



2025

Cilt/Volume : **13**

Sayı/Number : **2**

eISSN : 2146 - 8141

www.toprak.org.tr

Türkiye Toprak Bilimi
Derneği Yayınıdır

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

(Journal of Soil Science and Plant Nutrition)





TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

(Açık Erişimli Hakemli Bilimsel Dergi)

Türkiye Toprak Bilimi Derneği tarafından yayınlanmaktadır



SAHİBİ

Dr. Ayten NAMLI, Ankara Üniversitesi, Ankara

EDİTÖRLER KURULU BAŞKANLARI

Dr. Coşkun GÜLSER
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

Dr. Rıdvan KIZILKAYA
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

BÖLÜM EDİTÖRLERİ

Dr. Füsün GÜLSER, Toprak Kirliliği ve Islahı, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van
Dr. Hasan Sabri ÖZTÜRK, Toprak Fiziği, Ankara Üniversitesi, Ankara
Dr. İlhami BAYRAMİN, Toprak Etüd ve Haritalama, Ankara Üniversitesi, Ankara
Dr. Kadir SALTALI, Toprak Kimyası, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş
Dr. Mehmet ZENGİN, Gübreler ve Gübreleme, Selçuk Üniversitesi, Konya
Dr. Nur OKUR, Toprak Biyolojisi ve Biyokimyası, Ege Üniversitesi, İzmir
Dr. Orhan DENGİZ, Toprak Oluşumu ve Sınıflandırma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun
Dr. Sait GEZGİN, Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği, Selçuk Üniversitesi, Konya
Dr. Taşkın ÖZTAŞ, Arazi Yönetimi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum
Dr. Tayfun AŞKIN, Toprak ve Su Koruma, Ordu Üniversitesi, Ordu

EDİTÖRLER KURULU

Dr. Alexandre F. D'ANDREA, Federal Institute of Education, Science & Technology of Paraíba, Brazil
Dr. Amrakh I. MAMEDOV, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Azerbaijan
Dr. Bülent OKUR, Ege Üniversitesi, İzmir
Dr. David PINSKY, Institute of Physico-chemical & Biological Problems in Soil Science, Russia
Dr. Evgeny SHEIN, Lomonosov Moscow State University, Russia
Dr. Guguli DUMBADZE, Batumi Shota Rustaveli State University, Georgia
Dr. Günay ERPUL, Ankara Üniversitesi, Ankara
Dr. Hüseyin Hüsnü KAYIKÇIOĞLU, Ege Üniversitesi, İzmir
Dr. İbrahim ERDAL, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta
Dr. İbrahim ORTAŞ, Çukurova Üniversitesi, Adana
Dr. İmanverdi EKBERLİ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun
Dr. Mustafa BOLCA, Ege Üniversitesi, İzmir
Dr. Markéta MIHALIKOVA, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic
Dr. Mustafa BAŞARAN, Erciyes Üniversitesi, Kayseri
Dr. Mustafa Yıldırım CANBOLAT, Atatürk Üniversitesi, Erzurum
Dr. Oğuz Can TURGAY, Ankara Üniversitesi, Ankara
Dr. Ömer Lütfü ELMACI, Ege Üniversitesi, İzmir
Dr. Sezai DELİBACAK, Ege Üniversitesi, İzmir
Dr. Suat ŞENOL, Çukurova Üniversitesi, Adana
Dr. Svetlana SUSHKOVA, Southern Federal University, Russia
Dr. Tomasz ZALESKI, University of Agriculture in Krakow, Poland
Dr. Tuğrul YAKUPOĞLU, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat
Dr. Valentina VOICU, National Research-Development, Institute for Soil Sci., Agro-Chemistry & Environment, Romania
Dr. Yasemin KAVDİR, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale

DERGİ HAKKINDA

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, Türkiye Toprak Bilimi Derneğinin hakemli açık erişimli resmi dergisi olup, toprak, bitki ve çevreyle ilişkili temel ve uygulamalı çalışmalara ait araştırma makalelerinin yanı sıra bu alandaki güncel derlemeleri de yayınlamaktadır. Derginin kapsamı; toprak fiziği ve mekaniği, toprak kimyası, toprak biyolojisi ve biyokimyası, toprak su ve koruma, toprak verimliliği, toprak oluşumu, sınıflandırma ve haritalama, toprak sağlığı ve kalitesi, toprak hidrolojisi, toprak yönetimi ve ıslahı, toprak mineralojisi ve mikromorfolojisi, toprak kirliliği ve ıslahı, toprak kaynaklı patojenler, bitki besleme ve gübreleme, jeostatistik, uzaktan algılama ve CBS gibi toprak bilimi alanındaki konuları içermektedir.

TARANDIĞI İNDEKSLER : TR Dizin, CABI, EBSCOHOST, Google Akademik

YIL: 2025

CİLT : 13

SAYI : 2

SAYFA : 102 – 200

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

- Bazı toprak fiziksel parametrelerinin toprak solunumu ve mikrobiyal biyokütle karbonuna etkisi** 102
Dudu Cengiz, Pelin Alaboz
- Coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak Kürtün Irmağı Havzası'nda (Samsun) heyelan duyarlılık analizi** 110
İnci Demirağ Turan, Abdulkadir Kayaalp
- Toprak fosfor formları ve ilgili enzimler arasındaki ilişkilerinin belirlenmesi ve mekansal değişimleri: Zonguldak fındık alanları örnek bir çalışma** 126
Ayşe Ertaş Peker, Orhan Dengiz, Aylin Erkoçak
- Farklı sulama suyu uygulamalarının kudret narı (*Momordica charantia* L.) bitkisinde çimlenme ve fide gelişimi ile mineral alımına etkileri** 136
Ahmet İlker Levent, Kadir Ersin Temizel
- Eskişehir İli Çifteler İlçesi tarım arazilerinde bazı koruyucu tarım uygulama yöntemlerinin toprak özellikleri üzerine etkileri** 150
Ayten Namlı, Nihal Ceren Alıcı Sungur, Muhittin Onur Akça, Zeynep Sude Sapmaz, Nilüfer Araç, Elif Arzu Yıldız
- Fiziko-kimyasal içerikleri belirlenmiş toprakların CBS tabanlı mekansal değerlendirilmesi: Samsun-Vezirköprü örneği** 165
Murat Birol, Fikret Saygın, Halil Aytop, Orhan Dengiz, Yusuf Koç, Serkan İç
- Bitki yetiştirme ortamında torf, ahır gübresi ve kimyasal gübre uygulamalarına bazı toprak özelliklerinin tepkisi** 175
Füsun Gülser, Bulut Sarğın
- Yarı kurak bir bölgede oluşmuş toprakların detaylı etüd-haritalaması ve sınıflandırılması** 183
Bulut Sarğın, Siyami Karaca



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

<http://dergi.toprak.org.tr>



Bazı toprak fiziksel parametrelerinin toprak solunumu ve mikrobiyal biyokütle karbonuna etkisi

Dudu CENGİZ*, **Pelin ALABOZ**

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Besleme Bölümü, Isparta

Öz

Bu çalışmada; kuru ve sulu tarım yapılan farklı arazi kullanımlarında 0-15 ve 15-30 cm toprak derinliği için bazı fiziksel (Nem, sıcaklık ve penetrasyon direnci) ve biyolojik (Solunum- CO₂ ve mikrobiyal biyokütle karbonu-MBC) özellikler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Çalışmada toprakların nem, sıcaklık ve penetrasyon direnci içerikleri %2-79-16.66, %14.00-26.00 ve 0.40-4.46 MPa arasında değişkenlik sergilemiştir. Toprakların ortalama CO₂ ve mikrobiyal biyokütle karbonu seviyeleri ise 0.91 mg CO₂/g kuru toprak ve 54 mg MBC/g kuru toprak olarak bulunmuştur. Toprak sıcaklığı ve nem içeriğindeki artışlarla mikrobiyal biyokütle karbonunda da artışlar (r:0.264; r:0.282) tespit edilmiştir. Toprak derinliğine bağlı önemli seviyede değişkenlik gösteren parametreler toprak sıcaklığı ve mikrobiyal biyokütle karbon olarak bulunmuştur. Farklı arazi kullanımlarına bağlı önemli seviyede değişkenlik gösteren özellikler toprak solunumu ve mikrobiyal biyokütle karbon olarak belirlenmiştir (p<0.05). Toprak penetrasyon direncinin biyolojik özellikleri üzerinde etkili olduğunu gösteren sonuçlara ulaşılamamıştır. Çalışma sonucunda toprak nemi ve sıcaklığının biyolojik parametreler üzerinde etkili olduğu arazi kullanımlarına bağlı olarak da değişkenlikler sergilediği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biyolojik aktivite, toprak özellikleri, toprak sıkışması, arazi kullanımı.

Effect of some soil physical parameters on soil respiration and microbial biomass carbon

Abstract

In this study, the relationships between some physical (moisture, temperature and penetration resistance) and biological (respiration-CO₂ and microbial biomass carbon-MBC) properties were investigated for 0-15 and 15-30 cm soil depth in different land uses with dry and irrigated agriculture. The moisture, temperature and penetration resistance contents of the soils varied between 2-79-16.66%, 14.00-26.00% and 0.40-4.46 MPa in the study. The average CO₂ and microbial biomass carbon levels of the soils were found to be 0.91 mg CO₂/g dry soil and 54 mgMBC/g dry soil. Increases in microbial biomass carbon (r: 0.264; r: 0.282) were detected with increases in soil temperature and moisture content. Soil temperature and microbial biomass carbon were found to be the parameters that showed significant variation depending on soil depth. The properties that showed significant variation depending on different land uses were determined as soil respiration and microbial biomass carbon (p<0.05). No results were found to show that soil penetration resistance has an effect on its biological properties. The study revealed that soil moisture and temperature have an effect on biological parameters and that they also vary depending on land uses.

Keywords: Biological activity, soil properties, soil compaction, land use.

© 2025 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (552) 622 0352
E-posta : duducengiz23@gmail.com

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 11 Haziran 2025 e-ISSN : 2146-8141
Kabul Tarihi : 3 Aralık 2025 DOI : 10.33409/tbbbd.1717614

Giriş

Dünyada en önemli gıda ihtiyacının karşılandığı toprağın, verimlilik düzeyinin de etkileneceği yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur (Rosenzweig ve ark., 2014). Toprak verimliliği, bir arazinin bitki yetiştirme potansiyelini ve tarımsal üretim kapasitesini göstermekte olup, birçok indikatörün etkileşimiyle tespit edilir. Küresel ısınma, su döngüsünü etkileyerek su kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır. Yüksek sıcaklıklar ve artan buharlaşma, toprak nem seviyelerinde azalmaya ve kuraklık riskinin artmasına yol açmaktadır. Toprakta yüksek seviyede kuraklık, toprak yapısının bozulmasıyla birlikte toprak erozyonunu da arttırmaktadır (Bai ve ark., 2008). Aynı zamanda toprak kuraklığı bazı mikroorganizmaların faaliyetlerini olumsuz etkileyerek toprakta biyolojik aktivitenin azalmasına neden olmaktadır. Bu da toprak ekosistemlerinin dengesini ve biyolojik çeşitliliği negatif yönde etkilemektedir (Brockett ve ark., 2012).

Toprağın fiziksel özellikleri; toprak verimliliği, bitki yetiştirme potansiyeli ve su yönetimi gibi süreçler üzerinde etkilidir. Topraktaki hava boşlukları, bitki köklerinin oksijene erişimini sağlarken iyi drenaj ve hava sirkülasyonu, köklerin sağlıklı büyümesini destekler ve toprakta çürüme ve bozulma gibi sorunların oluşmasını önler (Hirte ve ark., 2017). Toprak; organik ve mineral madde, hava ve su bileşenlerinden meydana gelen karmaşık bir bütündür. Bilindiği üzere toprağın gözenek hacminde mevcut hava ve su düzeyi sürekli bir değişim içerisinde. Strüktürel yapısı iyi olan bir toprak, dayanıklı agregata sahip ve erozyon duyarlılığı düşük, bitkilerin kök gelişimi ve besin maddelerinin alımı için ideal bir ortamdır. Fiziksel parametrelerden biri olan toprak sıkışması, bitki köklerinin toprak içinde ilerlemesini etkiler. Sıkışmamış strüktürel yapısı iyi bir toprak kök gelişimini teşvik ederek (Whalley ve ark., 2008), bitkilerin besinlere erişimi ve büyümeleri için optimum koşullar sağlamaktadır. Penetrasyon direncini etkileyen toprak özellikleri arasında sıklıkla tekstür, strüktür, gözeneklilik, su içeriği, çimentolayıcı maddeler ve sıkışma bulunmaktadır (Grunwald ve ark., 2001). Turgut ve ark. (2010), üst toprak katmanı penetrasyon direnci değerlerindeki değişimde agregat stabilitesi, nem ve kireç içeriği, alt sıkışmış katmanda ise kütle yoğunluğu ve nem içeriği gibi toprak özelliklerinin etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Toprak biyolojik özellikleri, organik maddenin ayrışması ve humus oluşumu süreçleri üzerinde etkili iken organik madde ayrışması, toprakta besin maddelerinin serbest bırakılmasını sağlar ve bitkilerin bu besinlere erişimini kolaylaştırır. Aynı zamanda, toprak yapısını iyileştirir ve su tutma kapasitesini artırır. Mikroorganizmaların faaliyetleri; toprak agregatlarının oluşumunu ve stabilitesini artırmanın yanında toprak erozyonunu azaltır, su infiltrasyonunu iyileştirir ve toprağın havalanmasını sağlar (Li ve ark., 2017). Topraktaki mikroorganizmaların ve diğer canlıların solunum süreci sonucunda gerçekleşen toprak solunumunun yüksek olması, aktif mikrobiyal aktivitenin olduğunu ve organik madde ayrışmasının etkin olduğunu gösterir (Ma ve ark., 2019). Toprak solunumu, ekosistemlerdeki birincil karbon döngüsünü kontrol eden toprak yüzeyinden karbondioksit emisyonudur (Jin ve ark. 2007). Toprak solunumu ototrofik ve heterotrofik solunum olmak üzere iki bileşenden oluşur. Ototrofik solunum, bitki köklerinden salınan karbondioksittir, heterotrofik solunum ise topraktaki organik maddenin ayrışmasıyla ilişkili mikrobiyal aktiviteden salınan karbondioksittir (Wei ve ark., 2015). Toprak mikrobiyal biyokütlesi, mevcut besinlerin kaynağı olarak görev yapabilir (Singh ve ark. 1989). Mikrobiyal biyokütledeki değişiklikler toprağın organik madde dönüşümünü de etkiler (Yang ve ark. 2010). Toprak mikrobiyal biyokütlesinin ana bileşeni mikrobiyal biyokütle karbonudur (MBC). Canlı mikrobiyal biyokütle karbonu ve ölü mikrobiyal biyokütle, mikrobiyal biyokütle karbon kaynağını oluşturur (Xu ve ark., 2018). Ölü mikroorganizmaların kütlesi toprakta büyük miktarda karbonu temsil eder ve yaşayan mikroorganizmalar için hazır bir karbon kaynağı sağlar (Xu ve ark., 2018). Bazı çalışmalarda dönemsel olarak toprak sıcaklığına bağlı olarak toprak solunumu ve mikrobiyal biyokütle karbonunun değiştiği ortaya konmuştur (Meena ve ark., 2020; Feng ve ark., 2009). Ishak ve ark., (2014), mikrobiyal aktivitenin toprak sıkışması arttıkça azaldığını belirtmiştir. Toprak mikroorganizmalarının aktivitesi, sıcaklığa duyarlılıkları, substratların bulunabilirliği, farklı arazi yönetimi ve toprak nemi gibi çevresel faktörler ve mikrobiyal fizyolojinin olası adaptasyonları ile belirlenebilir (Schindlbacher ve ark., 2011).

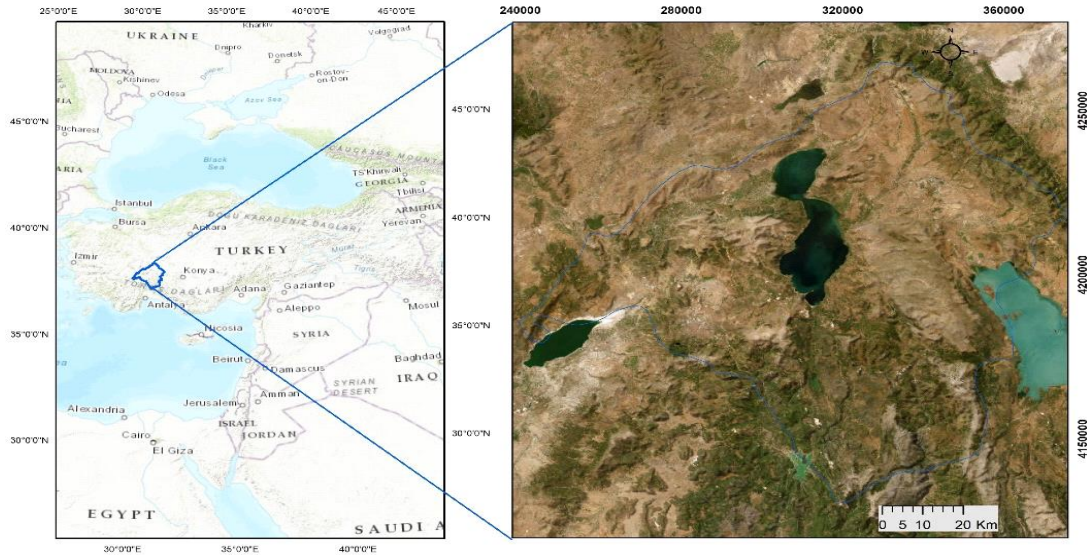
Bu çalışmada; farklı arazi kullanımı altında (kuru-sulu tarım) toprakların biyolojik aktiviteleri (CO₂ ve MBC) farklı derinlik için belirlenmiştir. Ayrıca toprak derinliğindeki değişime bağlı toprak sıkışması, nemi ve sıcaklığı tespit edilerek fiziksel ve biyolojik özellikler arasındaki ilişkiler ortaya konmuştur. Bu kapsamda; farklı arazi kullanımları altındaki toprakların biyolojik aktivitelerinin belirlenmesi ve bazı fiziksel parametreler ile değerlendirilmesi çalışmanın özgün yönünü oluşturmaktadır. Çalışmanın genel amacı toprak biyolojik aktiviteleri ile fiziksel özellikler arasındaki ilişkilerin derinlik ve arazi kullanımlarına bağlı nasıl değiştiğini anlamaktır. Ayrıca çalışma kapsamında;

- I. Toprak derinliği arttıkça toprak solunumu ve mikrobiyal karbon aktivitesinin azalacağı,
- II. Toprak sıkışmasıyla biyolojik aktivitenin azalacağı,
- III. Toprak nemi ile toprak solunumu arasında pozitif ilişkilerin belirleneceği,
- IV. Farklı arazi kullanımlarında biyolojik aktivitelerin değişeceği,
- V. Sıcaklığın artışıyla belirli bir aralığa kadar mikrobiyal solunum artacağı olası hipotezler olarak değerlendirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Çalışma alanı ve toprak örnekleme

Çalışmada, Isparta merkez ve merkeze yakın ilçelerinden rastgele seçilen 50 noktadan toprak örnekleri alınmıştır. Isparta ili, Akdeniz iklimi ile Orta Anadolu iklimi arasındaki geçiş bölgesinde yer almaktadır (Şekil 1). Bu sebeple il sınırları içinde her iki iklimin özellikleri de görülür. Çevredeki göllerin iklim üzerinde önemli etkisi vardır. Yağışların büyük bir bölümü kış ve ilkbahar aylarında düşmektedir. Isparta ili Göller bölgesi'nin merkezi konumunda olup bitki örtüsü bozkır'dır. Isparta ilindeki tarım alanlarında üretilen başlıca tarım ürünleri; başta hububat olmak üzere, sebzeler, endüstri bitkileri, yem bitkileri ve kavaktır. Isparta ve yöresinde yetiştirilen tarımsal ürünler arasında gül, elma ve kiraz oldukça önemli yer tutmaktadırlar. Yetişen bu ürünlerin önemli bir kısmı ihracatta kullanılmaktadır. Yıllık ortalama sıcaklık 12.3°C, toplam yağış miktarı 267.5 mm'dir (MGM, 2024).



Şekil 1. Çalışma alanı

Toprak örnekleri bozulmuş örnekler şeklinde rastgele alınarak 0-15, 15-30 cm derinliği temsil etmektedir. Toprakların arazideki nem içeriklerinin belirlenmesi için her bir derinliği temsil edecek 100 -150 gr toprak örneği tartılarak alüminyum kaplara konuldu ve laboratuvara getirilen örnekler etüve kurutuldu. Toprak örnekleme noktalarının seçiminde kuru ve sulu tarım yapılan örnekleme noktaları dikkate alınmıştır. Arazide toprakların penetrasyon direnci ölçümleri yapılarak toprak sıcaklıkları belirlenmiştir. Biyolojik analizler için arazide nemli halde bir miktar toprak örneği hemen 2 mm'lik elekten geçirilerek ayrı bir örnekleme ünitesi olarak buzdolabında +4°C'de analiz süreci için bekletilmiştir.

Toprak analizleri

Nem içerikleri: 105 °C'de etüve sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutularak belirlenmiştir (Demiralay, 1993).

Penetrasyon direnci: Kağıt penetrograflı penetrometreler kullanılarak her bir cm için MPa cinsinden ölçümler yapılmıştır.

Toprak sıcaklığı: Toprak derinliklerinde kullanılmak için 50 cm derinliğe kadar ölçüm yapılabilen dijital termometre kullanılmıştır.

Toprak Solunumu (CO₂): Toprak solunumu, kapalı bir kap içerisine konulan NaOH'ın topraktan çıkan CO₂ ile reaksiyona girmesi ve BaCl ve indikatör kullanılarak, HCl çözeltisi ile titrasyon yapılarak belirlenmesi esasına göre tespit edilmiştir (Isermayer, 1952).

Mikrobiyal Biyokütle Karbonu (MBC): Anderson ve Domsch (1978) tarafından belirtilen substrat indirgenme yöntemine göre tespit edilmiştir.

Farklı derinliklere ve arazi kullanımlarına bağlı toprakların özelliklerinin değişimlerine bağlı önem seviyelerinin karşılaştırılmasında ANOVA-TUKEY çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Çoklu karşılaştırma testleri, tanımlayıcı istatistikler ve korelasyon matrisleri Minitab 16 paket programında değerlendirilmiştir (Minitab, 2025).

Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada farklı derinliklerden alınan toprak örneklerinin CO₂ ve MBC içerikleri Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Farklı derinliklere bağlı bazı toprak biyolojik özelliklerinin tanımlayıcı istatistikleri

Özellik	Derinlik	Ort.	SS	VK%	Min.	Max.	Çarp.	Bas.
CO ₂ mg CO ₂ /gFKT	0-15 cm	0.914	0.26	28.59	0.55	1.69	0.99	1.20
	15-30 cm	0.910	0.23	25.52	0.40	1.449	0.03	-0.21
MBC mgMBC/gFKT	0-15 cm	56.56	17.61	31.13	25.81	99.14	0.43	-0.07
	15-30 cm	52.41	18.62	35.53	4.36	100.34	0.24	0.30

Ort: ortalama, SS: standart sapma, VK: varyasyon katsayısı, Min: minimum, Max: maximum, Çarp: çarpıklık, Bas: basıklık, FKT: fırın kuru toprak, MBC: mikrobiyal biyokütle karbonu

Toprakların 0-15 cm derinliklerinde elde edilen CO₂ değerleri 0.55-1.69 mgCO₂/gfk aralıklarında belirlenmiştir. Ortalama 0.914 mgCO₂/g fkt olan değerlerin standart sapması 0.26 mgCO₂/gfk, varyasyon katsayısı ise %28.59’dur. Verilerin normal dağılım durumları incelendiğinde çarpıklık ve basıklık pozitif olup sağa çarpık, normale göre daha dik bir dağılım sergilemiştir. Toprakların 15-30 cm derinliklerinde elde edilen CO₂ değerleri 0.40-1.449 mgCO₂/gfk arasında belirlenmiştir. Ortalaması 0.910 mgCO₂/gfk olan toprak örneklerinin standart sapması 0.23 mgCO₂/gfk, varyasyon katsayısı %25.52 olarak belirlenmiştir. Verilerin normal dağılım durumları incelendiğinde çarpıklık ve basıklık sağa, negatif olup eğri normale göre daha basık bir dağılım sergilemiştir. Toprakların 0-15 cm derinliklerinde elde edilen MBC değerleri 25.81-99.14 mgMBC/gfk arasında belirlenmiştir. Ortalaması 56.56 mgMBC/gfk olan toprak örneklerinin standart sapması 17.61 mgMBC/gfk, varyasyon katsayısı %31.13 olarak belirlenmiştir. Verilerin normale göre daha basık bir dağılım sergilemiştir. 15-30 cm derinliklerinde elde edilen MBC değerleri 4.36-100.34 mg MBC/gfk arasında belirlenmiştir. Ortalaması 52.41 mg MBC/gfk olan toprak örneklerinin standart sapması 18.62 mg MBC/gfk, varyasyon katsayısı %35.53 olarak tespit edilmiştir. Topraktaki, CO₂ kaynağı olarak atmosfer havasına ek olarak bitki kökleri, biyolojik aktivite, toprak canlıları organik maddenin oksidasyonu gibi faktörler etkili ve oldukça dinamik yapıdadır. Toprak havasının CO₂ seviyesi % 0.1-5 arasında değişkenlik gösterebilmektedir (Aydemir ve ark., 2005). Toprak solunumu yüzey ve yüzey altı derinliklerde ortalama olarak birbirine oldukça yakın seviyede tespit edilirken MBC yüzeyde daha yüksek seviyelerde tespit edilmiştir. Toprak solunumunun yüzey ve yüzey altı derinliklerde benzer seviyede ölçülmesi, solunumun yalnızca yüzey mikroorganizmalarına bağlı olmadığını; kök solunumu, organik madde ayrışması ve mikrobiyal aktivitenin daha derin katmanlarda da önemli düzeyde gerçekleştiğini gösterir (Zhang ve ark., 2025). Mikrobiyal biyomas karbonun yüzeyde daha fazla olması beklenen bir bulgudur. Organik madde ve besin maddesi ilaveleri en çok yüzey katmanında gerçekleşir. Yüzey katmanları daha fazla oksijen içerir, bu da aerobik mikroorganizmaların etkinliğini artırır. Mikrobiyal biyokütlenin yüzeyde yüksek olması, mikroorganizmaların enerji ve karbon kaynaklarına yakınlıkları ile uyumludur (Naylor ve ark., 2022).

Çalışmada farklı derinliklerden alınan toprak örneklerinin penetrasyon direnci, sıcaklık ve nem içerikleri Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2. Farklı derinliklere bağlı bazı toprak fiziksel özellikleri

Özellikler	Derinlik	Ort.	SS	VK%	Min.	Max.	Çarp.	Bas.
PR- MPa	0-15 cm	1.588	0.862	54.32	0.400	4.460	0.84	0.92
	15-30cm	1.844	1.139	61.77	0.169	3.900	0.36	-0.99
Sıcaklık °C	0-15cm	19.90	3.125	15.70	15.00	26.00	0.36	-1.02
	15-30cm	17.96	2.948	16.42	14.00	24.00	0.21	-1.11
Nem %	0-15cm	9.623	3.110	32.32	3.82	15.741	-0.33	0.14
	15-30cm	10.05	3.264	32.45	2.79	16.66	-0.31	0.21

Ort: ortalama, SS: standart sapma, VK: varyasyon katsayısı, Min: minimum, Max: maximum, Çarp: çarpıklık, Bas: basıklık PR: penetrasyon direnci

Toprakların 0-15 cm derinliğinde elde edilen penetrasyon direnci 0.400-4.460 MPa aralığında tespit edilmiştir. Ortalama 1.588 MPa olan değerlerin standart sapması 0.862 MPa, varyasyon katsayısı ise % 54.32'dir. Toprakların 15-30 cm derinliklerinde elde edilen penetrasyon direnci değerleri 0.169-3.900 MPa aralığında bulunmuştur. Ortalama 1.844 MPa olan değerlerin standart sapması 1.139, varyasyon katsayısı ise % 61.77'dir. Veriler normal dağılıma göre daha basık bir dağılım sergilemiştir. Toprakların 0-15 cm derinliklerinde elde edilen toprak sıcaklık değerleri 15-26 °C arasında ortalama olarak 19.90 °C'dir. 15-30 cm derinliğinde ortalama toprak sıcaklığı değeri 17.96 °C olarak tespit edilmiştir. Derinliğe bağlı bir azalış görülmektedir. 0-15 cm ve 15- 30 cm toprak derinliğinde elde edilen nem değerleri sırasıyla % 3.825-15.741, %2.795- 16.677 aralıklarında tespit edilmiştir. Varyasyon katsayısı % 32 seviyelerinde olup veriler normale yakın bir dağılım sergilemiştir. Toprak sıkışması birçok faktöre bağlı değişkenlik gösteren bir parametre olarak değerlendirilmektedir. 2 MPa ve üzerindeki penetrasyon direnç değerleri sıkışmanın bir göstergesidir (Alaboz ve Işıldar, 2021). Ortalama değer incelendiğinde yüzey altı toprakta PR değerleri daha yüksek olarak belirlenmiştir. Yüzey altında daha fazla sıkışmanın olduğu tespit edilmiştir. Üst toprağın daha gevşek ve organik madde açısından zengin olması, alt katmanlarda organik maddenin düşük olması gibi faktörlerin etkilediği değerlendirilmektedir (Ferreira ve ark., 2022). Ortalama değerlere göre yüzey toprak sıcaklığı daha yüksek iken yüzeyde kurumaya bağlı nem içerikleri daha düşük seviyededir. İncelen özellikler arasında elde edilen korelasyon matrisleri Tablo 3'de belirtilmiştir.

