini ve üretim potansiyelini daha doğru şekilde yansıtmaktadır.

Rosa and Sobral (2008), tüm bu farklı tanımların ortak amacının yalnızca tarımsal üretimi değil, aynı zamanda uzun vadeli toprak verimliliğini, su kalitesini ve ekosistem bütünlüğünü korumak olduğunu vurgulamıştır. Bu çerçevede, toprak kalitesi tanımında kullanılan göstergelerin hem çevresel hem de sosyo-ekonomik sonuçları dikkate alacak şekilde yapılandırılması gerektiği savunulmaktadır (Günal et al. 2022).

Toprak kalitesinin doğru tanımlanabilmesi için, toprağın fonksiyonlarının ve bu fonksiyonları etkileyen süreçlerin anlaşılması şarttır (Acir 2014). Bu karmaşık yapısından dolayı, toprak kalitesinin değerlendirilmesi hlen toprak bilimciler arasında tartışmalı bir konudur (Karlen et al. 2008). Ancak son yıllarda yapılan araştırmalar, toprak kalitesinin hem tarımsal verimlilik hem de çevresel sağlık açısından kritik bir gösterge olduğunu ortaya koymuştur (Cebel 2011). Tüm bu sayılan işlevlerin gerçekleşmesi toprağın kalitesinin korunması ve geliştirilmesi ile mümkün olabilir (şekil 1).



Şekil 1. USDA (2022)'ye göre toprağın kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi için yapılması gereken temel işlemler (Günel vd. 2022).

Günümüzde toprak sağlığı kavramı da kullanılmaktadır. Romig et al. (1995)'da toprak kalitesi ve toprak sağlığı terimlerinin birbirleri yerine kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Buna rağmen Idowu et al. (2008), toprak sağlığını ekolojik üretimin sürdürülebilirliği ve üretkenliğin artırılması için toprağı tüm özellikleri ile bir bütün olarak optimize etmekte kullanmışlardır. Genel bir ifade olarak toprak sağlığı sağlıklı veya sağlıklı olmayan gibi doğrudan ifadeler ile karakterize edilirler hatta sağlıklı terimi kaliteli teriminden daha fazla kullanılır. Ancak bilim insanları toprak özellikleriyle çeşitli toprak fraksiyonları arasında sayısal bir bağlantıyı kurmaya çalıştıklarından dolayı toprak kalitesi kavramını tercih etmektedirler (Acir 2014).

İki terim arasındaki sınır çok net olmasa da toprak kalitesi, toprağın sahip olduğu özelliklerin bir fonksiyonu olarak tanımlanırken, toprak sağlığı ise bu kavramlara ek olarak sürdürülebilir bitkisel ve hayvansal üretim, su ve hava kalitesini koruyan ve geliştiren insan ve hayvan sağlığını destekleyen ortamı dikkate almaktadır (Cebel 2011). Toprak kalitesi ve toprak sağlığı kavramları ilgili hale gelince (Karlen et al. 1997) toprak amenajmanı, sürdürülebilirliği ve arazi bozulmalarının nedenleri sorgulanır hale gelmiştir (Pesek 1994).

2.1.1 Arazi bozulması

Arazi bozulması, doğal ya da insan kaynaklı etkiler sonucunda arazilerin biyolojik, fiziksel ve ekonomik üretkenliğinin azalması olarak tanımlanabilir (UNCCD-AGTE 2013). Bu süreç, özellikle iklim değişikliği, yanlış arazi kullanımı, aşırı otlatma, yangınlar, arazi parçalanması ve kentleşme gibi faktörlerin etkisiyle hız kazanmaktadır (Kılıç et al. 2022). Arazi bozulması, sadece yerel ölçekte değil, aynı zamanda küresel düzeyde ciddi çevresel ve sosyo-ekonomik sorunlara yol açmaktadır.

Küresel düzeyde yapılan araştırmalar, her yıl milyonlarca hektar tarım arazisinin çeşitli bozulma türleri nedeniyle verimliliğini kaybettiğini ortaya koymaktadır (Asio et al. 2009). Nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan gıda talebi, ekolojik hassasiyet taşıyan alanların üzerinde yoğun baskı oluşturmaktadır (Salvati et al. 2015; Symeonakis et al. 2016). Özellikle sanayileşme, kentleşme, ormanların kesilmesi ve meraların bilinçsiz kullanımı gibi faaliyetler, erozyonu tetiklemekte ve toprağın üretim kabiliyetini zayıflatmaktadır (Kapur vd. 2003). Bu durum, üreticileri daha fazla girdi kullanmaya yöneltmekte, bu da ekonomik maliyetleri artırmaktadır (Gomiero 2016).

Bozulmuş alanların üretkenliğinin yeniden sağlanabilmesi için ya restorasyon çalışmaları yürütülmeli ya da doğal olarak iyileşmeleri desteklenmelidir (Sujatha et al. 2019). Geist and Lambin (2004), arazi bozulmasının dört temel nedene dayandığını belirtmektedir: (1) kuraklık gibi iklimsel etmenler; (2) tarım ve hayvancılık uygulamaları; (3) bitki örtüsünün tahribi; (4) kentsel, sanayi ve madencilik faaliyetleri. Ormanların kesilmesi, uygun olmayan tarım teknikleri, aşırı otlatma ve biyokütlenin kontrolsüz kullanımı gibi insan kaynaklı etkiler, toprağın doğal işlevlerini bozmaktadır (Oldeman et al. 1990; Gabriels and Cornelis, 2009; Tilahun and Zewide, 2021; FAO 2022).

Arazi bozulmasının önlenmesi amacıyla Birleşmiş Milletler tarafından “Arazi Tahribatının Dengelenmesi” (ATD) yaklaşımı geliştirilmiş ve bu doğrultuda üretken toprakların korunması hedeflenmiştir (Budak vd. 2020). Söz konusu yaklaşım, arazinin verimliliğini azaltan unsurların azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması yoluyla, sürdürülebilir arazi kullanımını desteklemektedir.

2008 yılında GLADA (Global Land Degradation and Improvement Assessment) tarafından yayımlanan bir rapora göre, 1981–2003 yılları arasında dünya genelindeki kara alanlarının yaklaşık %25’i arazi bozulmasına uğramıştır (Kılıç et al. 2022). FAO verileri ise, 2050 yılına kadar dünya nüfusunun yaklaşık 9 milyara ulaşacağı öngörüsüne dayanarak, bu artışı karşılayabilmek için gıda üretiminin %70 oranında artırılması gerektiğini; ancak aynı döneme kadar 1,9 milyar hektarlık üretim alanının bozulma riski altında olduğunu bildirmektedir (Devecioğlu 2018).

Ayrıca, dünya genelinde yaklaşık 1,5 milyar insan bozulmuş arazilerde yaşamaktadır. Bu bireylerin büyük çoğunluğu düşük gelirli topluluklardır ve bu durum, arazi bozulmasının aynı zamanda toplumsal eşitsizlikleri derinleştiren bir sorun olduğunu göstermektedir. Fakirliğin hem nedeni hem de sonucu olabilen arazi bozulması, kalkınma politikalarının temel önceliklerinden biri hâline gelmiştir (Özevren ve Berberoğlu 2014).

İklim faktörleri olan yağış ve sıcaklık hem bitki örtüsünün dağılımını hem de toprak oluşumunu belirleyen temel etmenlerdir. İklim değişikliğinin bir sonucu olarak yağış rejiminde düzensizlikler, buharlaşma artışı ve yeraltı su seviyelerinde azalma gözlemlenmektedir (Budak vd. 2020). Bu da kuraklık ve taşkın olaylarının artmasına, bitki örtüsünün zayıflamasına ve sonuç olarak arazi erozyonuna neden olmaktadır (Sivakumar and Stefanski 2007).

Bitki örtüsünün yok olması, toprağın doğrudan yağış damlalarına maruz kalmasına neden olarak yüzey erozyonunu artırır. Eğimli arazilerde meydana gelen bu süreç, uzun vadede arazi verimliliğinin tamamen kaybedilmesiyle sonuçlanan çölleşmeye dönüşebilir (Poesen et al. 2003). Bu nedenle yarı kurak ve kurak bölgelerde arazi bozulması en önemli çevresel tehditlerden biridir (Kosmas et al. 2014).

Toprak tuzluluğu da bozulmanın bir diğer önemli göstergesidir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde yağışların yetersizliği ve yüksek buharlaşma, tuzların yüzeyde birikmesine neden olmaktadır. Ayrıca yetersiz drenaj sistemleri ve aşırı sulama, toprakta tuz ve sodyum birikimini artırarak verim kayıplarına neden olmaktadır (Günel vd. 2020). Türkiye’de bu duruma örnek olarak, GAP kapsamında sulamaya açılan Harran Ovası’ndaki 18.000 hektarlık alanda gelişen tuzluluk problemi verilebilir (Çullu vd. 2010).

Ormansızlaşma ise, özellikle eğimli arazilerde toprak kaybını artırarak bozulmayı hızlandıran bir diğer faktördür. FAO (2000), ormansızlaşmayı uzun vadeli arazi kullanım değişiklikleriyle ilişkilendirmekte ve bu süreci, orman alanlarının %10’un altına düşmesiyle tanımlamaktadır. UNFCCC ise bu kavramı yalnızca insan kaynaklı dönüşümlerle sınırlandırmaktadır (Tolunay 2015).

Bitki örtüsünün bozulması, iklim değişikliğiyle birlikte biyolojik çeşitliliğin ve gıda güvenliğinin azalmasına neden olmaktadır. Lavrence and Vandecar (2015), tropik ormanların yok edilmesinin sıcaklık artışlarına ve yağış miktarlarında azalmaya yol açtığını bildirmiştir. Bu değişimler sadece ormansızlaşan bölgelerde değil, çevresindeki ekosistemlerde de olumsuz etkiler yaratmaktadır (Zeng et al. 2021).

Tarım alanlarının sanayi ve yerleşim amacıyla kullanılması, tarımsal üretim potansiyelini sınırlandırmaktadır. Bu da tarımda daha fazla verim almak için kimyasal gübre ve pestisit kullanımının artmasına yol açmakta, dolayısıyla hem toprak hem de su kaynaklarında ciddi kirlilik problemlerini beraberinde getirmektedir (Nie et al. 2018;

Wairiu 2017). Yoğun üretim yapılan bölgelerde sodikleşme ve alkali pH artışı da toprak yapısını bozarak tarımsal üretimi olumsuz etkilemektedir (Alharbi 2015; Rozema and Flowers 2008).

Mera alanlarında kontrolsüz otlatma, bitki çeşitliliğini azaltmakta ve toprak özelliklerinde bozulmalara neden olmaktadır. Özellikle kurak bölgelerde aşırı otlatma, toprağın sıkışmasına ve gözenekliliğin azalmasına neden olarak organik madde içeriğini düşürmektedir (Yang and Sun, 2021; Fenetahun et al. 2019). Bu da toprakta karbon depolama kapasitesinin azalmasına yol açmaktadır (Budak ve Günal, 2018).

Sanayileşme ve kentleşme süreçleri, özellikle gelişmekte olan ülkelerde ekosistem üzerinde ciddi baskılar yaratmaktadır (Kavzoğlu 2008). Tarım arazilerinin parçalanması, ağır makinelerle yapılan madencilik faaliyetleri ve orman örtüsünün tahribi, toprak kalitesinde geri dönüşü zor hasarlara neden olmaktadır (Wickham et al. 2007; Shankar et al. 1993).

2.2. Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesi

Toprak, ekosistemlerin işleyişinde kilit bir rol oynayan ve insanlığın gıda, lif ve biyokütle ihtiyaçlarını karşılayan temel doğal kaynaklardan biridir. Ancak artan dünya nüfusu ve sınırlı arazi varlığı göz önüne alındığında, mevcut toprak kaynaklarının korunması ve verimliliklerinin sürdürülebilir şekilde artırılması kaçınılmaz hâle gelmiştir. Avrupa Birliği Komisyonu da bu bağlamda toprak kalitesinin korunmasının sürdürülebilir tarım için ön koşul olduğunu vurgulamaktadır (Audsley et al. 1997).

Arazi kullanımındaki değişiklikler, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini doğrudan etkileyerek toprağın ekosistem hizmetlerini yerine getirme

kapasitesini azaltabilir (Zhang et al. 2016). Kaliteli toprak kullanımı ilkeleri dikkate alınmadan yapılan uygulamalar, toprak fonksiyonlarında bozulmalara ve uzun vadede üretim kayıplarına neden olmaktadır (Bayram vd. 2015). Bu nedenle toprak kalitesinin izlenmesi, sadece tarımsal üretimin değil, aynı zamanda çevresel bütünlüğün de sürdürülebilirliği açısından önemlidir.

Toprak, yerkürenin dört ana bileşeni olan litosfer, hidrosfer, atmosfer ve biyosferin kesişim noktasında yer alır ve bu konumuyla birçok ekolojik sürecin merkezinde bulunur (Günel ve Budak 2022). Toprağın sürdürülebilir şekilde yönetilebilmesi, fiziksel yapısına, kimyasal bileşimine ve biyolojik çeşitliliğine uygun yönetim stratejilerinin geliştirilmesine bağlıdır (Acir 2014). Toprak işlevlerinin anlaşılması, toprak kalitesinin doğru biçimde değerlendirilebilmesi için bir ön koşuldur. Nitekim Marzaioli et al. (2010), toprak fonksiyonlarının anlaşılmasının kalitenin belirlenmesinde merkezi bir rol oynadığını ifade etmişlerdir.

Toprak fonksiyonları, uygulanan amenajman stratejilerine duyarlıdır. Bu nedenle toprağın sunduğu hizmetlerin sürekliliğini sağlamak için uygulanacak toprak yönetimi yöntemlerinin yerel özelliklere göre belirlenmesi gerekmektedir (Acir 2014). Ayrıca toprak kalitesi zamana ve mekâna bağlı olarak değişkenlik gösterebildiğinden, değerlendirmenin bu faktörleri de içermesi önemlidir (Larson and Pierce 1994). Bu tür bir yaklaşım, mevcut yönetim sistemlerinin sürdürülebilirliğinin izlenmesinde de işlevseldir (Erşahin 2001).

Toprak kalitesine dair değerlendirmeler genellikle fiziksel (örneğin: hacim ağırlığı, geçirgenlik), kimyasal (pH, organik madde, besin elementleri) ve biyolojik (mikrobiyal biyokütle, enzim aktiviteleri) göstergeler üzerinden yapılmaktadır. Ancak tek bir toprak özelliğine dayanarak kalitenin belirlenmesi yanıltıcı olabilir. Edith et al. (2012), toprak kalitesinin çok disiplinli bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini ve farklı uzmanlık alanlarının iş birliği ile daha sağlıklı sonuçlara ulaşılabileceğini savunmuştur. Ayrıca uzun vadeli izlemeye imkân tanıyan güvenilir yöntemlerin geliştirilmesine duyulan ihtiyaç da açıktır (Wienhold et al. 2009).

Doran and Parkin (1994), toprak kalitesinin, toprağın sahip olduğu fonksiyonları yerine getirme kapasitesiyle doğrudan ilişkili olduğunu vurgulamıştır. Dolayısıyla toprak kalitesi, sadece bir arazi parçasının mevcut durumu hakkında bilgi vermekle kalmaz, aynı zamanda bu toprağın gelecekteki kullanım potansiyeli ve sürdürülebilirliği hakkında da öngörüler sunar. Toprak kalitesi doğrudan ölçülebilir bir özellik olmadığından, bu değerlendirme dolaylı olarak belirli göstergeler üzerinden yapılır (Acir 2014).

Bu göstergeler hem mevcut kalite durumunun hem de zaman içerisindeki değişimlerin izlenmesine olanak sağlar (Larson and Pierce 1994). Daha doğru ve güvenilir sonuçlar için, değerlendirmede fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin birlikte ele alınması ve bütüncül veri setlerinin kullanılması önerilmektedir.

2.2.1 Toprak Kalitesi Değerlendirme Yaklaşımları

Toprak kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen yöntemler, zamanla çeşitlenmiş ve daha kapsamlı hale gelmiştir. Bu yaklaşımlar, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini göz önünde bulundurarak sürdürülebilirlik, verimlilik ve çevresel etkiler gibi farklı kriterler doğrultusunda uygulanmaktadır. Bu yöntemler arasında skor kartları, koşullandırma indeksleri, çerçeve tabanlı modeller ve bilgisayar destekli sistemler öne çıkmaktadır.

2.2.1.1 Skor Kartları

Toprak kalitesini değerlendirmede kullanılan ilk ve en basit yöntemlerden biri, skor kartı uygulamalarıdır. Bu kartlar, arazide yapılan hızlı gözlemlerle toprak sağlığına dair

temel bilgiler sunmayı amaçlar. Amerika Tarım Bakanlığı'na (USDA) bağı Doğal Kaynakları Koruma Servisi (NRCS), toprak sağlığı değerlendirme kartları ve test kitleri geliştirerek bu uygulamaları yaygınlaştırmıştır (Ditzler and Tugel 2002).

Söz konusu test kitlerinde genellikle infiltrasyon, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi, havalanma durumu, pH, elektriksel iletkenlik gibi parametreler yer alırken, organik madde ya da karbon içeriği gibi bazı temel göstergeler ihmal edilebilmektedir (Acir 2022). Bu nedenle skor kartlarının daha çok ön değerlendirme amacıyla kullanılması önerilir.

2.2.1.2 Toprak Koşullandırma İndeksi (SCI)

Toprak Koşullandırma İndeksi (Soil Conditioning Index-SCI), USDA tarafından geliştirilmiş bir diğer yöntemdir. Bu indeks, toprağın organik madde içeriğindeki değişimi temel alarak toprak sağlığındaki olası iyileşmeleri veya bozulmaları tahmin etmeye çalışır (Laws 1961). Ancak SCI yalnızca organik maddeye odaklandığı için toprak kalitesinin bütünsel değerlendirmesinde sınırlı bir çerçeve sunar.

Uzun dönemli çalışmalar, SCI değerleri ile toprak karbon düzeyleri arasında genellikle pozitif yönde bir ilişki olduğunu gösterse de (Hubbs et al. 2002), bazı bölgelerde bu korelasyon oldukça zayıftır (Zobeck et al. 2008). Bu nedenle SCI'nın kullanımı tek başına yeterli olmayıp, diğer göstergelerle desteklenmesi önerilir.

2.2.1.3 Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi (SMAF)

SMAF (Soil Management Assessment Framework), ABD Toprak Kalitesi Enstitüsü tarafından geliştirilen çok kriterli bir değerlendirme sistemidir (Acir 2022). Bu sistemde, toprak fonksiyonlarını yansıtan çeşitli göstergeler belirli algoritmalarla puanlandırılır ve toprak kalitesi skoru hesaplanır.

Yöntem üç temel aşamadan oluşur: (1) göstergelerin seçimi, (2) bu göstergelere uygun puanlama eğrilerinin tanımlanması ve (3) skorların birleştirilerek toplam kalite indeksinin oluşturulması (Andrews et al. 2004). “Daha fazla daha iyidir”, “daha az daha iyidir” ve “optimum değer iyidir” gibi puanlama eğrileri, değerlendirme esnekliğini artırır. SMAF yöntemi sayesinde farklı toprak sınıfları ve yönetim hedefleri için özelleştirilmiş değerlendirmeler yapılabilir.

2.2.1.4 Tarımsal Ekosistem Değerlendirme Aracı (AEPAT)

AEPAT (Agricultural Ecosystem Performance Assessment Tool), tarımsal üretim sistemlerinin toprak üzerindeki etkilerini değerlendirmek için geliştirilmiş bir bilgisayar tabanlı uygulamadır (Liebig et al. 2004). Bu araçta, her gösterge için önceden tanımlanmış performans eşikleri doğrultusunda puanlama yapılır ve bu puanlar ağırlıklandırılarak bir genel değerlendirme skoru elde edilir.

Göstergelerin puanlandırılması uzman görüşlerine dayansa da, kullanıcıların sisteme müdahale edebilmesi ve esnekliğin yüksek olması, yöntemin uygulanabilirliğini artırmaktadır.

2.2.1.5 Cornell Toprak Sağlığı Testi (CASH)

Cornell Üniversitesi tarafından geliştirilen CASH (Comprehensive Assessment of Soil Health), toprak sağılığını fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmeyi amaçlar. Programın temel hedefi, çiftçilere ve danışmanlara karar destek aracı sunmak ve toprak iyileştirme stratejilerinde rehberlik etmektir (Gökmen 2011).

CASH yöntemi, toprak strüktürü, yarayışlı su içeriğı, agregat stabilitesi, organik madde miktarı, mikrobiyal aktivite, aktif karbon, besin elementleri, pH, tuzluluk ve sodiklik gibi birçok parametreyi değerlendirme kapsamına alır (Moebius-Clune et al, 2016). Bu nedenle özellikle üretici odaklı yönetim kararlarında sıklıkla tercih edilmektedir.

2.2.1.6 Avrupa Birliğı (AB) Yaklaşımlı Toprak Kalitesi ve Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi

Avrupa Birliğı bünyesinde yürütölen RECARE Projesi, kıtanın farklı bölgelerinde toprakları tehdit eden temel sorunların analizini yapmayı ve bu tehditlere karşı çözüm önerileri geliştirmeyi amaçlayan çok disiplinli bir araştırmadır (Acir 2022). Proje kapsamında erozyon, tuzluluk, sıkışma, geçirgenlik kaybı, biyolojik çeşitlilikte azalma, organik madde kaybı ve toprak kirlenmesi gibi faktörler üzerine saha çalışmaları yürütölmektedir.

Proje, Avrupa Toprak Veri Merkezi (ESDAC) aracılığıyla tüm toprak veri ve haritalarını bir araya getirerek karar vericilere sistematik bilgi sunmayı amaçlamaktadır (Panagos et al. 2020).

2.3 Toprak Kalitesi Değerlendirme Yöntemleri

Toprağın sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin bütüncül etkileşimi, onun fonksiyonel kapasitesini yani kalitesini belirler (Seybold et al. 1998). Bu bağlamda toprak kalitesi değerlendirme yöntemleri, bu çok boyutlu özellikleri ölçebilecek sistematik ve işlevsel yaklaşımlar geliştirmeyi amaçlar. Genellikle dört temel adım üzerine kurulu bir değerlendirme süreci benimsenir: (1) minimum veri setlerinin belirlenmesi, (2) bu göstergelerin standartlaştırılması (skorlama), (3) ağırlıklandırılması ve (4) bir toprak kalite indeksi altında birleştirilmesidir (Andrews et al. 2002; Budak et al. 2018; Wu et al. 2019).

2.3.1 Minimum veri setlerinin oluşturulması

Toprak kalitesinin değerlendirilmesinde, çok sayıda parametre içeren klasik analizler maliyetli ve zaman alıcıdır. Bu nedenle, özellikle son yıllarda araştırmacılar, temel göstergelerle oluşturulan minimum veri setleri (MVS) yoluyla daha etkin değerlendirme yöntemleri geliştirmiştir (Acir 2022). Bu setler, yönetim uygulamalarına duyarlı fiziksel, kimyasal ve biyolojik göstergelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulur (Shukla et al. 2006).

Veri setlerinin hazırlanmasında iki temel yaklaşım öne çıkar: uzman görüşüne dayalı seçim ve istatistiksel veri indirgeme teknikleri. Uzman görüşü yaklaşımı, bölgenin pedolojik özelliklerine dayalı olarak göstergelerin seçilmesini sağlar. Bu süreç, değerlendirme hedefi doğrultusunda ilgili toprak fonksiyonlarının ve bu fonksiyonlara karşılık gelen göstergelerin belirlenmesi ile ilerler (Andrews et al. 2004).

İstatistiksel yaklaşımlarda ise Temel Bileşenler Analizi (PCA), Faktör Analizi, Diskriminant Analizi, Çoklu Regresyon, Bulanık Mantık ve Analitik Hiyerarşi Süreci

(AHP) gibi yöntemler kullanılır (Schipper and Sparling 2000; Liu et al. 2017; Budak et al. 2018; Xue et al. 2019). Bu analizler, değişken sayısını azaltarak en yüksek bilgi içeriğini taşıyan göstergelerin seçimini sağlar.

PCA yönteminde veriler, öncelikle Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) testi ile küresellik açısından değerlendirilir. Değeri 0.5 veya üzeri olan değişkenler PCA'ya dâhil edilir (Field 2000). Bu analizde Eigen değeri >1 olan parametreler seçilir (Andrews et al. 2002) ve korelasyon katsayısı yüksek olan değişkenlerden sadece biri veri setine alınır. Bu sayede değişkenler arası tekrar önlenmiş olur.

Günümüzde MVS yaklaşımı; tarım toprakları için tekstür, yarayışlı su, pH, organik madde, besin elementi içeriği; orman toprakları için ise agregat stabilitesi, sertlik ve makrofauna gibi göstergeleri kapsayacak şekilde geliştirilmektedir (Powers et al. 1998; Dindaroğlu 2011).

2.3.2 Skorlama

Minimum veri setine dahil edilen göstergeler, farklı skorlama fonksiyonları ile standartlaştırılır. Bu işlem, her göstergenin ölçüm değerini 0 ile 1 arasında değişen bir skora dönüştürerek karşılaştırılabilir hâle getirir (Karlen and Stott 1994). Skorlama fonksiyonları genellikle üç kategoriye ayrılır:

Daha fazla daha iyidir: Örneğin organik madde veya agregat stabilitesi gibi göstergeler yüksek değer aldıkça daha yüksek skor elde eder.

Daha az daha iyidir: Tuzluluk veya hacim ağırlığı gibi parametrelerde düşük değerler tercih edilir. Orta nokta daha iyidir: pH gibi göstergelerde belirli bir aralık optimum kabul edilir.

Doğrusal skorlama basit ve anlaşılırdır; ancak uç değerlerden etkilenebilir. Bu nedenle, normal dağılım göstermeyen verilerde uç değerler belirlenerek bu değerlere özel skorlama yapılmalıdır (Liu et al. 2017). Doğrusal olmayan yöntemler ise uzman görüşleri ve literatüre dayalı olarak oluşturulan eğrilerle, daha yerel ve esnek sonuçlar sunar (Andrews et al. 2004).

2.3.3 Skorların ağırlıklandırılması

Göstergelerin her biri toprak kalitesi üzerinde farklı etkilere sahiptir. Bu nedenle skorlar topluca değerlendirilmeye geçilmeden önce, göstergelere önem derecesine göre ağırlık verilmelidir (Vasu et al. 2016; Cherubin et al. 2016). Ağırlıklandırma işlemi basitçe her göstergeye eşit değer atamakla yapılabileceği gibi, daha gelişmiş yöntemlerle de gerçekleştirilebilir.

PCA ve AHP bu konuda yaygın olarak kullanılan iki yöntemdir. PCA, varyansı en çok açıklayan değişkenlere daha yüksek ağırlık verirken; AHP, uzman görüşlerine dayalı olarak bir karar matrisi oluşturur ve tutarlılık oranı hesaplanarak güvenilirlik analizi yapılır (Saaty 1977; Dengiz ve Sarıoğlu 2013).

2.3.4 Skorların indeks olarak birleştirilmesi

Son aşamada tüm skorlar, tek bir indeks hâlinde birleştirilerek genel bir toprak kalite değeri oluşturulur. Bu birleştirme iki şekilde yapılabilir:

Basit eklemeli yöntem: Tüm skorların toplanıp gösterge sayısına bölünmesi ile ortalama alınır (Andrews et al. 2002).

Ağırlıklı eklemeli yöntem: Her göstergenin ağırlığı ile çarpılıp toplam skor elde edilir (Lima et al. 2013).

Toprak kalite indeksi, uygulanan yöntem kadar gösterge seçimlerine de bağlıdır. Bu nedenle her bölgede aynı set kullanılamaz; toprağın oluşum koşulları, iklimi ve kullanım biçimi göz önünde bulundurulmalıdır (Nortcliff 2002).

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1 Çalışmanın Tasarımı

Bu tez çalışmasında 2010-2024 yılları arasında yayımlanan literatürler incelenerek toprak kalitesi kavramı ve bu alanda kullanılan yenilikçi değerlendirme yaklaşımları ele alınmıştır. Çalışmanın materyalini konu ile ilgili yayınlanmış bilimsel makaleler, tezler, kitaplar ve raporlar oluşturmaktadır. Çalışmada literatür taraması yöntemi kullanılmıştır. Tarama, belirli anahtar kelimeler ve seçilmiş veri tabanları aracılığıyla gerçekleştirilmiş uygunluk kriterleri doğrultusunda ilgili yayınlar seçilmiştir.

3.2 Veri Kaynakları

Çalışmada tarama yapılan başlıca veri tabanları şunlardır:

- Web of Science
- Scopus
- ScienceDirect
- Google Scholar
- Türkiye Atıf Dizini (TR Dizin)
- Yök Ulusal Tez Merkezi (tez arama)

Bu veri tabanları üzerinden elde edilen çalışmalar, önceden belirlenen uygunluk ölçütlerine göre değerlendirilmiştir.

3.3 Anahtar Kelimeler

Literatür taramasında kullanılan anahtar kelimeler aşağıdadır. Anahtar kelimeler hem türkçe hem de ingilizce olarak belirlenmiştir.

- Toprak kalitesi/Soil quality
- Toprak verimliliği/Soil fertility
- Toprak özellikleri/Soil properties
- Toprak sağlığı/Soil health
- Toprak kalitesi değerlendirme yöntemleri/Soil quality assessment methods
- Toprak kalite kriterleri/Soil quality indicators

3.4. Çalışma Seçim Kriterleri

Çalışmaya dahil edilen çalışmaların belirlenmesinde aşağıdaki kriterler kullanılmıştır:

- 2010–2024 yılları arasında yayınlanmış olması,
- Hakemli dergilerde yayımlanmış olması veya akademik tez statüsünde olması,
- Toprak kalitesi veya sağlığı ile doğrudan ilişkili olması,
- Toprak kalitesinin değerlendirilmesi için nicel veri kullanılması,
- Tam metin erişiminin sağlanabilmesi,
- İngilizce veya Türkçe yazılmış olması,
- Tarım, çevre bilimi veya toprak bilimi alanlarına ait olması.

Bu kriterler doğrultusunda taranan çalışmalar arasından, araştırma soruları ve tematik yapıya uygun olanlar seçilmiştir.

3.5 Veri Analizi

Seçilen çalışmalardan aşağıdaki bilgiler sistematik olarak toplanmıştır:

- Araştırmanın amacı
- Kullanılan toprak kalite indeksleri ve yöntemleri
- Uygulanan örnekleme ve analiz yöntemleri
- Elde edilen temel bulgular ve sonuçlar

Toplanan veriler içerik analiz yöntemiyle değerlendirilmiş ve konularına göre sınıflandırılmıştır. Analiz sonucunda fiziksel, kimyasal ve biyolojik göstergeler çerçevesinde kullanılan değerlendirme yöntemleri belirlenmiş, bu yöntemlerin güçlü ve zayıf yönleri ortaya konmuştur. Ayrıca farklı coğrafi bölgelerde uygulanan yöntemlerin karşılaştırılması yapılarak metodolojik boşluklar tespit edilmiştir.

3.6 Yapılan değerlendirmeler

Tarım arazilerinin sağlığının izlenmesi, sürdürülebilir tarımsal faaliyetlerin planlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Geleneksel tarım uygulamalarının yoğun biçimde kullanılması, toprak kalitesinde önemli kayıplara neden olabilmektedir. İnsan eliyle gerçekleştirilen veya doğal yollarla meydana gelen arazi bozulmaları, günümüzde giderek artan çevresel sorunların başında gelmektedir (Edrisi et al. 2021). Aşırı toprak işleme, anız yakımı, ölçsüz kimyasal gübreleme ve suyun gereğinden fazla kullanılması gibi pratikler, toprak, su ve hava kaynaklarında ciddi bozulmalara yol açmaktadır. Bu tür uygulamalar; organik karbon seviyelerinde düşüşe, toprak biyotasında azalmaya, toprak sıkışmasına, yüzey akışında artışa ve besin maddelerinin taşınımında yükselmeye sebep olarak ekosistem hizmetlerini olumsuz yönde etkilemektedir (Lal 2015). Geleneksel yöntemlerin yerine koruyucu tarım sistemlerine geçilmesi ise toprak yapısını güçlendirebilir, biyoçeşitliliği artırabilir ve kaynak kullanım verimliliğini geliştirebilir.