Tablo 3. Toprak özelliklerinin korelasyon matrisleri

	T ₁	T ₂	PR ₁	PR ₂	M ₁	M ₂	CO ₂₋₁	CO ₂₋₂	MBC ₁	MBC ₂
T ₁	1	0.396**	0.067	-0.239	0.107	0.100	-0.063	-0.170	0.264	0.111
T ₂	0.396**	1	0.126	.098	0.254	0.277	0.068	-0.88	0.021	-0.127
PR ₁	0.067	0.126	1	0.444**	0.191	0.089	0.115	-0.056	0.147	-0.043
PR ₂	-0.239	0.098	0.444**	1	0.084	-0.097	0.050	0.126	-0.052	-0.083
M ₁	0.107	0.254	0.191	0.084	1	0.681**	0.100	0.029	0.072	-0.162
M ₂	0.100	0.277	0.089	-0.097	0.681**	1	0.224	0.193	0.282*	0.050
CO ₂₋₁	-0.063	0.068	0.115	0.050	0.100	0.224	1	0.658**	0.359*	0.389**
CO ₂₋₂	-0.170	-0.088	-0.06	0.126	0.029	0.193	0.658**	1	0.283*	0.435**
MBC ₁	0.264	0.021	0.147	-0.052	0.072	0.282*	0.359*	0.283*	1	0.582**
MBC ₂	0.111	-0.127	-0.043	-0.083	-0.162	0.050	0.389**	0.435**	0.582**	1

**p<0.01 *p<0.05 1:0-15cm, 2:15-30cm, T: sıcaklık, M:Nem, PR:Penetrasyon direnci, MBC:Mikrobiyal biyokütle karbonu

Korelasyon matrisleri incelendiğinde T₁ ile T₂ arasında istatistiksel olarak önemli pozitif yönlü (r:0.396) ilişki tespit edilmiştir. Ayrıca istatistiksel olarak önemli belirlenmese de T₁ ile MBC₁ (r:0.264) arasında zayıf olsa da pozitif yönlü ilişkiler tespit edilmiştir. Toprak sıcaklığının artmasıyla mikrobiyal metabolizma optimum sıcaklıklara kadar hızlanabilmektedir (Walker ve ark., 2018). T₂ ile T₁ (r:0.396) ve PR₁ ile PR₂ (r: 0.444) arasında istatistiksel olarak önemli pozitif yönlü ilişki tespit edilmiştir. Yüzey toprağının PR içeriği arttıkça yüzey altı topraklarında PR içerikleri artmıştır. İstatistiksel olarak önemli belirlenmemiş olsa da yüzey toprağı PR içeri ile CO₂ ve MBC arasında pozitif yönlü bir eğilim olduğu görülmektedir. Özellikle kaba bünyeli gevşek yapıdaki yüzey topraklarda sıkışmayla gözeneklerde su tutma kapasitesi artabileceğinden bu da bir miktar MBC ve CO₂'deki artışa neden olabilecek olarak düşünülmektedir. İleri seviyede sıkışmada gözeneklerdeki azalma oksijenin az olması hem MBC'yi hem de CO₂'yi azaltma potansiyelidir. Özellikle yüzey altı topraklarda negatif eğilim görülmektedir. M₂ ile MBC₁(r:0.282) arasında istatistiksel olarak önemli pozitif yönlü korelasyon belirlenmiştir. Yüzey altı toprağındaki nem içeriğindeki artış yüzeydeki MBC'yi arttırmıştır. Optimum nem seviyesinin korunması biyolojik aktivite için oldukça önemli bir parametre olup nem içeriğindeki artış belirli bir noktaya kadar mikrobiyal biyokütle üzerinde pozitif etki yaratabilmektedir (Borowik ve Wyszowska, 2016). M₂ ile CO₂₋₁ (r:0.224) arasında zayıf, CO₂₋₁ ile MBC₁(r:0.359) ve MBC₂ (r:0.389) arasında istatistiksel olarak önemli pozitif ilişkiler tespit edilmiştir. Toprakta mikrobiyal biyokütlenin artışıyla organik madde parçalanma reaksiyonları hızlanmakta buna paralel olarak toprak solunumu da artmaktadır. Biyolojik özellikler kendi içinde ve özellikle toprak nem içeriğiyle pozitif ilişkiler sergilerken penetrasyon direncinin MBC ve CO₂ ile doğrudan ilişkisi tespit edilmemiştir. Penetrasyon direncinin stabil bir özellik olmaması ve yürütülen çalışmanın farklı karakterdeki arazi örtüsü ve toprak özellikleri üzerinde sürdürülmesi PR ile doğrudan ilişkinin belirlenememesinin bir sebebi olarak değerlendirilmiştir.

Kuru ve sulı tarım arazilerinden, farklı derinliklerden elde edilen toprak sıcaklığı, nem içeriği, penetrasyon direnci, CO₂ ve MBC içeriklerinin çok yönlü karşılaştırma testi sonuçları Tablo 4'de belirtilmiştir.

Tablo 4. Toprak özellikleri üzerine arazi kullanımı ve toprak derinliğinin etkisi

		T °C	M %	PR MPa	CO ₂ mgCO ₂ /gFKT	MBC mgMBC/gFKT
Kuru	0-15 cm	19.20	8.66	1.50	1.03	59.98
	15-30 cm	17.56	10.06	1.85	1.00	56.39
Sulu	0-15 cm	20.60	10.65	1.67	0.79	53.13
	15-30 cm	18.36	10.13	1.83	0.81	48.42
Ort. D.	0-15 cm	19.90a	9.66	1.58	0.91	56.56a*
	15-30 cm	17.96b	10.09	1.84	0.91	52.40b
Ort. AKD	Kuru	18.38	9.36	1.68	1.08A	58.18a
	Sulu	19.48	10.39	1.75	0.88B	50.78b
Varyasyon kaynakları						
P değerleri						
	D	0.002	0.475	0.211	0.934	0.049
	AKD	0.071	0.044	0.732	0.000	0.041
	D*AKD	0.621	0.116	0.640	0.506	0.877

T: sıcaklık, M: nem içeriği, PR: penetrasyon direnci, MBC: mikrobiyal biyokütle karbonu D: derinlik, AKD: Arazi kullanım durumu *: farklı karakterdeki harfler istatistiksel farklılığı göstermektedir.

Toprak derinliğinin istatistiksel olarak önemli seviyede etkili olduğu parametreler toprak sıcaklığı, MBC olarak tespit edilmiştir. En yüksek değerler yüzey toprağında bulunmuştur. PR değerlerinde yüzeyde daha düşük derinlere inildikçe PR değerlerinde artışlar saptanmış fakat bu artışlar istatistik olarak önemli bulunmamıştır. Farklı arazi kullanımlarına bağlı istatistiksel olarak önemli seviyede değişkenlik gösteren parametreler CO₂ olarak tespit edilmiştir. Kuru tarımdaki CO₂ seviyesi daha yüksek seviyelerde olup sulu tarımda daha düşük tespit edilmiştir. Kuru tarımda genellikle mikrobiyal aktivitenin daha düşük seviyelerde olması beklenirken toprağın organik madde, nem ve sıcaklık seviyesi oldukça etkilidir. Fakat yağışlardan sonra veya organik madde ilavesiyle kuru tarımda da toprak solunumunda geçici artışlar gözlenebilir. Kuru tarımda PR değeri daha düşük sulu tarımda daha yüksek olarak bulunmuştur. Fakat bu farklılık önemli seviyede değişkenliğe yol açmamıştır. Yüzey toprağının organik madde içeriği, nem içeriği ve bitki kök yoğunluğunun yüksek olması MBC'inde yüksek olduğunu göstermektedir. Benzer sonuçlar literatürlerde de tespit edilmiştir (Fterich ve ark., 2014). Lai ve ark., (2012) tarafından yapılan çalışmada farklı arazi kullanımları ve ekosistemlerde toprak solunumunda değişimlerin olduğu sonucuna varılmıştır. Toprakların MBC içerikleri hem toprak derinliğine bağlı hem de arazi kullanım durumuna bağlı istatistiksel olarak önemli farklılıklar sergilemiştir. Toprak derinliğine bağlı sıkışmanın artması havalanmanın ve MBC'nin azalmasına yol açabilmektedir. Sun ve ark., (2021) tarafından yapılan çalışmada toprak derinliğiyle birlikte organik madde ve kil içeriğine bağlı MBC'nin azaldığını MBC'nin genellikle ilk 10 cm'de daha yüksek olduğu ortaya konmuştur.

Sonuç

Bu çalışmada; sulu ve kuru tarım yapılan arazilerden rastgele seçilmiş toprak örneklerinin bazı toprak fiziksel özellikleri ile, topraktaki solunumu ve topraktaki mikrobiyal biyokütle karbon seviyesinin farklı derinlikteki değişimi incelenmiştir. Bulgular birlikte ele alındığında, toprak profilinde fiziksel koşulların derinliğe bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Yüzey katmanında; daha sıcak, daha düşük nem içerikli, daha gevşek yapı. Yüzey altı katmanda ise; daha yüksek nem, daha düşük sıcaklık, ancak daha yüksek sıkışma tespit edilmiştir. Toprak özelliklerinin korelasyon matrislerine göre farklı derinliklerin sıcaklıkları, penetrasyon dirençleri, nemleri ve mikrobiyal karbonları arasında istatistiksel olarak olumlu ilişki saptanmıştır. Toprak fiziksel özelliklerinden toprak nemi ile toprak solunumu ve MBC arasında önemli ilişkiler tespit edilirken toprak sıkışmasının bir parametresi olan penetrasyon direnciyle bir ilişki tespit edilememiştir. Arazi kullanımlarındaki farklılıklara bağlı olarak incelenen özellikler arasında en etkili parametre MBC olarak değerlendirilmiştir. Farklı arazi yönetimi ve koşullarının dinamik yapıda olan biyolojik özellikler üzerinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Toprak profilindeki fiziksel parametre farklılıkları (sıcaklık, nem ve penetrasyon direnci), bitki köklerinin büyüme yönü ve derinliği, suyun toprak içinde hareketi ve mikrobiyal faaliyetin yoğunluğu üzerinde düzenleyici bir etkiye sahiptir. Toprak fiziksel özellikleri ile biyolojik özellikler arasında ilişkilerin olduğu ve bu ilişkilerin daha kapsamlı çalışmalarla diğer fiziksel ve biyolojik parametreler ele alınarak incelenmesi gerekliliği önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK- 2209/A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından verilen destekle yürütülmüştür.

Kaynaklar

- Alaboz P, Işıldar A A, 2021. Pedotransfer functions for estimation of soil moisture constants from penetration resistance measurements and some soil properties. *Journal of Agricultural Sci.* 27(2): 138-145.
- Anderson JPE, Domsch KH, 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10(3): 215-221.
- Aydemir O, Akgül M, Canbolat MY, Işıldar AA, 2005. Toprak bilgisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:10.
- Bai ZG, Dent DL, Olsson L, Schaepman ME, 2008. Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use Manage.* 24(3): 223-234.
- Borowik A, Wyszowska J, 2016. Soil moisture as a factor affecting the microbiological and biochemical activity of soil. *Plant Soil Environ.* 62(6): 250-255.
- Brockett BF, Prescott CE, Grayston SJ, 2012. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada. *Soil Biol Biochem.* 44(1):9-20.
- Demiralay M, 1993. Toprak Fiziksel Analizleri. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Feng W, Zou X, Schaefer D, 2009. Above- and belowground carbon inputs affect seasonal variations of soil microbial biomass in a subtropical monsoon forest of southwest China. *Soil Biol Biochem.* 41,978-983 <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.10.002>.
- Ferreira CS, Seifollahi-Aghmiuni S, Destouni G, Ghajarnia N, Kalantari Z, 2022. Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences. *Science of the Total Environment*, 805, 150106.
- Fterich A, Mahdhi M, Mars M, 2014. The effects of *Acacia tortilis* subsp. *raddiana*, soil texture and soil depth on soil microbial and biochemical characteristics in arid zones of Tunisia. *Land Degrad Dev.* 25(2): 143-152.
- Grunwald S, Lowery B, Rooney DJ, McSweeney K, 2001. Profile Cone Penetrometer Data Used to Distinguish Between Soil Materials. *Soil Tillage Res.* 62: 27-40.
- Hirte J, Leue M, Leinweber P, 2017. Impact of compaction and organic matter addition on pore structure, microbial biomass and enzyme activity of arable soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 180(2): 168-176.
- Isermayer H, 1952. Eine Einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Böden Z. *Pflanzenaehr. Bodenkd.* 5: 56-60.
- Ishak L, McHenry M, Brown P, 2014. Soil compaction and its effects on soil microbial communities in Capsicum growing soil. Paper presented at the XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes, (IHC2014), 1123. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1123.17>
- Jin Z, Qi, Y, Dong Y, 2007. Diurnal and seasonal dynamics of soil respiration in desert shrubland of *Artemisia ordosica* on Ordos Plateau of Inner Mongolia. China. *J For Res* 18:231-235. <https://doi.org/10.1007/s11276-007-0047-3>
- Lai L, Zhao X, Jiang L, Wang Y, Luo L, Zheng Y, Rimmington G M, 2012. Soil respiration in different agricultural and natural ecosystems in an arid region.
- Li SY, Wu JS, Yang LZ, Li DC, Wu XP, 2017. Microbial community structure and enzyme activities in response to temperature and moisture gradients in a paddy soil. *Sci. Rep.* 7(1): 1-11.
- Ma S, Chen J, Ji C, Liu C, Wang S, 2019. Temperature sensitivity of soil respiration is affected by prevailing environmental conditions during the six-year warming and nitrogen addition in a meadow steppe. *Soil Biol Biochem.* 130: 52-60.
- Meena A, Hanief M, Dinakaran J, Rao KS, 2020. Soil moisture controls the spatiotemporal pattern of soil respiration under different land use systems in semiarid ecosystems of Delhi, India. *Ecol Process* 9:15 <https://doi.org/10.1186/s13717-020-0218-0>
- Minitab, 2025. <https://www.minitab.com/en-us/>. Erişim tarihi: 24.11.2025.
- Naylor D, McClure R, Jansson J, 2022. Trends in microbial community composition and function by soil depth. *Microorganisms*, 10(3), 540.
- Rosenzweig C, Elliott J, Deryng D, Ruane AC, Müller C, Arneth A, Jones JW, 2014. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 111(9): 3268-3273.
- Schindlbacher A, Rodler A, Kuffner M, Kitzler B, Sessitsch A, Zechmeister-Boltenstern S, 2011. Experimental warming effects on the microbial community of a temperate mountain forest soil. *Soil Biol Biochem.* 43(7): 1417-1425.

- Singh G, Bhattacharyya R, Das TK, Sharma AR, Ghosh A, Das S, Jha P, 2018. Crop rotation and residue management effects on soil enzyme activities, glomalin and aggregate stability under zero tillage in the Indo-Gangetic Plain's. *Soil Tillage Res.* 184: 291-300.
- Sun T, Wang Y, Lucas-Borja ME, Jing X, Feng W, 2021. Divergent vertical distributions of microbial biomass with soil depth among groups and land uses. *Journal of Environmental Management*, 292: 112755.
- Turgut B, Öztaş T, Aksakal EL, 2010. Bazı Toprak Özelliklerinin Penetrasyon Direnç Değerlerine Doğrudan ve Dolaylı Etkileri. *Süleyman Demirel Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 5(2): 45-53.
- Walker TW, Kaiser C, Strasser F, Herbold C W, Leblans NI, Woebken D, Janssens IA, Sigurdsson BD, Richter, A. 2018. Microbial temperature sensitivity and biomass change explain soil carbon loss with warming. *Nature climate chan.* 8(10): 885-889.
- Wei H, Chen X, Xiao G, Guenet B, Vicca S, Shen W, 2015. Are variations in heterotrophic soil respiration related to changes in substrate availability and microbial biomass carbon in the subtropical forests? *Sci Rep* 5,18370 <https://doi.org/10.1038/srep18370>
- Whalley WR, Watts CW, Gregory AS, Mooney SJ, Clark LJ, Whitmore AP, 2008. The effect of soil strength on yield of wheat. *Plant Soil.* 306(1-2): 237-247.
- Xu Y, Seshadri B, Sarkar B, Rumpel C, Sparks D, Bolan NS, 2018. Microbial control of soil carbon turnover. In: *The Future of Soil Carbon. Its Conservation and Formation*, pp 165–194 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811687-6.00006-7>
- Yang K, Zhu J, Zhang M, Yan Q, Sun OJ, 2010. Soil microbial biomass carbon and nitrogen in forest ecosystems of Northeast China: a comparison between natural secondary forest and larch plantation. *J Plant Ecol* 3:175–182 <https://doi.org/10.1093/jpe/rtq022>
- Zhang N, Xiao Q, Guo Y, Chen F, Sun P, Miao Y, Zhang C 2025. Soil Respiration Characteristics and Karst Carbon Sink Potential in Woodlands and Grasslands. *Forests*, 16(3), 424.



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

<http://dergi.toprak.org.tr>



Coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak Kürtün Irmağı Havzası'nda (Samsun) heyelan duyarlılık analizi

İnci DEMİRAĞ TURAN*, Abdulkadir KAYAALP

Samsun Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Samsun

Öz

Dünya genelinde ve ülkemizde meydana gelen doğal afetler, insan yaşamını derinden etkileyen ve büyük yıkımlara neden olan olaylardır. Depremler, heyelanlar, seller, tsunamiler, çığlar ve yangınlar gibi tehlikeler, can ve mal kaybına yol açmakta ve toplumların sosyo-ekonomik refahını olumsuz etkilemektedir. Özellikle Karadeniz Bölgesi, arazi yapısı ve yüksek yağış miktarı nedeniyle heyelan duyarlılığı açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bu çalışmada, Samsun İli sınırları içindeki Kürtün Irmağı Havzası'nda heyelan duyarlılığının kapsamlı bir coğrafi analizi gerçekleştirilmiştir. Jeoloji, eğim, yağış, arazi kullanımı, baki, toprak ve yükselti gibi yedi temel parametre detaylı bir şekilde incelenmiştir. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi kullanılarak, bu faktörlerin heyelan üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, havzanın % 16'sının çok yüksek, % 36'sının yüksek, % 33'ünün orta ve % 15'inin az veya hiç duyarlılık göstermediğini ortaya koymuştur. Ayrıca, jeoloji, eğim ve yağış parametrelerinin heyelan duyarlılığını en fazla etkileyen unsurlar olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemleri, heyelan duyarlılığı değerlendirmesinde etkin bir şekilde kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kürtün Irmağı Havzası, Samsun, Heyelan Duyarlılık Analizi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS).

Landslide susceptibility analysis in the Kürtün River Basin (Samsun) using geographic information systems

Abstract

Natural disasters occurring worldwide and in our country are events that profoundly affect human lives and lead to significant destruction. Hazards such as earthquakes, landslides, floods, tsunamis, avalanches, and fires cause loss of life and property, negatively impacting the socio-economic well-being of societies. The Black Sea Region, due to its topography and high rainfall, poses a significant threat in terms of landslide susceptibility. This study conducts a comprehensive geographic analysis of landslide susceptibility in the Kürtün River Basin within the borders of Samsun Province. Seven key parameters, including geology, slope, rainfall, land use, aspect, soil, and elevation, have been examined in detail. Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, the effects of these factors on landslides have been identified. The findings reveal that 16% of the basin is classified as very high susceptibility, 36% as high susceptibility, 33% as moderate susceptibility, and 15% shows low or no susceptibility. Additionally, it has been determined that geology, slope, and rainfall are the most influential factors affecting landslide susceptibility. In conclusion, Geographic Information Systems (GIS) and the Analytic Hierarchy Process (AHP) methods have been effectively utilized in the assessment of landslide susceptibility.

Keywords: Kürtün River Basin, Samsun, Landslide Susceptibility Analysis, Geographic Information Systems (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP).

© 2025 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (542) 804 1527
E-posta : dmrginci@gmail.com

Makale Türü: ARAŞTIRMA MAKALESİ

Geliş Tarihi : 13 Haziran 2025 e-ISSN : 2146-8141
Kabul Tarihi : 5 Aralık 2025 DOI : 10.33409/tbbbd.1719504

Giriş

Dünya, dinamik bir yapıya sahip olduğundan, sürekli olarak değişim ve hareket halindedir. Bu değişimlerin bir sonucu olarak, çeşitli doğa olayları meydana gelmektedir. Ancak, bu olaylar insan yaşamını olumsuz etkiliyorsa doğal afet olarak nitelendirilirler. Örneğin, tektonik, antropojenik ve hidro-meteorolojik etkenlere bağlı olarak gerçekleşen heyelanlar, insanları fiziki, sosyal ve ekonomik yönden zarara uğratmaktadır (Avcı, 2017). Epidemiology of disasters (CRED) verilerine göre 2001-2020 yılları arasında Dünya üzerinde yılda ortalama 18 heyelan afeti meydana gelmiş, bu heyelanlar sonucunda yılda ortalama 884 insan yaşamını yitirmiştir. Bundan dolayı Dünya’da heyelanlar, doğadaki en yıkıcı ve yaygın afetlerden biri olarak nitelendirilmektedir (Riegel vd., 2020). Ayrıca bu kayıplar neticesinde Dünya genelinde heyelan faaliyetleri üzerinde yapılan çalışmalar artmıştır (Aghlmand vd., 2020). Heyelan, “Bir yamacı oluşturan doğal kaya, toprak veya yapay dolgu malzemenin ya da bunların kombinasyonundan oluşan malzemelerin aşağı ya da dışa doğru hareket etmesi ve yer değiştirmesi” şeklinde tanımlanmaktadır (Varnes, 1958).

Heyelanlar, tüm Dünya’da olduğu gibi ülkemizde de görülmektedir ve yaşamı olumsuz etkileyerek, önemli derecede beşeri ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Görüm ve Nefeslioğlu, 2015). Özellikle Karadeniz Bölgesi’nde heyelanlar uzun yıllar boyunca, depremlerden daha büyük can ve mal kayıplarına neden olmaktadır (Dağ ve Bulut, 2012). AFAD raporlarına bakıldığında 2019 yılında Türkiye genelinde meydana gelen 245 heyelanın, 146’sı Karadeniz Bölgesi’nde gerçekleşmiştir. Yine AFAD’a göre 1950- 2019 Türkiye’de meydana gelen heyelan/kaya düşmesi olaylarında Samsun’da 331 olay meydana geldiği bilinmektedir.

Heyelan afeti, yapılan çalışmalarla önlenemese de verilen zarar minimum düzeye indirilebilir (Avcı, 2017). Bu bağlamda heyelan duyarlılık analizleri geçmişteki heyelanları değerlendirerek gelecekte gerçekleşebilecek faaliyetleri tahmin etmede yarar sağlamaktadır (Aghlmand vd., 2020). Ayrıca, heyelan tehlikesi olmayan âtıl haldeki bölgelerin tespit edilmesi, bu alanların yerleşim ve tarım alanlarına açılmasını sağlayarak, oluşabilecek ekonomik kayıpların önlenmesine yardımcı olur (Kavzoğlu vd., 2010). Heyelan duyarlılık analizi, potansiyel heyelan tehlikelerinin ve bu tehlikelerle ilgili duyarlılık faktörlerinin değerlendirilmesini içerir (Dai vd., 2002). Heyelan duyarlılık taşıyan alanların belirlenmesi, afet riskinin azaltılması ve afet yönetiminin etkinleştirilmesi için önemli bir adımdır (Corominas vd., 2013). Heyelan duyarlılık taşıyan alanların belirlenmesi, afet öncesi, sırası ve sonrasında yapılacak planlama, hazırlık, müdahale ve iyileştirme çalışmalarına katkısı olacağı düşünülmektedir (Sterlacchini vd., 2007). Bu bağlamda, günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte kullanılan yazılım sistemleri sayesinde, heyelan duyarlılık taşıyan alanların belirlenmesi hem kolay hem de daha az maliyetli olmaktadır. Bununla birlikte, elde edilen verinin çeşitlendirilmesi, detaylandırılması ve hassasiyetinin artırılması daha sistemli ve pratik bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Özşahin, 2015). Ayrıca, veriler bütün olarak ve hızlı bir şekilde daha etkin değerlendirilmektedir (Görüm, 2006). Bu kapsamda heyelan duyarlılık analizi değerlendirmeleri için birçok farklı metot kullanılmıştır (Arca ve Kutoğlu, 2017).

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleriyle birlikte Dünya’da ve Türkiye’de birçok heyelan duyarlılık çalışmasında sıkça tercih edilmektedir (Arca ve Kutoğlu, 2017). Örneğin, Demirağ Turan vd. (2020) yaptıkları çalışmada Karadeniz Bölgesi’nde Fuzzy-AHP yöntemi kullanarak heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Elde ettikleri sonuçta alanının yaklaşık % 33’ünün yüksek veya çok yüksek heyelan duyarlılığı içerdiği buna karşılık araştırma alanının yaklaşık % 37’sinin düşük veya çok düşük duyarlılık sınıflarında yer aldığı tespit etmişlerdir. Ayalew vd. (2005) Japonya’nın Sado adasında AHP ve Lojistik Regresyon yöntemini kullanarak heyelan duyarlılık haritası oluşturmuşlardır. Sonuç olarak AHP haritasının lojistik regresyon haritasına göre gerçekliği göstermede daha tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Türkiye’de de AHP yöntemiyle heyelan duyarlılık analizleri yapan çalışmalar mevcuttur. Örneğin; Çellek vd. (2015) AHP yöntemini kullanarak Sinop ve yakın çevresinin heyelan duyarlılık analizini yapmış ve duyarlılık haritasını üretmişlerdir. AHP’nin hassas sonuçlar ürettiği belirtilmiştir. Karakaş (2018), tarafından yapılan çalışmada Karabük bölgesinde frekans oranı ve AHP yöntemleri kullanılmış, kullanılan yöntemlerin performanslarının birbirine yakın ve kullanışlı olduğu belirtilmiştir. Taş vd. (2024), tarafından yapılan çalışmada Trabzon Of ilçesinde AHP yöntemi kullanılarak heyelan risk duyarlılığı yapılmış ve kullanılan yöntemin başarılı olduğu vurgulanmıştır. Berber ve Ceryan (2023), Güzelyalı-Lapseki (Çanakkale) bölgesinde AHP yöntemini kullanarak heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Çalışmada özellikle eğim, zemin türü ve hidrolojik özellikler ağırlıklandırılmıştır. Sonuçlar, AHP’nin bu bölgede etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Demirel ve Hastaoğlu (2022), Sivas Koyulhisar bölgesinde AHP yöntemiyle heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Çalışmada eğim, yönelim ve yağış verileri ağırlıklandırılmıştır. Sonuçlar, AHP’nin duyarlılık analizi için güvenilir olduğunu ve çalışmalarda kullanıldığı anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak AHP'nin çalışma alanı için yüksek performans gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca literatür incelendiğinde, akarsu havzaları üzerinde heyelan duyarlılık analizi yapılmaktadır. Dahal vd. (2008); Japonya'nın Şikoku kentinde küçük havzalarda heyelan duyarlılığı ve yağış kaynaklı heyelanlar üzerine yaptığı çalışmada GIS tabanlı kanıt ağırlık modeli kullanmış ve havza üzerinde başarılı olduğu vurgulanmıştır. Ersayın (2022); İyidere Havzası'nda birkaç farklı yöntem kullanarak yaptığı çalışmada, heyelan duyarlılığı barındıran alanları tespit ederek, beşerî faaliyetlerin heyelan duyarlılığının düşük olduğu alanlarda gerçekleştirilmesine vurgu yapmıştır. Aghlmand vd. (2020) ise Güney Azerbaycan'da bulunan Ardabil şehrinde heyelan duyarlılık haritalaması yapmak için AHP ve CBS kullanmışlardır. Çalışmada, arazi kullanımı, yağış miktarı, faylara uzaklık, litoloji, akarsu ağlarına uzaklık, yükselti, eğim, bakı, yola uzaklık gibi 9 parametre belirlenmiştir. Veri analizi için ArcGIS/ArcMap yazılımı kullanılmış ve AHP yöntemiyle heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuş ve yöntem ve tekniğin başarılı olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmalar, heyelan duyarlılık analizinin afet yönetim planlamalarında ve arazi kullanım planlamasında kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, il/ilçe bazlı çalışmaların önemine dikkat çekmektedir.

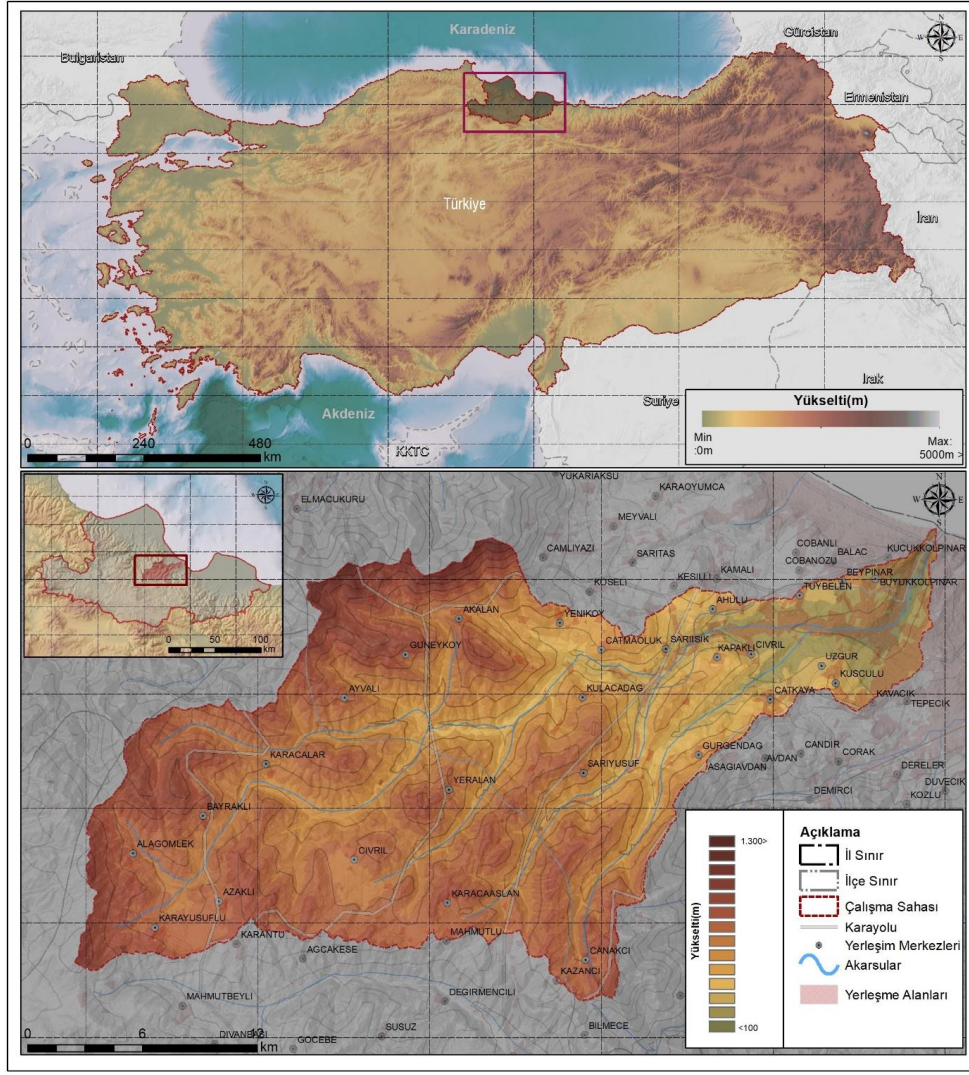
Bu çalışmada, Orta Karadeniz Bölümü, Samsun ilinin İlkadım, Kavak ve Atakum ilçelerinde bulunan Kürtün Irmağı Havzası'ndaki heyelan duyarlılık alanlarını belirlemek ve bu alanlar üzerinde etkili parametreleri AHP yöntemiyle değerlendirmek, ayrıca CBS teknikleri ile sayısallaştırmak hedeflenmiştir. Çalışmanın özgünlüğü, yerel düzeyde heyelan duyarlılık analizi yaparak spesifik havza özeline odaklanmasında yatmaktadır. AHP yöntemi, nitel ve nicel verilerin bütünlük bir analizine olanak tanırken, CBS teknikleri mekânsal verilerin ayrıntılı işlenmesini sağlar. Bu araştırma, heyelan duyarlılığını belirleyip, geçmiş verilerle karşılaştırmalı analiz yaparak havza üzerinde heyelan duyarlılığının tahmin edilmesini hedeflemektedir.