Tarımsal üretimde sürdürülebilirliğin temel taşı olan toprak kalitesi, toprak yönetim uygulamalarıyla doğrudan ilişkilidir. Toprak işleme teknikleri, anızların toprakla entegrasyonu, bitki artığı yönetimi, organik ve hayvansal gübre uygulamaları ile münavebe sistemleri, besin döngüsü ve mineralizasyon süreçlerini etkileyerek toprak verimliliğini şekillendirmektedir. Özellikle işleme yoğunluğunun azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması, toprak yapısının fiziksel ve kimyasal özelliklerini daha istikrarlı hale getirebilir (Chan et al. 2002; Bronick and Lal 2005).

Toprak kalitesi üzerine yapılan araştırmaların öncelikli amacı, farklı yönetim uygulamalarının toprak özellikleri üzerindeki etkilerini belirleyebilmektir. Çünkü her bir toprak tipi, kendine özgü pedolojik özellikleri ve çevresel koşullara bağlı olarak farklı tepkiler verebilmektedir. Bu nedenle, toprağın verdiği tepkilerin detaylı bir şekilde anlaşılması, sürdürülebilir üretim sistemlerinin geliştirilmesi açısından oldukça önemlidir (Bezdicek et al. 1996).

Toprak kalitesinin tarımsal işlevler bağlamında ele alındığı çalışmalardan biri olan Altıkat ve Çelik (2009), toprağın üretkenlik, çevresel sürdürülebilirlik ve biyolojik verimlilik açısından taşıdığı önemi vurgulamaktadır. Söz konusu çalışmada; hacim ağırlığı, suyun toprak içine sızma hızı (infiltrasyon), su tutma kapasitesi, agregat kararlılığı, organik madde düzeyi, mikrobiyal biyokütle, toprak faunası yoğunluğu ve enzim aktiviteleri gibi göstergelerin, toprak kalitesinin değerlendirilmesinde etkili kriterler olduğu belirtilmiştir. Özellikle agregat stabilitesinin, toprak partiküllerinin ayrışma direncini ve buna bağlı olarak su hareketini ve erozyon eğilimini doğrudan etkilediği ifade edilmiştir.

Toprak yönetiminde karar alma süreçlerine katkı sunan Toprak Yönetimi Değerlendirme Çerçevesi (SMAF) yöntemi, çeşitli toprak göstergelerini entegre ederek nitel bir değerlendirme yapılmasına olanak tanımaktadır. Stott et al. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada; toplam organik karbon (SOC), hacim ağırlığı (Db), su ile doygunluk düzeyi (WFPS), elektriksel iletkenlik (EC) ve mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) gibi parametreler kullanılarak kalite değerlendirmesi yapılmış ve az bitki örtüsüne sahip alanlarda kalite skorlarının oldukça düşük olduğu saptanmıştır. Aynı zamanda farklı eğim pozisyonlarına sahip alanlar (örneğin yamaç başı, kenar, dip ve çukur bölgeler) için de toprak kalitesi indeksi hesaplanmıştır.

Iowa eyaletinde gerçekleştirilen ve sürekli mısır tarımı ile mısır-soya rotasyonu yapılan alanların karşılaştırıldığı bir araştırmada (Karlen et al. 2011), mısır monokültürü uygulanan sahalarda toprak kalitesi %93, rotasyon yapılan sahalarda ise %83 olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu farklılığın, mısır saplarının toprakla daha fazla entegre edilmesi sonucunda organik madde dengesinin artmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Gökmen (2011) tarafından yürütülen yüksek lisans tezinde, SMAF yöntemi kullanılarak farklı toprak işleme tekniklerinin toprak kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada hacim ağırlığı, pH, elektriksel iletkenlik, agregat stabilitesi, toplam organik karbon, bitki tarafından alınabilir fosfor ve potasyum düzeyleri gibi göstergeler ölçülmüş; bu veriler doğrusal olmayan skorlama eğrileri aracılığıyla puanlanarak toprak kalitesi değerlendirilmiştir. Çalışmanın dikkat çekici bulgularından biri, toplam organik karbon düzeyinin deneme öncesi değerlere göre ya sabit kaldığı ya da arttığı yönündedir.

Bonilla et al. (2012) tarafından yapılan araştırmada, farklı organik atık uygulamalarının hem toprak özellikleri hem de ürün verimi üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Araştırmacılar, organik maddenin toprak fiziki özelliklerini olumlu yönde etkilediğini; toprak içi mikroorganizma sayısını ve bunların biyolojik faaliyetlerini artırdığını belirtmişlerdir.

Toprağın morfolojik yapısı ile kalitesi arasındaki ilişkiyi irdeleyen Rezapour and Samadi (2012), organik maddenin toprağa eklenmesiyle birlikte toprak özelliklerinde kayda değer değişimlerin meydana geldiğini ortaya koymuşlardır. Özellikle besin elementlerini tutma kapasitesinin organik madde sayesinde arttığı, böylece toprak verimliliğinin desteklendiği ifade edilmiştir.

Laishram et al. (2012), toprak sağlığı ve kalitesi kavramlarını, toprağın mevcut kullanım sınırları içerisinde temel yaşam işlevlerini sürdürebilme yeteneği şeklinde tanımlamışlardır. Bu çalışmada toprak kalitesinin olumsuz etkilenmesinde başlıca nedenler arasında besin maddesi dengesizlikleri, aşırı gübreleme ve hızla artan toprak kaybı süreçlerine dikkat çekilmiştir.

Orman yönetimi açısından toprak kalitesinin taşıdığı önem üzerine yapılan bir çalışmada, Dindaroğlu ve Canbolat (2013), çeşitli kimyasal özellikleri kullanarak bir toprak kalitesi indeksi oluşturmuşlardır. Bu kapsamda hacim ağırlığı, pH, toplam

organik karbon, toplam azot gibi temel parametrelerin yanı sıra değişebilir katyonlar (Na, K, Mg, Ca), bazı ağır metaller (Al, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) da değerlendirilmiştir. Elde edilen indeks değerlerine göre kuzey bakıya sahip, düşük eğimli ormanlık ve çayırılık alanların yüksek toprak sağlığına sahip olduğu ortaya konmuştur.

Toprak kalitesini belirlemek amacıyla SMAF yönteminin uygulandığı bir diğer araştırmada Merrill et al. (2013), iki farklı toprak türünü karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Bu çalışma kapsamında toprak göstergeleri olarak toplam organik karbon, mineralize olabilir azot, alınabilir fosfor, yarayışlı su kapasitesi, pH ve elektriksel iletkenlik kullanılmıştır. Kil yapılı topraklarda toplam organik karbon ve azot düzeyleri görece yüksek bulunurken, alüvyal topraklarda özellikle fosfor ve su tutma kapasitesi gibi özellikler daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır.

İrlanda'nın ılıman iklim koşullarında, otlak yönetiminin toprak kalitesi üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği bir çalışmada Askari and Holden (2014), hacim ağırlığı, organik karbon ve C/N oranı gibi özelliklerin bu tür alanlarda kalite değerlendirmesinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Arazi yönetiminin yoğunlaştırılmasının toprak kalitesini olumsuz etkilediği, özellikle otlak altındaki arazilerde bu etkinin daha belirgin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Türkiye'de yürütülen bir çalışmada Acir (2014), kurak ve yarı-kurak bölgelerde farklı arazi kullanım türleri ve çevresel koşullara sahip alanlarda toprak kalitesinin değerlendirilmesine yönelik minimum veri setlerini belirlemiştir. Kazova ve Kızılca bölgelerinde gerçekleştirilen çalışmada; toprak partikül boyutu, hacim ağırlığı, agregat stabilitesi, yarayışlı su içeriği, toplam organik karbon, pH, EC, sodyum adsorpsiyon oranı, bitkiye yarayışlı fosfor ve potasyum gibi pek çok parametre analiz edilmiştir. SMAF yöntemiyle yapılan değerlendirmeler sonucunda, üretkenlik potansiyeli

açısından Kazova topraklarının %59'unda, Kızılca topraklarının ise %68'inde toprakların işlevsellik gösterdiği belirlenmiştir.

ABD'nin Ohio eyaletinde gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı arazi kullanımı ve toprak yönetim biçimlerinin toprak kalitesi üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır (Paul et al. 2013). Araştırmacılar, organik karbon, hacim ağırlığı, toplam azot ve elektriksel iletkenlik gibi göstergelerin toprak kalite indeksi açısından duyarlılığını analiz etmişlerdir. Sıfır toprak işleme yöntemiyle yönetilen alanlarda daha yüksek verim beklentisi olmasına rağmen, geleneksel işleme uygulanan arazilerde en yüksek verim değerleri elde edilmiştir.

İran'da yapılan bir başka çalışmada Khah et al. (2014), çeşitli vejetasyon tiplerinin toprak kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, farklı bitki örtüsü türleri arasında fosfor içeriğinde anlamlı bir fark bulunmazken, mevsimsel değişimlerden bağımsız olarak, yıllık çalılık formasyonlarının toprak kalitesini en fazla artıran ve sürdüren bitki örtüsü tipi olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, mera ve tarım arazisi yönetiminin toprak özellikleri üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir.

Toprak kalite göstergelerinin toprak kaynakları yönetimi açısından önemini vurgulayan Fard and Sadikhani (2014), toprak kalitesinin yalnızca tarımsal üretim için değil, aynı zamanda sürdürülebilir arazi yönetimi ve çevresel planlama süreçlerinde karar desteği sağlayabilecek bir gösterge olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, kalite göstergelerinin sorunlu alanların tespiti ve iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesinde etkili biçimde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Hindistan'da uzun süreli pirinç-buğday rotasyonu uygulanan tarım alanlarında yürütülen bir çalışmada Bhaduri and Purakayastha (2014), SMAF yaklaşımında Temel Bileşenler Analizi'ni (PCA) kullanarak toprak kalite değerlendirmesi gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar, toprak kalitesi indekslerini yönetim hedefleri doğrultusunda hesaplamış

ve elde edilen veriler ışığında bu hedeflerin kalite göstergeleri üzerinde belirgin etkiler yarattığını gözlemlemişlerdir.

Harran Ovası'nda yapılan bir araştırmada Bilgili vd. (2015), toprak analizlerinin sayısal değerlendirme ile entegre edilmesinin, klasik analizlere kıyasla daha işlevsel sonuçlar sağlayabileceğini öne sürmüşlerdir. Araştırmacılar, doğrudan ölçüm yerine rakamsal verilerin değerlendirilmesini esas alan toprak kalite indekslerinin, değerlendirme sürecini hem kolaylaştırdığını hem de pratikte daha etkin bir araç sunduğunu belirtmişlerdir.

Meralarda yapılan bir başka çalışmada, Swanepoel et al. (2015), toprak işleme uygulamalarının toprak kalitesi üzerindeki etkilerini ele almışlardır. Araştırmada, işlenmiş meralarda kimyasal kalite göstergelerinde anlamlı bir farklılık gözlemlenmemekle birlikte, fiziksel ve biyolojik kalite göstergelerinde ve genel kalite indeksinde düşüş olduğu rapor edilmiştir. Öte yandan, işlemeye maruz kalmamış alanlarda toprak kalitesinin daha yüksek düzeyde korunduğu belirlenmiştir.

Mbuthia et al. (2015), sürekli pamuk yetiştiriciliği yapılan tarım alanlarında SMAF yöntemiyle gerçekleştirdikleri çalışmada, toprak işleme biçimlerinin örtü bitkileri ve mikrobiyal yapılar üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Araştırma, düşük biyokütleyle sahip örtü bitkilerinin uzun süre kullanılmamasının ya da yanlış kullanımlarının, mikrobiyal toplulukların karbon, azot ve fosfor döngülerinde önemli değişikliklere neden olduğunu ortaya koymuştur.

Kalu et al. (2015), Nepal'deki farklı arazi kullanım türlerini karşılaştırarak toprak kalitesi indekslerini hesaplamışlardır. Korunan orman alanları, topluluk ormanları, meralar, sulu ekili (khet) ve kuru tarım yapılan (bari) alanlarda yapılan değerlendirmelerde, toprak kalite indeksi sırasıyla 0.95, 0.91, 0.88, 0.81 ve 0.79 olarak

belirlenmiştir. Araştırma sonucunda, toprak organik maddesi ve alınabilir fosfor düzeylerinin kaliteyi belirleyen başlıca göstergeler olduğu ortaya konmuştur.

Zornoza et al. (2015), toprak kalitesinin insan sağlığı ve yönetim uygulamalarıyla olan ilişkisini değerlendirdikleri çalışmalarında, özellikle toprak organik karbonu ile pH değerlerinin en sık kullanılan ve en duyarlı göstergeler olduğunu belirtmişlerdir. Bu göstergelerin, farklı yönetim biçimlerine yüksek duyarlılık göstermeleri nedeniyle toprak kalitesinin takibinde önemli bir rol oynadığı vurgulanmıştır.

Toprak kalitesini değerlendirmeye yönelik standart bir metodoloji geliştirmeye çalışan Obade and Lal (2016), farklı doku sınıflarına sahip beş ayrı tarım arazisinden elde ettikleri verilerle analiz gerçekleştirmişlerdir. Araştırma bulgularına göre, tozlu killi balçık yapısına sahip topraklar, diğer toprak türlerine kıyasla daha yüksek kalite skorlarına ulaşmıştır. Bu durum, doğal bitki örtüsü altında bulunan arazilerin fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından daha elverişli koşullar sunduğunu ortaya koymaktadır.

Türkiye'nin Konya ili Çumra bölgesinde yürütülen bir çalışmada Şeker vd. (2016), önemli tarım alanlarında toprak kalitesini belirlemek amacıyla bölgesel ölçekte bir değerlendirme gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada toplam 38 farklı toprak özelliği analiz edilmiş ve temel bileşenler analizi (PCA) yardımıyla Minimum Veri Seti (MVS) oluşturulmuştur. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik göstergelerden seçilen bu parametrelerin arasında agregat stabilitesi, hacim ağırlığı, solma noktası, pH, elektriksel iletkenlik, üreaz aktivitesi ve potansiyel mineralize olabilir azot gibi göstergelerin toprak kalitesine dair en hassas belirleyiciler olduğu saptanmıştır. Araştırma sonuçları, bu göstergelerin bölgesel izleme çalışmaları için etkin şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Çin’de gerçekleştirilen bir araştırmada Zhang et al. (2016), taşkın eğilimli alanlarda toprak kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla üç alt bölge tanımlamışlardır: kısa süreli taşkın alanı, mevsimsel taşkın alanı ve gelgit etkisindeki taşkın alanı. Çalışmada Minimum Veri Seti (MVS), temel bileşenler analizine (PCA) dayalı olarak belirlenmiş ve toprak kalite indeksi (SQI) hesaplanmıştır. Bulgular, toprak tuzluluğunun (%34,1), toplam karbonun (%24,5) ve magnezyum içeriğinin (%24,1) toprak kalitesini en çok etkileyen unsurlar olduğunu göstermiştir. Ayrıca, SQI ile tuzluluk arasında negatif yönlü bir ilişki saptanmıştır.

Cherubin et al. (2016), doğal bitki örtüsü, mera ve şeker kamışı yetiştirilen alanlarda, toprak kalitesini etkileyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik göstergeleri SMAF yöntemiyle puanlayarak karşılaştırmalı analiz yapmışlardır. Elde edilen bulgulara göre, en yüksek toprak kalitesi indeksi doğal bitki örtüsü alanlarında (%87), ardından şeker kamışı (%74) ve mera alanlarında (%70) gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, arazi kullanım şeklinin toprak kalitesine olan etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

Duran (2016) tarafından yürütülen çalışmada, doğal bitki örtüsünün tarım alanına dönüştürülmesinin toprak kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Yapılan ölçümler, toprak kalitesi indeksinin %92’den %88’e düştüğünü ve bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermiştir ($P<0.05$). Toplam organik karbon, agregat stabilitesi, pH ve değişebilir potasyum gibi göstergelerde azalma gözlemlenirken, yarayışlı fosfor değerlerinde artış rapor edilmiştir.