Materyal ve Yöntem

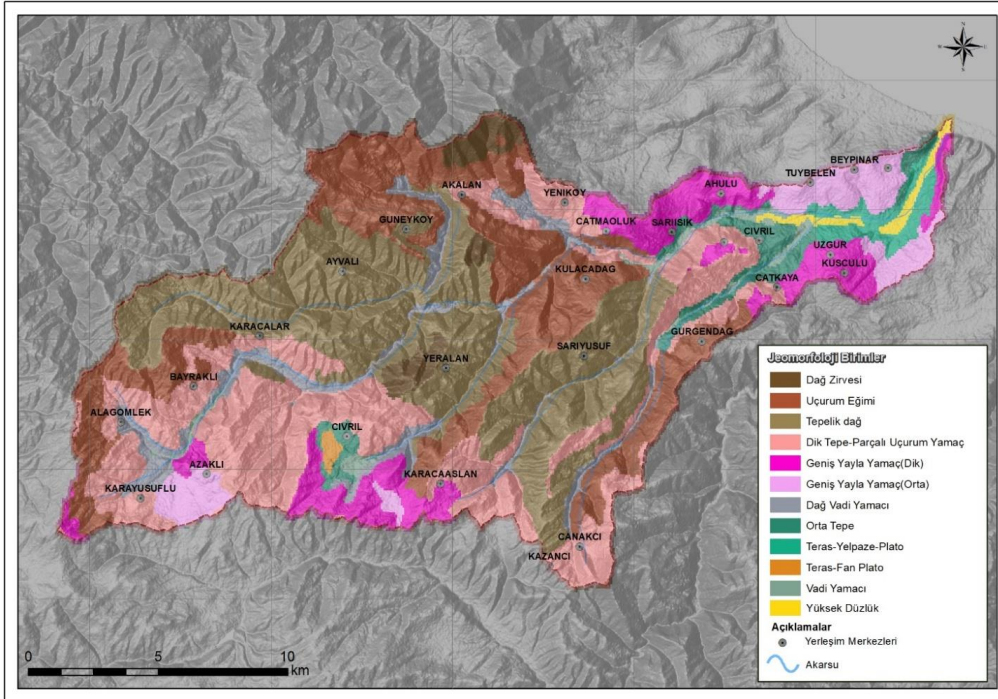
Çalışmanın Yeri, Sınırı ve Genel Özellikleri

Kürtün Irmağı Havzası; Türkiye'nin kuzeyinde, Orta Karadeniz Bölümünün, Samsun ilinde yer almaktadır (Şekil 1). Kürtün Irmağı, Kavak ilçesinden doğarak Atakum ilçesinden Karadeniz'e dökülmektedir. Doğusunda İlkadım İlçesi, batısında Atakum İlçesi, güneyinde Kavak ilçesi ve kuzeyinde Karadeniz yer almaktadır (Şekil 1). Havza, 0-1339 metre arasında yükseltiye sahiptir. Havzanın toplam alanı 330 km² ve ırmağın uzunluğu ise 56,750 m'dir. Çalışma sahası, karasal hareketler, erozyon, akarsu ve deniz dinamikleri, volkanik aktivite ve iklim değişiklikleri gibi çeşitli jeolojik ve jeomorfolojik ve iklimik süreçler tarafından şekillendirilmiştir (Şahin, 2009). Bu süreçlerin yanı sıra, bölgenin ana şekillendirici unsuru Kürtün Irmağı'dır. Kürtün Irmağı, iç bölgelerden aşındırma ve taşıma faaliyetleri gerçekleştirerek, eğimin azaldığı alanlarda biriktirme süreçleri geliştirmiştir. Aşındırma yaptığı bölgelerde dik yamaçlar gibi üniteler oluşurken, biriktirme yaptığı alanlarda alüvyal tabanlı düzlükler oluşmuştur. Akıncı vd. (2010) tarafından yapılan çalışmalarda, Kürtün Irmağı'nın alüvyon kalınlığının 18-20 m arasında değiştiği tespit edilmiştir. Çalışma sahasının topografik yüksekliği deniz seviyesinden başlamakta olup, Şenyurt Mahallesi'nin batısında en yüksek noktası 1339 m'ye ulaşmaktadır. Sahanın ortalama yükseltisi ise 611 m'dir. Ayrıca, bölgedeki yükselti kuzeydoğudan güneybatıya doğru artış göstermektedir. Yerleşim alanları, daha çok 0-300 m arasında, eğimin az olduğu kesimlerde kurulmuştur (Şekil 1). Bölge, tepelik, dik tepe, parçalı uçurum, teras, yelpaze, plato ve geniş yayla yamaçları gibi çeşitli jeomorfolojik üniteler içermektedir (Şekil 2). Bu çeşitlilik, alanın jeomorfolojik dinamiklerini ve yerleşim düzenini etkilemektedir. Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kuşağında "Nemli-ılıman iklim" tipi hüküm sürmektedir (Şahin, 2009). Bölgede yağışın büyük bir bölümü sonbaharda ve kış aylarında düşmektedir (Gür, 2019). Ayrıca Samsun'un Orta Karadeniz Bölümü'nde yer alması, topografik özellikleri nedeniyle yağış rejiminin Doğu ve Batı Karadeniz Bölümleri'nden farklılaştırmaktadır. Orta Karadeniz Bölümü'nde dağların kıyıda hemen yükselmemesi, nemli havanın iç kesimlere kadar sokulabilmesine ve sonuç olarak da kıyı kesimlerinde daha düşük yağış miktarlarına yol açmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü uzun yıllık (1929-2021) verilerine göre Samsun'da yıllık ortalama yağış 717,9 mm'dir.

Çalışma alanında, Geç Kretase-Alt Paleosen yaşlı birimler baskın olarak görülmektedir. Bunlar Yemişliçay Formasyonu, Cankurtaran Formasyonu ve Akveren Formasyonu'ndan oluşur. Bu formasyonlar; kumtaşı, marn, şeyl araldanması ve tüfit şeklinde sahanın GB bölgesinde hakimdir (Şekil 3). Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Atbaşı Formasyonu, kırmızı, bordo ve bej renkli türbiditik kumtaşı ve kireçtaşı ara katmanlı marn-şeyl araldanmasından oluşur (Keskin, 2011). Birim Şenyurt Mahallesi'nin kuzeyinde yüzeylenmektedir (Şekil 3). Orta Eosen yaşlı Kusuri Formasyonu ve Tekkeköy Formasyonu, ince-orta tabakalı, boz-sarı renkli kumtaşı, kireçli kumtaşı, bej-krem renkli kireçtaşı ara tabakalı, boz açık gri renkli marn araldanmasından oluşur (Keskin, 2011).

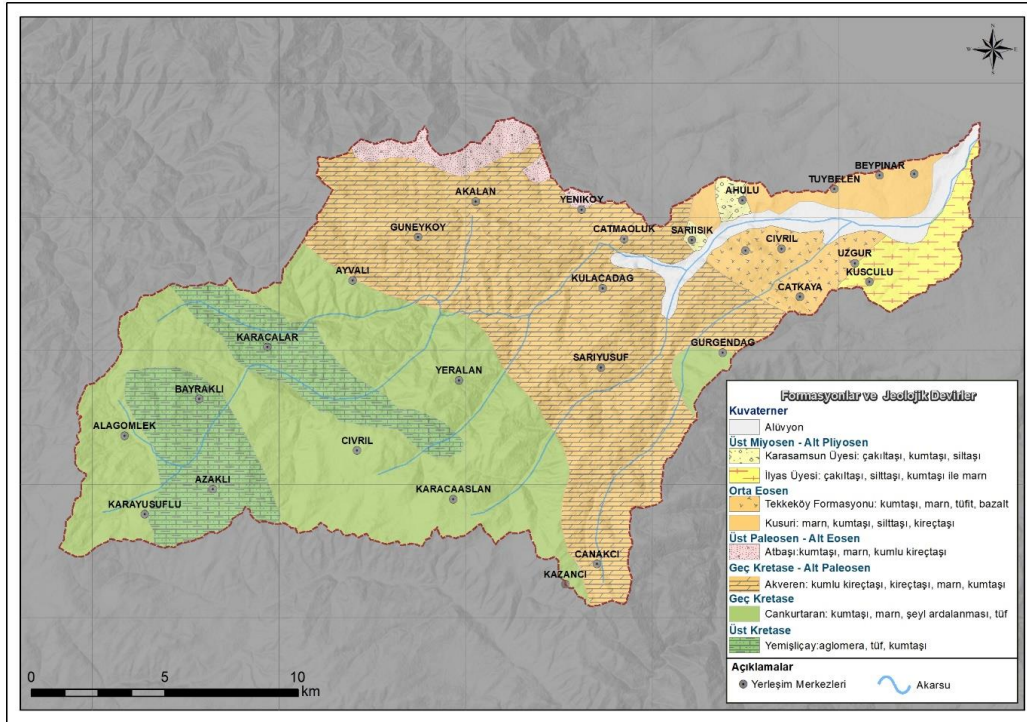


Şekil 1. Kürtün Irmağı Havzası lokasyon haritası.

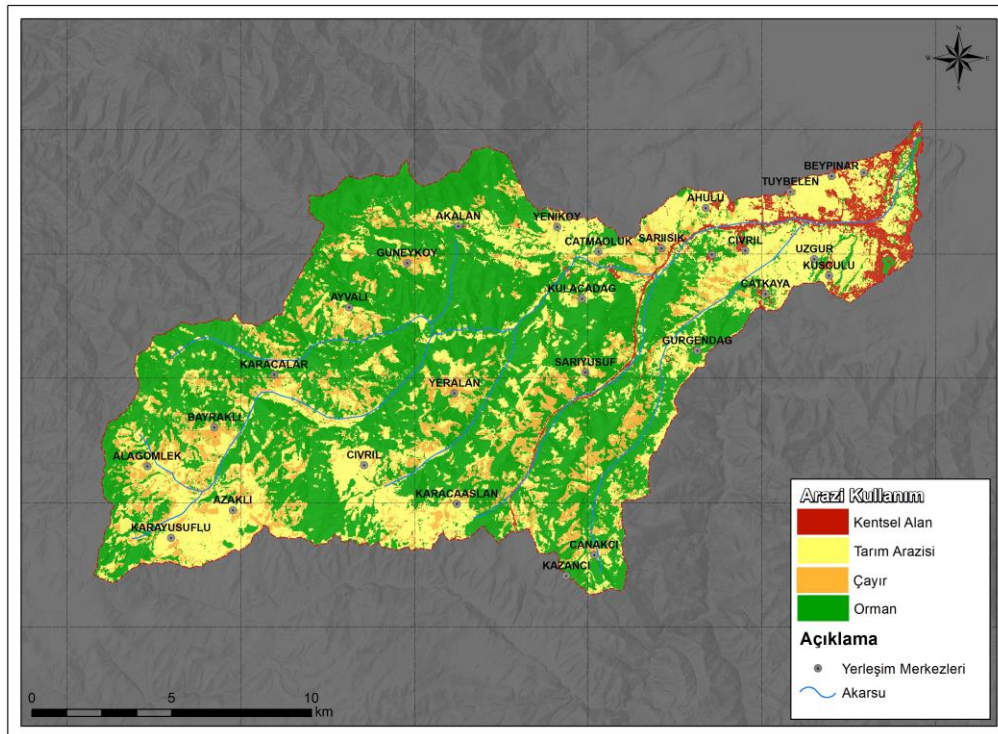


Şekil 2. Kürtün Irmağı Havzası jeomorfoloji haritası (Iwahashi & Yamazaki, 2022).

Birimler, sahanın K-KD bölgesinde, Akarsu yatağının her iki tarafında yüzeylenmektedir. Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı İlyas Üyesi, taban çakıltası, marn ile kumtaşı, silttaşı, marn, kil ve gips içeren bir geçiş düzeyinden oluşur. Karasamsun Üyesi ise kumtaşı, silttaşı ve marn merccekleri içeren, orta-sıkı tutturulmuş, yer yer iyi çimentolanmış çakıltaşlarından oluşur (Keskin, 2011). İlyas Üyesi sahanın güneyinde gözlemlenirken, Karasamsun Üyesi Kuzeyde gözlemlenmektedir. Akarsu vadilerinde Kuvaterner yaşlı alüvyon çökelleri (kum, çakıl, silt ve mil) akarsuyun biriktirme yaptığı alan boyunca gözlenmektedir (Şekil 3). Çalışma alanının arazi kullanım haritasında ise sahanın çok büyük bir kısmı orman arazisi ile kaplıdır (Şekil 4). Kıyı da yerleşim alanlarının yoğunlukta olduğu tarım dışı olarak sınıflandırılmış alanlar dikkat çekmektedir. Ayrıca yine kıyıya yakın alanlarda tarım alanları yayılış göstermektedir.



Şekil 3. Kürtün Irmağı Havzası jeoloji haritası.



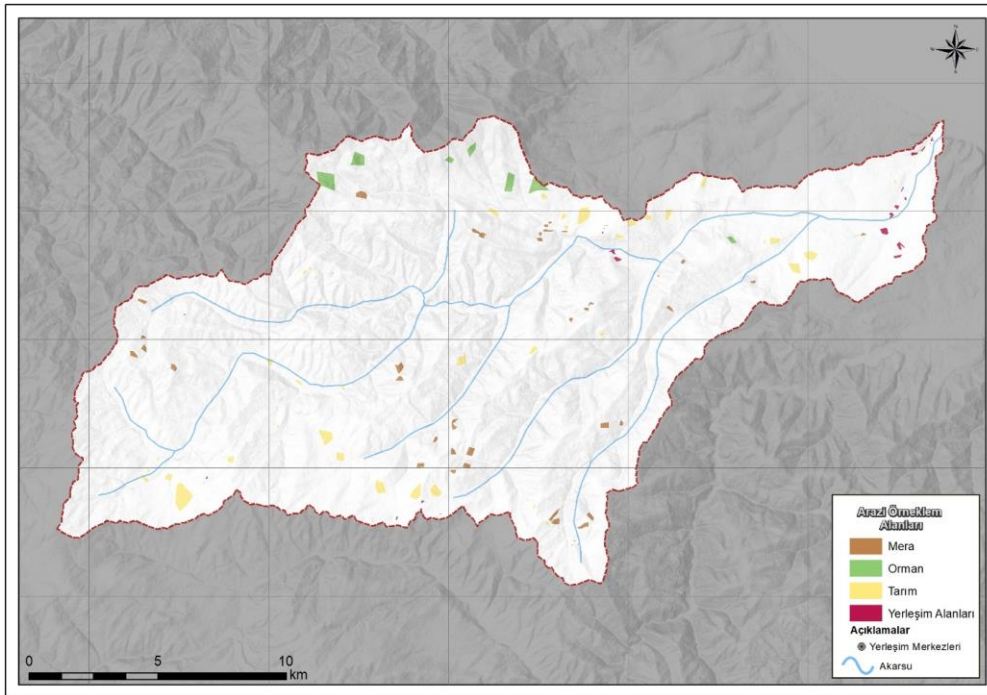
Şekil 4. Çalışma alanının arazi kullanım haritası.

Yöntemler

Heyelan duyarlılığı analizinde çeşitli materyal ve yöntemlerin kullanılması, bu alandaki araştırmaların etkinliğini artırmaktadır. Son yıllarda, CBS ile AHP yönteminin kombinasyonu ile verimli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, heyelan duyarlılığı analizi için gerekli parametrelerin üretilmesinde ArcMap 10.7 paket programı yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım aracılığıyla, eğim, bakı ve yükselti haritaları gibi topografik faktörler, 12,5 m çözünürlüklü ALOS PALSAR uydu görüntülerinden elde edilen veriler ile hazırlanmıştır. Alan ile ilgili jeoloji haritası, MTA'nın Yerbilimleri Sitesi'nden temin edilerek ArcGIS 10.7 yazılımı ile sayısallaştırılmıştır. Jeolojik özelliklerin formasyon bilgileri, 1:100.000 ölçekli jeoloji haritalarından, özellikle Samsun E36 ve F36 paftalarından elde edilmiştir. Çalışma alanına ait iklim verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün "İllere Ait Genel İstatistik Verileri" bölümünden sağlanmış ve yağış haritası oluşturmak için Schreiber Formülü kullanılarak ArcGIS 10.7 ile işlenmiştir. Bu formüle göre, Atakum istasyonundan başlayarak her 100 m'de bir istasyon oluşturularak yağış değeri 54 mm artırılmıştır. Belirlenen istasyon noktaları, "radial basic functions" aracı ile dağılım haritası şeklinde görüntülenmiştir. Toprak türleri verisi, Tarım ve Orman Bakanlığı'na ait "Tarım Arazi Değerlendirme (TAD)" portalından temin edilmiş ve ArcMap 10.7 programında görselleştirilmiştir. Ayrıca, alanın arazi kullanım haritası, 2022 tarihli Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L1 uydu görüntülerinin 31 ve 32. bant verileri kullanılarak, etkileşimli denetimli sınıflandırma yöntemi ile her alt parametre için 60 örneklem (toplamda 240) noktası belirlenerek sayısallaştırılmıştır (Çizelge 1) ve (Şekil 5).

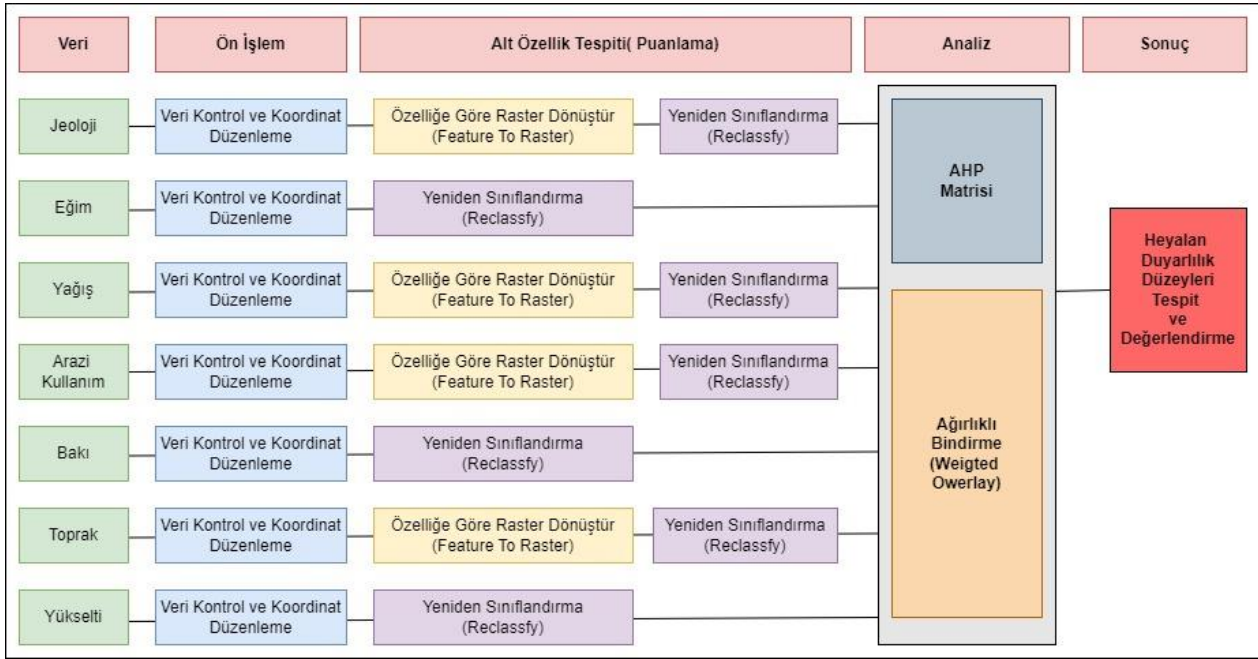
Çizelge 1. Çalışmada Kullanılan Veriler.

Veri	Veri Türü	Veri Kaynağı	Kullanım Amacı
12,5 M Çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (DEM)	Raster	ALOS PALSAR	Eğim, Bakı ve Yükselti Haritalarının Üretimi
Arazi Kullanım		15.07.2022 tarihli Landsat 8-9 OLI/TRIS C2 C1 31-32. Bantlar	Arazi Kullanım Haritası Üretimi
1:100.000 Ölçekli SAMSUN E36 ve F36 Paftaları		Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri.	Jeoloji Haritası Üretimi
Samsun ve Kavak Yağış İstasyonları Verileri	Vektör	T.C. Çevre, Şehircilik ve Küresel İklim Değişikliği Bakanlığı (https://mgm.gov.tr/)	Yağış Haritası Üretimi
Toprak Verisi		Tarım ve Orman Bakanlığı (TAD portalı)	Toprak Haritası Üretimi



Şekil 5. Arazi kullanımı örnekleme alanları haritası.

Heyelan duyarlılık analizi için belirlenen parametreler sırasıyla jeoloji, eğim, yağış, arazi kullanım, bakı, toprak ve yükselti olarak belirlenmiştir. İlk aşamada, her bir parametre için veri koordinat düzenlemesi yapılmış ve veriler raster formatına dönüştürülmüştür. Rasterleştirme işlemi, analizin mekânsal boyutunu belirleyerek, her bir pikselin ilgili parametre ile ilişkili değerlerini temsil etmesini sağlamıştır. Daha sonra, bu raster verileri yeniden sınıflandırma (reclassify) işlemine tabi tutulmuştur. Yeniden sınıflandırma, her bir parametrenin heyelan duyarlılığındaki etkisini belirlemek amacıyla uygun sınıflara ayrılmasını içermektedir (Tsangaratos & Ilia, 2016). Bu işlem sonucunda, her bir parametre için belirlenen sınıflar, daha sonraki analizlerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Parametrelerin ağırlıklandırılması için AHP matrisi oluşturulmuştur. AHP, çok kriterli karar verme süreçlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir ve farklı kriterlerin göreceli önem derecelerini belirlemek için kullanılır (Ramik, 2020). Bu aşamada, her bir parametreye, heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisine göre ağırlıklar atanmıştır. Son olarak, ağırlıklı bindirme (weighted overlay) işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem, her bir parametre için belirlenen ağırlıkların, yeniden sınıflandırılmış raster verileri ile çarpılması ve sonuçların birleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen toplam duyarlılık haritası, heyelan duyarlılık seviyelerini belirlemek amacıyla analiz edilmiştir. Böylece, heyelan duyarlılık düzeyleri tespit edilmiş ve değerlendirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Çalışmanın iş akış diyagramı.

Heyelan duyarlılık analizlerinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan; Bulanık Mantık (Kanungo vd., 2009), (Pradhan, 2010), AHP (Komac, 2006); (Moradi vd., 2012); (Kayastha vd., 2013), Lojistik Regresyon (Lee vd., 2007); (Pradhan & Lee, 2010), Frekans Oranı Yöntemi (Akıncı vd., 2010), Karar Ağaç Yöntemi (Tekin ve Çan, 2017), Sığ Sinir Ağları Modeli (Abujayyab & Karas, 2020) gibi yöntemler yöntemleri kullanarak geçmişte heyelan duyarlılık analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu araştırmacılar; Moradi vd. (2012) İran'ın Dena şehrinde heyelan duyarlılık haritalaması yapmak için AHP yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada, heyelan envanter haritası, yağış, litoloji-jeoloji, sismik potansiyel, eğim, arazi örtüsü, akarsuya uzaklık ve yola uzaklık gibi 8 parametre seçilmiştir. Veri analizi için ArcGIS kullanılmış ve AHP yöntemi kullanılarak faktörler daha şeffaf bir şekilde tanımlanmıştır. Sonuç olarak, AHP haritasının yüksek ve çok yüksek duyarlılık bölgelerinde yer alan aktif heyelan bölgelerinin % 82'sini gösterdiği tespit edilmiştir. Saaty tarafından 1970'lerde geliştirilen AHP yöntemi, çok kriterli karar verme süreçlerinde pratik, kolay kullanılabilir ve anlaşılabilir bir yöntem olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Bozdoğan & Canpolat, 2022; Dağdeviren & Eren, 2001; Özşahin, 2015).

Heyelanlar üzerinde yapay ve doğal olarak birçok etken etkilidir. Bu yüzden heyelan duyarlılık analizi haritaları oluşturulurken birden fazla kriter bir arada değerlendirilmektedir. Çalışma alanında heyelanı hazırlayıcı faktörler, literatür taramasını da göz önünde bulundurularak heyelanı etkileyebilecek 7 parametre belirlenmiştir. Çalışma sahasında belirlenen parametreler ArcGIS 10.7 paket yazılımı kullanılarak haritalanmıştır. Çalışma alanında heyelan oluşumunu hazırlayıcı faktörler çeşitlilik göstermektedir. Bunlar; topografya ve yüzey faktörleri (jeoloji, eğim, yükselti, bakı) bunun haricinde

bölgesel yağış, toprak yapısı, arazi kullanımı faktörleri de çalışma alanında heyelanı hazırlayıcı başlıca faktörlerdendir. Belirlenen bu parametrelerin birbiriyle olan ilişkisi ve hangisinin heyelanı daha fazla etkilediğini belirlemek için AHP yöntemi kullanılmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Heyelan Duyarlılığında Kullanılan Parametrelere ve Alt Parametrelere Ait Etki Değerleri.

Parametreler	Sınıf	Ağırlıklı puanlama	Parametreler	Sınıf	Ağırlıklı puanlama
Arazi Kullanımı	Orman	1	Jeoloji	Alüvyal	1
	Yerleşme	2		Çakıltı-kumtaşı-silttaşı-Marn-Tüfit	4
	Tarım	3		Kumtaşı-Marn-Kumlu kireçtaşı	2
	Mera	4		Kumlu kireçtaşı-Marn-Kireçtaşı-Kumtaşı Şeyl ardalanması-Aglomera-tüf	3
Yükselti (m)	0-300	4	Toprak	Kahverengi orman toprakları	2
	301-600	3		Gri kahverengi podzolik topraklar	3
	601-750	2		Alüvyal	1
	>750	1		0-25	1
Yağış (mm)	716-823	4	Eğim (%)	25,1-30, 40,1-45, >45,1	2
	823,1-9231	3		30,1-40	4
	931,1-985	2			
	985,1-1039	1			
Bakı	Kuzey, kuzeydoğu, kuzeybatı	4			
	Güney, güneydoğu, güneybatı, Düz	1			
	Doğu, batı	2			

Heyelan duyarlılığı için incelenen alt parametrelerin ağırlık değerleri, heyelan olma olasılığına göre 1 ile 4 arasında değişmektedir. Yüksek heyelan olasılığı olan faktörler 4, düşük heyelan olasılığı olan faktörler ise 1 değerini almaktadır. Diğer değerler ise faktörün heyelan duyarlılığına olan etkisine bağlı olarak belirlenmektedir. Bu parametrelerin heyelana olan etkisini belirlemek için ikili karşılaştırma matrisleri Saaty yöntemine göre hesaplanmaktadır.

Hesaplamanın tutarlılık kontrolü, “Tutarlılık İndeksi (Tİ)” ve “Rastgele (Tesadüfi) İndeks (Rİ)” kullanılarak hesaplanır.

$$TO=Tİ/Rİ$$

“Tutarlılık indeksi (Tİ)” şu formüle göre hesaplanır:

Rastgele indeks (RI), AHS tekniği ile hesaplanan tutarlılık oranını kontrol etmek için kullanılan bir değerdir. Bu değer, matris boyutlarına göre değişen sabit bir dizi içerisinde bulunur ve Rastgele (Tesadüfi) İndeks (RI) olarak adlandırılır. Bu değerler, Çizelge 3’te belirtilen boyutlara göre verilmiştir. Tutarlılık oranı, 0,10’dan küçük ise matrisin tutarlı yani değerlendirmelerinin tutarlı olduğu kabul edilir (Öner & Ülengin, 1995).

Çizelge 3. Rastgele İndeks Değerleri (Saaty,1980).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Rİ	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Bulgular ve Tartışma

Parametrelere göre heyelan duyarlılık özellikleri

Litoloji, heyelan oluşumunu etkileyen önemli bir faktördür (Kumtepe vd., 2009; Avcı, 2016; Özşahin, 2014; Akıncı vd., 2014). Farklı litolojik birimlerin heyelanlar gibi aktif jeomorfolojik süreçlere farklı duyarlılıkları olduğundan, litoloji bu süreçlerin oluşumunu etkileyen önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir

(Akıncı ve Kılıçoğlu, 2015). Akıncı vd. (2010) tarafından Samsun Merkezi'nde gerçekleştirilen çalışmada, heyelanların % 66'sının Samsun Formasyonu-İlyas Üyesi'nin hâkim olduğu alanlarda meydana geldiği belirlenmiştir. Bu bulgular, yapılan analizleri desteklemektedir. Çalışma alanının batı-kuzeybatı yönünde yer alan Karasamsun Formasyonu ve İlyas Üyesi birimleri, heyelan duyarlılığının çok yüksek (4. derece) olduğu bölgelerde bulunmaktadır. Ayrıca, Orta Eosen yaşlı Tekkeköy Formasyonu (kumtaşı, marn, tüfit ve bazalt) ile Kusuri Formasyonu (kumtaşı, silttaşı ve kireçtaşı) da çok yüksek (4. derece) heyelan duyarlılığına sahiptir. Literatür ve saha araştırmaları, bu birimlerde bulunan aglomera-konglomera (çakıltası) malzemelerinin zamanla çözünmesinin heyelan duyarlılığını artırdığını göstermiştir. AFAD tarafından yapılan saha ve analiz çalışmaları, Tekkeköy Formasyonu'nun % 22 oranında en fazla heyelanla ilişkili birim olduğunu ve bunu % 13,5 oranında Kusuri Formasyonu'nun takip ettiğini tespit etmiştir (Coşkunlu vd., 2015). Akıncı ve diğer araştırmacılar, 2015 yılında yaptıkları çalışmada heyelanların %42,02'sinin Tekkeköy Formasyonu'nda, % 35,84'ünün ise Kusuri Formasyonu'nda meydana geldiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, tespitleri doğrular niteliktedir. AFAD'ın tespitlerine göre, Yemişliçay Formasyonu heyelan gerçekleşmesi bakımından % 8 oran vermektedir. Ancak, yapılan analiz ve duyarlılık haritasıyla karşılaştırıldığında, Yemişliçay Formasyonu'nun heyelan duyarlılığı açısından düşük olduğu görülmektedir.

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında, eğim önemli bir faktör olarak dikkate alınmaktadır. Eğim ile yerçekimi kuvveti arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır (Bozdoğan & Canpolat, 2022). Dolayısıyla, yüksek eğime sahip alanlarda heyelan olasılığı artmaktadır (Durgun, 2019; Nur & İsa, 2023; Şahin, 2019). Sahada %0-25 arası eğim değerlerine sahip alanların çok yüksek (4. derece), 31-45 derece eğim değerine sahip alanların yüksek (3. derece) heyelan duyarlılığına sahip olduğu, % 46 ve daha fazla eğime sahip alanların ise orta-düşük (2. derece) veya hiç heyelan duyarlılığı göstermediği tespit edilmiştir.

Yıllık ortalama yağış miktarı, heyelan duyarlılık analizlerinde önemli bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Çünkü yağışlar veya kar erimeleri sonucunda yeraltına sızan sular, yamaçlardaki toprak kütlelerinin ağırlığını artırarak yamaç dengesini bozar ve heyelanlara yol açar. Suyu doymuş yamaçlarda, kohezyon kuvveti zayıflar veya tamamen ortadan kalkar ve bu durum kütle hareketine neden olur (Hoşgören, 2020). Uzun yıllık yağış verileri kullanılarak hazırlanan yağış haritası, çalışma sahasının aşağı çığırında yağışın az olduğu (769-770 mm) alanda çok yüksek (4. derece) heyelan duyarlılığı tespit edilmiştir. Buna karşılık, yağışın fazla olduğu (986-1039 mm) yukarı çığırda düşük (1. derece) heyelan duyarlılığı gözlemlenmiştir. Literatürde genel olarak yağışın fazla olduğu alanlarda heyelan duyarlılığının yüksek olması beklenirken, bu çalışma sahasında yağışın düşük olduğu alanlarda yüksek duyarlılık tespit edilmiştir. Bu durum, topografik ve jeolojik yapıyla ilişkilidir. Yukarı kısmında ormanlık alanların bulunması, yağışın toprağa doğrudan ulaşmasını engellemektedir. Ayrıca, yukarı kısmında bulunan jeolojik birimlerin heyelan duyarlılığı düşüktür. Sonuç olarak, çalışma sahasında heyelan yalnızca yağışla değil, diğer faktörlerle de ilişkilidir.