Hindistan’da yürütülen bir araştırmada Basak vd. (2016), uzun süreli tarımsal üretimin Inceptisol, Entisol ve Alfisol topraklarında neden olduğu kalite değişimlerini değerlendirmişlerdir. Inceptisol toprakları için dehidrogenaz enzim aktivitesi ve yarayışlı potasyum gibi parametreler ön plana çıkarken, Entisol’da organik karbon ve beta glukozidaz aktivitesi, Alfisol’de ise mikrobiyal biyokütle karbonu ve mineral azot en duyarlı kalite göstergeleri olarak belirlenmiştir. Çalışmada, biyolojik ve kimyasal

göstergelerin kalite farklılıklarını ortaya koymada fiziksel göstergelere göre daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Apestegui et al. (2017) 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 en hassas göstergelerin hem 0–5 hem de 5–15 cm'de değiştiği, 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 araştırmacılar farklı kurak arazi toprak işleme sistemleri tarafından toprak kalite indeksinde meydana gelen değişikliklerin, toprak sulandığında sadece üç yıl içinde geri alınabileceği rapor etmişlerdir.

Çin de yapılan farklı verime sahip *Camellia oleifera* plantasyon standlarının toprak kalitesine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada (Liu et al. 2017), temel bileşenler analizi ile oluşturulan minimum veri setine organik madde, yarıyıllı fosfor, yarıyıllı kalsiyum, mikrobiyal biyokütle karbonu ve katalaz olmak üzere beş toprak göstergesi seçilmiş ve toprak 12 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 yarıyıllı fosforun, *Camellia oleifera* verimi için sınırlayıcı faktör olduğu bulunmuştur.

Kesen (2018), "Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Skor Fonksiyonları Kullanılarak Toprak Kalitesinin Belirlenmesi" başlıklı yüksek lisans tezi kapsamında Harran Ovası sulama alanının toprak kalite indeksini değerlendirmiştir. Toprak kalite indeksini elde etmek için doğrusal ve doğrusal olmayan puanlama teknikleri uygulanmıştır. Ek olarak, minimum bir veri seti oluşturmak ve toprak kalitesini etkileyen parametreleri belirlemek için bir temel bileşen analizi (PCA) kullanılmıştır. Toprak kalitesini değerlendirmek için organik madde, değiştirilebilir potasyum (K), çinko (Zn), manganez (Mn), kireç ve pH

gibi göstergeleri içeren minimum bir veri seti derlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, doğrusal puanlama tekniği kullanılarak ortalama %37,5 ve PCA kullanılarak %24,3'lük bir toprak kalitesi indeksi ortaya çıkmıştır. Buna karşılık toprak kalite indeksi doğrusal olmayan skorlama tekniği kullanılarak %48,5 ve SMMM kullanılarak %48,6 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, toprak kalite indeksinin genel olarak düşük olduğunu göstermektedir.

Budak ve ark. (2018), Yukarı Dicle havzasında toprak kalitesi değerlendirmesi üzerine yaptıkları araştırmada, Mezopotamya'nın bu bölgesindeki arazi kullanımına dayalı mera, orman, meyve bahçesi ve tarımsal arazi kapasitesini değerlendirmek ve izlemek için toprak kalitesi indekslerini hesaplamışlardır. Temel bileşen analizi (PCA) ve uzman görüşü (EO) yöntemleri kullanılarak tüm arazi kullanımları için bir minimum veri seti (MVS) oluşturulmuştur. Tüm örnekleme sahaları için toprak kalite indeksi (SQI), birim olmayan gösterge puanları elde etmek için doğrusal puanlama fonksiyonları uygulandıktan sonra ağırlıklı katkı yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Farklı arazi kullanımlarını kalite açısından ayırt etmek için, organik madde içeriği, agrega stabilite değeri ve eğim en güçlü ve en yaygın özellikler olarak belirlenmiştir. Toprak kalite indeksi yöntemi kullanılarak elde edilen en yüksek puan (0,974) ormanlık alanlarda, en düşük puan (0,793) ise PCA tekniği kullanılarak meyve bahçelerinde bulunmuştur. Bu sonuçlar, PCA ve EO tekniklerinin toprak kalitesi değerlendirmesi için karşılaştırılabilir olduğunu göstermektedir

Dedeoğlu ve Babayiğit (2019), Orta Anadolu topraklarında Toprak Yönetimi Değerlendirme Çerçevesini kullanarak toprak kalitesini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar kalite göstergeleri olarak hacim ağırlığı, yarayışlı su kapasitesi, pH, EC, ekstrakte edilebilir K, mineralize edilebilir azot, fosfor ve toplam organik karbonu kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, arazinin %36,68'inin yüksek kaliteli, %13,44'ünün düşük kaliteli ve %49,88'inin orta kalitede olduğu tespit edilmiştir.

Everest et al. (2020), Bursa ili Karacabey ilçesinde bulunan Karacabey çiftliğinde toprak kalite indeksini (TTI) belirlemek için bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışma için, Akdeniz ülkelerinde çölleşmeye duyarlı arazilerin belirlenmesi ve hassas alanların tespit edilmesi için Avrupa Birliği tarafından uygulanan MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use) yaklaşımı kullanılmıştır. MEDALUS metodolojisine dayalı olarak yapılan değerlendirme ve hesaplamalara göre bölgenin toprak kalitesi şu şekilde sınıflandırılmıştır: Toprakların %23,78'i tekstür bakımından iyi, %31,93'ü ortalama, %39,04'ü fakir ve %5,25'i çok fakir olarak derecelendirilmiştir.

Lu et al. (2019), " Toprak kalitesinin değerlendirilmesi ve toprak kalitesi ile arazi kullanım türü arasındaki ilişki" başlıklı çalışmalarında, toprak su içeriği, yoğunluk, toplam azot, organik madde, amonyak azotu, nitrik azot, faydalı fosfor, emilen potasyum, tuzluluk ve pH gibi çeşitli toprak parametreleri incelemişlerdir. Araştırmada minimum veri setinde yer alan parametrelerin toprak kalitesindeki değişimin %84,37'sini oluşturan toplam azot, pH ve hacim ağırlığı olduğu rapor edilmiştir.

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 yapılan bir çalışmada (de Andrade Barbosa et al. 2019) baklagil/mısır ekim nöbeti ile sıfır işleme sisteminin, mikroorganizmaların gelişimini desteklediği ve toprak kalitesini iyileştirdiği belirlenmiştir. Araştırmacılar azotlu gübrelemenin toprak kalitesi üzerindeki etkileri, yönetim sistemine göre değişiklik gösterdiğini, mikrobiyal solunum, toplam organik karbon, mikrobiyal biyokütle azotu, üreaz enzim aktivitesi, dehidrogenaz enzim aktivitesi ve amilaz aktivitesi ise en etkili toprak kalite göstergeleri olduğunu bildirmişlerdir.

Lori et al. (2020)'nın yaptıkları bir çalışmada, Brezilya'nın nehir kıyı bölgelerinde su ve toprak kaynakları yönetimi için toprak kalitesini analiz etmişlerdir. Arazi kullanımının

bir fonksiyonu olarak toprak özelliklerindeki değişiklikleri değerlendirmek için karşılaştırmalı diyagramlar kullanmışlardır. Her bir arazi kullanımı türü için bir toprak kalitesi indeksi hesaplanmış ve toprak kalitesini değerlendirmek için karşılaştırmalı çizelgeler oluşturulmuştur. Sonuçlar, nehir kıyı bölgelerinde tarımsal arazi kullanımının temel toprak özelliklerinde olumsuz değişikliklere yol açtığını göstermiştir. Araştırmacılar, nehir kıyılarına bitişik alanların ekilmesinin toprak kalitesinde ciddi değişikliklere neden olabileceğini ve olumsuz çevresel etkilere yol açabileceğini belirtmişlerdir.

Prabha et al. (2020), "Farklı Arazi Kullanımları için Toprak Kalite Göstergeleri" başlıklı çalışmada toprak kalitesi göstergelerinin, toprak kalitesi durumunu değerlendirmek için kullanılabilen, ölçülebilir fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler içeren bir bileşik set olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar toprak organik karbonunu genellikle toprak kalitesi ve sürdürülebilir arazi yönetiminin en önemli göstergesi olarak rapor etmişlerdir.

Leon et al. (2020), "Toprak Topografik Koşulları Altında Farklı Bitkilerin Toprak Kalite İndekslerinin Değerlendirilmesi" başlıklı çalışmada toprağın çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerine dayalı olarak çeşitli arazi kullanımlarını karakterize ederek farklı topografik yapıdaki çeşitli ürünler için toprak kalite indeksini tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada toprak kalitesinin, tarımsal sistemlerin uygulanmasını kolaylaştıran bir değerlendirme aracı olduğu belirtilmiş olup, toprak kalitesi indeksi değeri ne kadar yüksek olursa arazi kullanımlarının arazi kalitesi o kadar iyi olacağı belirtilmiştir.

Yarı-kurak bir tarım arazisinde toprak kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada (Mohamed vd. 2020), temel bileşenler analizi uygulanmıştır. Aynı zamanda sürekli buğday-nadas kültürü altında yaklaşık 10 hektar genişliğindeki bir arazide toprak kalitesinin uzaysal değişkenliği de belirlenmiştir. Araştırmacılar arazide ortalama

toprak kalitesi indeksinin (TKİ) 1,47 (orta düzeyde) olduğunu rapor etmişlerdir. Aynı zamanda araştırmacılar, TKİ'nin uzaysal yapısının güvenli bir şekilde belirlenebilmesi için daha sık bir örneklemenin gerektiğini belirtmişlerdir.

Ana materyal, arazi kullanımı, ağaç türleri ve bonitet sınıflarına göre toprak kalitesinin değerlendirilerek aktüel verimlilik ilişkilerinin tespit edilmesi amacıyla yürütülen bir çalışmada (Reis 2020), genel toprak kalitesi indeksi farklı arazi kullanımları altında uzman ve PCA yaklaşımlarına göre değerlendirildiğinde havza içerisindeki orman arazilerinin toprak kalitesi skorları tarım ve mera arazilerinin kalite skorlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Araştırmacı genel toprak kalite skorları uzman görüşüne göre orman arazisinde 0,86, tarım arazisinde 0,78 ve mera arazisinde 0,83 olarak tespit edilmiş olup, PCA'da ise genel toprak kalite skorları orman arazisinde 0,85, tarım arazisinde 0,79 ve mera arazisinde 0,78 olarak hesaplanmıştır.

Türkiye'de Çarşamba Deltası Ovası'nın çeltik ekimi için toprakların kalite düzeylerini belirlemek için yürütülen çalışmada (Dengiz 2020), 14 adet kalite göstergesi standart skorlama fonksiyonları ile skorlanmış ve bu göstergelere Analitik Hiyerarşi Süreci ile ağırlıklar verilmiştir. Araştırmacı örnekleme alanının %36.1'i yüksek kaliteli olarak sınıflandırırken, toplam alanın %23.2'si çeltik ekimi için düşük ve çok düşük toprak kalitesine sahip olduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda çalışmada oluşturulan toprak kalitesi indeks modelinin, pirinç üretimi ve potansiyel olarak diğer ürünler için arazi tahsisinde kapsamlı rehberlik sağlayacağı vurgulanmıştır.

Ormanlık alanda toprak kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada (Öztürk 2021) çalışma alanı toprak kalite indeksi (TKİ) 340,86 ha'lık (%92,88) kısmı yüksek ve 26,14 ha (%7,12) kısmı ise orta kaliteli sınıftadır. Araştırmacı TKİ'nin düşük değerler aldığı noktalarda bakı, yükselti ve eğim gibi bazı topoğrafik parametrelerin etkili olduğunu bildirmiştir. Çalışmada TKİ ile toprak özellikleri arasında yapılan korelasyon analizi sonucunda; kum ($r=-0,492$, $p<0,01$), kil ($r= 0,441$,

$p<0,01$) içeriği, TOM ($r= 0.412$ $p<0,05$) ve HA ile ($r=-0.446$ $p<0,01$) orta derecede kuvvetli ilişki gösterirken, toz içeriği ($r= 0,282$, $p<0,01$) zayıf pozitif ilişkiler tespit edilmiştir.

Yarı kurak karasal ekosistemdeki Van havzası içerisinde bulunan mera topraklarının SMAF modeli kullanılarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik kalite indeks değerleri ile toplam toprak kalite özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada (Pacci et al. 2021) yarayışlı su içeriği, su dolu gözenek hacmi, hacim ağırlığı, agregat stabilitesi, toprak organik karbon içeriği, toprak pH'sı, elektriksel iletkenlik, sodyum adsorpsiyon oranı, bitkiye yarayışlı fosfor ve potasyum, potansiyel mineralize olabilir azot, mikrobiyal biyoktle karbonu ve beta-Glukosidaz enzim aktivitesi indikatörleri olmak üzere toplam 13 indikatör incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre mera topraklarının kimyasal kalite indeksinin düşük sınıfta, biyolojik kalite indeksinin ise yüksek sınıfta olduğu belirlenmiştir.

elik vd. (2021) yürüttükleri bir çalışmada SMAF kullanarak on yıllık bir denemede killi bir toprağın fonksiyonları ve genel toprak kalitesi üzerindeki iki geleneksel,  azaltılmış ve iki sıfır işleme uygulamalarının etkilerini değerlendirmiştir. Araştırmacılar korumalı işleme uygulamalarında 0- 10 cm derinlikte direnç gösterme ve çabuk iyileşme yeteneğinin geleneksel yöntemlere göre önemli şekilde daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda çalışmada 10–30 cm derinlikte korumalı işleme uygulamalarında düşük besin elementi içeriği, sıkışma, agregat boyutu ve stabilitesi nedeniyle toprağın fonksiyon gösterme yeteneğinin düştüğü bildirilmiştir.

Yedi yıllık bir pirinç yetiştiriciliğinin yürütüldüğü bir çalışmada Nath et al. (2021) geleneksel işlemeden sonra mevsimsel sıfır işlemenin (GT-ST) ve baklagil rotasyonunun toprak enzim aktivitesi ve mikrobiyal fonksiyonları ve toprak kalitesi üzerine etkilerini değerlendirildiği çalışmada toprak yüzeyinde mallamanın yapıldığı GT-ST uygulaması geleneksel yönteme kıyasla toprak organik karbonu %25 ve

mikrobiyal biyokütle karbonu %45 arttırdığı ve biyolojik aktiviteyi ve pirinç verimini iyileştirdiği belirlenmiştir. Araştırmacılar toprak yüzeyinde malçlama olsun veya olmasın GT-ST uygulamasının geleneksel yöntemle kıyasla toprak kalitesini %40 arttırdığı rapor etmişlerdir.

Organik ve inorganik gübrenin toprak kalitesi göstergelerinin alan ölçeğindeki uzaysal dağılımı üzerindeki etkilerinin incelendiği bir çalışmada (Ozlu vd. 2022) toplam 26 özellikten temel bileşenler analizi ile minimum veri seti elde edilmiş ve toprak kalite indeksinin uzaysal değişkenliğini tahmin etmek için ordinary kriging 16 enterpolasyon yöntemleri kullanılmıştır. 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.

Küçük ölçekli tarımsal girdilerin (gübre, tarım ilacı, organik gübreleme ve saman katılması) toprak kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için yapılan bir çalışmada (Li et al. 2022) toprak organik maddesi, organik karbon, yarayışlı çinko, mantar tür zenginliği, karbon havuzu aktivitesi, toplam krom içeriği ve asit fosfataz aktivitesi şeklinde 6 toprak kalite göstergesinden oluşan bir MVS kullanılmıştır. Araştırmacılar Buğday-mısır ve sebze sistemlerindeki TKİ değerlerinin, pamuk sistemlerindeki değerlerden önemli ölçüde daha yüksek olduğunu, organik gübreleme, gübre girdisi ve saman katılmasının TKİ'ni artırırken, tarım ilacı girdisinin TKİ değerinde azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Bafra Ovası arazilerinde çeltik yetiştirilen alanların toprak kalitesinin SMAF (Soil Management Assessment Framework) modeli ile değerlendirilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada (Pacci et al. 2022), elde edilen toprak kalite indeksi üzerinde en etkili olan özelliklerin kil, yarayışlı su içeriği, yarayışlı potasyum ve organik madde olarak

belirlenmiş olup, topraklar düşük (%49.01) ile orta (%68.63) kalite sınıfları arasında değişkenlik göstermiştir.