Arazi kullanımı, belirli bir arazi parçasının antropojenik aktivitelerini ve ekonomik işlevini ifade eder. Yamaçlar, heyelan olasılığının yüksek olduğu alanlardır ve bu nedenle arazi kullanımı, heyelan oluşumunda temel bir faktör olarak kabul edilmektedir (Dahal vd., 2008). Reichenbach vd. (2014) çalışmalarında, orman örtüsünün azalmasının heyelan duyarlılığını artırdığını ve kullanılmayan veya terk edilmiş tarım arazilerinin de heyelan duyarlılığını yükselttiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, bitki örtüsünün azalmasının toprak stabilitesini olumsuz etkilediğini ve heyelan duyarlılığını artırdığını vurgulamışlardır. Bu görüşler, yapılan analiz ve tespitleri desteklemektedir. Landsat 8 verisi kullanılarak oluşturulan arazi kullanım haritası, 240 örnek noktasına dayandığında, mera alanlarında yüksek (3. derece) ve tarım alanlarında çok yüksek (4. derece) heyelan duyarlılığı olduğu görülmektedir. Tarım alanlarında, tarım makineleriyle eğim doğrultusunda yapılan işlemler ve sulama nedeniyle toprağın doygunluk seviyesinin artması heyelan üzerinde etkili olmaktadır. Mera alanlarında ise orman tahribi sonucunda, toprak doğrudan yağmur suyuna maruz kalmıştır. Bu nedenle, doygunluğu artan toprağın heyelana maruz kalma riski de artmıştır. Ormanlık alanlarda ise bu durum tam tersidir; duyarlılık düşüktür (1. derece). Çünkü ormanlık alanlar, yağışın doğrudan toprağa erişimini engeller. Bu nedenle, duyarlılığın düşük olduğu görülmektedir. Bakı, eğimli bir topografyada arazi yüzeyinin hangi yöne baktığını ifade eder. Heyelan duyarlılık analizlerinde, eğim gibi bakı da önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir (Demir, 2018; Ersayın, 2022). Çalışma sahası için Alos Palsar SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) verisi kullanılarak oluşturulan bakı haritası incelendiğinde, kuzey sektörlü yamaçların çok yüksek (4. derece) heyelan duyarlılığına sahip olduğu görülmektedir. Karadeniz Bölgesi'ndeki yağışlar genellikle kuzey yönlü olduğundan (Koçman, 1993; Deniz, 2003; Türkes, 2010), toprak oluşumu ve bitki türleri de kuzey yönlü olarak gelişmektedir. Bu nedenle, kuzeydeki killi topraklar üzerindeki bitki örtüsünün tahribatı, yağışın etkisiyle heyelanı hazırlayıcı bir etki yapmaktadır. Öte yandan,

güney sektörlü yönlerde duyarlılık düşüktür (1. derece). Çünkü güneydeki yağış miktarı kuzeye göre daha azdır. Doğu ve batı sektörlü yönler ise orta (2. derece) duyarlı olarak belirlenmiştir.

Toprak, heyelan duyarlılık analizlerinde eğim ve yağış gibi faktörlerle birlikte değerlendirilen önemli bir parametredir. Toprağın yapısı, heyelanların oluşumunda kritik bir rol oynamaktadır (Koşar, 2019). Kahverengi Orman Toprağı'nın bazı alanlarda duyarlılığın çok yüksek (4. derece) olduğu tespit edilmiştir. Kahverengi Orman Toprağı, çalışma sahasında hâkim toprak türü olmasına rağmen, sahanın her yerinde duyarlılık yüksek değildir. Bu nedenle, diğer parametrelerin etkisi de değerlendirilmelidir. Alanda akarsular tarafından taşıma ve biriktirme sonucu oluşan alüvyal topraklarda heyelan duyarlılığının düşük (1. derece) olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık, gri kahverengi podzolik topraklarda heyelan duyarlılığının yüksek (3. derece) olduğu belirlenmiştir. Bu toprak türü, nemli, çok gevşek ve az yapışkan bir yapıya sahiptir (Durak, 1990). Ayrıca, Kürtün Irmağı'nın ağız kısmındaki eğimli arazilerde bulunan marn birimi, zamansal çözünme sonucunda sarı killi toprakların oluşmasına neden olmuştur (Öner, 1996). Bu killerin heyelanı hazırlayıcı bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir.

Yükselti parametresi, heyelana doğrudan etki etmek yerine dolaylı olarak etkiler. Bu nedenle, yükseltiye bağlı olarak değişen faktörler heyelan riski oluşturabilir. Örneğin, yükselti değiştiğinde iklim faktörlerinde değişiklikler gözlemlenir (Türkeş, 2010). İklim değişiklikleri, bitki örtüsünü etkiler (Dönmez, 1985). İklim ve bitki örtüsündeki değişim, pedojenez oluşumunu da etkiler (Atalay, 2016). Yükseltiye bağlı olarak gelişen bu faktörler, heyelana hazırlayıcı bir etki yapmaktadır (Ersayın, 2022). Çalışma sahasında, düşük (1. derece) duyarlılığa sahip alanların yükseltisi 750 m'den daha yüksektir. Bu alanlar, zengin orman varlığına sahip ve insan etkilerinin az olduğu bölgelerdir. Ayrıca, yeraltı suyu yani toprağın doygunluk oranı bu alanlarda düşüktür. Buna karşılık, yükselti 0-300 m aralığında olan alanlarda heyelan duyarlılığı çok yüksek (4. derece) olarak tespit edilmiştir. Bu bölgelerde, doğal bitki örtüsü tahrip edilmiş ve arazi tarımsal ve şehirselle faaliyetler için kullanılmıştır. Bu tür antropojenik aktiviteler, özellikle yoğun nüfuslu bölgelerde, doğal yapıyı etkileyerek heyelanların aktifleşmesine neden olmaktadır (Reichenbach vd., 2014).

Heyelan Duyarlılığı Değerlendirmesi

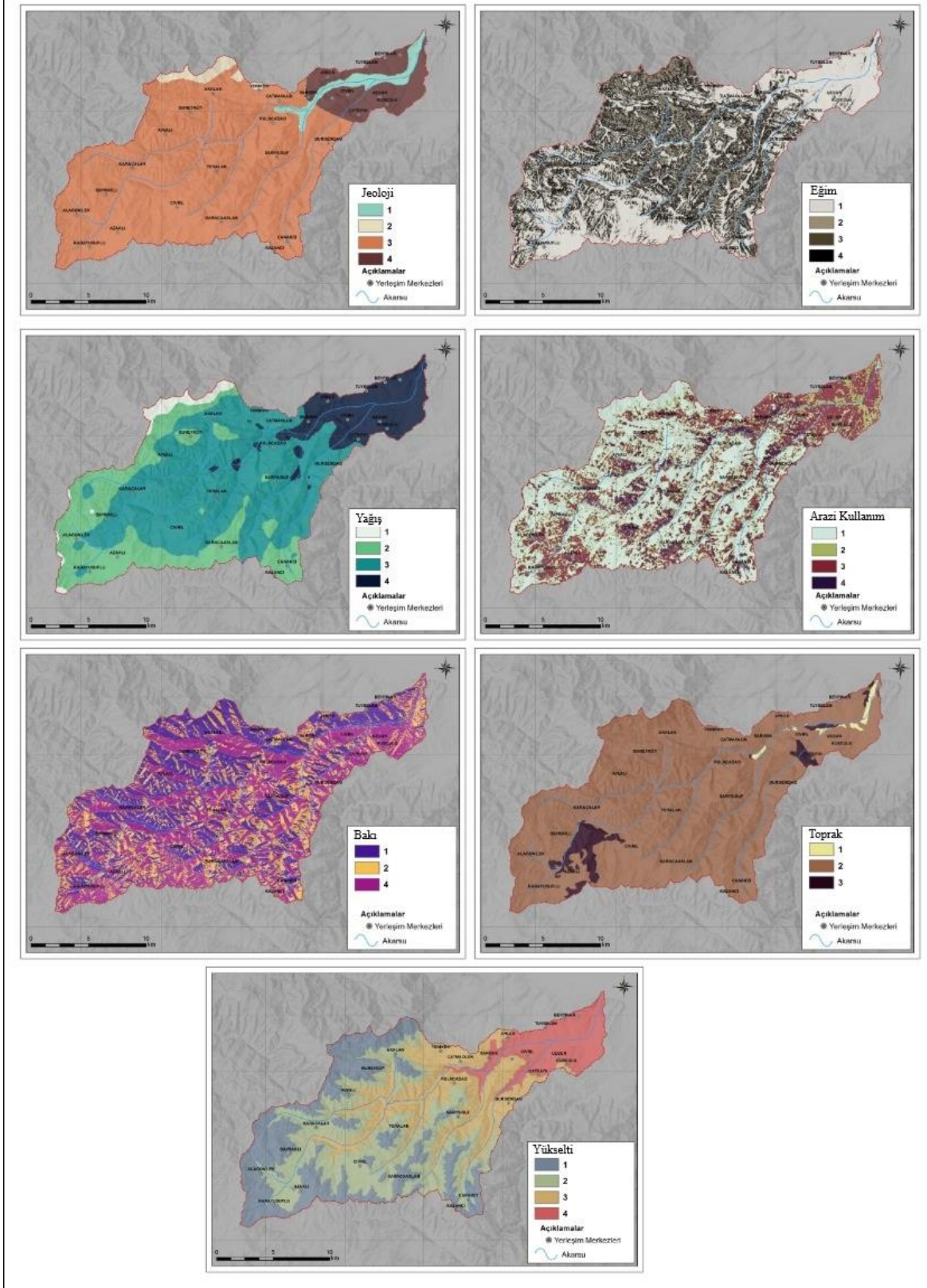
Heyelan duyarlılığını ortaya koymak için, parametrelerin heyelan üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla, 7 temel parametre (jeoloji, eğim, yağış, arazi kullanımı, bakı, toprak türleri ve yükselti) belirlenmiştir. İlk olarak, AHP yöntemiyle her parametrenin heyelan üzerindeki önem derecesi tespit edilmiştir (Çizelge 4). Ardından, İkili karşılaştırma matrisiyle yapılan değerlendirme sonucunda elde edilen ağırlıklar Çizelge 5'te gösterilmektedir. Buna göre heyelan üzerindeki en etkili parametreler sırasıyla jeoloji (0,247), eğim (0,210), yağış (0,173), arazi kullanımı (0,136), bakı (0,102), toprak türleri (0,069) ve yükselti (0,056) olarak belirlenmiştir. Daha sonra, ikili karşılaştırmaların tutarlılık oranı 0,07 olarak bulunmuş ve bu oran kabul edilebilir sınırlar içerisinde değerlendirilmiştir (Öner & Ülengin, 1995). Ayrıca, ArcGIS 10.7 programı kullanılarak bu parametreler yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 7).

Çizelge 4. Heyelan için belirlenmiş parametrelerin ikili karşılaştırmalar matrisi.

	Yağış	Eğim	Arazi Kullanımı	Bakı	Jeoloji	Yükselti	Toprak
Yağış	1	1/3	2	3	1/2	3	3
Eğim	3	1	2	2	1/2	3	3
Arazi Kullanımı	1/2	1/2	1	2	1/2	3	3
Bakı	1/3	1/2	1/2	1	1/2	2	3
Jeoloji	2	2	2	2	1	3	3
Yükselti	1/3	1/2	1/3	1/2	1/3	1	1/3
Toprak	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	3	1

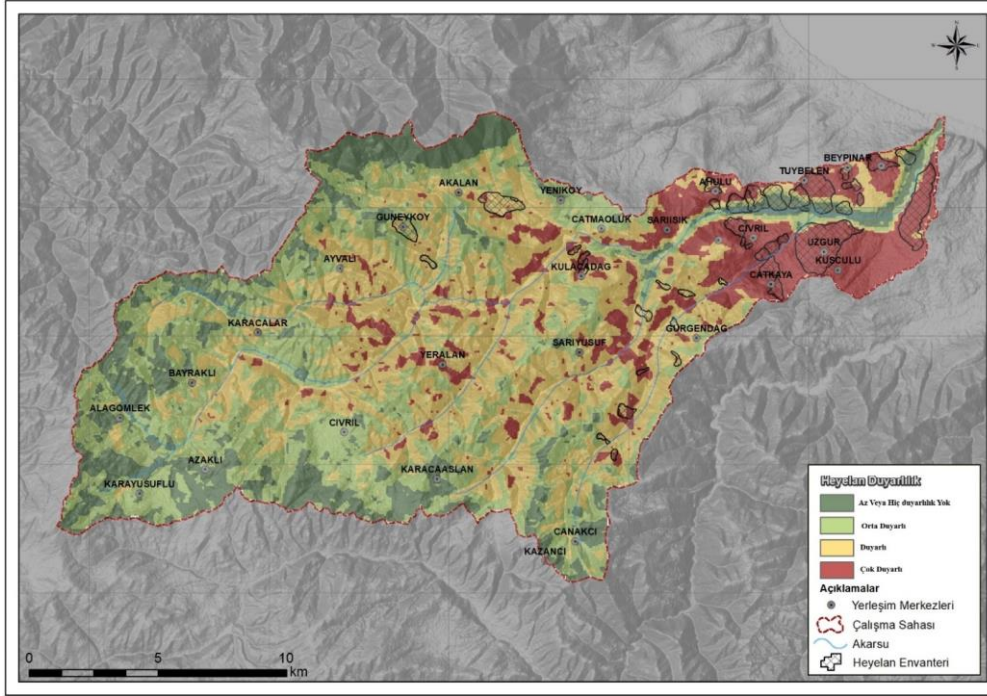
Çizelge 5. Heyelan Duyarlılığında Kullanılan Parametrelerin Ağırlık Değerleri.

Öncelik Vektör	Normalize Edilmiş Satırlar Toplamı	Normalize Edilmiş Satırlar Ortalaması	Öncelik Vektörü
Yağış	1,211	1,211/7	0,173
Eğim	1,470	1,470/7	0,210
Arazi Kullanımı	0,952	0,952/7	0,136
Bakı	0,714	0,714/7	0,102
Jeoloji	1,729	1,729/7	0,247
Yükselti	0,392	0,392/7	0,056
Toprak türleri	0,483	0,483/7	0,069



Şekil 7. Yeniden sınıflandırılmış parametre haritaları.

Elde edilen analiz sonuçları, ArcGIS 10.7 Paket Programı'nın Map/Algebra özelliği kullanılarak haritalanmıştır. Ayrıca, AFAD'a ait heyelan envanteri verileri, sayısallaştırma sürecinde haritaya eklenmiştir (Şekil 8). Bu envanter, heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunu doğrulayan nitelikte bir veri setidir. Duyarlılık haritasına göre, çalışma sahasının 330 km²'lik alanının heyelan duyarlılık dağılımı şu şekildedir: % 16'sı (52.8 km²) çok duyarlı, % 36'sı (118.8 km²) duyarlı, % 33'ü (108.9 km²) orta düzeyde duyarlılık taşımakta ve % 15'i (49.5 km²) az veya hiç duyarlılık göstermemektedir (Şekil 8 ve Çizelge 6).



Şekil 8. Kürtün Irmağı Havzası heyelan duyarlılık haritası.

Çizelge 6. Heyelan Duyarlılık Dağılım Tablosu.

Heyelan Duyarlılık Dağılımı	Alan (km ²)	Oran (%)
Çok Duyarlı	52,8	16
Duyarlı	118,8	36
Orta Duyarlı	108,9	33
Az veya Hiç Duyarlılık yok	49,5	15
Toplam	330,0	100

AFAD'tan alınan verilere göre, çalışma sahasındaki yerleşim alanlarında toplamda 637,655 m² heyelan bölgesi tespit edilmiştir; bu durum, elde edilen sonuçları desteklemektedir. Kuşçulu Mahallesi ve Toybelen Mahallesi'nde heyelan nedeniyle 22 konutun tahliyesi istenmiştir. Bununla birlikte, 2010-2022 yılları arasında 160 ev, ahır, depo ve samanlığın afet riski taşımayan başka bir alana nakli gerçekleştirilmiş ve bölgede 3 kişinin heyelandan dolayı hayatını kaybetmesi, sahadaki heyelan riskinin ciddiyetini göstermektedir. Akarsular tarafından biriktirilen ve depolanan malzemelerin gevşek yapısı, yağışlarla toprağın doygun hale gelmesi, eğim ve yerçekimi etkisiyle birlikte tarımsal faaliyetlerin neden olduğu toprak yapısındaki değişimler, heyelan olasılığını önemli ölçüde artırmaktadır. Dolayısıyla, bu bölgede yürütülen yoğun tarımsal uygulamalar (Şekil 9), toprak stabilitesinin azalmasına ve heyelan duyarlılığının artmasına katkı sağlamaktadır. Bu durum, Uzgur Mahallesi'nin kuzeyinde gözlemlenmiştir (Şekil 10). Aynı mahallede, heyelan kaynaklı hareketle birlikte yolun ikiye ayrıldığı görülmektedir (Şekil 11).



Şekil 9. Toybelen mahallesinin doğuya bakan yamacı, tarımsal faaliyetlerinde etkisiyle krip şeklinde heyelan görülmektedir.



Şekil 10. Uzgur Mahallesi'nin Kuzeyi, Krip Şeklinde Gerçekleşen Heyelan Faaliyeti.



Şekil 11. Kütle Hareketi Sonucunda Zarar Gören Uzgur Mahallesi Yolu.

Saygın vd. (2023) yaptıkları çalışmada Samsun ilinin Atakum ilçesi sınırları içinde bulunan bölgede bir heyelan duyarlılık haritası hazırlamışlardır. Bu amaçla, heyelan koşullarını ve heyelanı tetikleyen parametreler açısından topografik, jeolojik, arazi kullanımı ve toprak göstergeleri dikkate alınmış ve bunlar FuzzyAnalitik Hiyerarşi Süreci (Fuzzy-AHP) ile ağırlıklandırılmıştır. Ayrıca, CHAID (Chi-Square Automatic Interaction Detection) adlı karar ağacı algoritması kullanılarak duyarlılık haritalarının öngörülebilirliği araştırılmıştır. Fuzzy-AHP ile oluşturulan haritada “orta” (%68,6) ve ‘yüksek’ (%1,6) duyarlılık sınıflarında belirtilen toplam alanın %70,2'sinin, karar ağacı ile yapılan tahmin sonucunda “orta” duyarlılık sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Saygın ve Dengiz (2025) çalışmalarında coğrafi bilgi sistemleri kullanarak modelisel bir yaklaşımla heyelan duyarlılık analizi yapmışlardır. Bu modelde dört farklı ana gösterge (topografya, arazi kullanımı-arazi örtüsü, jeoloji ve toprak) belirlenmiş modele göre, araştırma alanının %10,0'nın

yüksek risk sınıfında, %30,3'ünün ise düşük ve çok düşük risk sınıflarında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, araştırma alanındaki modeli doğrulamak için on beş noktadan oluşan bir kontrol ağında ölçümler yapılmış ve hareketlilik gözlemlenmiştir. Bu amaçla, altı farklı dönemde yapılan ölçümlerden elde edilen koordinatlar karşılaştırılmış ve sonuçlar, koordinat farkı değerlerinin model verileriyle uyumlu olduğunu ortaya konmuştur.

Sonuç

Türkiye'de heyelan afeti, özellikle Karadeniz Bölgesi'nde sıkça görülmektedir. Bu durum, bölgenin eğimli ve yağışlı yapısının bir sonucu olarak heyelanların yoğun olarak gerçekleşmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada, Orta Karadeniz Bölümü'nde, Samsun ilinde yer alan Kürtün Irmağı Havzası üzerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanarak heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Havza üzerindeki beşeri faaliyetlerin yoğunluğu göz önünde bulundurulmuş ve literatür taraması sonucunda daha önce bu havza üzerinde yapılmış bir heyelan duyarlılık çalışmasının bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, AHP ve CBS yöntem ve tekniklerini kullanarak kapsamlı bir heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda, havzanın % 16'sının çok duyarlı, % 36'sının duyarlı, % 33'ünün orta duyarlılıkta olduğu ve % 15'inin az veya hiç duyarlılık göstermediği belirlenmiştir. Özellikle jeoloji, havzanın heyelan üzerindeki en etkili parametre olarak öne çıkmıştır. Tekkeköy Formasyonu, İlyas Üyesi, Karasamsun Üyesi ve Kusuri Formasyonu birimlerinin bulunduğu alanlarda heyelan duyarlılığı yüksek çıkmıştır. Bu durum, bu formasyonların hâkim olduğu bölgelerdeki beşeri faaliyetlerin titizlikle yürütülmesi, yapılaşmanın kısıtlanması ve mevcut yapıların güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, sahadaki tarımsal ve kentsel faaliyetlerin heyelan duyarlılığını artırdığı belirlenmiştir. Özellikle Toybelen, Uzgur, Kuşçulu ve Dereli yerleşmelerindeki artan tarım faaliyetleri ve uygulanan yöntemler, heyelan duyarlılığının yükselmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, arazi kullanımı düzenlemeleri ile tarımsal ve kentsel faaliyetlerin kısıtlanması, uygulanan tarımsal yöntemlerin heyelan duyarlılığı açısından yeniden gözden geçirilmesi önerilmektedir. Geçmiş yıllarda meydana gelen heyelan olayları da dikkate alındığında, 2010-2022 yılları arasında Toybelen Mahallesi'nde heyelan nedeniyle 3 kişinin yaşamını yitirdiği bilinmektedir. Bu bağlamda, özellikle aktif ve yoğun şekilde beşeri faaliyetlerin sürdürüldüğü Toybelen, Kuşçulu, Dereli ve Uzgur mahallelerinin yapı kontrollerinin, arazi kullanımlarının dikkatlice gözden geçirilmesi ve gerekli önlemlerin acilen alınması önerilmektedir. Bu çalışmada kullanılan AHP ve CBS yöntem ve teknikleri, heyelan duyarlılık analizinde yaygın olarak kullanılan ve güvenilirliği test edilmiş yöntemlerdir. Önceki çalışmalar ve bu çalışma, bu yöntemlerin etkinliğini göstermektedir.

Sonuç olarak, Kürtün Irmağı Havzası'ndaki heyelan duyarlılığının azaltılması için çok disiplinli bir yaklaşım gerekmektedir. Yerel yönetimlerin, bilim insanlarının ve toplulukların işbirliği içinde çalışarak, duyarlı bölgelerde yapılaşmayı sınırlaması, tarımsal uygulamaları sürdürülebilir hale getirmesi ve acil durum planlarını geliştirmesi kritik öneme sahiptir. Bu tür önlemler, hem mevcut risklerin yönetilmesine hem de gelecekteki heyelan olaylarının önlenmesine katkıda bulunacaktır.

Teşekkür

1919B012108078 numaralı "Coğrafi Bilgi Sistemleriyle Kürtün Irmağı Havzasında Heyelan Risk Analizi" adlı çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. TÜBİTAK Kurumuna teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Abujayyab SKM, Karas IR. 2020. Sığ Sinir Ağları Modeli Yardımıyla Türkiye'de Refahiye İlçesinin Heyelan Duyarlılığının Haritalanması. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, Volume: 1, Issue: 2, Page: 61-77.
- AFAD 2019. Afet yönetimi kapsamında 2019 yılına bakış ve doğa kaynaklı olay istatistikleri. AFAD Raporu.
- AFAD 2020. AFAD afet yönetimi kapsamında 2019 yılına bakış ve doğa kaynaklı olay istatistikleri. Ankara: AFAD.
- Aghlmand M, Onur Mİ, Talaei R. 2020. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde Analitik Hiyerarşi yönteminin ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 224-230.
- Akıncı H, Kılıçoğlu C. 2015. Atakum (Samsun) ilçesinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi. *Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu (MÜHJE0'2015)*(3-5 Eylül 2015), Trabzon.
- Akıncı H, Dogan S, Kılıçoğlu C, Keçeci SB. 2010. Samsun il merkezinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(3), 13-27.
- Akıncı H, Özalp Yavuz A, Özalp M, Kılıçoğlu C, Everan E, Temuçin Kılıçer S. 2014. Artvin il merkezinin heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi.

- Arca D, Kutoğlu Ş. 2017. Frekans metodolojisi oranı ile heyelan algılama ölçeğinin çözümü. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16, 3-6.
- Atalay İ. 2016. Toprak oluşumu sınıflandırması ve coğrafyası. Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri.
- Avcı V. 2016. Gökdere Havzası Ve Çevresinin (Bingöl Güneybatısı) Frekans Oranı Metoduna Göre Heyelan Duyarlılık Analizi. Marmara Coğrafya Dergisi, (34), 160-177.
- Avcı V. 2017. Coğrafi Bilgi Sistemleri (Cbs) İle Adaklı İlçesinin (Bingöl) Heyelan Duyarlılık Analizi. International Journal of Eurasia Social Sciences/Uluslararası Avrasya Sosyal Bilimler Dergisi, 8(26).
- Ayalew L, Yamagishi H, Marui H, Kanno T. 2005. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping. Engineering Geology, 81(4), 470-487.
- Berber S, Ceryan Ş. 2023. Güzelyalı-Lapseki (Çanakkale) Arasındaki Bölgenin Heyelan Duyarlılığının Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemiyle (AHP) Değerlendirilmesi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25(1), 1-15.
- Bozdoğan M, Canpolat E. 2022. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) İle Delibekirli (Kırıkhan/Hatay) Havzası'nın Kütle Hareketleri Duyarlılık Analizi. Ege Coğrafya Dergisi, 31(1), 33-53.
- Corominas J, Van Westen C, Frattini P, Cascini L, Malet JP, Fotopoulou S, Catani F, Van Den Eeckhaut M, Mavrouli O, Agliardi F, Pitilakis K, Winter MG, Pastor M, Ferlisi S, Tofani V, Hervás J, Smith JT. 2013. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Bulletin of Engineering Geology and the Environment.
- Coşkunlu vd. 2015. Samsun ili heyelan duyarlılık analizi raporu. T.C. Samsun Valiliği, İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü.
- Çellek S, Bulut F, Ersoy H. 2015, AHP Yöntemi'nin Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanımı ve Uygulaması (Sinop ve Yakın Çevresi), Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 39(2), 59-90.
- Dağ S, Bulut F. 2012. Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına bir örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 36(1), 35-62.
- Dağdeviren MET. 2001. "Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması", Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi 16 (2), 41-52.
- Dahal RK, Hasegawa S, Nonomura A, vd. 2008. Heyelan duyarlılığı haritalaması için küçük havzalarda yağış kaynaklı heyelanların GIS tabanlı kanıt ağırlıkları modellemesi. Environ Geol 54 , 311–324.
- Dai FC, Lee CF, Ngai YY. 2002. Landslide risk assessment and management: An overview. Engineering geology, 64(1), 65-87.
- Dalkes M, Korkmaz MS. 2023. Analitik Hiyerarşi Süreci ve Frekans Oranı Yöntemlerinin Heyelan Duyarlılık Analizinde Karşılaştırılması: Trabzon İli Akçaabat ve Düzköy İlçeleri Örneği. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 9(1), 16-38.
- Demir G. 2018. Coğrafi bilgi sistemleri ile Suşehri (Sivas) heyelan duyarlılık analizi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(1), 96-112.
- Demirağ Turan İ, Özkan B, Türkeş M, Dengiz O. 2020. Landslide susceptibility mapping for the Black Sea Region with spatial fuzzy multi-criteria decision analysis under semi-humid and humid terrestrial ecosystems. Theoretical and Applied Climatology, 140:1233–1246.
- Demirel ŞC, Hastaoğlu KÖ. 2022. CBS Tabanlı AHP Yöntemi Kullanılarak Oluşturulan Sivas Koyulhisar Heyelan Duyarlılık Haritalarının Güvenilirliğinin Araştırılması. Afet ve Risk Dergisi, 5(2), 715-730.
- Deniz A. 2003. Türkiye'nin yağış rejimi ve bölgesel yağış değişimleri. Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Dönmez Y. 1985. Bitki coğrafyası. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları No.3213.
- Durak A. 1990. Tokat yöresindeki aluviyal ve koluviyal toprakların sınıflandırılması ve kil mineralojisi. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG), 1990(1).
- Durgun M. 2019. Denizli ili için heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması (Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı).
- EM-DAT - Uluslararası Afet Veritabanı. 2020. EM-DAT. (Erişim tarihi: 28.06.2024).
- Ersayın K. 2022. Heyelan duyarlılığı analizi'ne bir örnek: İyidere havzası (Rize) (Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı).
- Görüm T. 2006. Coğrafi bilgi sistemi ve istatistiksel yöntemler kullanılarak heyelan duyarlılık analizi: Melen Boğazı ve yakın çevresi (Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı).
- Görüm T, Nefeslioğlu H. 2015. Çok zamanlı heyelan aktivitesinin belirlenmesinde jeomorfolojik bir yaklaşım. Türk Coğrafya Dergisi, 65, 47-58.
- Gür G. 2019. Orta Karadeniz bölümünde şeker pancarı tarımının coğrafi özellikleri (Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı).
- Hoşgören YM. 2020. Hidroğrafyanın ana çizgileri 1 (11. baskı). Çantay Kitabevi.
- Iwahashi, J., Yamazaki, D. Global polygons for terrain classification divided into uniform slopes and basins. Prog Earth Planet Sci 9, 33 (2022).

- Karakaş VE. 2018. Karabük bölgesinin FR ve AHP yöntemleri kullanılarak CBS tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kavzoğlu T, Şahin EK, Çölkesen İ. (t.y.). Cbs Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi: Trabzon İli Örneği.
- Kayastha P, Dhital MR, De Smedt F. 2013. Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal. *Computers & Geosciences*, 52, 398-408.
- Keskin İ. 2011. Türkiye jeoloji haritaları, Samsun E36 ve F36 paftaları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Koçman A. 1993. Türkiye iklimi. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları No: 72, İzmir.
- Komac M. 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method ve multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology* 74, 17-28.
- Koşar M. 2019. CBS ve uzaktan algılama kullanılarak çok kriterli karar analizi yöntemi ile Malatya ilinin heyelana duyarlı alanlarının belirlenmesi (Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı).
- Kumtepe P, Nurlu Y, Cengiz T, Sütçü E. 2009. Bolu Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 2(06).
- Lee S, Ryu JH, Kim IS. 2007. Landslide susceptibility analysis and its verification using likelihood ratio, logistic regression, and artificial neural network models: case study of Youngin, Korea. *Landslides* 4, 327-338.
- Moradi M, Bazyar MH, Mohammadi Z. 2012. GIS-based landslide susceptibility mapping by AHP method, a case study, Dena City, Iran. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2(7), 6715-6723.
- Nur Bir B, İsa V. 2023. Sakarya ili heyelan duyarlılık haritalandırması ve risk değerlendirmesi (Master's thesis).
- Öner A, Ülengin F. 1995. Silah seçiminde AHP yaklaşımı. Kara Harp Okulu, I. Sistem Mühendisliği ve Savunma Uygulamaları Sempozyumu, Bildiriler-II, 1109, 1122.
- Öner E. 1996. Samsun ve çevresinin jeomorfolojisi. *Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 4(4), 191-224.
- Özşahin E. 2014. Tekirdağ ilinde coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi süreci kullanarak heyelan duyarlılık analizi. *HUMANITAS-Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(03), 167-186.
- Özşahin E. 2015. Coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla heyelan duyarlılık analizi: Ganos Dağı örneği (Tekirdağ). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1), 47-63.
- Pradhan B. 2010. Landslide susceptibility mapping of a catchment area using frequency ratio, fuzzy logic and multivariate logistic regression approaches. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 38(2), 301-320.
- Pradhan B, Lee S. 2010. Landslide susceptibility assessment ve factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks ve their comparison with frequency ratio ve bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling & Software* 25, 747-759.
- Ramik J. 2020. Applications in Decision-Making: Analytic Hierarchy Process—AHP Revisited.
- Reichenbach P, Busca C, Mondini AC, Rossi M. 2014. The Influence of Land Use Change on Landslide Susceptibility Zonation: The Briga Catchment Test Site (Messina, Italy). *Environmental Management*, 54(6), 1372-1384.
- Riegel RP, Alves DD, Schmidt BC, De Oliveira GG, Haetinger C, Osório DMM, Rodrigues MAS, De Quevedo DM. 2020. Assessment of susceptibility to landslides through geographic information systems and the logistic regression model. *Natural Hazards*, 103(1), 497-511.
- Saaty TL. 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill. New York.
- Sterlacchini S, Frigerio S, Giacomelli P, Brambilla M. 2007. Landslide risk analysis: A multi-disciplinary methodological approach. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7(6), 657-675.
- Saygın F, Dengiz O. 2025. Landside sensitivity model creation based on SMCA-GIS with verification of point coordinate variation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(3), 1829-1848.
- Saygın F, Şişman Y, Dengiz O, Şişman A. 2023. Spatial assessment of landslide susceptibility mapping generated by fuzzy-AHP and decision tree approaches. *Advances in Space Research*, 71(12), 5218-5235.
- Şahin K. 2009. Kürtün Çayı havzası. Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Şahin Y. 2019. Coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla heyelan risk analizi: Fındıklı (Rize) örneği (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Taş MA, Şenol C, Yanık ME. 2024. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Metodu İle Of İlçesi'nde (Trabzon) Heyelan Risk Duyarlılığı Analizi. *Afet Ve Risk Dergisi*, 7(1), 279-302. <https://doi.org/10.35341/afet.1361149>
- Tekin S, Çan T. 2017. Gökçay Havzasının Karar Ağaç Yöntemi ile H eyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. MÜHJEO'2017: Ulusal Mühendislik Jeolojisi - Jeoteknik Sempozyumu, 12- 14 Ekim 2017, ÇÜ, Adana.
- Tsangaratos P, Ilia I. 2016. Landslide susceptibility mapping using a modified decision tree classifier in the Xanthi Perfection, Greece. *Landslides*.
- Türkeş M. 2010. Klimatoloji ve meteoroloji. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Varnes DJ. 1958. Landslide types and processes. *Landslides and engineering practice*, 24, 20-47.



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

<http://dergi.toprak.org.tr>



Toprak fosfor formları ve ilgili enzimler arasındaki ilişkilerinin belirlenmesi ve mekansal değişimleri: Zonguldak fındık alanları örnek bir çalışma

Ayşe ERTAŞ PEKER^{1*}, Orhan DENGİZ², Aylin ERKOÇAK³,

¹Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Samsun

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Samsun

³Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Tekirdağ

Öz

Fosfor (P), bitki büyümesi için gerekli olan, toprak çözeltisinde çok düşük konsantrasyonda bulunan ve optimum bitki büyümesi için nadiren yeterli olan temel bir elementtir. Bu çalışmanın amacı, fındık yetiştiriciliği yapılan alanlarda toprak P formları konsantrasyonu ve fosfataz aktivitelerinin değişkenliği hakkında temel bilgileri elde etmek, fosfor formları ve ilgili enzimler ile bazı fiziko-kimyasal özellikler arasındaki ilişkiyi incelemektir. Çalışmada toprak örnekleri fındık ekim alanlarından 0-30 cm derinlikten alınmıştır. Alınan toprak örneklerinde yarıyışlı fosfor (eP), kalsiyuma bağlı fosfor (Ca_P), demire bağlı fosfor (Fe_P), alüminyuma bağlı fosfor (Al_P), çözünebilir ve zayıf bağlı fosfor (P_{çözünür}), indirgende çözünen fosfor (P_{indirgen}) fraksiyonları, alkali fosfataz (ALPA) ve asit fosfataz enzimi (ACPA) analizleri ile toprakların bazı fizikokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Veriler, klasik istatistiksel ve jeostatistiksel yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada genel olarak inorganik fosfor fraksiyonlarının değişim sırası Ca_P > Al_P > P_{indirgen} > Fe_P > P_{çözünür} şeklinde belirlenmiştir. Çalışmada, toprakların yarıyışlı P miktarı ile bazı toprak özellikleri ve fosfor fraksiyonları arasında istatistiksel olarak önemli ilişkiler tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toprak fosfor formları, toprak fosfataz aktivitesi, jeostatistik.

Determination of the relationships between soil phosphorus forms and related enzymes and their spatial variations: A case study in Zonguldak hazelnut fields

Abstract

Phosphorus (P) is an essential element required for plant growth, present in very low concentrations in soil solution and rarely sufficient for optimum plant growth. The aim of this study was to obtain basic information about the variability of soil P forms concentration and phosphatase activities in hazelnut growing areas and to investigate the relationship between phosphorus forms and related enzymes and some physicochemical properties. In the study, soil samples were taken from hazelnut planting areas from 0-30 cm depth. Available phosphorus (eP), calcium-bound phosphorus (Ca_P), iron-bound phosphorus (Fe_P), aluminum-bound phosphorus (Al_P), soluble and weakly bound phosphorus (P_{soluble}), reductant-soluble phosphorus (P_{reductant}) fractions, alkaline phosphatase (ALPA) and acid phosphatase enzyme (ACPA) analyses were performed in the soil samples. The data were evaluated using classical statistical and geostatistical methods. In the study, the general order of change of inorganic phosphorus fractions was determined as Ca_P > Al_P > P_{reductant} > Fe_P > P_{soluble}. In the study, statistically significant relationships were determined between the amount of available P in soils and some soil properties and phosphorus fractions.

Keywords: Soil phosphorus forms, soil phosphatase activity, geostatistics

© 2025 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (546) 274 7081

E-posta : ertasaysee@gmail.com

Makale Türü: ARAŞTIRMA MAKALESİ

Geliş Tarihi : 11 Temmuz 2025

Kabul Tarihi : 10 Aralık 2025

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbbd.1739229

Giriş

Fosfor (P), tüm organizmalar tarafından enerji taşınması ve büyüme için kullanılan temel bir besindir (Vitousek ve ark., 2010). Ayrıca fosfor enerji metabolizması, nükleik asitlerin sentezi ve fotosentez gibi birçok kritik biyolojik süreçte yer alır (Vance ve ark., 2003). Fosfor, toprakta inorganik (PI) veya organik (PO) formlarda bulunur. Topraktaki inorganik fosfor, çoğunlukla oksitlerin ve hidroksitlerin yüzeyine ve organik maddeye adsorbe edilmiş veya kalsiyuma (Ca) bağlanmış H_2PO_4 ve HPO_4 'ün bitki tarafından kullanılabilir formları olarak bulunur (Olibone ve Rosolem, 2010). Toprakta pH larına göre sınıflandırılan asit ve alkali fosfataz enzimleri vardır. Her iki fosfataz da topraklarda yaygın P miktarına ve besin döngüsüne önemli ölçüde katkıda bulunduklarından dolayı büyük tarımsal öneme sahip enzimlerdir (Hui ve ark., 2013).

Topraklar genellikle mineral gübre veya hayvan gübresi kullanılarak P ile desteklenir. P gübreleri, ürün çıkarma oranlarını aşan oranlarda uygulandığında, toprak P'si toprağın asimile etme kapasitesini aşan seviyelere yükselir (Ribaud ve ark. 2003). Bu nedenle, topraklarda biriken aşırı P, tarladan akan su ve toprak sızıntısı yoluyla su kaynaklarını kirletebileceğinden çevresel bir endişe kaynağıdır (Kaiser ve ark., 2009; Abdala ve ark., 2015). Bu nedenle, P eksikliğinin ekonomik etkilerine, aşırı P'nin ekolojik etkilerine ve P gübrelemesinin optimize edilmesine büyük ilgi gösterilmiştir. Bu nedenle, daha üretken ve etkili bir ürün yönetim sistemi geliştirmek için yönetim kararlarında yardımcı olabilecek bu besin konsantrasyonunun mekansal değişkenliği dikkate alınmalıdır.

Topraklar hem mekanda hem de zamanda sürekli bir değişimle karakterize edilir (Geypens ve ark., 1999). Tarımsal sistemlerdeki toprak özelliklerinin mekansal dağılımı hem doğal koşullardan (toprak ana materyali, iklim) hem de tarla yönetiminden (ürün rotasyonu, toprak işleme, gübreleme) etkilenir (Barton ve ark., 2004; Atreya ve ark., 2008). Genellikle, toprak özelliklerinin güçlü mekansal bağımlılığı iç (doğal) faktörlere atfedilebilir ve zayıf mekansal bağımlılık dış faktörlere (yönetim faktörleri) atfedilebilir (Cambardella ve ark., 1994). Bu nedenle, toprak yönetimi uygulamalarının etkisini değerlendirmek ve nihayetinde daha verimli çiftçilik uygulamalarına yol açmak için toprak özelliklerinin toplam değişkenliğindeki dış ve iç faktörlerin katkılarını ayırt etme ihtiyacı vardır (Sun ve ark., 2003).

Fosfataz enzim aktivitesi, toprakta bitkinin yararlanamayacağı formdaki organik fosforun bitkinin yararlanabileceği form olan inorganik fosfora dönüşmesinde görev alan enzimdir (Tamer ve Namlı, 2018). Toprak fosfataz enzimleri bitki kökleri ve mikroorganizmalar tarafından üretilir ve karasal ekosistemlerde sıklıkla sınırlayıcı bir element olan fosfor (P) döngüsünde önemli bir rol oynar. Bu enzimlerin toprakta üretimi, organik moleküllerden fosfat iyonları elde etmek için en önemli biyolojik stratejidir (Nannipieri ve ark., 2011; Margalef ve ark., 2021).

Bu çalışmanın amaçları; Zonguldak ili fındık yetiştiriciliği yapılan alanda toprak P formları konsantrasyonunun ve fosfataz aktivitelerinin değişkenliği hakkında temel bilgileri elde etmek ve toplam toprak değişkenliğine rastgele varyasyonun katkısını değerlendirmek, fosfor formları ve ilgili enzimler ile bazı fiziko-kimyasal özellikler arasındaki ilişkiyi inceleyerek konumsal dağılımlarını ortaya koymaktır.

Materyal ve Yöntem

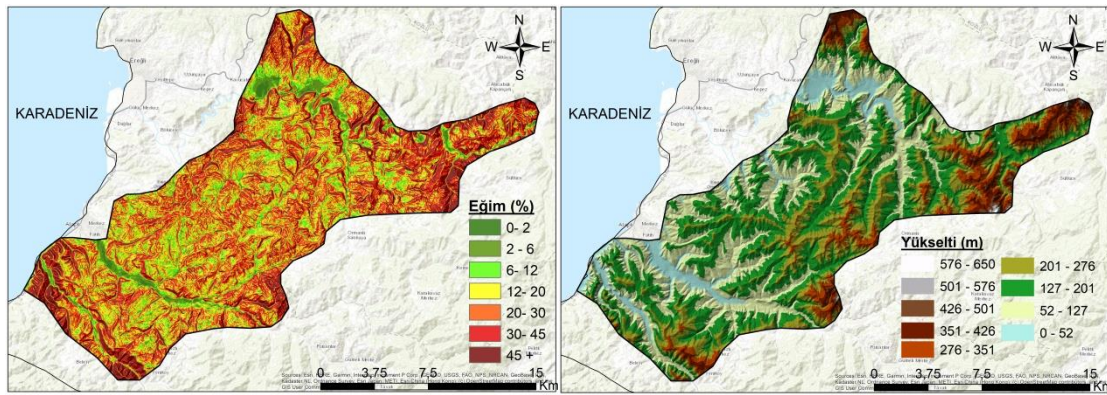
Çalışma alanının genel özellikleri

Çalışma alanı, Türkiye'nin Batı Karadeniz bölümünde bulunan Zonguldak'taki tüm fındık yetiştirme alanlarını kapsamaktadır. Zonguldak yaklaşık 3294.9 km²' lik bir alana sahiptir; çalışma alanı Zonguldak sınırları içerisinde ve yaklaşık 340.4 km²'lik bir alana sahiptir. Çalışma alanı 363000–391000 doğu ve 4450000–4570000 kuzey koordinatları arasında yer almaktadır (WGS-84, Zon 36, UTMm) (Şekil 1). Batı Karadeniz bölümünde bulunan Zonguldak, doğuda Bartın, güneydoğuda Karabük, güneyde Bolu, batıda Düzce ve kuzeyde Karadeniz ile çevrilidir.

Zonguldak'ın çok engebeli bir arazisi vardır, şehrin %56'sı dağlarla, %31'i platolarla ve %13'ü ovalarla kaplıdır. Şehir kısmen nehir vadilerine bölünmüş ve dağlık alanlarla çevrilidir. Çalışma alanı deniz seviyesinden 0 ila 650 m yüksekliktedir ve kuzeyin çoğu ve kuzeydoğu toprakları, kıyılar hariç, dik yamaçlara sahip (>%45) dağlık ve engebeli bir topografyaya sahiptir. Öte yandan, güneydeki bazı alanlar düşük eğimli arazilerden oluşur (Şekil 2).

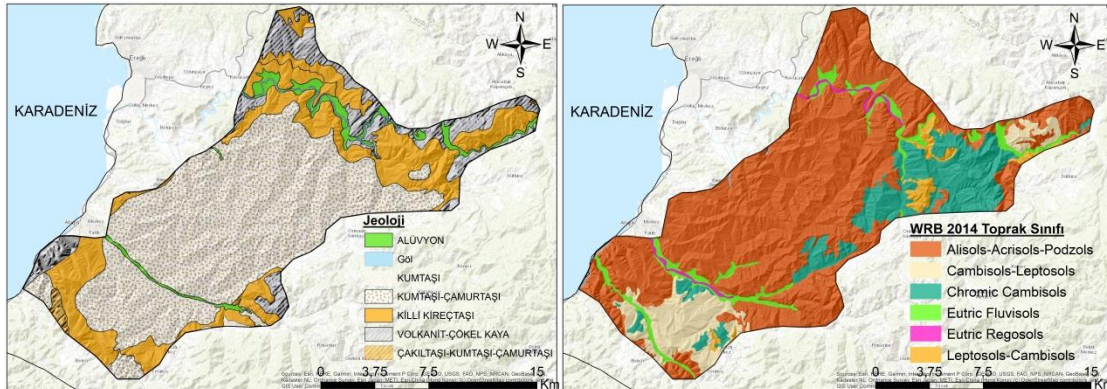


Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası



Şekil 2. Eğim ve yükselti haritaları

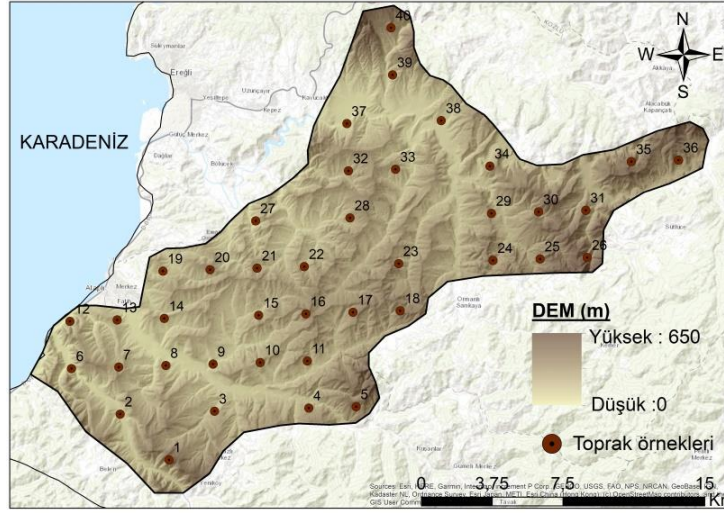
Zonguldak yağmurlu bir iklime sahiptir ve yüzey suyu kaynakları bakımından zengindir. Çalışma alanının yıllık ortalama sıcaklığı 13.8 °C ve yıllık ortalama yağış miktarı 1210.7 mm'dir. Köppen iklim sınıflandırmasına göre, çalışma alanı nemli subtropikal orta enlem iklimlerine aittir, ılıman kışlar, çok sıcak yazlar ve her mevsim yağmurludur. De Martonne iklim sınıflandırmasına göre, ılıman okyanus grubuna aittir. Erinç yağış verimlilik endeksine göre, Zonguldak çok nemli bir iklime sahiptir ve bitki örtüsü çok nemli ormanlardan oluşur (Hangül, 2020). Çalışma alanının büyük kısmı jeolojik olarak Mezozoik döneme aittir ve Kuaterner Dönem'den nehirler tarafından biriktirilen bazı tortul malzemeler vardır. Alandaki yaygın jeolojik malzemeler arasında kumtaşı-çamurtaşı, killi kireçtaşı ve çalışma alanının kuzeyindeki volkanik tortul kayalar bulunur (Şekil 3). Çalışma alanı ayrıca nehirlerin zamanla taşkınlar sonucu biriktirdiği alüvyonlu tortul birikimler içerir. FAO-WRB (2014) toprak sınıflandırmasına göre, alan en yaygın olarak alisol-akrisol topraklarına sahiptir, ardından kromik kambisol ve leptosol toprakları gelir. Bazı ötrik fluvisoller de alüvyonlu alanlarda dağılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Jeoloji ve toprak sınıfı haritaları

Toprak örnekleri ve laboratuvar analizleri

Çalışma alanından toprak örnekleri fındık ekim alanlarını doğru bir şekilde temsil etmek amacıyla 2018 yılı hasadından sonra alınmıştır. Fındık ekim alanı içerisinde belirlenen 39 noktadan 0-30 cm derinlikten GPS ile koordinatlı olarak toprak örnekleri toplanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Fındık parsellerinde toprak örnekleri haritası

Elde edilen toprak örnekleri çakıl taşı gibi iri taneli parçacıklardan ve bitki atıklarından ayrılarak laboratuvar koşullarında kurutulmuştur. Kurutulmuş toprak örnekleri tahta tokmaklarla dövülerek 2 mm'lik elekten geçirilmiş, polietilen kutulara konularak analizlere hazırlanmıştır. Toprak örneklerinde fosfor fraksiyonları belirlenmiştir. Toprakların bazı fiziksel, kimyasal ve bazı enzim aktiviteleri belirlenmiştir. Çizelge 1' de bu analizlerin yöntemleri yer almaktadır. Toprak fosfor fraksiyon analizleri Hedley ve ark. (1982) ve Kuo (1996) kademeli ekstraksiyonlarının kombinasyonundan oluşan bir sıralı ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuş ve Kovar ve Pierzynski (2009)'a göre belirlenmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada seçilen parametrelerin analiz yöntemleri.

Parametreler	Birim	Yöntem	Kaynak
Bünye (kil, silt ve kum)	%	Hidrometre	Bouyoucos (1951)
Organik madde (OM)	%	Potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) ile yaş yakma metodu (Walkley-Black)	Nelson ve Sommers (1982)
pH		Toprak-su süspansiyonu (1:1)	Soil Survey Staff (1992)
Elektriksel iletkenlik (EC)	dS m ⁻¹	Toprak-su süspansiyonu (1:1)	Soil Survey Staff (1992)
CaCO ₃	%	Scheibler kalsimetresi	Soil Survey Staff (1992)
eP	mg kg ⁻¹	The mavi renk metodu	Olsen ve ark. (1954)
P _{çözünür}	mg kg ⁻¹	Hedley ve ark. (1982) ve Kuo (1996) kademeli ekstraksiyonlarının kombinasyonundan oluşan bir sıralı ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Fosfor	Kovar and Pierzynski (2009)
Fe_P	mg kg ⁻¹	konsantrasyonları Murphey ve Riley (1962) e göre	
Al_P	mg kg ⁻¹	askorbik asit yöntemi ile belirlenir.	
P _{indirgenen}	mg kg ⁻¹		
Ca_P	mg kg ⁻¹		
Asid fosfataz (ACPA) (EC3.1.3.2)	µg p- nitrophenol g ⁻¹ dry örnek	0.25 ml toluene, 4 ml phosphate buffer (pH 6.5) ve 1 ml of 0,115 Mp-nitrophenyl phosphate (disodium salt hexahydrate) solüsyonu 1 g örneğe eklenir ve 1 saat 37 °C de örnekler inkübe edilir.p-nitrophenol oluşumu spectrophotometre ile 410 nm de belirlenir.	Tabatabai ve Bremner (1969)
Alkali fosfataz (ALPA) (EC3.1.3.1)	µg p- nitrophenol g ⁻¹ dry örnek	0.25 ml toluene, 4 ml phosphate tampon (pH 11) ve 1 ml of 0,115 Mp-nitrophenyl phosphate (disodium hexahydrate tuzu) çözeltisi 1 g örneğe eklenir ve 1 saat 37 °C de örnekler inkübe edilir. p-nitrophenol oluşumu spektrrofotometre ile 410 nm de belirlenir.	Tabatabai ve Bremner (1969)

CaCO₃:Kalsiyum karbonat; ALPA:Alkali fosfataz enzimi, ACPA:Asit fosfataz enzimi; eP:Yarayışlı fosfor; P_{çözünür}:Çözünebilir ve zayıf bağlı fosfor; Fe_P:Demir fosforu; Al_P: Alüminyum fosforu; P_{indirgenen}:İndirgende çözünen fosfor

İstatistiksel ve jeoistatistiksel analizler

Toprakların fosfor fraksiyonları ve enzim parametrelerinin mekânsal değişkenliğini belirlemek için jeoistatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır. Jeostatistiksel teknikler, örneklenmemiş konumlar için özellikleri tahmin ederek, tahmin hatalarını ve maliyetleri azaltarak mekansal dağılımı belirlemek için çok yararlıdır (Saito ve ark., 2005). Parametrelerin mekansal dağılımlarını tahmin etmek için birçok enterpolasyon yöntemi vardır. En yaygın kullanılan çok değişkenli enterpolasyon metodlarından biri olan Ters mesafe ağırlık (Invers Distance Weighting-IDW) dir. Ters mesafe komşuluk benzerliği yöntemi, örneklenmiş noktalardaki değerlerin doğrusal kombinasyonunu kullanarak örneklenmemiş noktalardaki değerleri, uzaklıkların ters mesafe fonksiyonlarından yararlanarak tahmin etmektedir. Ters mesafe komşuluk benzerliği enterpolasyonu, coğrafi bilgi sistemlerinde nokta verilerinden raster katmanları oluşturmak için kullanılır. Veriler düzenli bir grid sisteminde olduğunda, kontur çizgileri enterpolasyonlu değerlerden geçirilebilir ve harita bir vektör kontur haritası veya raster gölgeli bir harita olarak oluşturulabilir (Burrough ve Mcdonnell, 1998). Tahminler aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmiştir (Eşitlik 1).

$$Z = [\sum_{i=1}^n (Z_i/d_i^m) / \sum_{i=1}^n (1/d_i^m)] \quad (1)$$

Z: tahmin edilen değer, Z_i: bilinen noktadaki değer, d_i: i noktası ile değeri tahmin edilecek noktadaki mesafe, m: ağırlık kuvveti (genellikle 1-5 arasında kullanılır). Bu çalışmada IDW'nin tahmininde yaygın olarak kullanılan ağırlık kuvvetleri (1, 2 ve 3. kuvvet) kullanılmıştır (Pirmoradian ve ark., 2010; Keshavarzi ve Sarmadian, 2012).

Toprakların bazı fiziko-kimyasal özellikleri ve fosfor fraksiyonlarına ait ilişkilerin ortaya konulmasında yararlanılan bazı tanımsal istatistik ve korelasyon analizleri SPSS 20.0v kullanılarak belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanının tanımlayıcı istatistikleri

Çalışma alanı topraklarının bazı fiziko-kimyasal özelliklerine ve farklı fosfor fraksiyonlarına ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 2' de verilmiştir. Çalışılan topraklarda ortalama kum içeriği %40.94, silt içeriği %29.83, kil içeriği %29.24 olarak belirlenmiştir. Toprakların pH değerleri 5.46 ile 8.25 arasında değişirken, ortalama kireç %8.92, OM %2.33, EC ise 0.46 dSm⁻¹ dir. Ortalama EC değeri, topraklarda tuzluluk açısından herhangi bir problem olmadığını göstermektedir. pH negatif çarpıklık değeri (-1.32), topraklardan yıkanan alkali elementlerin genelde toprak pH'sında azalmaya neden olması olarak açıklanabilir. Basıklık değerinin (1.14) olması toprakların bu özellik açısından sivri bir dağılım gösterdiğini ya da benzer pH' ya sahip toprakların sayısının normal dağılıma göre daha fazla olduğuna işaret etmektedir. Toprakların kireç içeriğinin %0.01-53.49 arasında değiştiği ve ortalama % 8.92 olarak bulunmuştur. Bu da toprakların genelde orta derecede kireçli olduğunu göstermektedir (Ülgen ve Yurtsever, 1995). Pozitif çarpıklık değeri (1.80) bazı alanlarda toprak oluşum süreçlerinde topraklarda sekonder kireç birikiminin olduğuna işaret etmektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Çalışma alanının tanımlayıcı istatistikleri

Parametre	Min.	Max.	Mean	SD	CV	Variance	Skewness	Kurtosis
Kum, %	26.34	89.03	40.94	12.41	30.31	153.91	1.731	4.648
Silt, %	1.22	49.99	29.83	8.57	28.72	73.38	-0.811	2.618
Kil, %	9.75	44.38	29.24	8.13	27.82	66.16	-0.318	-0.155
pH (1:1)	5.46	8.25	7.46	0.71	9.56	0.51	-1.327	1.144
EC (1:1)	0.11	0.86	0.46	0.18	39.57	0.03	-0.065	-0.737
CaCO ₃ , %	0.01	53.49	8.92	12.41	139.05	153.98	1.800	3.403
OM, %	0.63	9.21	2.33	1.48	63.37	2.19	2.863	11.659
eP, mg kg ⁻¹	1.51	104.74	14.70	21.78	148.15	474.18	2.471	6.854
ALPA, µg p-nitrophenol g ⁻¹	112.27	464.80	322.32	89.25	27.69	7966.26	-0.707	-0.317
ACPA, µg p-nitrophenol g ⁻¹	63.70	264.72	157.26	42.98	27.33	1847.19	0.086	0.080
Al-P, mg kg ⁻¹	2.66	300.48	45.01	63.07	140.15	3978.45	3.282	11.040
Fe-P, mg kg ⁻¹	19.94	503.91	79.71	85.89	107.75	7376.56	3.389	14.976
Ca-P, mg kg ⁻¹	19.78	1396.67	432.35	296.35	68.54	87824.01	0.778	1.426
P _{çözünür} , mg kg ⁻¹	3.72	108.49	15.33	21.56	140.66	464.97	2.865	8.859
P _{indirgenen} , mg kg ⁻¹	0.53	420.45	116.97	71.59	61.20	5124.59	2.749	9.843

CaCO₃:Kalsiyum karbonat; ALPA:Alkali fosfataz enzimi, ACPA:Asit fosfataz enzimi; eP: Yarıyışlı fosfor; P_{çözünür}:Çözünebilir ve zayıf bağlı fosfor; Fe_P:Demir fosforu; Al_P: Alüminyum fosforu; P_{indirgenen}:İndirgende çözünen fosfor

Toprakların yarıyışlı fosfor içerikleri 1.51–104.74 mg kg⁻¹ arasında, ortalama yarıyışlı P ise 14.70 mg kg⁻¹ dir. Bu durum nispeten sınırlı sayıdaki toprak örneğinde fosfor eksikliğinin bir göstergesidir (8 < yarıyışlı fosfor) ve önemli miktarda toprak örneğinde ise yarıyışlı fosfor (25 mg kg⁻¹ < yarıyışlı fosfor < 80 mg kg⁻¹) olduğunu göstermektedir (FAO,1990). Bununla birlikte, zamanla yapılan aşırı gübrelemenin toprak özellikleri ile kombine etkisi sonucu fosfor seviyesinin çevresel açıdan tehlikeli bir şekilde yükseldiği düşünülmektedir. Yüksek pozitif çarpıklık değeri (2.47) bu durumu destekleyen diğer bir veridir. Yüksek basıklık değeri (6.85) ki diğer parametrelerle kıyaslandığında oldukça yüksektir, toprak örneklerinin çok sayıda benzer P içeriğine sahip örneğin bulunduğu işaret etmektedir. Buna göre yüksek P içeriği ile genel olarak yapılan aşırı gübrelemenin yörede yaygın olduğu değerlendirilebilir. Yarıyışlı P içeriğinin yüksek varyasyon katsayısı değerine sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 2).

Çalışma alanı topraklarının fiziko-kimyasal özelliklerinde en yüksek varyasyon katsayısı değeri CaCO₃ içeriğinde, fosfor fraksiyonları içerisinde ise en yüksek varyasyon katsayısı değeri P_{çözünür} fraksiyonunda belirlenmiştir. İnorganik fosfor (Pi), esas olarak Fe veya Al'nin oksit ve hidroksitlerinin yüzeylerine adsorbe edilmiş H₂PO₄ ve HPO₄ olarak ya da Ca bağlı olarak bulunur. Topraklardaki P adsorpsiyonu, toprak pH'ına ve kil minerallerine bağlıdır. İnorganik fosforun %75'i asidik topraklarda demir/alüminyum fosforu (Fe/Al-P) ve alkali topraklarda kalsiyum fosforu (Ca-P)'dan oluşmaktadır (Marschner ve ark., 2005; Voort, 2010). Daha düşük pH değerlerinde, adsorpsiyon demir ve alüminyumla ve bunların sulu oksitleriyle reaksiyondan kaynaklanırken, pH 7.0'ın üzerinde kalsiyum ve magnezyum iyonları ve bunların karbonatları P çökmesine neden olur (Fageria, 2008). Bu çalışmada genel olarak inorganik fosfor fraksiyonlarının değişim sırası Ca_P > P_{indirgenen} > Fe_P > Al_P > P_{çözünür} şeklindedir.