Kuzey Çin Ovasında yoğun kimyasal gübre kullanımı ile kışlık buğday-yazlık mısır rotasyonu altında yapılan tarımsal üretimin toprak kalitesine etkisini araştıran Zhang et al. (2023), gübreleme rejimlerinin biyolojik, fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkilerini değerlendirmek amacı ile 14 göstergesi içeren bir MVS geliştirmişlerdir. Araştırmacılar, toprak kalitesinin iyileştirilmesinde organik gübre kullanımının etkisinin vurgulamışlardır. Aynı zamanda araştırmacılar hayvan gübresi ve hayvan gübresi-kimyasal gübre uygulamalarında toprağın yarayışlı fosfor, K, Mg, Fe ve Zn içeriklerinin, sadece kimyasal gübrelerin kullanıldığı uygulamalara kıyasla ortalama olarak sırasıyla %94, %25, %15, %24 ve %218 daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.

Hindistan'ın Kuzey Telengana bölgesindeki susam yetiştirme alanlarında toprak kalitesinin susam verimiyle ilişkisini belirleyen Deepthi et al. (2024), susam tohum verimine göre çalışma alanlarını yüksek, orta ve düşük verimli olarak sınıflandırmıştır. Araştırmacılar toprak örneklerinde tekstür, pH, organik karbon, besin maddeleri ve enzim aktivitesi gibi çeşitli toprak özelliklerini belirlemişlerdir. Çalışmada temel bileşen analizi (PCA) kullanılarak toprak kalitesinin ana göstergeleri belirlenmiş ve toprak kalite indeksi (TKİ), toprak özelliklerinin ağırlıklı ortalaması olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda ortalama TKİ değerleri yüksek, orta ve düşük verimli bölgeler için sırasıyla 0.669, 0.549 ve 0.443 olarak hesaplanmıştır. TKİ değerinin susam verimi ile önemli ölçüde pozitif korelasyon gösterdiği anlaşılmıştır. PCA sonuçlarına göre, TKİ'ye en fazla katkıda bulunan toprak özellikleri yarayışlı azot, pH, değiştirilebilir kalsiyum ve magnezyum, üreaz ve yarayışlı fosfor içeriği olarak belirlenmiştir.

Jeoistatistik, toprak özelliklerinin mesafeye bağlı olarak değişimi ve örnekler arasındaki ilişkinin modellenmesi ve haritalanmasında kullanılan güçlü bir araçtır (Logsdon and Jaynes, 1996; Mulla and McBratney, 2000; Webster and Oliver, 2001). Geoistatistiksel

analiz semivariogram ve kriging olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Variogram uzaysal olarak farklı noktalarda bulunan değişkenler arasındaki ilişkiyi ölçerek karakterize ederken, kriging ölçme yapılmayan noktalardaki özelliklerin tahmininde kullanılmaktadır (Trangmar et al. 1985). Geoistatistiksel çalışmalarda başlıca konu incelenen toprak özelliklerinin uzaysal bağımlılığıdır (Zhou et al. 2010, Günal et al. 2015). Uzaysal bağımlılık toprak özelliklerinin mesafeye bağlı değişkenliğini ifade etmektedir. Uzaysal bağımlılık, nugget semivaryansın toplam semivaryansa oranının (C_0/C_0+C) yüzdesel olarak değeridir. Uzaysal bağımlılık değeri ≤ 25 ise değişken kuvvetli uzaysal bağımlı, $25-75$ arasında orta derecede uzaysal bağımlı ve 75 'ten fazla ise zayıf uzaysal bağımlı olarak sınıflandırılmaktadır (Di et al. 1989; Isaaks et al., 1989; Trangmar et al. 1985). Geoistatistik toprak özelliklerinin range, sill ve nugget değerlerinin tanımlanması ve örneklenmemiş alanlardaki değerlerinin krigleme ile tahmin edilerek uzaysal yapılarının incelenmesini konu alan uygulamalı istatistik olarak tanımlanmaktadır.

Yapılan çalışmalarda araştırmacılar semivaryogramlar oluşturarak örnekler arası mesafe azaldıkça benzerliğin arttığı fakat bunun aksine mesafe artıkça da benzerliğin azaldığı ve belirli bir mesafeden sonra bu benzerliğin değişmediğini ortaya koymuşlardır. Semivariogramlar oluşturularak elde edilen değişkenlikler “sill”, “nugget” ve “range” parametreleriyle ifade edilmektedir. Range (A), ilgili özelliğin uzaysal olarak ilişkili olduğu maksimum mesafeyi gösterir. Nugget varyans (C_0), kısa mesafelerde mevcut örnekleme deseni ile açıklanamayan uzaysal varyansı ve ölçüm hatalarından kaynaklanan varyansı temsil eder. Teorik anlamda nugget 0 olmalıdır, ancak özellikle toprak analizlerinde yapılan hatalar ve kısa mesafelerdeki uzaysal değişkenliğin yeterince temsil edilememesi nedeniyle pratikte C_0 genellikle sıfırdan farklı bir değer alır. Sill değeri (C) ise grafiğin range (geoistatistiksel aralık) değerine karşılık y-ekseninde almış olduğu değerdir (Deutsch and Journel 1998, Bohling 2005).

Geoistatistiğin en önemli aşamalarından birisi de uzaysal enterpolasyon (krigleme)'dur. Krigleme, ilgili değişkenin örneklenmiş noktalardaki değerlerinin kullanılması ile

örneklememiş noktadaki değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılan bir jeostatistiksel enterpolasyon yöntemidir (Budak 2012). Arazide, herhangi bir toprak özelliğinin (örneğin, organik madde içeriği) belirli sayıda toprak örneği alınmış noktalardaki değeri semivaryogram parametreleri (nugget, sill, range, model tipi) ile kullanılarak örnek alınmamış bir alan ya da noktadaki değeri krigleme ile kolayca hesaplanabilir.

Yarı-kurak bir tarım arazisinde toprak kalitesinin uzaysal değişkenliğine bakılan bir çalışmada toprakların kalite indeksi geometrik ortalama (GO) ve başlıca bileşenler yöntemi (PCA) ne göre hesaplanmış ve daha sonra hesaplanan değerlerin uzaysal değişkenliği jeostatistiksel yöntemler ile modellenmiştir. Geometrik ortalama ile hesaplanan kalite indeksi (TKİGO) değerleri başlıca bileşenler yöntemi ile hesaplanan kalite indeksi (TKİPCA) değerlerine göre hem daha düşük hem de daha az değişken olduğu, bunun nedeni PCA yönteminde toprakların EC'sine fazla ağırlık verilmiş olmasına bağlanmıştır. Çalışma topraklarının her iki yöntemle göre hesaplanan kalite indeksi "orta" dır. Eğim, alt toprak hacim ağırlığı, CaCO_3 içeriği, pH ve üst toprak kalınlığının çalışma alanı topraklarının kalite indeksinin uzaysal değişkenliğini etkileyen önemli değişkenler olduğu belirlenmiştir.

İran'da tuzdan etkilenmiş tarım arazilerinde toprak kalitesini toplam veri seti ve minimum veri seti kullanarak üç kalite indeksi (Katkılı Toprak Kalitesi İndeksi, TKİk; Ağırlıklı Katkılı Toprak Kalitesi İndeksi, TKİa; ve Nemoro Toprak Kalitesi İndeksi, TKİn) ile altı farklı şekilde değerlendirildiği bir çalışmada (Nabiollahi et al. 2017), her bir toprak kalite indeksi için ordinary kriging (OK) uygulanmış ve çapraz doğrulama ile en uygun variogram modeli belirlenmiştir. 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. 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’de bir tarım arazisinde yüzey ve yüzey altı topraklarının verimlilik hizmetini belirlemek ve haritalamak için yürütülen bir çalışmada (Acir 2019), fonksiyonlar ve verimlilik hizmeti indeksinin sayısal haritaları için ordinary kriging (OK), inverse distance weighting ve radial basis function yöntemleri kullanılmıştır. Araştırmacı OK enterpolasyon yönteminin, toprak kalite indeksleri için örnekleme dışı noktalarda verimlilik hizmetinin tahmininde en düşük RMSE ve MAE değerlerini sağladığını rapor etmiştir.

AbdelRahman and Tahoun (2019) toprak kalitesindeki değişimin belirlenmesi ve haritalanması için yürüttükleri bir çalışmada, kriging yönteminin inverse distance weighting yöntemine kıyasla daha yüksek R^2 değerlerine sahip olması nedeniyle toprak kalite yaklaşımına uygun bir model olduğunu belirlemişlerdir.

Jeoistatistiksel modellemenin kullanıldığı başka bir çalışmada (Şenol vd. 2020) toplam ve minimum veri setleri kullanılarak toprak kalite indeksini, doğrusal kombinasyon tekniği ve analitik hiyerarşik süreç ile belirlemiş ve karar ağaçları ile tahmin edilmiştir. Çalışmada her iki veri seti kullanılarak elde edilen toprak kalite indeksinin karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark ($P>0.05$) bulunmadığı rapor edilmiş olup, tahmin edilen ve gözlemlenen toprak kalite indeksi değerlerinin dağılım haritalarındaki en yüksek doğruluğun, her iki veri seti için Gauss semivariogram modeli ile bulunduğu belirtilmiştir.

Sürekli buğday-nadas kültürü altındaki bir arazide toprak kalitesinin uzaysal değişkenliğinin belirlendiği bir çalışmada (Mohamed vd. 2020) temel bileşenler analizi uygulanmıştır. Araştırmacılar bu analiz sonucu arazide ortalama toprak kalitesi

indeksinin (TKİ) 1,47 (orta düzeyde) olduğunu rapor etmişlerdir. Aynı zamanda hesaplanan TKİ değerlerinin uzaysal yapısı jeostatistiksel yöntemlerle analiz edilmiş ve değerlerin arazideki değişimini gösteren yüzey haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre araştırmacılar TKİ'nin arazinin eğimin nispeten daha düşük olduğu güneydoğu tarafında düşük, kuzeybatı tarafında ise daha yüksek değerler aldığını tespit etmişlerdir.

Abdellatif et al. (2021) toprak kalitesinin değerlendirilmesi için ordinary kriging enterpolasyonuna dayalı mekansal bir model geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada 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. Araştırmacılar modelin, 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 uygulanabileceğini ifade etmişlerdir.

Tarla ölçeğinde toprak kalitesinin uzaysal değişkenliğinin incelendiği başka bir çalışmada (Durmaz 2024) toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin uzaysal dağılımı modellenmiş ve örneklenmeyen noktalar için tahminler yapılmıştır. Çalışma alanında toprak kalitesi değerlendirmeleri için minimum veri seti oluşturularak toprak kalitesi için uzaysal değişkenlik haritlandırılmıştır. Jeostatistiksel modelleme sonucu potansiyel mineralize olabilen azot (PMN)'un, her iki derinlikte de güçlü uzaysal bağımlılığa sahip olduğunu, ancak diğer toprak özellikleri tarafından etkilendiğini de göstermektedir. Araştırmacılar toprak organik madde içeriğinin arttıkça PMN değerlerinin arttığı, yüksek mikrobiyal aktiviteye sahip toprakların daha yüksek PMN değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda elde edilen sonuçlar tarla ölçeğinde dahi toprak özelliklerinin değişkenliğinin toprak kalitesinde önemli ölçüde değişkenliğe yol açtığını ortaya koymuştur.



4. BULGULAR VE TARTISMA

Bu çalışmada 2000–2024 yılları arasında yayımlanmış hakemli akademik makaleler, raporlar ve uluslararası kuruluşların rehber dökümanları sistematik bir şekilde incelenmiş olup, bazı temel bulgulara ulaşılmıştır.

4.1. Toprak Kalitesi Kavramında Disiplinlerarası Genişleme

Toprak kalitesi kavramı, 2000’li yılların başında daha çok tarımsal verimlilik bağlamında değerlendirilirken; son yıllarda ekosistem hizmetleri, iklim değişikliğiyle mücadele, biyoçeşitlilik korunumu, arazi tahribatının önlenmesi gibi daha geniş ve sürdürülebilirlik odaklı boyutlar kazandığı görülmektedir. Özellikle Millennium Ecosystem Assessment (2005) ve FAO’nun Küresel Toprak Ortaklığı (GSP) girişimleri, toprak kalitesini bir üretim aracı olmanın ötesine taşımıştır.

4.2. Kalite Göstergelerinde Değişiklik

İncelenen makale ve tezlerde toprak kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan göstergelerin üç ana kategoride toplandığı gözlemlenmiştir:

- **Fiziksel Göstergeler:** Toprak strüktürü, agregat stabilitesi, su tutma kapasitesi ve infiltrasyon hızı
- **Kimyasal Göstergeler:** pH, toplam azot, organik madde miktarı, katyon değişim kapasitesi ve kireç-tuzluluk seviyesi
- **Biyolojik Göstergeler:** Mikrobiyal biyoktle karbonu, toprak solucanı biyoktlesı, enzim aktiviteleri

Toprak kalitesinin değerlendirilmesinde incelenen çalışmalara göre biyolojik göstergelerin kullanım sıklığının son 10 yılda önemli miktarda arttığı ancak uygulama düzeyinde hlen sınırlı kaldığı gözlemlenmiştir.

4.3. Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesinde Yaklaşımlar

Yapılan çalışmalara göre, geleneksel ölçüm tekniklerinin yerini giderek daha fazla sayısallaştırılmış ve modellemeye dayalı yöntemlere bıraktığı görülmektedir. Toprak kalitesinin değerlendirilmesinde, çok sayıda gösterge matematiksel veya istatistiksel modeller aracılığıyla birleştirerek tek bir değerlendirme puanı üretir.

4.3.1 Minimum Veri Seti (MVS)

En temel ve kolay ölçülebilir yöntemdir. Literatür kısmında minumum veri seti ile yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Gösterge değeri yüksek değişkenler seçilerek kullanılır (rn. organik madde miktarı, pH ve EC gibi).

4.3.2 Ağırlıklı Toplam Skor

Bu yöntemde her bir göstergeye önem derecesine göre ağırlık verilerek toplam kalite skoru oluşturulur. Yapılan çalışmalara dayanarak karar destek sistemleri ile uyumlu bir yöntem olduğu anlaşılmıştır.

4.3.3 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

- AHP (Analitik Hiyerarşı Süreci)
- TOPSIS (Yakınlık Bazlı Sıralama)

- PCA (Principal Component Analysis)

4.4 Geoistatistiksel Yaklaşımlar

Toprak kalitesinin değerlendirilmesinde jeoistatistiksel yaklaşımlar, mekânsal veri analizi ve toprak değişkenlerinin arazideki dağılımlarını anlamak açısından oldukça güçlü araçlardır. Bu yöntemler, özellikle tarımsal ekoloji, çevre yönetimi, toprak koruma ve arazi planlaması gibi alanlarda toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin uzaysal modellemesi için kullanılır.

- Kriging, co-kriging gibi interpolasyon teknikleri
- Semivariogram analizi
- GIS destekli toprak kalite haritaları
- Spatio-temporal (zamansal-mekânsal) modelleme

Bu yöntemler, özellikle büyük alanlar için optimum örnekleme, arazi sınıflandırması ve toprak koruma planlamalarında kullanılır.

4.5 Uzaktan Algılama ve Sayısal Modelleme Yöntemleri

- NDVI, LST, SAVI gibi bitki örtüsü indekslerinden toprak sağlığına dair dolaylı bilgi elde edilir.
- Hiperspektral ve multispektral görüntüler ile toprak organik madde ve nem haritalaması yapılabilir.
- Yapay zekâ ve makine öğrenimi algoritmaları (RF, SVM, ANN) toprak kalite tahmin modellerinde kullanılır.

4.6 Bütüncül Yaklaşımlar ve Karar Destek Sistemleri

- Sürdürülebilir Toprak Yönetimi Göstergeleri (FAO, EU Soil Strategy)
- Arazi Yeteneği Sınıflandırmaları ile entegre kullanım
- Çiftçi katılımına dayalı değerlendirme (öznel kalite algısı + teknik veri birleşimi)
- Ecosystem Service-based Soil Assessment (örneğin karbon tutma kapasitesi, su filtreleme işlevi)
- Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri (MCDM): AHP, TOPSIS ve PCA destekli TKE modelleri
- Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS): Toprak özelliklerinin mekânsal analizine olanak tanımaktadır.
- Yapay Zekâ Destekli Tahmin Modelleri: Random Forest, ANN, SVM gibi algoritmalarla hassas toprak haritalamaları yapılabilmektedir.

Tez çalışması kapsamında incelenen yöntemlerin avantaj-dezavantaj tablosu (Tablo 1) ve incelenen her bir yöntem ve literatürden örnek uygulamalar özetlenerek başka bir tabloda verilmiştir (Tablo 2). Toprak kalitesi değerlendirme yöntemleri çalışmanın amacına ve ölçeğe göre farklılık göstermektedir. Mikro ölçekli çalışmalar için detaylı fiziksel ve biyolojik göstergeler tercih edilirken, bölgesel ya da ulusal düzeyde toprak haritalama çalışmaları için jeoistatistiksel ve uzaktan algılama yöntemleri daha uygun olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, klasik parametrelerin çoğu zaman yüzeysel bilgi sunarken, yapay zekâ temelli modellemeler ve çok kriterli analizlerin toprak fonksiyonları ile daha güçlü bağ kurmaya olanak tanıdığı anlaşılmıştır.

Tablo 1. Yöntemlere göre avantaj–dezavantaj tablosu

Yöntem	Avantajları	Dezavantajları
--------	-------------	----------------

Fiziksel, kimyasal, biyolojik göstergeler	Doğrudan ölçüm sağlar; Zaman alıcı ve laboratuvar güvenilirliği maliyetlidir; noktasal veri yüksektir sunar.
Toprak Kalitesi Endeksleri (SQI)	Farklı göstergeleri tek Göstergelere verilen ölçekte toplar; ağırlıklar subjektif olabilir. karşılaştırma imkanı sunar.
Jeoistatistiksel yöntemler (kriging, semivariogram vs.)	Uzaysal analiz sağlar; İstatistiksel bilgi ve haritalama yapılabilir. yazılım gerekir; örneklem sıklığı önemlidir.
Uzaktan algılama	Geniş alanlarda hızlı ve Doğrudan değil, dolaylı ekonomik analiz sağlar. ölçüm yapar; kalibrasyon gerekir.
Yapay zekâ ve makine öğrenimi	Yüksek doğrulukla tahmin Model eğitimi karmaşıktır; üretir; büyük veriyi işler veri kalitesine duyarlıdır.
MCDM yöntemleri (AHP, PCA vs.)	Karar destek sağlar; çok Subjektif yargılarla değişkenli analiz imkanı ağırlıklandırma hatası sunar. olabilir

Tablo 2. Yöntemlere göre literatürden örnek uygulamalar

Yöntem	Çalışma	Uygulama ve Bulgular
Fiziksel/Kimyasal göstergeler	Karlen et al. (2003)	ABD’deki tarım arazilerinde pH, TOM ve su tutma kapasitesi ile kalite sınıflaması
Toprak Kalitesi Endeksi	Andrews et al. (2004)	Minimum Göstergeler Seti kullanarak SQI geliştirmiştir
Jeoistatistik	Lark (2002); Mutlu et al. (2020)	Kriging yöntemiyle Türkiye’de tuzluluk ve EC haritalanmıştır
Uzaktan Algılama	Hengl et al. (2017)	Küresel ölçekte makine öğrenimiyle toprak haritalama
Makine Öğrenimi	Zhang et al. (2019)	Çin’de rastgele orman (RF) modeliyle organik madde dağılımı tahmini
MCDM	Qi et al. (2009)	Çin’de toprak kalitesi için AHP ve PCA ile çok kriterli karar analizi yapılmıştır

4.7 Türkiye'de Toprak Kalitesi Değerlendirme Uygulamaları

Türkiye’de toprak kalitesine yönelik değerlendirme çalışmaları, 2000’li yıllardan itibaren hem akademik çevreler hem de kamu kurumları tarafından artan bir ilgiyle yürütülmektedir. Özellikle tarımsal verimliliğin sürdürülebilirliği, arazi kullanım planlaması ve çevresel risklerin yönetimi bağlamında toprak kalitesinin belirlenmesi, stratejik bir öncelik haline gelmiştir. Bu bağlamda hem geleneksel analizler hem de yenilikçi teknolojilerle desteklenen modeller uygulanmaktadır.

4.7.1 Kurumsal Uygulamalar ve Politikalar

Tarım ve Orman Bakanlığı’na bağlı Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü (TAGEM-TGSKME) ile bölgesel Toprak ve Su Araştırma Enstitüleri, Türkiye genelinde toprak veri tabanlarının oluşturulması ve arazi yetenek sınıflamalarına yönelik çok sayıda proje yürütmektedir. Özellikle 2010 sonrası dönemde Toprak Veritabanı Bilgi Sistemi (TOVBİS) ile dijitalleşme hız kazanmıştır. Bu çerçevede:

- Toprak organik madde oranı, tuzluluk, pH ve kil içeriği gibi göstergeler değerlendirme kapsamına alınmıştır.
- 1:25.000 ölçekli toprak haritalarının oluşturulması için jeostatistiksel
- İnterpolasyon tekniklerinden (özellikle ordinary kriging) yararlanılmıştır.
- Türkiye Tarım Havzaları Üretim ve Destekleme Modeli kapsamında, toprak kalitesi ile ürün deseni arasında eşleştirme yapılmıştır.

4.7.2. Bölgesel Akademik Uygulamalar

Çeşitli üniversiteler bünyesinde yapılan akademik çalışmalar, bölgesel toprak kalitesinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik göstergelerle değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Bu çalışmaların bazıları jeoistatistiksel, bazıları uzaktan algılama destekli çok kriterli karar analizleriyle desteklenmiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, son yıllarda toprak kalitesi kavramı etrafında gelişen literatürü inceleyerek, kavramın teorik çerçevesi ile uygulamada kullanılan değerlendirme yöntemleri ve bunların bilimsel temellerini sistematik biçimde ortaya koymuştur. Toprak kalitesinin yalnızca bitkisel üretimi sürdürebilme kapasitesiyle sınırlı olmadığı, aynı zamanda su ve hava kalitesini koruyabilme, biyolojik çeşitliliği sürdürebilme gibi çok yönlü ekosistem hizmetlerini içeren bir kavram olduğu belirlenmiştir. Bu yönüyle toprak kalitesi, sürdürülebilir tarımın ve ekolojik bütünlüğün ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir.

Tezde incelenen literatürlere göre, toprak kalitesinin doğrudan ölçülemeyen bir kavram olması nedeniyle çeşitli göstergeler üzerinden dolaylı olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda fiziksel (hacim ağırlığı, su tutma kapasitesi), kimyasal (pH, elektriksel iletkenlik, organik madde) ve biyolojik (mikrobiyal biyokütle, enzim aktivitesi) göstergeler önemli veri kaynakları olarak öne çıkmaktadır. Bu göstergelerin değerlendirilmesinde kullanılan SMAF (Soil Management Assessment Framework), CASH (Cornell Soil Health Assessment), SCI (Soil Conditioning Index) ve AEPAT gibi yöntemlerin her biri farklı avantajlar sunmakla birlikte, toprakların yerel özelliklerine ve kullanım amaçlarına göre seçilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Toprak kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan veri setlerinin oluşturulmasında istatistiksel yaklaşımların (özellikle Temel Bileşenler Analizi, AHP, Bulanık Mantık) giderek önem kazandığı görülmektedir. Bu yaklaşımlar sayesinde hem parametre sayısı azaltılarak uygulama kolaylığı sağlanmakta hem de farklı arazi kullanım biçimlerinin toprak üzerindeki etkileri daha hassas şekilde ortaya konabilmektedir.

Özellikle jeoistatistiksel yaklaşımlar, toprak kalitesinin uzaysal değerlendirilmesinde güçlü bir çerçeve sunmakta; geniş alanlar için planlama, risk analizi ve sürdürülebilir yönetim kararlarında belirleyici olmaktadır. Ancak bu yöntemlerin etkinliği, veri kalitesi, uzmanlık düzeyi ve diğer disiplinlerle entegrasyon kapasitesine bağlıdır. Literatürdeki eğilimler, jeoistatistiksel analizlerin tek başına değil, uzaktan algılama, yapay zekâ ve çevresel süreç temelli modellerle birlikte kullanıldığında çok daha işlevsel sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır.

1. **Bölgeye Özgü Kalite İndeksleri Geliştirilmeli:** Toprak kalitesi değerlendirme kriterlerinin geliştirilmesinin sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle bölgesel toprak özelliklerine, iklim koşullarına ve kullanım şekillerine uygun kalite indekslerinin geliştirilmesi gerekmektedir.
2. **Uzun Süreli İzleme Programları Kurulmalı:** Toprak kalitesi dinamik bir kavram olduğundan, değişimlerin izlenebilmesi için uzun dönemli arazi izleme sistemlerinin kurulması önem arz etmektedir. Bu sistemler, yönetsel kararların etkinliğini de değerlendirmeye olanak sağlayacaktır.
3. **Biyolojik Göstergelere Daha Fazla Yer Verilmeli:** Biyolojik göstergeler toprak kalitesinin ekosistem sağlığıyla doğrudan ilişkili boyutlarını yansıtmaktadır. Bu göstergelerin değerlendirme sistemlerinde daha belirgin şekilde yer alması sağlanmalıdır.
4. **Politika ve Teşviklerle Entegre Edilmeli:** Toprak kalitesi değerlendirme yöntemlerinin tarımsal destek politikalarına entegre edilmesi, sürdürülebilir arazi yönetimini teşvik edici bir unsur olacaktır. Bu çerçevede, toprak kalitesi yüksek arazilerin korunması ve düşük kalitedeki arazilerin ıslahı için mali destek mekanizmaları geliştirilebilir.

5. **Eğitim ve Yayın Faaliyetleri Artırılmalı:** Tarım sektöründeki üreticilerin ve yerel yöneticilerin toprak kalitesi kavramı konusunda bilgilendirilmesi ve uygulama becerilerinin artırılması gerekmektedir. Bu doğrultuda, saha temelli eğitim programları, uygulamalı demonstrasyon projeleri ve interaktif yazılımlar gibi araçlardan faydalanılabilir.
6. **Araştırma ve Yenilikçilik Teşvik Edilmeli:** Toprak kalitesinin izlenmesi ve iyileştirilmesine yönelik yeni sensör teknolojileri, uzaktan algılama yöntemleri ve yapay zekâ tabanlı modellemeler gibi yenilikçi yöntemlerin geliştirilmesi ve desteklenmesi önerilmektedir.

Bu önerilerin hayata geçirilmesi, sadece tarımsal verimliliği değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği ve iklim değişikliğiyle mücadele kapasitesini de artıracaktır. Toprak, tüm canlı yaşamı için temel bir unsur olduğundan, kalitesinin korunması da yalnızca bir tarım meselesi değil küresel bir sorumluluk olarak ele alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abdellatif, M.A., El Baroudy, A.A., Arshad, M., Mahmoud, E.K., Saleh, A.M., Moghanm, F.S., Shaltout, K.M., Eid, E.M. and 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. and Tahoun, S. 2019. GIS model-builder based on comprehensive geostatistical approach to assess soil quality. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13: 204-214.
- Abdi, O. A., Glover, E.K. and Luukkanen, O. 2013. Causes And Impacts Of Land Degradation And Desertification: Case Study Of The Sudan. *International Journal Of Agriculture And Forestry*, 3(2), 40-51.
- Acir, N. 2014. Kurak ve Yarı-Kurak Bölge Topraklarının Toprak Kalitesinin Belirlenmesinde Kullanılacak Minimum Veri Setlerinin Hazırlanması, Doktora Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Acir, N., Günal, H. and Budak, M. 2022. Toprak Kalitesi Değerlendirme Yöntemleri, Toprak Kalitesi ve Değerlendirilmesi. İksad Yayınevi ISBN: 978-625-6380-93-6.
- Alharbi, A. 2015. Impact Of Soil Salinity On Agriculture In Arid Regions. *Journal Of Agricultural And Veterinary Sciences* 2015; 267(3120): 1–11.
- Altıkat, S. ve Çelik, A. 2009. Toprak işleme sistemlerinin önemli bazı toprak kalite kriterlerine olan etkileri. *Zirai Bilimler Dergisi*, 16 (B): 33- 41.
- Alturk, B. ve Konukcu, F. 2020. Modeling Land Use/Land Cover Change And Mapping Morphological Fragmentation Of Agricultural Lands In Thrace Region/Turkey. *Environment, Development And Sustainability*, 22(7), 6379-6404.
- Andrews, S.S. and Carroll, C.R. 2001. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications*, 11(6), 1573-1585.
- Andrews, S.S., Karlen, D.L. and 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., and Mitchell, J.P. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, ecosystems & environment*, 90(1), 25-45.
- Arami, S.A., and Ownagh, M. 2017. Assessment of desertification hazard, risk and development of management plans. *Desert*, 22(1), 51-67.
- Armenise, E., Redmile-Gordon, M.A., Stellacci, A.M., Ciccarese, A. and 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.
- Asio, V.B., Jahn R., Perez F.O., Navarrete I.A. and Abit Jr .S.M. 2009. A Review Of Soil Degradation In The Philippines. *Annals Of Tropical Research*, 31(2), 69-94. assesment of upper Tigris basin. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* : 13(1), 301-316. DOI: 10.26471/cjees/2018/013/026.
- Audsley, E., Alber, S., Clift, R., Cowell, S., Crettaz, P., Gaillard, G., Hausheer, J., Jolliet, O., Kleijn, R., Mortensen, B., Pearce, D., Roger, E., Teulon, H., Weidema, B. and Van Zeijts, H. 1997. Harmonisation Of Life Cycle Assessment For Agriculture. Final Report, Concerted Action AIR3-CT94-2028. European Commission DG VI Agriculture, Silsoe, UK.
- Azid, A., Juahir H., Toriman M.E., Kamarudin M.K.A., Saudi A.S.M., Hasnam C.N.C., Abdul Aziz N.A, Azaman F., Latif M.T., Zainuddin S.F.M., Osman M.R. and Yamin M. 2014. Prediction of the level of air pollution using principal component analysis and artificial neural network techniques: A case study in Malaysia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(8), 2063.
- Bandyopadhyay, A. and Basu, S. 2021. The perils of climate change a risk management perspective for banks and FIs. Chapter in Book: *India Banking and Finance Report*.
- Basak, N., Datta, A., Biswas, S., Mitran, T. and 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.

- Bayram, M., Günal, H. and Özgöz, E. 2015. Sürdürülebilir Toprak İşleme Yöntemlerinin Belirlenmesinde Toprak Kalitesi Değerlendirmelerinin Önemi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 25(3), 337-346.
- Bekhtari, M.C. 2015. Multi-criteria methods for analyzing the suitability of agricultural land: The case of common wheat in Languedoc-Rousillon analyzed with the AHP method. Master's Thesis, Paul Valéry University of Montpellier, Montpellier, France.
- Bezdicsek, Df., Papendick, R. and Lal, R. 1996. Importance of soil quality to health and sustainable land management. Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America, Inc.
- Bhaduri, D. and Purakayastha, T.J. 2014. Long-term tillage, water and nutrient management in rice-wheat cropping system: Assessment and response of soil quality. Soil & Tillage Research 144 (2014) 83-95.
- Bhardwaj, A.K., Mishra, V.K., Singh, A.K., Arora, S., Srivastava, S., Singh, Y.P. and Sharma, D. K. 2019. Soil Salinity And Land Use-Land Cover Interactions With Soil Carbon In A Salt-Affected Irrigation Canal Command Of Indo-Gangetic Plain. Catena, 180, 392-400.
- Bilgili, A.V., Çullu, M.A. and Küçük, Ç. 2015. Harran Ovası Toprak Kalite Parametreleri Ve Toprak Kalitesinin (Sağlığı) Skor Fonksiyonları Kullanarak Takibi. GAP VII. Tarım Kongresi 28 Nisan - 1 Mayıs, Şanlıurfa, s.214.
- Biswas, S.S., Singhal, S.K., Biswas, D.R., Singh, R.D., Roy, T., Sarkar, A., Ghosh, A., Das, D. 2017. Synchronization of nitrogen supply with demand by wheat using sewage sludge as organic amendment in an Inceptisol. J Indian Soc Soil Sci 65:264-273. <https://doi.org/10.5958/0974-0228.2017.00030.5>
- Bockstaller, C., Guichard, L., Makowski, D., Aveline, A., Girardin, P. and Plantureux, S. 2008. Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. Agronomy for sustainable development, 28, 139-149.
- Bonilla, J.A., Gutierrez-Barranwuero, A., De Vicente. and Cazorla, F.M. 2012. Enhancing Soil Quality and Plant Health Through Suppressive. Diversity 2012, 4, 475-491; doi:10.3390/d4040475.