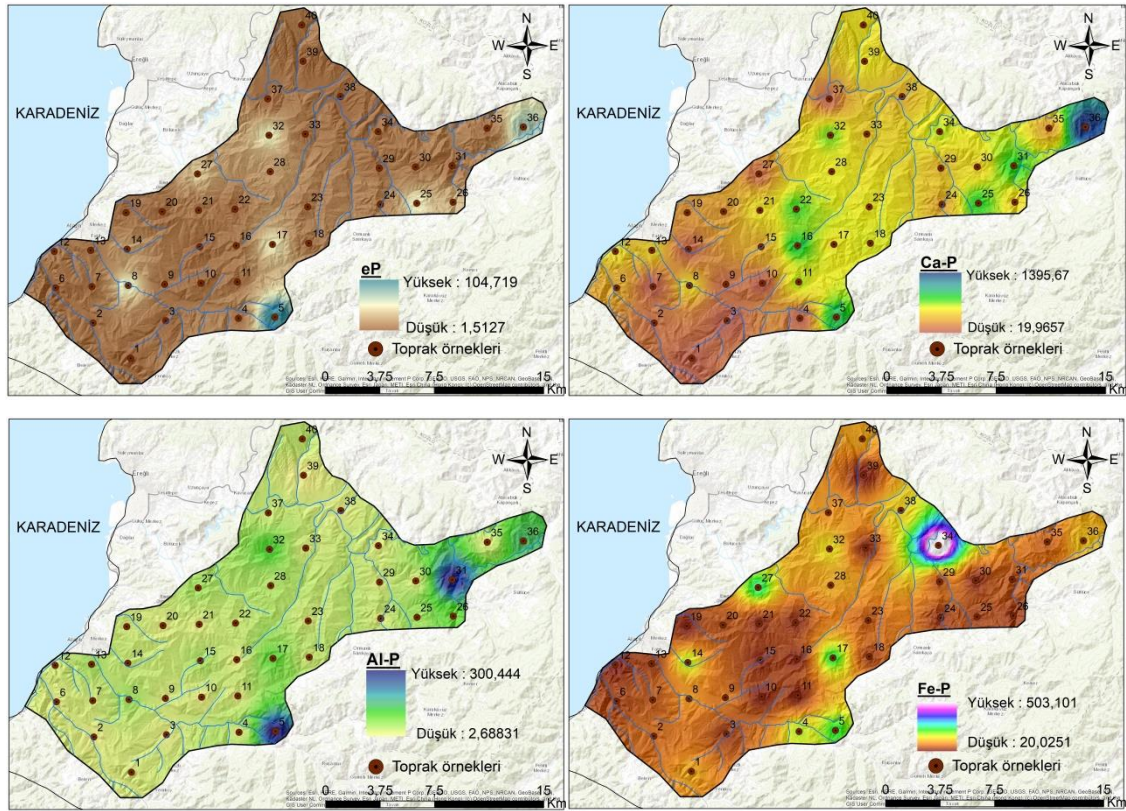
Çalışmada Ca-P fraksiyonu, 19.78-1396.67 ppm arasında değişim gösterirken ortalama 296.35 ppm olarak belirlenmiştir. Topraklarda yüksek Ca-P fraksiyonu içeriği kireçli topraklardaki yüksek CaCO₃ içeriğine bağlanabilir. Toprak reaksiyonu 5.46 ile 8.25 arasında değişmekte olup, pH'nın 7.0 üzerinde olduğu alanlarda Ca-P baskın olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Ca-P fraksiyonun Ca_P fraksiyonu ile pH (0.376*), OM (0.402*) arasında p<0.01 düzeyinde, eP (0.516**), P_{çözünür} (0.513**) ve Al_P (0.503**) arasında p<0.05 düzeyinde önemli pozitif ilişkiler görülmüştür. Pozitif korelasyonlar yörede uygulanan fosforlu gübrelemenin bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Ca_P fraksiyonu P girdisi ve kireç içeriği yüksek olan topraklarda genellikle önemli miktarlarda bulunabilmektedir. Yapılan çalışmada fındık tarımı yapılan alanlarda inorganik fosfor fraksiyonlarından biri olan Ca_P'nin, çalışmadaki tüm topraklarda baskın inorganik fosfor fraksiyonu olduğu bulunmuştur. Bu da topraklara ilave edilen fosforun özellikle kireç içeriği yüksek topraklarda bu fraksiyonda depolandığının belirtisi olarak değerlendirilebilir. Ayrıca çalışma alanındaki toprakların kireçli ana materyal üzerinde oluşmasının bir sonucu olarak açıklanabilir. Rawajfiş ve ark. (2010), kuru tarım altındaki Vertisol topraklarda fosforun jeokimyasal fraksiyonlarının Ca, Fe ve Al inorganik P profilindeki değişimini incelemişlerdir. Toprakların kireçli olması nedeni ile Ca_P'nin baskınlığının beklenir olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada P_{indirgenen} ile eP (0.548**), P_{çözünür} (0.441**) arasında p<0.01 düzeyinde, Al_P (0.365*) ve Fe_P (0.331*) arasında p<0.05 düzeyinde önemli pozitif korelasyonlar belirlenmiştir. Herhangi bir toprağa ne kadar fazla gübre uygulanırsa kısa vadede yarıyışlılığı yüksek olan fraksiyonlarda, uzun vadede ise yüksek miktardaki ilavelerin tamponlanmasına dönük çözünürlüğü düşük fraksiyonlarda (Fe_P, Ca_P ve toplam P) artış gerçekleşeceği şeklinde değerlendirilmektedir. ACPA ile Fe_P arasında, ALPA ile Ca_P arasında (0.425**) p<0.01 düzeyinde önemli pozitif ilişki olduğu görülmektedir (Çizelge 3). Chen (2003) asidik Çin orman topraklarında fosfataz aktiviteleri (asit ve nötr) ve inorganik P fraksiyonları Fe ve Al fosfatlar arasında pozitif korelasyonlar olduğunu bildirmiştir. Toprak örneklerinin kireçli olmaları ve hafif alkali olması ALPA ile Ca_P arasındaki bu pozitif ilişkiyi doğrulamaktadır.

Fe_P fosfor fraksiyonu içeriği 19.94-503.91 ppm arasında değişim gösterirken ortalama 79.71 ppm olarak belirlenmiştir. Al_P içeriği fındık yetiştirilen alanlarda 2.66 ile 300.48 arasında değişim göstermiş ve ortalama 45.01 ppm olarak belirlenmiştir. Bazı toprak örneklerindeki pH sıradaki artışın, Fe_P ve Al_P içeriğinde azalışa neden olduğunu söyleyebiliriz. Alovise ve ark. (2016), sera koşullarında kil tekstüre sahip toprakta P fraksiyonlarının dinamiğinde P ve Si gübre oranlarının etkilerini değerlendirdikleri çalışmada fasulye yetiştiriciliği sonrasında topraktaki biriken P fraksiyonları en yüksek P miktarı sırasıyla dirençli/çözünmeyen P fraksiyonunda, orta çözünür ve çözünür P fraksiyonlarında belirlenmiştir. Fe_P fraksiyonunun miktarları (19.94– 503.91 mg kg⁻¹) arasında olup, ortalama değer 79.71 mg kg⁻¹ dir. Korkmaz (2005), kireçli topraklarda fosfor kullanabilme özelliğini incelediği çalışmada kireçli topraklarda Fe_P fraksiyonunun Ca_P fraksiyonundan sonraki en fazla bulunan fraksiyon olduğunu belirlemişlerdir.

Toprak fosfataz enzimleri ile toprakların bazı fiziko-kimyasal özellikleri arasında istatistiksel anlamda önemli korelasyonlar belirlenmiştir. Toprak örneklerinin pH değerleri. 5.46 ile 8.25 arasında değişim göstermekle birlikte ortalama 7.46'dır. İncelenen toprak örneklerinde alkali fosfataz aktivitesi, topraklardaki hakim alkali-nötr toprak reaksiyonu göstermeleri göz önüne alındığında beklenen bir şekilde asit fosfataz aktivitesinden biraz daha belirgindir (Çizelge 1). Çalışmamızda pH ile ALPA (0.343*) arasında $p < 0.05$ düzeyinde pozitif korelasyon görülürken, ACPA (-0.482) arasında $P < 0.01$ düzeyinde negatif ilişki belirlenmiştir. Toprak **organik maddesi** eP, ACPA, ALPA, $P_{\text{çözünür}}$, Al_P, $P_{\text{indirgenen}}$ ve Ca_P ile $p < 0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişkiler vermiştir. Kızılkaya vd. (2007) çalışmalarında fosfataz enzimleri ile toplam fosfor (Pt), organik fosfor (PO), Ca_P ve $P_{\text{çözünür}}$ ile pozitif önemli ilişkiler belirlerken, Al_P, Fe_P arasında önemli olmayan ilişkiler tespit etmişlerdir. Fosfataz aktiviteleri pH, CaCO_3 ve kil içeriği ile önemli ölçüde korelasyon göstermemiştir. Daha önceki literatürlerde fosfataz aktivitesi ile topraktaki P konsantrasyonu arasındaki negatif ilişki olduğu bildirilmiştir (Marklein ve Houlton, 2012 ; Waldrup ve ark., 2012).

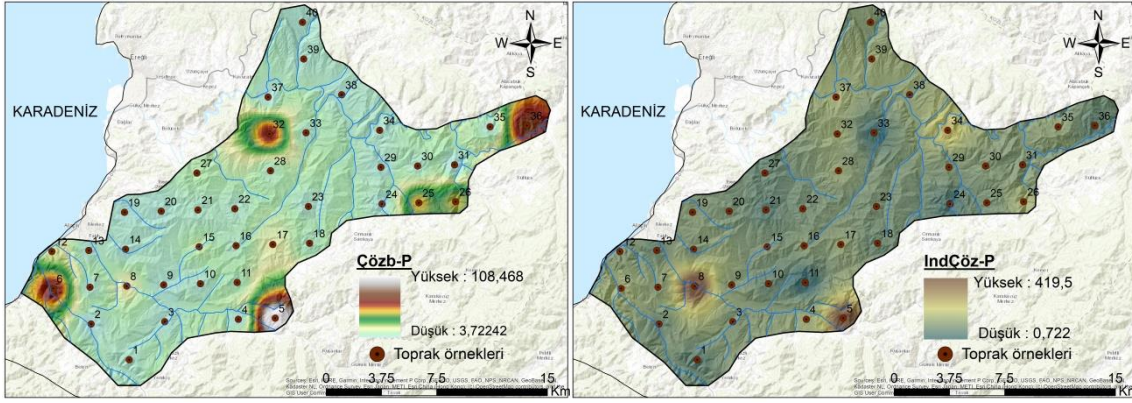
Toprakta fosfor özelliklerinin konumsal değişkenlikleri

Zonguldak ili fındık parsellerinden alınan 39 toprak örneğinde yapılan yarıyışlı fosfor (eP) ve fosforun kalsiyum (Ca_P), demir (Fe_P) ve alüminyum (Al_P) ile yaptığı etkileşmeye göre dağılım haritaları ise Şekil 5' de verilmiştir. Yarıyışlı fosfor çalışma alanında en düşük 1.51 ppm ile 104.74 ppm arasında belirlenmiş olup genellikle orta ve düşük düzeyde bir trend göstermektedir. Ca_P için yapılan dağılım haritasına bakıldığında ise genelde çalışma alanının kuzey doğu kesimlerinde artış eğilimi gösterse de güney batı kesimleri düşük olup 20 ppm dolaylarındadır. Ayrıca fosforun yarıyışlılığı üzerine en önemli etki yapan elementler ise asit topraklarda Al ve Fe'dir. Fosforun bu elementler ile olan dağılımlarına bakıldığında Al_P için yapılan dağılım haritasına göre çalışma alanının kuzey doğu kesimlerinde bir artış gösterirken, Fe_P dağılım haritasına bakıldığında ise alanın kuzey kesimlerinde fosfor fraksiyonunda artış olduğu belirlenmiştir (Şekil 5).

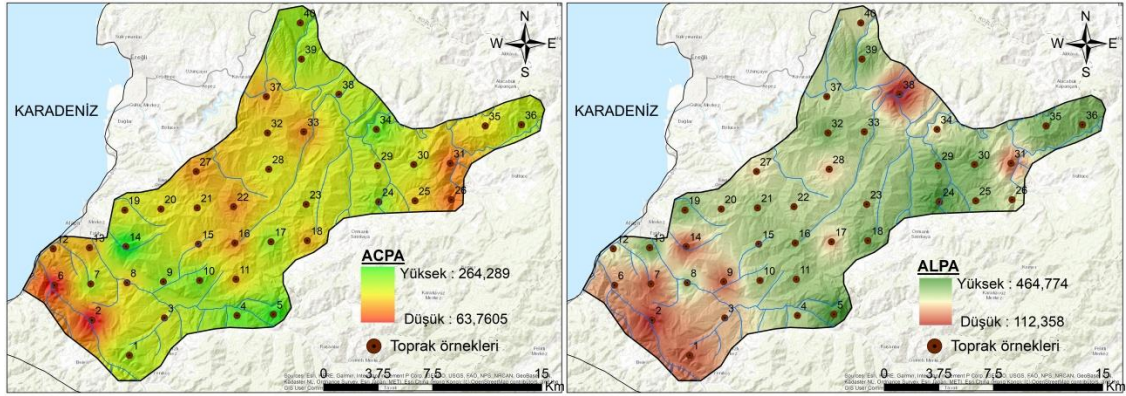


Şekil 5. eP, Ca_P, Fe_P ve Al_P dağılım haritaları

Çözülebilir ve zayıf bağlı fosfor ($P_{\text{çözünür}}$) ve indirgende çözen fosfor ($P_{\text{indirgenen}}$) fosfor dağılımları Şekil 7 de verilmiştir. Çözülebilir ve zayıf bağlı fosfor için yapılan dağılım haritasında fraksiyonun çalışma alanında 0.53 ppm ile 420.45 ppm arasında değişmekte olup, genelde orta ve düşük eğilimde bir dağılım göstermekte iken benzer dağılım durumu indirgende çözen fosfor dağılım haritasında sergilediği görülmüştür (Şekil 6).



Şekil 6. Çözünür ve zayıf bağlı fosfor ($P_{\text{çözünür}}$) ve indirgende çözen fosfor ($P_{\text{indirgenen}}$) fosfor dağılımları haritaları



Şekil 7. Alkali fosfataz enzimi (ALPA), asit fosfataz enzimi (ACPA) aktivitelerinin konumsal dağılımları haritaları

Alkali fosfataz enzimi (ALPA), asit fosfataz enzimi (ACPA) aktivitelerinin konumsal dağılımları Şekil 7’de verilmiştir. Alkali fosfataz enzimi aktivitesi dağılım haritasında çalışma alanının güney batı kesiminde yer alan vadi düzlükleri ile kuzey doğu kesimlerinde artış eğilimi gösterirken, asit fosfataz enzimi aktivitesi dağılım haritasında alanın özellikle güney batı kesimlerinde artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 7). Alkali fosfataz enzim aktivitesinin artış gösterdiği çalışma alanının kuzey doğu kısımlarında Ca_P fosfor fraksiyonunun belirgin dağılım gösterdiği görülmektedir (Şekil 5).

Sonuç

Toprakta organik fosforun mineralizasyonunda önemli rol oynayan fosfataz aktivitesi ve fosfor fraksiyonları toprakların bazı fiziko-kimyasal özelliklerinden etkilenmektedir. Çalışmada fındık yetiştirilen alanlarda toprakta fosfor fraksiyonlarının ortalama dağılım sırası $Ca_P > P_{\text{indirgenen}} > Fe_P > Al_P > P_{\text{çözünür}}$ şeklinde belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada, toprakların yarıyışlı P miktarı ile bazı toprak özellikleri ve fosfor fraksiyonları arasında istatistiksel olarak önemli ilişkiler tespit edilmiştir. Ca_P fraksiyonu ile pH (0.376*), OM (0.402*) arasında $p < 0.05$ düzeyinde, eP (0.516**), $P_{\text{çözünür}}$ (0.513**) ve Al_P (0.503**) arasında $p < 0.001$ düzeyinde önemli pozitif korelasyonların olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmaya göre ACPA ile Fe_P arasında ALPA ile Ca_P arasında (0.425**) $p < 0.01$ düzeyinde önemli pozitif korelasyon olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar özellikle Ca_P ’nin Zonguldak’ta fındık yetiştiriciliği yapılan alanlarda toprak fosfataz aktivitesinin etkileri üzerindeki başlıca P inorganik bileşiği olduğunu göstermektedir. Genelde bölgenin topraklarının kireç içeriği yüksek, organik madde miktarı düşük ve pH 7.5 üzerinde olduğu için uygulanan gübreler toprakta sıkı bir şekilde tutulmakta ve bu nedenle bitkiler uygulanan gübrelerden faydalanamamaktadır. Bu nedenle çiftçiler ekim öncesinde P analizleri yaparak gerekli olan P’li gübreleri bitkilerin gereksinim duyduğu kadar ilave etmeli, Ca içeren gübre kullanımı azaltılarak, uygulanan fosforlu gübrelerin ekimle beraber banda verilmesi sağlanarak ve doğru toprak işleme teknikleri kullanılarak fosfor fraksiyonları üzerine olumlu etkiler oluşturacak şekilde tarım yapılması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, **TAGEM/TSKAD/17/A09/P02/02** “Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü” Proje No’lu proje kapsamında üretilmiştir.

Kaynaklar

- Abdala DB, da Silva IR, Vergütz L, Sparks DL, 2015. Long-term manure application effects on phosphorus speciation, kinetics and distribution in highly weathered agricultural soils. *Chemosphere*, 119, 504-514.
- Alovisi AMT, Neto AEF, Serra AP, Alovisi AA, Tokura LK., Lourente, ERP, da Silva RS, da Silva CFB, Fernandes JS, 2016. Phosphorus and Silicon Fertilizer Rates Effects on Dynamics of Soil Phosphorus Fractions in Oxisol Under Common Bean Cultivation. *African Journal of Agricultural Research*, 11(30), 2697-2707.
- Atreya KS, Sharma RM, Bajracharya NP, 2008. Developing a sustainable agro-system for central Nepal using reduced tillage and straw mulching. *J Environ Manag*, 88:547-555.
- Barton AP, Fullen MA, Mitchell DJ, 2004. Effects of soil conservation measures on erosion rates and crop productivity on subtropical Ultisols in Yunnan province, China. *Agric Ecosyst Environ*, 104: 343-357.
- Bouyoucos GJ, 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agron J*, 43(9):434-438.
- Burrough PA, McDonnell RA, 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford, Oxford University Press.
- Cambardella CA, Moorman TB, Novak JM, Parkin TB, Karlen DL, Turco RF, Konopka AE, 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci Soc Am J*, 58:1501-1511.
- Chen H, 2003. Phosphatase activity and P fractions in soils of an 18-year-old Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantation. *Forest Ecology and Management*, 178(3), 301-310.
- Fageria NK, 2008. *The use of nutrients in crop plants*. CRC Press. New York. 2008; 448.
- FAO, 1990. *Micronutrient. Assessment at the Country Level: An International Study*. FAO Soil Bulletin by Mikko Sillanpää, Rome.
- Geypens M, Vanongeval L, Vogels N, Meykens J, 1999. Spatial variability of agricultural fertility parameters in a gleyic podzol of Belgium. *Precis Agric*, 1:319-326.
- Hangul EG, 2020. *Climatic Features of Zonguldak and Devrek*. Marmara University, Institute of Social Sciences, Department of Geography, Department of Geography, Master Science thesis, İstanbul.
- Hedley MJ, Stewart JWB, Chauhan BS, 1982. Changes in inorganic and organic soil-phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of America Journal*, 46: 970-976.
- Hui D, Mayes MA, Wang G, 2013. Kinetic parameters of phosphatase: a quantitative synthesis. *Soil Biol Biochem*, 65:105-113.
- Kaiser DE, Mallarino AP, Haq MU, 2009. Runoff phosphorus loss immediately after poultry manure application as influenced by the application rate and tillage. *J Environ Qual*, 33:299-308.
- Keshavarz A, Sarmadian A, 2012. Mapping of spatial distribution of soil salinity and alkalinity in a semi-arid region. *Annals of Warsaw University of Life Sciences, Land Reclamation*, 44(1): 3-14.
- Kızılkaya R, Bayraklı F, Sürücü A, 2007. Relationship between phosphatase activity and phosphorus fractions in agricultural soils. *International Journal of Soil Science*, 2 (2):107-118.
- Korkmaz K, 2005. Kireçli Toprakların Fosfor Durumlarının Belirlenmesi ve Fosfor Uygulamasının Mısır Verimine Etkisi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 136s, Adana.
- Kovar JL, Pierzynski GM, 2009. *Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters second edition*. Southern cooperative series bulletin, 408.
- Kuo S, 1996. Phosphorus. In: Sparks, DL (ed.). *Methods of soil analysis, Part 3, Chemical methods*. Soil Science Society of America, Series No: 5, WI, USA. pp. 869-920.
- Margalef O, Sardans J, Maspons J, Molowny-Horas R, Fernández-Martínez M, Janssens IA, Peñuelas J. 2021. The effect of global change on soil phosphatase activity. *Global Change Biology*, 27(22), 5989-6003.
- Marklein AR, Houlton BZ, 2012. Nitrogen inputs accelerate phosphorus cycling rates across a wide variety of terrestrial ecosystems. *New Phytologist*, 193(3), 696-704.
- Nelson DW, Sommers LE, 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR, editors. *Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd ed. Chemical and Microbiological Properties*. Madison, WI: Agron, p. 539-579.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean LA, 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *Circular*, 939:19.
- Olibone D, Rosolem CA, 2010. Phosphate fertilization and phosphorus forms under no-till. *Sci Agric* 67:465-471
- Ribaudo MO, Gollehon NR, Agapoff J (2003) Land application of manure by animal feeding operations: is more land needed? *J Soil Water Conserv*, 62:375-389.
- Pirmoradian N, Rezaei M, Davatgar N, Tajdari K, Abolpour B, 2010. Comparing of interpolation methods in rice cultivation vulnerability mapping due to groundwater quality in Guilan, north of Iran. *International Conference on Environmental Engineering and Applications (ICEEA)* 147- 150, Singapore.
- Rawajfih Z, Khresat S, Ryan J, 2010. Soil Phosphorus Fractions in Calcareous Vertisols and Aridisols of Northern Jordan. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 6(3), 411-422.

- Ribaudo M, Kaplan JD, Christensen LA, Gollehon N, Johansson R, Breneman VE, Peters M, 2003. Manure management for water quality costs to animal feeding operations of applying manure nutrients to land. USDA-ERS Agricultural Economic Report, 824.
- Saito H, McKenna A, Zimmerman DA, Coburn TC, 2005. Geostatistical interpolation of object counts collected from multiple strip transects: ordinary kriging versus finite domain kriging. *Stoch. Env. Res. Risk Asst.* 19, 71–85.
- Samadi A, 2006. Contribution of inorganic phosphorus fractions to plant nutrition in alkaline-calcareous soils. *J. Agric. Sci. Technol.* 8: 77-89.
- Shen J, Rengel Z, Tang C, Zhang F, 2003. Role of phosphorus nutrition in development of cluster roots and release of carboxylates in soil-grown lupinus albus. *Plant and Soil*, 248:199-206.
- Soil Survey Staff, 1992. Procedures for Collecting Soil Samples and Methods of Analysis For Soil Survey. Soil Surv. Invest. Rep. I. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC, USA.
- Sun B, Zhou S, Zhao Q, 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*, 115:85–99.
- Tabatabai MA, Bremner JM, 1970. Arylsulfatase activity of soils. *Soil Sci Soc Amer J*, 34(2):225–229.
- Tamer N, Namlı A, 2018. Organik ve Organomineral Gbirelerin Toprağın Enzim Aktivitesi İle Buğday Verimi Uzerine Etkileri. *Çalıştayı Bildiriler*, 81.
- Ulgun N, Yurtsever N, 1995. Tırkiye Gbire ve Gbireleme Rehberi (4. Baskı). T.C. Başbakanlık Kby Hizmetleri Genel Mdurluđu Toprak ve Gbire Araştırma Enstitüsü Mdurluđu Yayınları, Genel Yayın No: 209, Teknik Yayınlar No: T.66, s.230, Ankara.
- Vance CP, Uhde-Stone C, Alllan DL, 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytol*, 157:423–447.
- Vitousek PM, Porder S, Houlton BZ, Chadwick OA, 2010. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen– phosphorus interactions. *Ecol Appl*, 20(1):5–15.
- Voort J, 2010. The effect of carbon on grass-encroachment in the Dutch coastal dunes. Master Thesis Research. Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamic
- Waldrip, HM, He Z, Griffin TS, 2012. Effects of organic dairy manure on soil phosphatase activity, available soil phosphorus, and growth of sorghum-sudangrass. *Soil science*, 177(11), 629-637.
- WRB Recommendations, 2014. Soil Resources Reports 106. Rome: FAO UN.



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

<http://dergi.toprak.org.tr>



Farklı sulama suyu uygulamalarının kudret narı (*Momordica charantia* L.) bitkisinde çimlenme ve fide gelişimi ile mineral alımına etkileri

Ahmet İlker LEVENT, Kadir Ersin TEMİZEL*

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Samsun

Öz

Bu çalışma, kudret narı (*Momordica charantia* L.) bitkisinde çimlenme ve sürgün gelişimi ile mineral alımı üzerine farklı düzeylerde çözünmüş oksijen ve tuz içeren sulama uygulamalarının etkilerini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Deney; kontrol grubu olarak çeşme suyu (N), farklı tuzluluk düzeyleri (düşük: T1, orta: T2, yüksek: T3), farklı çözünmüş oksijen düzeyleri (düşük: O1, orta: O2, yüksek: O3) ve bir kombinasyon (yüksek: T3, yüksek: O3) oluşan gruplarda yürütülmüştür. Deney kapsamında; bitki fizyolojisini yansıtan büyüme parametreleri olarak fide ve kök uzunlukları, yaprak alanı, yaprak çevresi, yaprak uzunluğu ve yaprak genişliği gibi morfolojik ölçümler ile birlikte, bitki biyokütlesini belirlemek amacıyla kök ve yaprakların yaş ve kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Ayrıca, toprak, kök ve yaprakların Fe, Cu, Mn, Zn gibi mineral içerikleri analiz edilmiştir. Elde edilen tüm veriler, istatistiksel olarak ANOVA ve Tukey testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bulgulara göre, orta düzey çözünmüş oksijen (O2) uygulaması, kök ve yaprak gelişimi ile mineral birikimi açısından en başarılı sonucu vermiştir ($p < 0.05$). Buna karşılık, yüksek tuzluluk (T3) ve T3O3 grupları, gelişimini belirgin şekilde baskılamış, bazı bitkilerde yaprak gelişimi gözlenmemiştir. Toprak ve bitki analizleri, sulamanın sadece su temini değil, mineral dengesi ve alınabilirliği üzerinde de önemli etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak, kudret narı fideleri için en uygun sulama koşulunun orta düzey çözünmüş oksijen içeren su olduğu, yüksek tuzluluk veya yüksek oksijen seviyelerinin ise bitki gelişimini olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, tıbbi bitki yetiştiriciliğinde sulama suyu kalitesinin (özellikle oksijen ve tuz içeriğinin) kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Bulguların farklı çevresel koşullarda tekrarlanması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sulama suyu kalitesi, çözünmüş oksijen, tuzluluk, kudret narı, bitki gelişimi.

Effects of different irrigation water applications on germination, seedling development and mineral uptake in bitter melon (*Momordica charantia* L.)

Abstract

This study aimed to evaluate the effects of different levels of dissolved oxygen (DO) and salinity in irrigation water on the germination, shoot development, and mineral uptake in bitter melon (*Momordica charantia* L.). The experiment was conducted across various groups: tap water as the Control (N), different salinity levels (low: T1, moderate: T2, high: T3), different dissolved oxygen levels (low: O1, moderate: O2, high: O3), and a combination (T3O3) of high salinity and high dissolved oxygen. Growth parameters reflecting plant physiology were measured, including shoot and root lengths, and leaf morphology (area, perimeter, length, and width). Additionally, plant biomass was determined by measuring the fresh and dry weights of roots and leaves. Furthermore, the mineral contents (Fe, Cu, Mn, and Zn) in the soil, roots, and leaves were analyzed. All obtained data were statistically evaluated using ANOVA and Tukey tests. The findings revealed that the moderate dissolved oxygen (O2) treatment yielded the most successful results in terms of root and leaf development and mineral accumulation ($p < 0.05$). Conversely, the high salinity (T3) and the T3O3 combination groups significantly suppressed plant development, with leaf development being absent in some plants. Soil and plant analyses demonstrated that irrigation is not merely a means of water supply but also significantly influences mineral balance and bioavailability. In conclusion, the optimal irrigation condition for bitter melon seedlings was determined to be water containing moderate dissolved oxygen, while high salinity or high DO levels negatively affected plant development. These findings indicate that the quality of irrigation water (especially its oxygen and salt content) is of critical importance in medicinal plant cultivation. Replication of these findings under different environmental conditions is recommended.

Keywords: Irrigation water quality, dissolved oxygen, salinity, bitter melon (*Momordica charantia*), plant growth.

© 2025 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (535) 225 8260
E-posta : ersint@omu.edu.tr

Makale Türü: ARAŞTIRMA MAKALESİ

Geliş Tarihi : 10 Ekim 2025 e-ISSN : 2146-8141
Kabul Tarihi : 11 Aralık 2025 DOI : 10.33409/tbbdd.1800321

Giriş

Tarım sektörü, yalnızca temel gıda ihtiyacını karşılayan bir üretim alanı olmanın ötesinde, günümüzde sağlık, ekonomi ve çevreyle doğrudan ilişkili stratejik bir sektör haline gelmiştir (Özsan ve Onus, 2023). Tıbbi bitkiler hem yüksek ekonomik değerleri hem de doğal tedavi yöntemlerine olan ilginin artmasıyla, tarımsal üretimde önemli bir yer edinmeye başlamıştır (Pongkitwitoon, 2019). Katma değeri yüksek bu bitkiler; ilaç, kozmetik, gıda ve alternatif tıp alanlarında yaygın olarak kullanılmakta olup, özellikle iklim ve biyoçeşitlilik açısından zengin ülkelerde üretimlerinin artırılması, çiftçilere alternatif gelir kaynakları sunmakta ve kırsal kalkınmayı desteklemektedir. Bu bitkiler arasında yer alan kudret narı (*Momordica charantia*), tıbbi özelliklerinin yanı sıra yüksek ekonomik değeriyle dikkat çeken bir kültür bitkisidir. Sürdürülebilir tarım açısından, kültüre alınan bitkilerin sonraki üretim dönemleri için sağlıklı bir şekilde çoğaltılması büyük önem taşımaktadır (Naïtchéde ve ark., 2023).

Kudret narı (*Momordica charantia*), Kabakgiller (*Cucurbitaceae*) familyasına ait, tropik ve subtropik bölgelerde yaygın olarak yetiştirilen tıbbi bir bitkidir. Meyve, yaprak ve tohumları; antimikrobiyal, antioksidan, antidiyabetik, antienflamatuvar ve antikanserojen etkileri nedeniyle geleneksel tıpta geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu biyolojik özellikleri sayesinde farmasötik ve gıda endüstrisinde katma değeri yüksek bir ürün olarak öne çıkmaktadır (Joseph ve Jini, 2013).

Ancak kudret narının üretiminde en sık karşılaşılan sorunlardan biri, tohumların düşük çimlenme oranlarıdır. Sert tohum kabuğu ve çevresel streslere duyarlılık, çimlenmeyi sınırlandıran temel faktörlerdendir (Fonseka ve ark., 2011). Bu nedenle farklı ön işlem yöntemleri, ıslatma teknikleri ve ortam koşullarının çimlenme üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Özellikle tuzluluk stresi, çimlenme ve fide gelişimi üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Atta ve ark., 2023). Öte yandan, oksijenli su (hidrojen peroksit, H_2O_2) uygulamalarının, tohum kabuğunu yumuşatarak oksijen alımını kolaylaştırdığı ve çimlenme süresini kısaltabileceği bildirilmektedir (Jisha ve ark., 2013). Kudret narı gibi hassas türlerde, su kalitesi ve ortam koşullarının çimlenme performansına etkisi oldukça kritik olup, bu alanda yapılan çalışmalar değerli bulgular sunmaktadır (Ali ve ark., 2025).