- Bouma, J., Van Ittersum, M.K., Stoorvogel, J.J., Batjes, N.H., Droogers, P. and Pulleman, M.M. 2017. Soil Capability: Exploring The Functional Potentials Of Soils. In *Global Soil Security* (Pp. 27-44). Springer, Cham.
- Bouzekri, A. 2015. Evaluation multicritère des situations critiques au risque de la désertification dans les Aurès (Algérie). Doctoral thesis, Univ. Batna 2, Algeria. <http://eprints.univ-batna2.dz/id/eprint/565>.
- Brejda, J.J., Moorman, T.B., Karlen, D.L. and 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.
- Bronick, C.J. and Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22.
- Budak, M., Günal, H., Çelik, Ğ., Yıldız, H., Acir, N. and Acar, M. 2018. Soil Quality Assesment of Upper Tigris Basin. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, February 2018, Vol. 13, No. 1, p. 301 – 316.
- Budak, M., Günal, H., Kiliç, O.M. and Acir, N. 2020. Tuzlu Ve Sodik Arazilerde Islah Ve Tarımsal Faaliyetler Sonrası Arazi Tahribatının Dengelenmesinin İzlenmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 7(2), 172-182.
- Budak, M. and Günal, H. 2018. Yukarı Dicle Havzasında Farklı Arazi Kullanımları Altındaki Toprakların Karbon Depolama Potansiyelleri. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 63-76.
- 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., Groenigen, J.W. and Brussaard, L. 2018. Soil quality—A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125.
- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., De Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mäder, P., 2018. Soil quality—A critical review. *Soil Biology Biochemistry*. 120, 105-125
- Buol, S.W., Southard, R.J., Graham, R.C., John Wiley., Sons. and McDaniel, P.A. 2011. *Soil genesis and classification*.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Andrews, S.S. and Karlen, D.L. 2004. Watershed-scale assessment of soil quality in the loess hills of southwest Iowa. *Soil and Tillage Research*, 78(2), 237-247.

- Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. and Pierce, F.J. 1997. Concepts of soil quality and their significance. *Developments in soil science*, 25, 1-19.
- Cebel, N. 2011. Toprak Kalitesinin Korunması Ve Geliştirilmesi, *Bilim Ve Aklın Aydınlığında Eğitim*, S. 134, Ss. 34-38.
- Çelik, İ., Günal, H., Acir, N., Barut, Z.B. and Budak, M. 2021. Soil quality assessment to compare tillage systems in Cukurova Plain, Turkey. *Soil and Tillage Research*, 208: 104892.
- Chahal, I. and Van Eerd, L.L. 2019. Quantifying soil quality in a horticultural-cover cropping system. *Geoderma*, 352, 38-48.
- Chan, K.Y., Heenan, D.P. and Oates, A. 2002. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. *Soil and Tillage Research*, 63(3-4), 133-139.
- Cherubin, M.R., Karlen, D.L., Franco, A.L.C., Cerri, C.E.P., Tormena, C.A. and Cerri, C.C. 2016. A Soil Management Assessment Framework (SMAF) Evaluation of Brazilian Sugarcane Expansion on Soil Quality. *Soil Science Society of America Journal*. Cornell University, Geneva, NY. <https://www.css.cornell.edu/extension/soilhealth/manual.pdf>
- Çullu, M.A.S., Aydemir, A., Almaca, A.R., Öztürkmen, O., Sönmez, T., Binici, A.V., Bilgili, G., Yılmaz, M., Dikilitaş, S., Karakaş Dikilitaş, E., Sakin, Y., Şahin, M., Aydoğdu, A., Aydemir, 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.
- De Andrade Barbosa, M., De Sousa Ferraz, R.L., Coutinho, E.L.M., Neto, A.M.C., Da Silva, M.S., Fernandes, C. and Rigobelo, E.C. 2019. Multivariate analysis and modeling of soil quality indicators in long-term management systems. *Science of the Total Environment*, 657: 457-46.
- Dedeoğlu, M. and Başayığıt, L. 2019. A Quantitative Soil Quality Evaluation By Using The Soil Management Assessment Framework In Central Anatolia. Dr. Mithat Direk, 273. 6th International Conference On Sustainable Agriculture And Environment October 3-5, City Of Konya, Turkey.

- Deepthi, M., Kumar, R.S., Ravi, P. and Sampath, O. 2024. Soil Quality Assessment of Sesame-Growing Soils with Different Productivity in the Northern Telangana Zone, India. *ecosystems*, 1, 2.
- 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. and Sarioğlu, F.E. 2013. Arazi değerlendirme çalışmalarında parametrik bir yaklaşım olan doğrusal kombinasyon tekniği. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 19(2), 101-112.
- Devecioğlu, B. 2018. Arazi Bozulumu Kavramı Ve Örnek Uygulamalar. *ISNOS-MED* 2018.
- Dindaroğlu, T. 2011. Kuzgun Baraj Gölü Ve Çevresinde Doğal Kaynak Envanterinin Tespiti İle Toprak ve Su Kalitesi Yönünden Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Dindaroğlu, T. and Canbolat, M.Y. 2013. Yeni Toprak Kalite İndeks Değerlerine Göre Orman Toprak Sağlığının İzlenmesi: Kuzgun Havzası Örneği.
- Ditzler, C.A. and Tugel, A.J. 2002. Soil quality field tools: experiences of USDA-NRCS soil quality institute. *Agronomy Journal*, 94(1), 33-38.
- Doran, J.W. 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture, ecosystems & environment*, 88(2), 119-127.
- Doran, J.W. and Zeiss, M.R. 2000. Soil Health And Sustainability: Managing The Biotic Component Of Soil Quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3-11.
- Doran, J.W. and Parkin, T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment. *Proc. symposium, Minneapolis, MN, 1992* DOI: 10.2136/sssaspecpub35.c1
- Doran, J.W., Parkin, T.B., In, J.W., Doran, A.J., Jones. and Eds. 1996. Quantitative Indicators Of Soil Quality: A Minimum Data Set. *Methods For Assessing Soil Quality*. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Duran, E. 2016. Karstik Alanlarda Arazi Bozunumunun Uzaktan Algılama ve Toprak Kalite Yaklaşımı ile Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*.

- Durmaz, M. 2024. Tarla Ölçeğinde Toprak Kalitesi Göstergeleri Ve Toprak Kalitesinin Mekansal Değişkenliğinin Belirlenmesi Ve Değerlendirilmesi (Doctoral Dissertation).
- Edith, I.N. and Ochubiojo, E.M. 2012. Food quality control: history, present and future. IntechOpen.
- Edrisi, S.A., Tripathi, V., Chaturvedi, R.K., Dubey, D.K., Patel, G. and Abhilash, P.C. 2021. Saline soil reclamation index as an efficient tool for assessing restoration progress of saline land. Land Degradation & Development, 32(1), 123-138.
- Erşahin, S. 2001. Toprak Amenajmanı. Tarımda Sürdürülebilirlik ve Çevre Kalitesi . Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları Serisi. Tokat
- Everest, T., Sungur, A. and Özcan, H. 2020. Medalus Yöntemi Kullanılarak Karacabey Tarım İşletmesi Toprak Kalite İndeksinin Değerlendirilmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 7(1), 120-131.
- FAO. 2022. Global Assessment Of Human-Induced Soil Degradation (Glasod) <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources/planning-toolbox/category/details/en/c/1036321/> Erişim Tarihi: 27.09.2022
- FAO, J. 2014. Global Forest Land-Use Change 1990–2010. An update to FAO Forestry Paper, (169).
- FAO. 1976. A Framework For Land Evaluation. FAO Soils Bulletin 32. Rome, Italy <http://www.fao.org/documents/showcdr.asp?urlfile=/docrep/X5310E/X5310E000.html>
- Fard, F.G. and Sadikhani, M.R. 2014. The Role of Soil Quality in Today's World. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences ISSN: 2231– 6345 2014 Vol. 4 (S4), pp. 1249-1257.
- Fenetahun, Y. and XU-Xinwen, W.Y.D. 2019. Assessing Rangeland-Soil Degradation Induced By Over Grazing. In Case Of Yabello Rangeland Southern Ethiopia.
- Field, A. 2000. Discovering Statistics using SPSS for Windows Sage Publications. London, 2, 44-322.
- Gabriels, D. and Cornelis, W.M. 2009. Human-Induced Land Degradation. Land Use, Land Cover And Soil Sciences, 131-143.

- Geist, H.J. and Lambin E.F. 2004. Dynamic Causal Patterns Of Desertification. *Bioscience* 54, 817–829.
- Gökmen, F. 2011. Toprak İşleme Yöntemlerinin Toprak Kalitesine Etkisinin Değerlendirilmesi. Gazi Osmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Doktora Tezi, Tokat, 84 S.
- Gomiero, T. 2016. Soil Degradation, Land Scarcity And Food Security: Reviewing A Complex Challenge. *Sustainability*, 8(3), 281.
- Günel, E., Acir, N. and 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, H., Budak, D.M., Sürücü, A., Çelik, I., Budak, M., Demir, Y. and Öztürk, Z.Y. M. 2022. Toprak kalitesi ve değerlendirilmesi.
- Hawes, C., Morris, J., Phillips, C.D., Mor, V., Fries, B.E. and Nonemaker, S. 1995. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1630822>
- Hubbs, M.D., Norfleet, M.L. and Lightle, D.T. 2002. Interpreting the soil conditioning index. *Making conservation tillage conventional: Building a future on*, 25, 192-196.
- Idowu, O.J., Van Es, H.M., Abawi, G.S., Wolfe, D.W., Ball, J.I., Gugino, B.K. and Bilgili, A.V. 2008. Farmer-Oriented Assessment Of Soil Quality Using Field, Laboratory, And VNIR Spectroscopy Methods. *Plant And Soil*, 307(1-2), 243253.
- Ipek, H.M. 2011. Türkiye'ye Özgü Risk Bazlı Toprak Kalitesi Standartlarının Geliştirilmesi. Doktora Tezi.
- Kalu, S., Koirala, M., Khadka, U.R. and Anup, K.C. 2015. Soil Quality Assessment for Different Land Use in the Panchase Area of Western Nepal. *International Journal of Environmental Protection*. Jan. 2015, Vol. 5 Iss. 1, PP. 38-43.
- Kamphorst, A., Bolt, G.H. and Bruggenwert, M.G.M. 1978. Saline And Sodic Soils. In (Ed) *Soil Chemistry. A Basic Elements* Elsevier Scientific Publishing Company. 155 P. Amsterdam-Oxford-New York.
- Kapur, S., Yegingil, I. and Kapur, B. 2003. Land Degradation And Desertification In Turkey. NATO- CCMS And Science Committee Workshop On Desertification In The Mediterranean Region, A Security Issue 2-5 December 2003, Valencia (Spain).

- Karlen, D.L., Tomer, M.D., Neppel, J. and Cambardella, C.A. 2008. A Preliminary Watershed Scale Soil Quality Assessment In North Central Iowa, USA. *Soil And Tillage Research*, 99(2), 291-299.
- Karlen, D.L., Birell, S.J. and Hess J.R. 2011. A five-year assessment of corn stover harvest in central Iowa, USA. *Soil & Tillage Research* 115–116 (2011) 47–55.
- Karlen, D.L., Cambardella, C.A., Kovar, J.L. and 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., Ditzler, C.A. and Andrews, S.S. 2003. Soil Quality: Why And How? *Geoderma*, 114(3-4), 145-156
- Karlen, D.L., Hurley, E.G., Andrews, S.S., Cambardella, C.A., Meek, D.W., Duffy, M.D. and 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. and Schuman. G.E. 1997. Soil Quality: A Concept, Definition, And Framework For Evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:4-10.
- Karlen, D.L., Andrews, S.S., and Doran, J.W. 2001. Soil quality: current concepts and applications. *Advances in Agronomy* 74, 1 – 39.
- Karlen, D.L. and Stott, D.E. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. *SSSA Special Publication No. 35*. SSSA Madison, WI, pp. 53–72.
- Kavzoğlu, T. 2008. Determination Of Environmental Degradation Due To Urbanization And Industrialization İn Gebze, Turkey. *Environmental Engineering Science*, 25(3), 429-438.
- Kesen, K.S. 2018. Toprak Kalitesinin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Skor Fonksiyonları ile Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi.
- Khah, S.J., Nael, M., Sinejani, A.A.S., Asadian, G. and Nik K.S. 2014. The effect of vegetation type on selected soil quality indicators in a semiarid rangeland in Hamedan, Iran.
- Kılıc, O.M., Budak, M., Gunal, E., Acır, N., Halbac-Cotoara-Zamfir, R., Alfarraj, S. and Ansari, M.J. 2022. Soil salinity assessment of a natural pasture using remote sensing techniques in central Anatolia, Turkey. *Plos one*, 17(4), e0266915.

- Kosmas, C., Kairis, Or., Karavitis, Ch., Ritsema, C., Salvati, L., Acikalin, S., Alcala, M., Alfama, P., Athlopheng, J., Barrera, J., Belgacem, A., Sole'-Benet, A., Brito, J., Chaker, M., Chanda, R., Coelho, C., Darkoh, M., Diamantis, I., Ermolaeva, O., Fassouli, V., Fei, W., Feng, J., Fernandez, F., Ferreira, A., Gokceoglu, C., Gonzalez, D., Gungor, H., Hessel, R., Juying, J., Khatteli, H., Khitrov, N., Kounalaki, A., Laouina, A., Lollino, P., Lopes, M., Magole, L., Medina, L., Mendoza, M., Morais, P., Mulale, K., Ocakoglu, F., Ouessar, M., Ovalle, C., Perez, C., Perkins, J., Pliakas, F., Polemio, M., Pozo, A., Prat, C., Qinke, Y., Ramos, A., Ramos, J., Riquelme, J., Romanenkov, V., Rui, L., Santaloia, F., Sebege, R., Sghaier, M., Silva, N. Sizemskaya, M., Soares, J., Sonmez, H., Taamallah, H., Tezcan, L., Torri, D., Ungaro, F., Valente, S., De Vente, J., Zagal, E., Zeiliguer, A., Zhonging, W. and Ziogas, A. 2014. Evaluation And Selection Of Indicators For Land Degradation And Desertification Monitoring: Methodological Approach. Environmental Management DOI 10.1007/S00267-013-0109-6.
- Laishram, J., Saxena, K.G., Maikhuri, R.K. and Rao, K.S. 2012. Soil quality and soil health: A review. International Journal of Ecology and Environmental Sciences 38 (1): 19-37, 2012.
- Lal, R. 2015. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. Sustainability, 7(5), 5875-5895.
- Larson, W.E. and Pierce, F.J. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. Defining soil quality for a sustainable environment, 35, 37-51.
- Lavrence, D. and Vandecar, K. 2015. Effects Of Tropical Deforestation On Climate And Agriculture. Nature Climate Change, 5(1), 27-36.
- Laws, W.D. 1961. Farming systems for soil improvement in the Blacklands. Texas
- Leon, J.B., Unda, S.B.S. and Batista, R.M.G. 2020. Evaluation of Soil Quality Indices of Different Crops Under Different Topographic Conditions. Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas, sayı: 3(1), 182-190.
- Liebig, M.A., Varvel, G. and Doran, J. 2001. A simple performance-based index for assessing multiple agroecosystem functions. Agronomy Journal, 93(2), 313-318.
- Liebig, M.A., Miller, M.E., Varvel, G.E., Doran, J.W. and Hanson, J.D. 2004. AEPAT: a computer program to assess agronomic and environmental performance of