Su kaynaklarının yetersizliği ve sulama suyu kaynaklı yüksek tuzluluk, bitki gelişimini kısıtlayan başlıca çevresel stres faktörlerindendir (Temizel ve ark., 2014). Toprakta biriken tuzlar, tohumun su alımını engelleyerek osmotik baskı oluşturur ve çimlenmeyi olumsuz etkilemektedir (Atta ve ark., 2023). İyon toksisitesi, özellikle sodyum (Na^+) ve klor (Cl^-) iyonlarının birikimi yoluyla hücre metabolizmasını olumsuz etkileyerek tohumların çimlenme başarısını düşürmektedir (López-Méndez ve ark., 2024). Bu stresin etkisiyle, birçok bitki türünde çimlenme yüzdesi, hızı ve fide gelişimi anlamlı ölçüde azalmaktadır (Khan ve ark., 2022).

Tuz stresine karşı çimlenme sürecini desteklemek amacıyla yapılan çalışmalarda, H_2O_2 gibi oksijen taşıyıcıların düşük konsantrasyonlarda uygulanmasının umut verici sonuçlar doğurduğu görülmektedir. H_2O_2 , tohum zarının geçirgenliğini artırarak embriyoya oksijen taşınmasını kolaylaştırmakta; aynı zamanda antioksidan savunma sistemlerini uyararak stres koşullarında çimlenmeyi desteklemektedir (Hasanuzzaman ve ark., 2020). Ancak yüksek dozlarda toksik etkiler oluşturabileceği için doz optimizasyonu büyük önem taşımaktadır (Thomas, 2025). H_2O_2 aynı zamanda bitki hücrelerinde sinyal iletiminde rol alan reaktif oksijen türlerinden biri olup, kontrollü kullanımda bitkisel savunma sistemlerini tetikleyerek çimlenme başarısını artırabilmektedir (Barba-Espin ve ark., 2011).

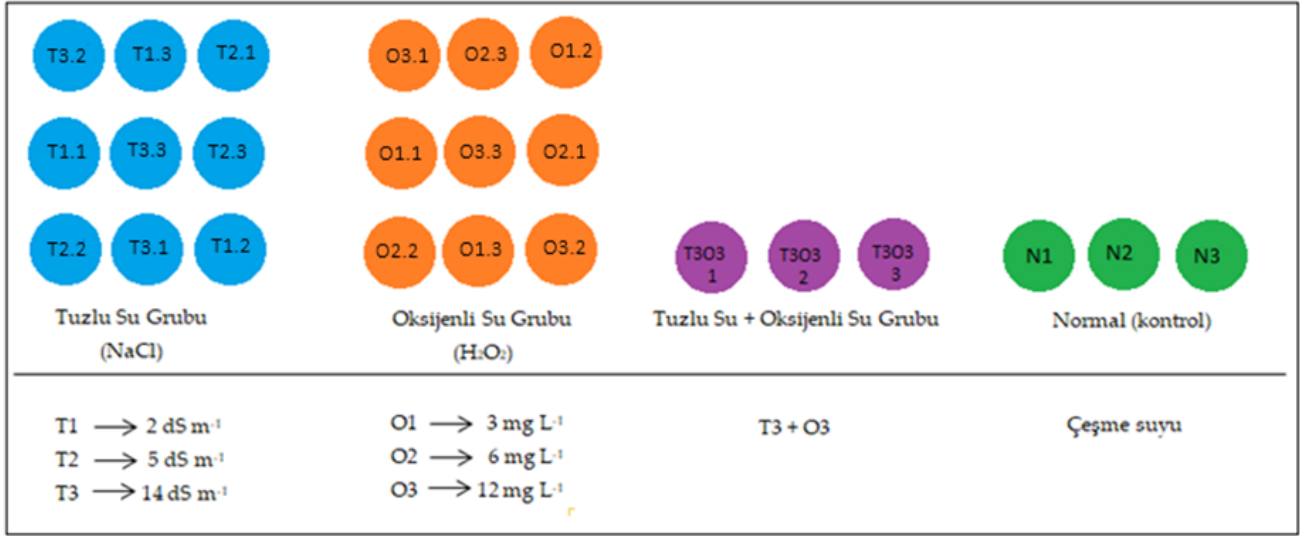
Bu çalışma, tıbbi bitkilerden ekonomik değeri yüksek olan kudret narı (*Momordica charantia*) tohumlarının çimlenme ve fide performansını artırmaya yönelik farklı sulama suyu uygulamalarının etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Özellikle tuz stresi gibi çevresel faktörlerin tohum çimlenmesi üzerindeki olumsuz etkileri göz önünde bulundurularak, farklı tuz konsantrasyonları ve çözünmüş oksijen uygulamalarının çimlenme üzerindeki iyileştirici potansiyelleri ve sonrasında fideleme dönemindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, bu iki faktörün birlikte kullanıldığı koşullarda kudret narı tohumlarının tepkileri değerlendirilerek, türün kültüre alınması ve sonraki üretim aşamalarında çoğaltılması açısından faydalı bilgiler elde edilmesi hedeflenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, Kudret Narı (*Momordica charantia*) tohumlarının çimlenme ve fide oluşumu performansı üzerine farklı tuz seviyeleri ve çözünmüş oksijen uygulamalarının etkisini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Deneme; Ondokuzmayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü laboratuvarlarında, 2025 yılı mayıs-haziran aylarını kapsayan dönemlerde uygulanmıştır. Çalışma iki

aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada tohumların çimlendirilmesi, sonrasında çimlenen tohumların fideleme dönemini içermektedir.

Çimlendirme denemesinde, tesadüfi parseller deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Tohumlara; 3 farklı tuz uygulaması, 3 farklı oksijen uygulaması, 1 yüksek değerde tuz + yüksek değerde oksijen uygulaması, 1 çeşme suyu uygulaması yapılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Deneme şematik tasarımı.

Çimlendirme döneminde her gruba verilen dozlar 50 ml'lik çözeltilerde hazırlanarak uygulanmıştır. Tuz (NaCl) uygulamasında kullanılan dozlar sırasıyla (T1: 2 dS m⁻¹, T2: 5 dS m⁻¹, T3: 14 dS m⁻¹), Oksijen (H₂O₂) uygulamasında kullanılan dozlar sırasıyla (O1: 3 mg L⁻¹, O2: 6 mg L⁻¹, O3: 12 mg L⁻¹), Tuz (NaCl) + Oksijen (H₂O₂) uygulamasında kullanılan doz (T3+O3: T3 ve O3 karışımları eklenmiştir), Kontrol uygulamasında çeşme suyu (N: 0.38 dS m⁻¹) kullanılmıştır.

Deney, sabit 24 C sıcaklık ve %100 bağıl nem koşullarının sağlandığı kontrollü bir iklimlendirme dolabında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan kudret narı tohumları, doğal formda ve ön işlem görmemiş olarak temin edilmiştir. Tohumların kısa sürede çimlenmesi için dış sert kabukları soyularak işleme tabi tutulmuştur. Tohumlar 9 cm çapındaki cam pedri kaplarına konulmuştur. Her bir kapta 2 adet tohum bulunmaktadır. Denemede toplam 48 adet tohum değerlendirmeye alınmıştır. Tüm çözeltiler 50 ml'lik şişelerde hazırlanmış ve her pedli kaba 10 ml olacak şekilde uygulanmıştır. Tohumlar iklimlendirme dolabında pedli kaplarının üzeri cam kapak ile kapalı olarak 2 hafta boyunca çimlenmeye bırakılmıştır. Bu süre içerisinde tohumların çimlenmeleri belirli aralıklarla gözlemlenmiştir. Çimlenme aşamasında tohumların fotoğrafları çekilerek bilgisayar ortamında AutoCAD programı kullanılarak kök uzunlukları ölçülmüştür (Fiorani ve Schurr, 2013). Su içeriğindeki doymuş oksijen oranlarının ölçümü için; Exttech DO600 cihazı kullanılmıştır.

Çalışmanın 2. aşamasında; çimlenen ve kök gelişimi gösteren tohumlar, her biri 150 gram hacminde toprak içeren plastik bardaklara ekilmiştir. İlk aşamada her kaba 65 ml ilgili çözelti uygulanmış sonrasında sulama uygulamaları düzenli aralıklarla her fideye aynı grupta yer aldığı çözelti ile uygulanarak devam edilmiştir. Bu aşamada fidelere 1 defa 0.05g NPK (20-20-20) gübre uygulaması yapılmıştır (Taiz ve Zeiger, 2010). Kudret Narı fidelerinin bitki boyları düzenli aralıklarla fideleme dönemi sonuna kadar ölçümlenmiştir. Her saksıda yaprakların, alan, çevre, uzunluk, genişlik, klorofil ölçümleri alınmış ve yaprak yaş ve kuru ağırlıkları tartılmıştır. Fide köklerinin fide sökümünden sonra yaş ve kuru ağırlık ölçümleri yapılmıştır.

Her konuya ait bitki örnekleri (yeşil aksam ve kök) ve toprak örnekleri 65 °C'de sabit ağırlığa ulaşınca kadar havalandırılmalı etüvde kurutulmuş ve homojen şekilde öğütülmüştür. Bitki örneklerinden analiz için uygun miktarda kuru materyal alınmış ve porselen krozelere tartılmıştır. Örnekler 550 °C'de 4-8 saat süreyle kül fırınında yakılmış, elde edilen kül %3'lük HCl ile çözündürülmüş ve hacim 10 ml'ye tamamlanmıştır. Çözeltilerde Fe, Cu, Mn ve Zn derişimleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) ile ppm cinsinden belirlenmiştir (Paul ve ark., 2024). Kök örneklerinde Fe ölçümleri için AAS öncesi SF10 seyreltme uygulanmış olup, ölçülen değerler SF10 katsayısı ile çarpılarak gerçek çözelti derişimleri elde edilmiştir. Toprak örneklerinde ise aynı yöntem uygulanmış ve her örnek için yaklaşık 0,30 g kuru materyal

kullanılmıştır. Elde edilen çözeltilerde Fe, Cu, Mn ve Zn derişimleri AAS ile ölçülmüş ve değerler ppm cinsinden verilmiştir. Toprak örneklerinde AAS öncesi SF2 seyreltme uygulanmış olup, ölçülen değerler SF2 katsayısı ile çarpılarak gerçek çözelti derişimleri elde edilmiştir.

Deney verileri, her grup için üç tekrar üzerinden analiz edilmiştir. Kök ve fide boyları, farklı ölçüm zamanlarında aynı tohumlar izlendiği için tekrarlanan ölçümler ANOVA (repeated measures ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Diğer parametreler, örneğin yaprak yaş ve kuru ağırlıkları ile bitki ve toprak element içerikleri üzerinde tek yönlü ANOVA uygulanmıştır. Gruplar arasındaki anlamlı farklılıklar Tukey HSD testi ile belirlenmiştir. Ayrıca, deney bulgularının görselleştirilmesi için grafikler oluşturulmuş, bazı parametreler arasında ilişkilerin incelenmesi amacıyla regresyon ve korelasyon analizleri yapılmıştır. Tüm istatistiksel analizler ve grafikler SPSS 25.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve anlamlılık seviyesi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Farklı sulama suyu uygulamalarının kudret narı tohumlarının çimlenme ve fide gelişimine olan etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen bu çalışma kapsamında, her iki gelişim aşaması için kapsamlı morfolojik, fizyolojik ve besin elementi analizleri gerçekleştirilmiştir. Çimlenme aşamasında tohumların kök uzunlukları izlenmiş ve ölçülmüştür. Daha sonra fideleme aşamasına geçilmiş olup, bu dönemde fidelerin büyüme ve fizyolojik gelişimleri yakından izlenmiştir. Bu kapsamda; bitki boyu, yaprak alanı (boyu, çevresi, genişliği), yaş ve kuru ağırlıkları ile klorofil içeriği gibi bitkisel parametreler ölçülmüş ve ek olarak toprak pH değeri belirlenmiştir. Ayrıca, yapraklar, kökler ve toprak örneklerinden Fe, Cu, Mn ve Zn mikro element içerikleri belirlenmiştir. Bulgular, bu iki aşama ve mikro element analizleri için ayrı ayrı sunulmuş ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir; kök ve fide boyları ölçümleri için tekrarlanan ölçümler ANOVA, diğer parametreler için tek yönlü ANOVA uygulanmış, ilişkilerin incelenmesinde regresyon ve korelasyon analizleri kullanılmıştır.

Kök uzunlukları

Kudret narı tohumlarının çimlenme döneminde kök uzunluklarının zaman içindeki değişimi (Çizelge 1) ve farklı sulama uygulamalarının bu değişime etkisi, tekrarlı ölçümler varyans analizi (Repeated Measures ANOVA) ile değerlendirilmiştir.

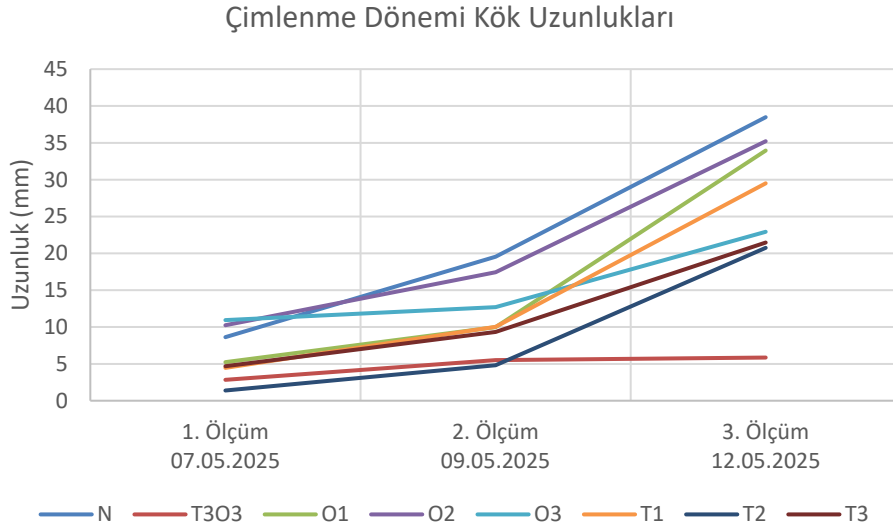
Çizelge 1. Deneme gruplarına göre kök uzunluklarının ortalama ve standart sapma değerleri (mm).

Deney Grupları	1.Ölçüm (07.05.2025) Ortalama $\pm$ SD (mm)	2.Ölçüm (09.05.2025) Ortalama $\pm$ SD (mm)	3.Ölçüm (12.05.2025) Ortalama $\pm$ SD (mm)
N	8.63 $\pm$ 10.08 ^a	19.54 $\pm$ 21.77 ^a	46.18 $\pm$ 27.72 ^b
T303	2.84 $\pm$ 1.52 ^a	5.51 $\pm$ 3.27 ^a	11.72 $\pm$ 12.41 ^b
O1	5.24 $\pm$ 3.90 ^a	9.98 $\pm$ 7.63 ^a	50.93 $\pm$ 10.68 ^b
O2	10.25 $\pm$ 10.06 ^a	17.45 $\pm$ 14.22 ^a	52.83 $\pm$ 15.27 ^b
O3	10.94 $\pm$ 7.39 ^a	12.70 $\pm$ 7.93 ^a	28.66 $\pm$ 17.40 ^b
T1	4.46 $\pm$ 4.88 ^a	10.04 $\pm$ 12.07 ^a	44.26 $\pm$ 29.72 ^b
T2	1.39 $\pm$ 0.88 ^a	4.81 $\pm$ 3.41 ^a	24.90 $\pm$ 9.46 ^b
T3	4.69 $\pm$ 3.87 ^a	9.34 $\pm$ 5.49 ^a	21.47 $\pm$ 4.63 ^b

Aynı satırdaki farklı harflerle gösterilen değerler ölçüm zamanları arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir (Bonferroni düzeltmeli Tekrarlı Ölçümler ANOVA, $p < 0.05$). Uygulama grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ($p > 0.05$).

Analiz sonuçlarına göre, kök uzunlukları üzerinde zaman faktörünün (günler arası) etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($F = 13.38$, $p < 0.001$). Bu durum, bitkilerin kök uzunluklarının çimlenme süresi boyunca günlere bağlı olarak anlamlı şekilde arttığını göstermektedir. Bonferroni düzeltmeli çoklu karşılaştırmalar, 1. ölçüm ile 3. ölçüm ($p < 0.001$) ve 2. ölçüm ile 3. ölçüm ($p < 0.002$) arasında anlamlı artış olduğunu ortaya koymuş; bu da kök gelişiminin hızlandığını göstermektedir.

Gruplar arasında yapılan karşılaştırmada anlamlı bir fark bulunmamıştır ($F = 1.53$, $p = 0.158$). Şekil 2, grupların gelişim eğilimlerinde bazı görsel farklılıklar olabileceğini göstermektedir; ancak bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı düzeye ulaşmamıştır. Gruplar içindeki standart sapma değerlerinin yüksek olması, tohumların stres koşullarına verdiği yanıtlar arasındaki doğal biyolojik farklılıkları yansıtmaktadır ve bitki gelişimi çalışmalarında sık görülen bireysel değişkenliğin normal bir sonucudur.



Şekil 2. Kudret narı tohumlarının çimlenme döneminde kök uzunluklarının günlere göre değişimi.

Kök Biyokütlesi (Yaş ve Kuru Ağırlık)

Kudret narı fidelerinin kök yaş ve kuru ağırlıkları üzerine farklı oksijen ve tuz stresi uygulamalarının etkileri yüksek derecede anlamlı bulunmuştur (yaş ağırlık: $F = 8.48$, $p < 0.001$; kuru ağırlık: $F = 12.91$, $p < 0.001$). Bu anlamlı farklılıkların kaynağı, orta oksijen (O2) ve düşük tuz (T1) koşullarının kök gelişimini maksimum düzeyde desteklemesi, buna karşın yüksek stres uygulamalarının biyokütleyi ciddi biçimde kısıtlamasıdır.

Çizelge 2. Gruplara ait ortalama kök yaş ve kuru ağırlık değerleri ile standart sapmaları (g).

Deney Grupları	Yaş Ağırlık Ortalama $\pm$ SD (g FW)	Kuru Ağırlık Ortalama $\pm$ SD (g DW)
N	0.31 $\pm$ 0.03 ^{ab}	0.030 $\pm$ 0.00 ^{abc}
T303	0.07 $\pm$ 0.13 ^d	0.003 $\pm$ 0.01 ^c
O1	0.23 $\pm$ 0.06 ^{ab}	0.026 $\pm$ 0.01 ^{abc}
O2	0.41 $\pm$ 0.08 ^a	0.043 $\pm$ 0.01 ^a
O3	0.30 $\pm$ 0.02 ^{ab}	0.017 $\pm$ 0.00 ^{bc}
T1	0.41 $\pm$ 0.10 ^a	0.035 $\pm$ 0.01 ^{ab}
T2	0.20 $\pm$ 0.06 ^{bc}	0.024 $\pm$ 0.01 ^{abc}
T3	0.16 $\pm$ 0.01 ^c	0.017 $\pm$ 0.00 ^{bc}

Kök yaş ağırlığı açısından Tukey HSD testi, O2 ve T1 uygulamalarının en yüksek yaş ağırlığına (0.41 g) ulaştığını ve bu değerlerin özellikle yüksek tuz (T3) ve çoklu stres (T303) uygulamalarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek olduğunu göstermiştir ($p < 0.05$).

Kök kuru ağırlığı analizleri de bu eğilimi kesin olarak teyit etmiştir. Kuru ağırlıkta en yüksek ortalama sahip gruplar O2 (0.04 g) ve T1 (0.035 g) olurken, en düşük ortalama çoklu stres uygulanan T303 grubunda (0.003 g) ölçülmüştür. Yapılan karşılaştırmalar, T303 grubunun ortalamasının, en yüksek kuru madde birikimine sahip O2 ve T1 grupları başta olmak üzere, diğer grupların büyük çoğunluğundan anlamlı biçimde farklı olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, kök yaş ağırlığında olduğu gibi, çoklu stres koşullarının kudret narı fidelerinin kuru madde birikimini en güçlü şekilde baskıladığını teyit etmektedir.

Genel olarak bulgular, orta oksijen ve düşük tuz koşullarının kök gelişimini ve buna bağlı kuru madde sentezini desteklediğini; buna karşın yüksek tuz ve çoklu stres uygulamalarının kök biyokütlesini hem yapısal hem de su içeriği açısından ciddi biçimde sınırlandırdığını göstermektedir. Benzer şekilde, çoklu stres koşulları altında kök biyokütlesinde azalma olduğu daha önce de raporlanmıştır (Angon ve ark., 2022).

Fide Uzunluğu

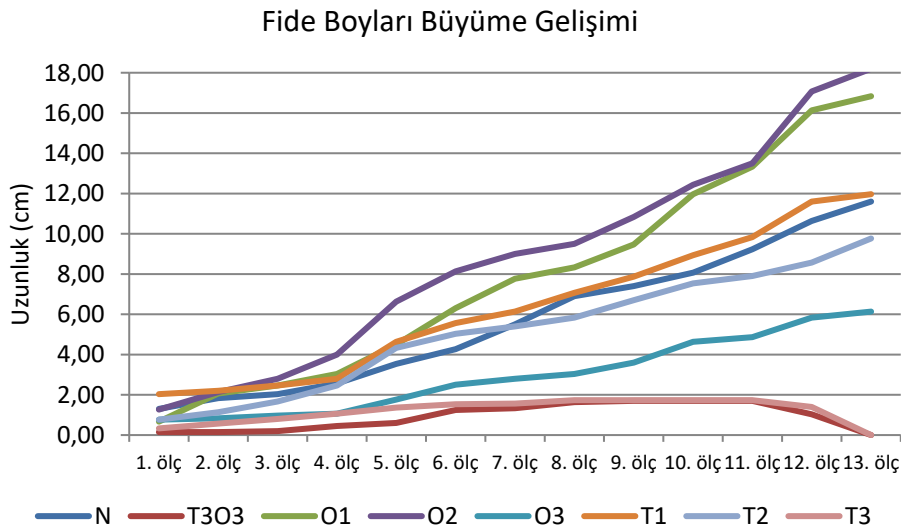
Her grupta çimlenen tohumlar bardaklara aktarılmış ve fide uzunlukları deneme süresi boyunca toplam 13 farklı günde ölçülmüş; 13. ölçüm denemenin son gününde gerçekleştirilmiştir. Farklı uygulamaların fide uzunlukları üzerine etkisi, tekrarlı ölçümler varyans analizi (Repeated Measures ANOVA) ile

değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre hem gruplar arası fark (Faktör A: $F = 44.34$, $p < 0.001$) hem de günler arası fark (Faktör B: $F = 25.73$, $p < 0.001$) istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bonferroni düzeltilmeli eşleştirilmiş t-testi ($\alpha = 0.00064$), özellikle yüksek tuz uygulaması (T3) ve çoklu stres grubu (T3O3) ile kontrol (N), O1, O2, O3, T1 ve T2 grupları arasında anlamlı farklılıklar olduğunu göstermiştir. Fide boyu ortalamaları T3 ve T3O3 gruplarında en düşük düzeyde gerçekleşirken, en yüksek değerler oksijenli su uygulamalarında (özellikle O2 ve O1) ve kontrol grubunda gözlenmiştir (Çizelge 3) (Şekil 3).

Çizelge 3. Grupların seçili ölçüm zamanlarındaki (ilk, ortanca, son) fide uzunluğu ortalama ve standart sapma (cm) değerleri.

Deney Grupları	1.Ölçüm (13.05.2025) Ortalama $\pm$ SD (cm)	7.Ölçüm (22.05.2025) Ortalama $\pm$ SD (cm)	13.Ölçüm (03.06.2025) Ortalama $\pm$ SD (cm)
N	1.30 $\pm$ 0.56 ^a	5.50 $\pm$ 2.25 ^d	11.60 $\pm$ 4.43 ^c
T3O3	0.15 $\pm$ 0.15 ^e	1.34 $\pm$ 0.55 ^f	0
O1	1.47 $\pm$ 0.59 ^a	7.77 $\pm$ 1.57 ^b	16.83 $\pm$ 1.33 ^b
O2	1.27 $\pm$ 0.15 ^b	9.00 $\pm$ 0.78 ^a	18.20 $\pm$ 0.50 ^a
O3	0.77 $\pm$ 0.65 ^c	2.80 $\pm$ 2.55 ^e	6.13 $\pm$ 5.37 ^e
T1	2.03 $\pm$ 0.35 ^a	6.14 $\pm$ 1.96 ^c	11.97 $\pm$ 1.76 ^c
T2	0.77 $\pm$ 0.06 ^c	5.40 $\pm$ 0.40 ^d	9.77 $\pm$ 0.95 ^d
T3	0.34 $\pm$ 0.35 ^d	1.57 $\pm$ 0.74 ^f	0

Bu bulgular, yüksek tuz stresinin (T3) ve tuz-oksijen kombinasyonunun (T3O3) fide gelişimini belirgin şekilde sınırladığını ortaya koymaktadır. Tuz stresinin büyümeyi baskılaması, literatürde de yaygın olarak bildirildiği üzere, Na^+ ve Cl^- iyonlarının osmotik dengeyi bozması, hücre uzamasını azaltması ve metabolik süreçleri yavaşlatmasıyla ilişkilidir (Tavakkoli ve ark., 2010). Buna karşılık, oksijenli su uygulamalarında gözlenen yüksek fide uzunlukları, kök bölgesindeki çözünmüş oksijen artışının sürgün uzamasını desteklediğini göstermektedir. Genel olarak, kudret narı fidelerinin tuzluluğa karşı duyarlı bir büyüme eğilimine sahip olduğu; buna karşın çözünmüş oksijen uygulamalarının fide gelişimini olumlu yönde etkilediği anlaşılmaktadır.



Yaprak Alanı, Çevresi, Boyu ve Genişliği

Deney kapsamında, farklı uygulamaların yaprak gelişimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla; yaprak alanı, yaprak çevresi, yaprak boyu ve yaprak genişliği ölçümleri alınmıştır (Çizelge 4). Her grup için ölçümler fidelerdeki yapraklardan elde edilerek ölçümlenmiş, ortalama ve standart sapmalar hesaplanmıştır. Bu ölçümler, ilgili uygulamaların bitki gelişimi üzerindeki etkilerini karşılaştırmak ve farklı oksijen ve tuz uygulamalarının yaprak morfolojisi üzerindeki rolünü ortaya koymak için kullanılmıştır.

Çizelge 4. Yaprak morfolojik özellikleri.

Deney Grupları	Yaprak Alanı Ortalama $\pm$ SD (cm ²)	Yaprak Çevresi Ortalama $\pm$ SD (cm)	Yaprak Boyu Ortalama $\pm$ SS (cm)	Yaprak Genişliği Ortalama $\pm$ SS (cm)
N	7.16 $\pm$ 2.90 ^{bc}	15.00 $\pm$ 3.32 ^c	3.15 $\pm$ 0.65 ^c	3.00 $\pm$ 0.58 ^c
T303	-	-	-	-
O1	15.46 $\pm$ 3.05 ^b	25.24 $\pm$ 2.26 ^b	4.53 $\pm$ 0.19 ^b	4.69 $\pm$ 0.15 ^{ab}
O2	20.89 $\pm$ 0.76 ^a	29.38 $\pm$ 0.91 ^a	5.48 $\pm$ 0.13 ^a	5.14 $\pm$ 0.10 ^a
O3	5.43 $\pm$ 0.01 ^c	14.85 $\pm$ 0.89 ^c	2.85 $\pm$ 0.00 ^c	2.96 $\pm$ 0.26 ^c
T1	10.81 $\pm$ 3.68 ^{bc}	18.59 $\pm$ 3.04 ^c	3.93 $\pm$ 0.61 ^{bc}	3.61 $\pm$ 0.60 ^{bc}
T2	10.34 $\pm$ 2.77 ^{bc}	16.52 $\pm$ 3.08 ^c	3.27 $\pm$ 0.45 ^c	3.90 $\pm$ 0.63 ^{bc}
T3	-	-	-	-

Yaprak alanı, çevresi, uzunluğu ve genişliği üzerine yapılan tek yönlü varyans analizleri (ANOVA), tüm parametrelerde uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğunu göstermiştir ($p < 0.001$). Tüm morfolojik özellikler açısından en yüksek değerler O2 grubunda belirlenmiş, O1 grubu da benzer şekilde yüksek sonuçlar vermiştir. Buna karşılık O3 grubu en düşük değerleri gösterirken, yüksek tuzlu uygulamalarda (T3 ve T303) hiçbir yaprak gelişimi gözlenmemiştir. N, T1 ve T2 grupları ise orta düzeyde değerlere sahip olmuş ve çoğunlukla benzer istatistiksel gruplamalarda yer almıştır. Yaprak alanı açısından O2 grubunun öne çıkması, orta düzeydeki oksijen uygulamasının fotosentetik doku gelişimini desteklediğini göstermektedir. O1 grubu da nispeten yüksek yaprak alanı ile bu etkiyi takip etmiş, O3 grubundaki düşük değerler ise aşırı oksijenin yaprak morfolojisini sınırlayabileceğine işaret etmiştir. Bu durum, reaktif oksijen türlerinin (ROS) hücre bölünmesini baskılamasıyla açıklanabilir (Gill ve Tuteja, 2010). T3 ve T303 gruplarında yaprak gelişiminin tamamen durması, yüksek tuz stresi ve oksijen kombinasyonunun bitkinin yaprak oluşturma kapasitesini tümüyle bastırdığını göstermektedir. Yaprak çevresi de yaprak alanı ile paralel bir eğilim sergilemiş ve O2 grubunda en yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu sonuç, orta düzey oksijenin yaprak büyümesini yalnızca boyut açısından değil, kenar gelişimi bakımından da desteklediğini ortaya koymaktadır. O1 grubu benzer şekilde yüksek çevre değerleri gösterirken, N, T1, T2 ve O3 grupları daha düşük ve benzer seviyelerde kalmıştır.