- management practices in long-term agroecosystem experiments. *Agron. J.* (96), 109-115.
- Lima, A.C.R., Brussaard, L., Totola, M.R., Hoogmoed, W.B. and De Goede, R.G.M. 2013. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. *Applied Soil Ecology*, 64, 194-200.
- Liu, J.Wu.L., Chen, D.Li.M. and 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., He, P. and Liang, G. 2014. Soil quality assessment of Albic soils with different productivities for eastern China. *Soil and Tillage Research*, 140, 74-81.
- Lori, P., Da Silva, R.B., Dias Junior, M.D.S., Nakamura, R. and De Almeida, L.C.F. 2020. Soil quality analysis in riparian areas for soil and water resource management, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66:5,572-585.
- Lu, X., Zhang, Y., Lin, Y., Zhang, S. and Zhao, Q. 2019. Island soil quality assessment and the relationship between soil quality and land-use type/topography. *Environ Monit Assess.* 191: 230. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7366-7>.
- Mahajan, A., Singh, R., Sharma, K.L. and Jat, H.S. 2021. Soil quality assessment using linear scoring method and multivariate statistical analysis in different land use systems of North-West India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(4), 1-15.
- Marzaioli, R., D'ascoli, R., De Pascale, R.A. and Rutigliano, F.A. 2010. Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use types. *Applied Soil Ecology*, 44(3), 205-212.
- Masto, R.E., Chhonkar, P.K., Singh, D. and Patra, A.K. 2007. Soil Quality response to long-term nutrient and crop management on a semiarid Inceptisol. *Agric Ecosyst Environ* 118(1–4):130–142
- Mausel, P.W. 1971. Soil Quality In Illinois An Example Of A Soils Geography Resource Analysis. *The Professional Geographer*, 23(2), 127-136.
- Mbuthia, L.W., Acosta-Martínez, V., Bruyna, J.D., Schaeffer, S., Tyler, D., Odoi, E., Mpheshea, M., Walker, F. and Eash, N . 2015. Long term tillage, cover crop, and

- fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. *Soil Biology & Biochemistry* 89 (2015) 24-34.
- Mekonnen, Z., Berie, H.T., Woldeamanuel, T., Asfaw, Z. and Kassa, H. 2018. Land Use And Land Cover Changes And The Link To Land Degradation In Arsi Negele District, Central Rift Valley, Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society And Environment*, 12, 1-9.
- Merrill, S.D., Liebig, M.A., Tanaka, D.L., Krupinsky, J.M. and Hanson, J.D. 2013. Comparison of soil quality and productivity at two sites differing in profile structure and topsoil properties. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 179, 53- 61.
- Moebius-Clune, B.N., Moebius-Clune, D.J., Gugino, B.K., Idowu, O.J., Schindelbeck, R.R., Ristow, A.J., Van Es, H.M., Thies, J.E., Shayler, H.A., McBride, M.B., Wolfe, D.W. and Abawi, G.S. 2016. Comprehensive assessment of soil health– The Cornell framework manual. Edition 3.1,
- Mohamed, S.H., Erşahin, S. and Kavaklıgil, S.S. 2020. Yarı-Kurak Bir Tarım Arazisinde Toprak Kalitesinin Uzaysal Değişkenliği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 28-38.
- Mukherjee, A. and Lal, R. 2014. Comparison of soil quality index using three methods. *PloS one*, 9(8), e105981.
- Nabiollahi, K., Golmohamadi, F., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R. and Davari, M. 2017. 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.
- Negiş, H. 2019. Çumra Ovası, Çumra serisinin toprak kalite indislerinin belirlenmesi.
- Nie, J., Feng, H., Witherell, B.B., Alebus, M., Mahajan, M.D. and Zhang, W.Yu.L. 2018. Causes, Assessment, And Treatment Of Nutrient (N And P) Pollution In Rivers, Estuaries, And Coastal Waters. *Current Pollution Reports*, 4(2), 154-161.
- Nortcliff, S. 2002. Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, ecosystems and environment*, 88(2), 161-168.
- Obade, V.P. and Lal, R. 2016. Towards a standard technique for soil quality assessment. *Geoderma* 265, 96–102.

- Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A. and Sombroek, W.G. 1990. World Map Of The Status Of Human-Induced Soil Degradation: An Explanatory Note. International Soil Reference And Information Centre. Wageningen, Netherlands.
- Özevren, E. and Berberoğlu, P. 2014.Çölleşme/Arazi Bozulunun Etkileri. Erişim Tarihi: 01.09.2018.Www.Gonder.Org.Tr.
- Pacci, S., Dengiz, O., Saygın, F. and Alaboz, P. 2022. SMAF Modeline Göre Çeltik Tarımı Yapılan Bafra Ovası Arazilerinin Toprak Kalite Özelliklerinin Değerlendirilmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 9(2), 164-174.
- Pacci, S., Kaya, N.S., Dengiz, O. and Turan, İ.D. 2021. Van havzası içerisinde yer alan mera arazilerinde smaf modeli kullanılarak toprak kalitesinin değerlendirilmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 36(2), 301-316.
- Pal, D.K., Sarkar, D., Bhattacharyya, T., Datta, S.C., Chandran, P. and Ray, S.K. 2013. Impact of climate change in soils of semi-arid tropics (SAT). In: Climate Change and Agriculture (eds. Bhattacharyya, T., Pal, D.K. & Wani, S·P) Studium Press, New Delhi, pp.113–121.
- Panagos, P., Ballabio, C., Scarpa, S., Borrelli, P., Lugato, E. and Montanarella, L. 2020. Soil related indicators to support agro-environmental policies. Publications Office of the European Union: Luxembourg.
- Papendick, R.I. and Parr J.E. 1992. Soil quality the key to a sustainable agriculture. Amer. J. Altern. Agric. 7, pp. 2–3.
- Parr, J.F., Papendick, R.I., Hornick, S.B. and Meyer, R.E. 1992. Soil Quality: Attributes And Relationship To Alternative And Sustainable Agriculture. American Journal Of Alternative Agriculture, 7(1-2), 5-11.
- Paul, B.K., Vanlauwe, B., Ayuke, F., Gassner, A., Hoogmoed, M., Hurisso, T.T., Koala, S., Lelei, D., Ndabamenye, T., Six, J. and 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.
- Pereira, A.S., Dorneles, A.O.S., Bernardy, K., Sasso, V.M., Bernardy, D., Possebom, G. and Tabaldi, L.A. 2018. Selenium and silicon reduce cadmium uptake and mitigate cadmium toxicity in *Pfaffia glomerata* (Spreng.) Pedersen plants by activation antioxidant enzyme system. Environmental Science and Pollution Research, 25, 18548-18558.

- Pesek, J., Hatfield, J.L. and Karlen, D.L. 1994. Historical Perspective. Sustainable Agriculture Systems (Eds.).
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G. and Valentin C. 2003. Gully Erosion And Environmental Change: Importance And Research Needs. *Catena* 50:91-133.
- Powers, L.E., Ho, M., Freckman, D.W. and Virginia, R.A. 1998. Distribution, community structure, and microhabitats of soil invertebrates along an elevational gradient in Taylor Valley, Antarctica. *Arctic and Alpine Research*, 30(2), 133-141.
- Powers, R.F., Tiarks, A.E., Davidson, E.A., Adams, M.B., Ramakrishna, K. and Boyle, J.R. 1998. Assessing soil quality: practicable standards for sustainable forest productivity in the United States. The contribution of soil science to the development and implementation of criteria and indicators of sustainable forest management. SSSA Special Publication No. 53, SSSA, Madison, WI, pp. 53–80.
- Prabha, A.C.S., Senthivelu, M. and Paramasiwam, A. 2020. Soil quality indicators for different land uses: A review. *International Journal of Plant and Soil*. Vol. 17, n. 9, pp. 379-387. ISSN: 1380-2739.
- Raphael, J.P., Calonego, J.C., Milori, D.M.B. and Rosolem, C.A. 2016. Soil organic matter in crop rotations under no-till. *Soil and Tillage Research*, 155, 45-53.
- Reis, A. and Dindaroğlu, T. 2020. Havzalarda Bazı Hidrolojik Karakteristiklerin Archdyro Yazılımı Kullanılarak Belirlenmesi. *Turkish Journal of Forest Science*, 4(1), 146-159. Research Foundation, Bulletin 10. Texas A&M University, College Stn., TX.
- Rezapour, S. and Samadi, A. 2012. Assessment of inceptisols soil quality following long- term cropping in a calcareous environment. *Environ Monit Assess* 184:1311–1323. DOI 10.1007/s10661-011-2042-6.
- Rinot, O., Levy, G.J., Steinberger, Y., Svoray, T. and Eshel, G. 2019. Soil health assessment: A critical review of current methodologies and a proposed new approach. *Science of the total environment*, 648, 1484-1491.
- Romig, D.E., Garlynd, M.J., Harris, R.F. and Mcsweeney, K. 1995. How Farmers Assess Soil Health And Quality. *J. Soil Water Conserv.* 50, 229–236.
- Rosa, D.D.L. and Sobral, R. 2008. Soil Quality And Methods For Its Assessment. In *Land Use And Soil Resources* (Pp. 167-200). Springer, Dordrecht.

- Rozema, J. and Flowers, T. 2008. Crops For A Salinized World. *Science* 2008; 322(5907): 1478–1480.
- Saaty, T., Ma, F. and Blair, P. 1977. Operational gaming for energy policy analysis. *Energy Policy*, 5(1), 63-75.
- Salvati, L., Ferrara, C. and Corona, P. 2015. Indirect Validation Of The Environmental Sensitive Area Index Using Soil Degradation Indicators: A Country-Scale Approach. *Ecological Indicators* 57: 360–365
- Schipper, L.A. and Sparling, G.P. 2000. Performance of soil condition indicators across taxonomic groups and land uses. *Soil Science Society of America Journal* 64, 300–311.
- Şeker, C., Özyaytekin, H.H., Negiş, H., Gümüş, İ., Dedeoğlu, M., Atmaca, E. and Karaca, Ü. 2017. Identification of regional soil quality factors and indicators: a case study on an alluvial plain (central Turkey). *Solid Earth*, 8(3), 583-595.
- Seybold, C.A., Mausbach, M.J., Karlen, D.L. and Rogers, H.H. 1998. Quantification of soil quality. *Soil processes and the carbon cycle*. CRC Press, Boca Raton, FL. Quantification of soil quality, 387-404.
- Shankar, U., Boral, L., Pandey, H.N. and Tripathi, R.S. 1993. Degradation Of Land Due To Coal Mining And Its Natural Recovery Pattern. *Current Science*, 680-687.
- Sharma, C.M., Mandal, B., Srinivasarao, C. and Vittal, K.P.R. 2014. Soil quality assessment of different land uses in sub-humid subtropical India using soil quality index and multivariate statistical approaches. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(11), 7243-7263.
- Shepherd, T.G. 2000. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to Rolling country. *Visual Soil Assessment*. Volume (1), 84.
- Shukla, M.K., Lal, R. and Ebinger, M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research*, 87(2), 194-204.
- Sims, J.T., Cunningham, S.D. and Sumner, M.E. 1997. Assessing Soil Quality For Environmental Purposes: Roles And Challenges For Soil Scientists. *Journal Of Environmental Quality*, 26(1), 20-25.
- Sivakumar, M.V. and Stefanski, R. 2007. Climate And Land Degradation An Overview. *Climate And Land Degradation*, 105-135.

- Smith, J.L. and Doran, J.W. 1996. Management and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. Pg. 169-187. Methods for assessing soil quality. SSSA Special Publ, 49.
- Solgi, A., Pourhaghi, A., Bahmani, R. and Zarei, H. 2017. Improving SVR and ANFIS performance using wavelet transform and PCA algorithm for modeling and predicting biochemical oxygen demand (BOD). *Ecohydrology and Hydrobiology*, 17(2); 164-175. DOI: 10.1016/j.ecohyd.2017.02.002
- SSSA, (Soil Science Society Of America). 1997. Glossary Of Soil Science Terms. SSSA, Madison, WI.
- Stott, D.E., Cambardella, C.A., Tomer, M.D., Karlen, D.L. and Wolf, R. 2011. A Soil Quality Assessment within the Iowa River South Fork Watershed. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75:2271–2282.
- Sujatha, E.R. and Saisree, S. 2019. Geotechnical Behaviour Of Guar Gum-Treated Soil. *Soils And Foundations*, 59(6), 2155-2166.
- Symeonakis, E., Karathanasis, N., Koukoulas, S. and Panagopoulos, G. 2016. Monitoring Sensitivity To Land Degradation And Desertification With The Environmentally Sensitive Area Index: The Case Of Lesvos Island. *Land Degradation & Development*, Published Online In Wiley Online Library (Wileyonlinelibrary.Com) DOI: 10.1002/Ldr.2285
- Tilahun, E. and Zewide, I. 2021. Causes And Impacts Of Land Degradation. *British Journal Of Earth Sciences Research* Vol.9, No.2, Pp.28-3.
- Tolunay, D. 2015. Türkiye’de Ormansızlaşma İle Kaybedilen Karbon Miktarları. 6. Ulusal Hava Kirliliği Ve Kontrolü Sempozyumu, 7-9 Ekim 2015, İzmir, S. 441-452. Tolunay, D. 2017. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE ORMANSIZLAŞMA.
- UNCCD-AGTE. 2013. Refinement Of The Set Of Impact Indicators On Strategic Objectives 1, 2 And 3. Recommendations Of The Ad Hoc Advisory Group Of Technical Experts ICCD/COP(11)/CST/2 And Corr.1. 10 July 2013 United Nations Convention To Combat Desertification (UNCCD).
- UNFCCC. 2001. Land-Use, Land-Use Change And Forestry, Decision11/CP.7, FCCC/CP/2001/13/Add.1.

- Vasu, D., Singh, A.K. and Mandal, D.K. 2016. Soil quality index as influenced by long-term fertilization and cropping systems in a sub-tropical Inceptisol. *Geoderma*, 264, 123-131.
- Wairiu, M. 2017. Land Degradation And Sustainable Land Management Practices In Pacific Island Countries. *Regional Environmental Change*, 17(4), 1053-1064.
- Warkentin, B.P. 1995. The Changing Concept Of Soil Quality. *Journal Of Soil And Water Conservation*, 50(3), 226-228.
- Warkentin, B.P. and Fletcher, H.F. 1977. Soil Quality For Intensive Agriculture. In *Proceedings Of The International Seminar On Soil Environment And Fertility Management In Intensive Agriculture*.
- Wickham ., James, D., Kurt, H., Riitters, T.G., Wade., Michael Coan. and Collin Homer. 2007. The Effect Of Appalachian Mountaintop Mining On Interior Forest. *Landscape Ecology* 22, No. 2 (2007): 179-187.
- Wienhold, B.J., Karlen, D.L., Andrews, S.S. and Stott, D.E. 2009. Protocol for indicator scoring in the soil management assessment framework (SMAF). *Renewable Agriculture and Food Systems*: 24 (4), 260–266.
- Wu, C., Liu, G., Huang, C. and Liu, Q. 2019. Soil quality assessment in Yellow River Delta: Establishing a minimum data set and fuzzy logic model. *Geoderma*, 334, pp.82-89.
- Xue, R., Wang, C., Liu, M., Zhang, D., Li, K. and Li, N. 2019. A new method for soil health assessment based on Analytic Hierarchy Process and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 650, 2771-2777.
- Yang, C. and Sun, J. 2021. Impact Of Soil Degradation On Plant Communities In An Overgrazed Tibetan Alpine Meadow. *Journal Of Arid Environments*, 193, 104586.
- Yu, P., Liu, S., Zhang, L., Li, Q. and 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, 564-571.
- Zalidis, G., Stamatiadis, S., Takavakoglou, V., Eskridge, K. and 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.

- Zeng, Z., Wang, D., Yang, L., Wu, J., Ziegler, A.D., Liu, M., Ciais, P., Searchinger, T., Yang, Z.L., Chen, D., Chen, A., Li, L.Z.X., Piao, S., Taylor, D., Cai, X., Pan, M., Peng, L., Lin, P., Gower, D., Feng, Y., Zheng, C., Guan, K., Lian, X., Wang, T., Wang, L., Jeong, S.J., Wei, Z., Sheffield, J., Caylor, K. and Wood, E.F. 2021. Deforestation-Induced Warming Over Tropical Mountain Regions Regulated By Elevation. *Nature Geoscience*, 14(1), 23-29.
- Zhang, G., Bai, J., Xi, M., Zhao, Q., Lu, Q. and Jia, J. 2016. Soil quality assessment of coastal wetlands in the Yellow River Delta of China based on the minimum data set. *Ecological indicators*, 66, pp.458-466.
- Zobeck, T.M., Halvorson, A.D., Wienhold, B., Acosta-Martinez, V. and Karlen, D.L. 2008. Comparison of two soil quality indexes to evaluate cropping systems in northern Colorado. *Journal of soil and water conservation*, 63(5), 329-338.
- Zornoza, R., Acosta, J.A., Bastida, F., Domínguez, S.G., Toledo, D.M. and Faz, A. 2015. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *Soil*, 1, 173–185, 2015.