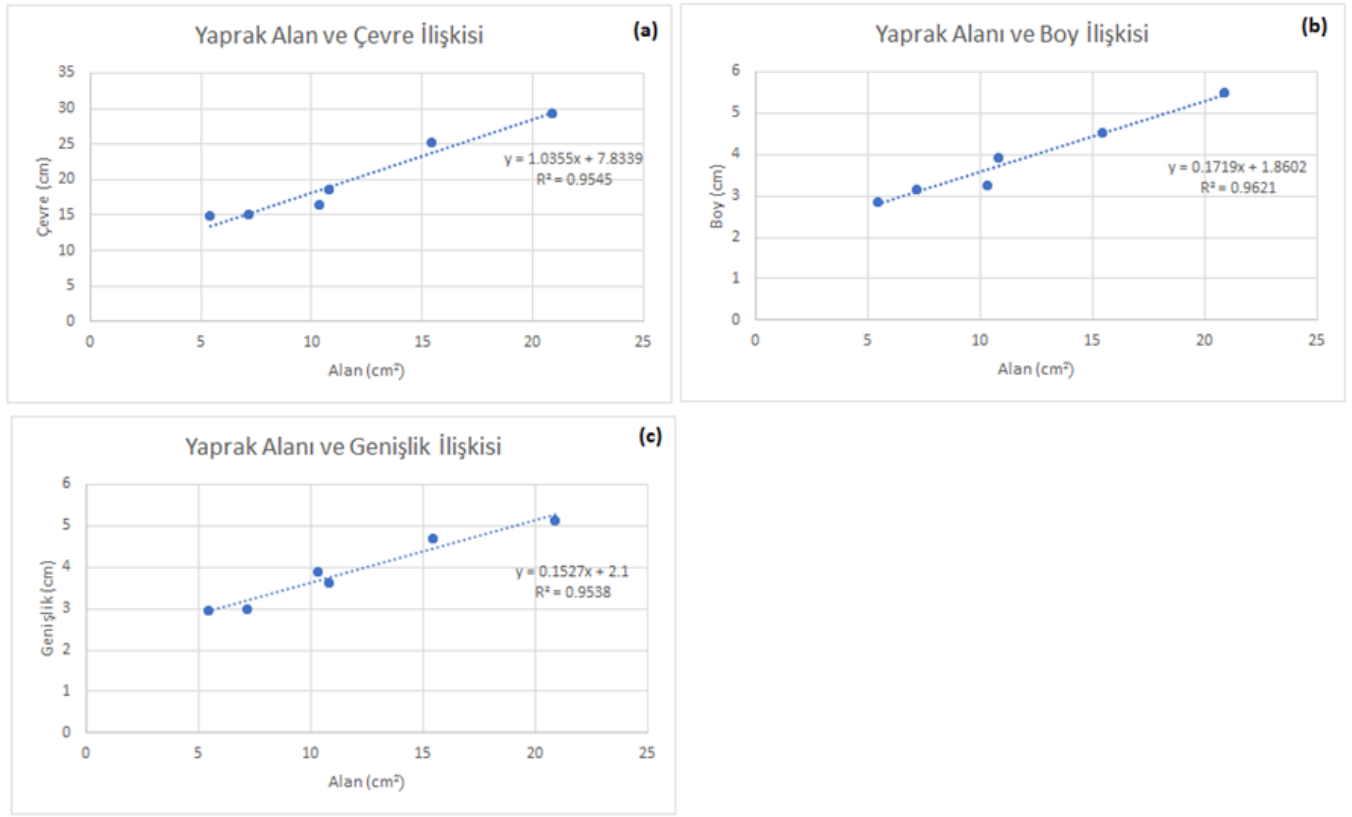
Yaprak genişliği ve uzunluğu da O2 ve O1 gruplarında en yüksek bulunmuş, özellikle O2 grubu her iki parametrede de tüm diğer gruplardan anlamlı şekilde ayrılmıştır. Bu durum, orta oksijen seviyesinin hem yatay (genişlik) hem de dikey (uzunluk) büyümeyi destekleyerek yaprak morfolojisine avantaj sağladığını düşündürmektedir. O3 grubundaki düşük yaprak boyutları ise oksijen fazlalığının hücre uzaması ve bölünmesi üzerinde baskılayıcı etki yapabileceğini göstermektedir.

Genel olarak, elde edilen bulgular orta düzey oksijen uygulamasının (O2) yaprak morfolojik özelliklerinin gelişimini desteklediğini, yüksek oksijenin (O3) ise bu gelişimi sınırlandırdığını ortaya koymaktadır. Tuz stresi koşullarında özellikle yüksek tuzlu uygulamalarda (T3 ve T303) yaprak gelişiminin hiç gerçekleşmemesi, bitkinin morfolojik büyümesini tamamen engellediğini göstermektedir. Bu sonuçlar, oksijenin yaprak gelişimi için optimum seviyelerde faydalı, aşırı seviyelerde ise zararlı olabileceğini ortaya koymakta; aynı zamanda tuz stresinin bitki morfolojisi üzerindeki baskılayıcı etkisini de açıkça ortaya koymaktadır.

Uygulamaların Yaprak Özellikleri Üzerindeki Etkileri ve Özellikler Arası İlişkiler

Bu bölümde, farklı uygulamaların yaprak yapısına etkilerini daha kapsamlı değerlendirebilmek amacıyla yaprak morfolojik özellikleri (boy, genişlik, çevre ve alan) arasındaki ilişkiler korelasyon ve regresyon analizleri ile incelenmiştir. Bu analizler, uygulamaların yaprak boyutlarını nasıl şekillendirdiğini ve yaprak alanının temel boyutlardan ne ölçüde tahmin edilebildiğini ortaya koymaktadır (Şekil 4). Yaprak boyu, genişliği, çevresi ve alanı arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, tüm değişkenler arasında pozitif ve yüksek düzeyde anlamlı ilişkiler bulunduğunu göstermektedir ($p < 0.001$). En güçlü ilişki yaprak alanı ile genişlik arasında ($r \approx 0.99$), bunu alan ile uzunluk arasındaki ilişki ($r \approx 0.98$) izlemiştir. Bu bulgular, yaprak alanının her iki boyut bileşeni tarafından güçlü şekilde belirlendiğini göstermektedir.

Yaprak alanını tahmin etmeye yönelik çoklu doğrusal regresyon analizinde yaprak uzunluğu ve genişliği bağımsız değişken olarak modele dahil edilmiştir. Model istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuş ($p < 0.001$) ve yaprak alanındaki varyansın yaklaşık %98'inin bu iki değişken tarafından açıklandığı belirlenmiştir ($R^2 = 0.98$). Her iki değişkenin modele anlamlı katkı verdiği, ancak yaprak genişliğinin etki büyüklüğünün daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Yaprak alanı ile morfolojik parametreler arasındaki ilişkilerin dağılım grafikleri: (a) Yaprak alanı – çevre, (b) Yaprak alanı – boy, (c) Yaprak alanı – genişlik. (Her bir grafikte gösterilen çizgi, doğrusal regresyon doğrusunu; R² değeri ise modelin açıklanaabilirlik oranını göstermektedir. Tüm ilişkiler p < 0.001 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır.)

Bu sonuçlar, yaprak alanını belirleyen temel morfolojik boyutların uzunluk ve genişlik olduğunu göstermektedir. Ayrıca, farklı uygulamaların yaprak yapısında oluşturduğu değişikliklerin, bu temel boyutlar üzerinden yaprak alanına yansıdığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, uygulamalar arasındaki yaprak morfolojisi farklılıklarının değerlendirilmesinde yalnızca iki ölçümün (uzunluk ve genişlik) yeterli ve güvenilir bir gösterge olduğu söylenebilir.

Yaprak Biyokütlesi (Yaş ve Kuru Ağırlık)

Farklı uygulamaların yaprak biyokütlesi üzerindeki etkileri, yaprak yaş ağırlığı ve kuru ağırlık verileri kullanılarak değerlendirilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Gruplara ait ortalama yaprak yaş ve kuru ağırlık değerleri ve standart sapmaları (g).

Deney Grupları	Yaş Ağırlık Ortalama ± SD (g FW)	Kuru Ağırlık Ortalama ± SD (g DW)
N	0.093 ± 0.021 ^d	0.016 ± 0.003 ^b
T303	-	-
O1	0.215 ± 0.005 ^b	0.040 ± 0.001 ^a
O2	0.273 ± 0.003 ^a	0.050 ± 0.000 ^a
O3	0.095 ± 0.010 ^d	0.020 ± 0.002 ^b
T1	0.149 ± 0.030 ^c	0.034 ± 0.007 ^a
T2	0.171 ± 0.025 ^c	0.034 ± 0.004 ^a
T3	-	-

Yaprak yaş ağırlığı üzerine yapılan tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonucunda, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur (F = 41.22, p < 0.001). En yüksek yaprak yaş ağırlığı O2 grubunda ölçülmüş ve bu grup, tüm diğer gruplardan anlamlı şekilde farklı bulunmuştur. O2'yi, O1 ve T2 grupları takip etmiş; bu iki grup kendi aralarında kısmen benzerlik göstermiştir. T1 grubu, T2'ye göre daha düşük yaş ağırlığına sahipken, en düşük değerler N ve O3 gruplarında gözlenmiş ve bu iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.

O2 grubunda yaprak yaş ağırlığının en yüksek çıkması, bu koşulun yaprak dokusunun su içeriğini ve taze biyokütleyi en iyi şekilde koruduğunu göstermektedir. Orta düzeydeki O1 ve T2 grupları, düşük oksijen ve orta tuz stresinin yaprak gelişimini kısmen desteklediğini düşündürür. Buna karşılık, N ve O3 gruplarının düşük değerleri, kontrol koşulunun ve yüksek oksijenin yaprak biyokütlesi açısından avantaj sağlamadığını ortaya koymaktadır; özellikle O3'te reaktif oksijen birikiminin hücre genişlemesini ve su tutmayı olumsuz etkileyebileceği düşünülmektedir.

Yaprak kuru ağırlık verilerine uygulanan tek yönlü ANOVA sonuçları da gruplar arası farkın yüksek olduğunu doğrulamıştır ($F = 33.38$, $p < 0.001$). Grupların toplam varyansın %93.3'ünü açıkladığı ($\eta^2 = 0.933$) bu analizde, ortalamalar arasındaki farkın etki büyüklüğü ($f = 3.73$) çok büyük olarak belirlenmiştir. Tukey HSD testi sonuçlarına göre, kuru ağırlık ortalamaları istatistiksel olarak iki ana gruba ayrılmıştır. En yüksek kuru ağırlık değerleri (a) kümesinde yer alan O1, O2, T1 ve T2 gruplarında gözlenmiştir. Bu grupların kendi aralarındaki farklılıklar anlamlı bulunmazken; en düşük kuru ağırlık değerlerini içeren (b) kümesi ise N ve O3 gruplarından oluşmuştur ve bu iki grup da birbirlerinden anlamlı bir farklılık göstermemiştir.

Kuru ağırlık sonuçları (yaprak yapısısal madde birikimini yansıtır), grupların biyokütle oluşturma yeteneğini yaş ağırlık bulgularıyla paralel olarak desteklemektedir. (b) kümesindeki (O1, O2, T1, T2) grupların yüksek kuru ağırlık değerleri, bu uygulamaların yaprakta su içeriğinin yanı sıra organik madde (karbonhidrat, protein vb.) birikimini de teşvik ettiğini düşündürmektedir. Özellikle N ve O3 gruplarının en düşük kuru ağırlıkta yer alması, yüksek oksijen veya kontrol koşulunun yapısal madde sentezini en az destekleyen koşullar olduğunu net bir şekilde göstermektedir.

Yaprak klorofil oranları

Yaprak klorofil içeriği üzerine yapılan tek yönlü varyans analizi (ANOVA), gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir ($F = 1.185$, $p = 0.37$). Tüm grupların klorofil değerleri birbirine oldukça yakındır (ortalama aralığı: 27.98 – 31.71 SPAD birimi). Bu durum, uygulanan farklı oksijen ve tuz streslerinin, yapraklarda klorofil birikimi üzerinde belirgin bir etki yaratmadığını göstermektedir. T3 grubunda sınırlı yaprak gelişimi ve T3O3 grubunda hiç yaprak oluşmaması nedeniyle bu gruplar analizden çıkarılmıştır. Gruplar arası klorofil içeriği dağılımı, (Şekil 5) de görsel olarak sunulmuştur. Grafik, tüm grupların benzer aralıklarda değerler aldığını ve aykırı bir sapma olmadığını göstermektedir.



Şekil 5. Farklı uygulamalara göre yaprak klorofil içeriği (SPAD) dağılımı.

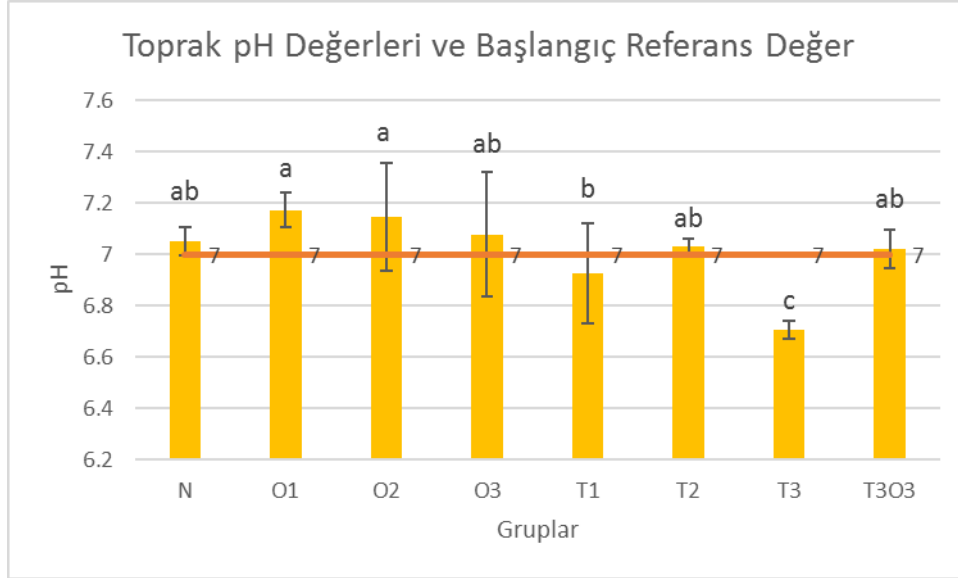
Klorofil içeriğinin stres koşullarında değişmemesi, kudret narı fidelerinin fotosentez kapasitesini korumaya öncelik verdiğini göstermektedir. Yaprak büyüklüğü azalsa bile, bitki mevcut yapraklardaki klorofil düzeyini sabit tutarak enerji üretimini sürdürmektedir. Bu bulgu, tuz stresine dayanıklı bitkilerde klorofil stabilitesinin korunduğunu gösteren çalışmalarla uyumludur (Ashraf ve Harris, 2013).

Toprak pH

Fidelerin gelişim sürecinin ardından, her grupta kullanılan toprak örneklerinin pH değerleri ölçülmüş ve farklı uygulamaların toprak pH ı üzerine etkisi tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir.

Analiz sonuçları, gruplar arasında toprak pH değeri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğunu göstermiştir ($F = 4.35$, $p < 0.05$). En yüksek pH değeri, O1 uygulamasında (7.17) ölçülmüştür. Bu grubu, istatistiksel olarak benzer değerlere sahip olan (O2, 7.15) ve (O3, 7.08) grupları takip etmiştir. Diğer tüm gruplar (N, T1, T2, T3), bu üç oksijenli gruptan istatistiksel olarak daha düşük pH değerlerine sahiptir. En düşük pH ise T3 grubunda (6.71) tespit edilmiş ve bu grup, diğer tüm gruplardan istatistiksel olarak anlamlı şekilde farklı bulunmuştur (Şekil 6). Uygulama öncesi başlangıç toprak pH değeri 7.00'dır.

Toprak pH'nın değişmesi, uygulanan streslerin toprağın kimyasını etkilediğini göstermiştir. Özellikle T3'teki düşüş, tuzun toprağı hafifçe asitleştirdiğini düşündürmektedir. Oksijen verilen gruplarda ise toprak biraz daha alkali kalmış ve bu da oksijenin toprak kimyasını farklı şekilde etkilediğini göstermiştir. Bu sonuç, bitkilerle toprak arasında güçlü bir etkileşim olduğunu hatırlamaktadır.



Şekil 6. Toprak pH değerleri dağılım grafiği

Köklerde belirlenen mikro element İçerikleri (Fe, Cu, Mn, Zn)

Fideleme döneminin sonunda yapılan kudret narı kök dokusu mikro element analizleri (Fe, Cu, Mn, Zn), uygulanan oksijen ve tuz seviyelerinin bitkinin mineral birikimi üzerinde belirgin ve farklılaşan etkileri olduğunu göstermiştir. Her gruba ait bitkilerin kök dokuları homojenleştirilerek tek bir kompozit örnek oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Bu nedenle, tablodaki değerler her grubun temsili konsantrasyonunu yansıtmakta olup, istatistiksel karşılaştırma yapılamamıştır. T3O3 grubunda ise yeterli kök oluşumu gerçekleşmediği için bu grup değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Çizelge 6. Kudret narı fide döneminde kök dokusundaki mikro element konsantrasyonları (Fe, Cu, Mn, Zn; ppm DW).

Deney Grupları	Fe (ppm DW)	Cu (ppm DW)	Mn (ppm DW)	Zn (ppm DW)
N	-	15	92	56
T3O3	-	-	-	-
O1	-	13	78	41
O2	-	21	96	60
O3	-	19	36	101
T1	-	5	50	28
T2	-	14	51	61
T3	-	14	50	58

Her gruba ait bitkilerin kök dokuları homojenleştirilerek tek bir kompozit örnek oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Bu nedenle, tablodaki değerler her grubun temsili konsantrasyonunu yansıtmaktadır; istatistiksel karşılaştırma yapılamamıştır.

Fe (Demir) konsantrasyonları tüm kök örneklerinde aşırı yüksek çıkmıştır. Bu durum, bitkinin yoğun Fe biriktirme eğilimi veya fizyolojik stres tepkimesi sonucu Fe'yi kökte tutma stratejisi ile açıklanabilir. Bununla birlikte, bu kadar yüksek Fe değerleri, örnek hazırlama aşamasında kök yüzeyinde kalan toprak veya yetiştirme ortamı parçacıklarından kaynaklanan bir kontaminasyon olasılığını da akla getirmektedir. Analiz edilen diğer mikro elementlerin alım dinamiklerinin daha net yorumlanabilmesi amacıyla Fe verileri bu analize dahil edilmemiştir.

O2 grubunda Cu (21 ppm) ve Mn (96 ppm) konsantrasyonları en yüksek seviyelerde tespit edilmiştir. Bu bulgu, orta düzey oksijen uygulamasının köklerin solunum ve enerji ihtiyacını karşılayarak Cu ve Mn alımını veya birikimini en verimli hale getirdiğini düşündürmektedir. Ancak, oksijen seviyesi yükseltildiğinde O3 grubunda Mn (36 ppm) konsantrasyonu en düşük seviyeye gerilerken, Zn (101 ppm) konsantrasyonu en yüksek değere ulaşmıştır. Bu durum, Zn'nin alım mekanizmasının Cu ve Mn'den farklı bir oksijen gereksinimi veya taşıyıcı protein hassasiyeti sergilediğine işaret etmektedir.

Tuzluluk uygulamalarının (T1, T2, T3) etkisi incelendiğinde, Manganez (Mn) konsantrasyonlarının tüm tuz gruplarında (~50 ppm) kontrol grubuna (N = 92ppm) kıyasla önemli ölçüde ve sabit bir şekilde baskılandığı gözlenmiştir. Bu bulgu, tuzluluk stresinin, seviyesinden bağımsız olarak, Mn alımını % 45 civarında azaltan güçlü bir inhibitör etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Öte yandan, Düşük Tuz (T1) grubu, Cu (5 ppm) ve Zn (28 ppm) için de en düşük konsantrasyonları göstermiştir. Bu sonuç, düşük tuz seviyesinde (T1) bitkinin Cu ve Zn alımını artıracak herhangi bir adaptif mekanizmayı tetiklemediğini ve bu elementlerin yetersiz birikiminin devam ettiğini düşündürmektedir.

Tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde, köklerde mikro element birikiminin en iyi şekilde, ekstrem koşullara maruz kalmadan, daha ılımlı ortamlarda gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Köklerdeki aşırı Fe birikimi metodolojik bir hata veya bitkinin fizyolojik bir stres tepkimesi olarak yorumlanabilir. Genel olarak, optimal çözünmüş oksijen seviyesinin (O2) getirdiği verim ve Mn alımının tuzluluğa karşı yüksek hassasiyeti, fide döneminde kök ortamının özellikle sudaki O2 konsantrasyonu açısından titizlikle yönetilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Toprakta belirlenen mikro element İçerikleri (Fe, Cu, Mn, Zn)

Deney süresince tüm gruplarda aynı başlangıç toprak örneği kullanılmıştır. Fide gelişimi döneminin sonunda, her gruptan alınan toprak örneklerinde Fe, Cu, Mn ve Zn içerikleri ölçülmüş (Çizelge 7) ve farklı uygulamaların toprakta mikro element dinamikleri üzerine etkisi tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir.

Çizelge 7. Kudret narı fide döneminde toprakta belirlenen mikro element konsantrasyonları (Fe, Cu, Mn, Zn; ppm DW).

Deney Grupları	Fe (ppm DW) Ortalama ± SD	Cu (ppm DW) Ortalama ± SD	Mn (ppm DW) Ortalama ± SD	Zn (ppm DW) Ortalama ± SD
N	8.16 ± 2.79 ^b	2.86 ± 0.45 ^{bc}	4.47 ± 2.93 ^d	1.63 ± 0.17 ^{bc}
T303	5.96 ± 0.77 ^c	2.92 ± 0.42 ^{bc}	8.63 ± 2.01 ^{ab}	1.49 ± 0.20 ^{cd}
O1	8.36 ± 1.84 ^b	3.10 ± 0.27 ^{bc}	4.26 ± 1.23 ^d	1.96 ± 0.24 ^{ab}
O2	9.56 ± 1.67 ^a	3.90 ± 0.38 ^a	5.94 ± 0.71 ^{cd}	2.22 ± 0.49 ^a
O3	8.96 ± 2.44 ^{ab}	3.62 ± 0.48 ^{ab}	6.98 ± 3.05 ^{bc}	1.59 ± 0.29 ^{bc}
T1	6.83 ± 0.70 ^{bc}	3.05 ± 0.30 ^{bc}	5.64 ± 1.94 ^{cd}	1.28 ± 0.11 ^d
T2	5.39 ± 1.02 ^c	2.56 ± 0.16 ^c	4.41 ± 0.12 ^d	1.38 ± 0.08 ^d
T3	9.43 ± 1.31 ^a	3.59 ± 0.13 ^{ab}	11.23 ± 0.43 ^a	1.47 ± 0.09 ^{cd}
Başlangıç	19.008	6.806	13.68	2.894

Fideleme dönemi sonunda topraktaki mikro element konsantrasyonlarında (Fe, Cu, Mn, Zn) belirgin değişiklikler gözlenmiştir. Başlangıçta Fe 19.01 ppm, Cu 6.81 ppm, Mn 13.68 ppm ve Zn 2.89 ppm seviyesindeyken, deneme sonunda Fe 5.39–9.56 ppm, Cu 2.56–3.90 ppm, Mn 4.26–11.23 ppm ve Zn 1.28–2.22 ppm aralığında ölçülmüştür. Tek yönlü ANOVA analizleri, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğunu göstermiştir (Fe: F=3.39, p<0.05; Cu: F=6.89, p<0.05; Mn: F=7.08, p<0.05; Zn: F=6.75, p<0.05). Tukey testi, O2 ve T3 gruplarının genellikle yüksek değerler gösterdiğini, T gruplarının özellikle T2'nin ise en düşük seviyelerde yer aldığını ortaya koymuştur.

Bu bulgular, sulama uygulamalarının topraktaki mikro elementlerin korunumu ve bitki tarafından kullanım dinamikleri üzerinde belirgin etkileri olduğunu göstermektedir. O2 ve T3 uygulamalarında ölçülen yüksek Fe, Cu ve Zn düzeyleri, bu koşullarda elementlerin toprakta daha fazla tutulduğunu veya bitki tarafından daha sınırlı tüketildiğini işaret etmektedir. Buna karşılık, diğer uygulamalarda gözlenen daha düşük seviyeler, bitkisel alımın artması ya da yıkanma kaynaklı kayıpların etkili olabileceğini düşündürmektedir. Bu sonuçlar, sulama stratejilerinin sadece su dengesini değil, aynı zamanda toprak mikro element statüsünü de önemli ölçüde şekillendirdiğini göstermektedir.

Yaprak dokusunda belirlenen mikro element konsantrasyonları (Fe, Cu, Mn, Zn)

Fideleme dönemi sonunda toplanan yaprak örneklerinde Fe, Cu, Mn ve Zn içerikleri analiz edilerek, farklı sulama uygulamalarının yaprakta mikro element birikimi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. T3 ve T303 gruplarında yaprak gelişimi olmadığından bu gruplar analiz dışında bırakılmıştır (Çizelge 8).

Çizelge 8. Kudret narı fide döneminde yaprak dokusundaki mikro element konsantrasyonları (Fe, Cu, Mn, Zn; ppm DW).

Deney Grupları	Fe (ppm DW) Ortalama $\pm$ SD	Cu (ppm DW) Ortalama $\pm$ SD	Mn (ppm DW) Ortalama $\pm$ SD	Zn (ppm DW) Ortalama $\pm$ SD
N	441 $\pm$ 466 ^a	12 $\pm$ 1 ^a	91 $\pm$ 39 ^a	43 $\pm$ 3 ^a
T303	-	-	-	-
O1	170 $\pm$ 30 ^a	9 $\pm$ 2 ^a	60 $\pm$ 14 ^a	31 $\pm$ 5 ^a
O2	165 $\pm$ 23 ^a	9 $\pm$ 1 ^a	73 $\pm$ 2 ^a	33 $\pm$ 5 ^a
O3	-	12 $\pm$ 2 ^a	117 $\pm$ 33 ^a	49 $\pm$ 1 ^a
T1	314 $\pm$ 166 ^a	11 $\pm$ 3 ^a	90 $\pm$ 9 ^a	43 $\pm$ 15 ^a
T2	210 $\pm$ 94 ^a	10 $\pm$ 2 ^a	78 $\pm$ 12 ^a	30 $\pm$ 6 ^a
T3	-	-	-	-

Fe içeriği üzerine yapılan tek yönlü ANOVA analizi, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir ($F=0.81$, $p=0.55$). Ortalama değerler incelendiğinde, Kontrol (N) grubu (441 ppm) ile en yüksek, Orta Oksijen (O2) grubu (165 ppm) ise en düşük Fe içeriğine sahip görünmektedir. Bu istatistiksel anlamsızlık, Fe konsantrasyonundaki bu tür dalgalanmaların uygulanan O veya T streslerinden değil, yüksek deneysel varyasyondan kaynaklandığını veya bitkinin Fe alımını strese karşı başarılı şekilde tamponladığını işaret eder. Demir, bitkilerde yeşil rengin oluşumu ve ışık enerjisi kullanımında önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, ileride demir miktarı ile yaprak yeşillik ölçümü (SPAD) gibi basit testlerin birlikte incelenmesi faydalı olabilir (Marschner, 2012).

Cu içeriği üzerine yapılan tek yönlü ANOVA analizi, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir ($F=1.51$, $p=0.26$). Ortalama Cu değerleri tüm uygulamalarda (9–12 ppm) dar bir aralıkta kalmıştır. En yüksek Cu içeriği (N) ve (O3) gruplarında (12 ppm) ölçülmüştür. Cu konsantrasyonlarının strese karşı bu kararlılığı, bu elementin alım mekanizmasının uygulanan oksijen ve tuz değişimlerine karşı dayanıklı olduğunu veya fizyolojik olarak yeterli seviyelerin bu dar aralıkta hızlıca korunduğunu düşündürmektedir. Elde edilen tüm Cu değerleri toksik seviyelerin çok altında kaldığından (Kabata-Pendias, 2011), bu seviyeler Kudret narı fidesi için yeterli ve güvenli sınırlar içindedir.

Mn içeriği üzerine yapılan tek yönlü ANOVA analizi, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir ($F=2.26$, $p=0.11$). P değerinin anlamlılık sınırı olan 0.05'e yakın olması, marjinal bir fark eğilimi olduğunu gösterir. Ortalama değerlere göre, en yüksek Mn içeriği (O3) (117 ppm) grubunda, en düşük içerik ise (O1) (60 ppm) grubunda saptanmıştır. Mn'deki bu belirgin ortalama farkın istatistiksel olarak anlamlı sınıra ulaşmaması, deneysel varyasyonun rolünü işaret etse de, yüksek oksijenasyonun Mn alımını desteklediği yönünde güçlü bir biyolojik eğilim vardır. Mn alımı, toprak pH'ı, nem ve diğer çevresel faktörlerden de etkilenebildiği için, bu sonuçların genellenmesi için ilave çalışmalara ihtiyaç vardır (Marschner, 2012).

Yaprak çinko (Zn) içeriği üzerine yapılan tek yönlü Varyans Analizi (ANOVA) sonucunda, uygulama grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($F=3.47$, $p=0.0359$). Çinko'nun, uygulanan koşullara genel bir yanıt verdiğini gösteren bu bulgu, Zn alım mekanizmasının çevresel faktörlere karşı bir miktar hassasiyet gösterdiğini düşündürmektedir. Ancak, bu genel farkın kaynağını belirlemek için yapılan Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi, $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyinde hiçbir grup çiftinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edememiştir (Tüm çiftler için $p > 0.05$). Bu durum, O3 grubu (49 ppm) gibi yüksek ortalamaya sahip gruplar ile en düşük ortalamaya sahip O1 ve T2 grupları arasındaki gözlemlenen farkın bile istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmediği anlamına gelmektedir. Gözlemsel olarak, düşük oksijen (O1) kaynaklı hipoksinin ve orta tuz (T2) kaynaklı tuzluluğun Zn alımını düşürdüğü görülürken, istatistiksel destek grubun yüksek varyansı nedeniyle zayıf kalmıştır. Zn alımındaki bu düşüşler, Zn'nin kofaktör olduğu enzim aktivitesini (özellikle karbonik anhidraz) ve oksin hormonu sentezini olumsuz etkileyerek fide gelişimini yavaşlatabilir. Zn alımının toprak pH'ı, organik madde ve diğer çevresel faktörlerden etkilenebildiği göz önüne alındığında, bu sonucun kesin olarak genellenmesi için daha geniş ve tekrarlı çalışmalara ihtiyaç vardır (Kabata-Pendias, 2011).

Sonuç

Bu çalışmada, kudret narı (*Momordica charantia* L.) bitkisinin erken gelişim döneminde farklı tuzluluk ve oksijen düzeylerini içeren sulama uygulamalarının etkileri değerlendirilmiştir. İncelenen fide gelişim parametreleri arasında özellikle sürgün uzunluğu, taze-kuru ağırlık ve mineral birikimi bakımından tuz ve oksijen düzeylerinin belirleyici olduğu görülmüştür. Kök uzunluğu açısından yapılan değerlendirmede ise uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Orta düzey oksijen uygulamalarının fide gelişimini desteklediği; buna karşılık yüksek tuzluluk düzeylerinin sürgün büyümesi, biyokütle artışı ve mineral birikimini olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Tuzluluk arttıkça bitki gelişim göstergelerinde düşüş meydana gelmiş, orta oksijen uygulamaları (50 ml suya 3–6 damla oksijenli su) ise bitkinin mineral alımını ve gelişim performansını iyileştirmiştir.

Araştırma bulguları, kudret narı fidesi yetiştiriciliğinde sulama suyunun yalnızca miktarının değil, içerdiği tuzluluk ve oksijen düzeylerinin de dikkatle yönetilmesi gerektiğini göstermektedir. Uygulamada düşük tuzluluk düzeyleri (0.65–3.25 g L⁻¹) ile orta oksijen uygulamalarının birlikte kullanılması, fide büyümesini destekleyen uygun bir yaklaşım olarak önerilmektedir.

Bu çalışmada kontrol uygulaması olarak kullanılan çeşme suyunun elektriksel iletkenlik (EC) değeri 0.38 dS m⁻¹ olarak belirlenmiş olup, bu değer düşük tuzluluk düzeyinde olmakla birlikte, uygulamalar arasındaki tuzluluk etkilerinin değerlendirilmesinde temel bir referans düzeyi sağlamaktadır. Farklı toprak koşulları ve iklim özelliklerinde yapılacak benzer çalışmalarla bu bulguların desteklenmesi, kudret narı üretiminde daha etkili ve sürdürülebilir sulama stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Ali A, Ferdosi FH, Sarwar M, Anjum S, Mushtaq Z, Liaquat M, Abbas MT, Anees M, Tariq MR, Ashraf MI, Alasmari A, Mondol MSA, Abdi G, 2025. Inducing salt stress tolerance in bitter melon (*Momordica charantia*) through seed treatment with chitosan. *Front. Plant Sci*, 15, 1525561. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1525561>
- Angon PB, Mollah MR, Rahman MM, 2022. How do plants respond to combined drought and salinity stress? *Front. Plant Sci*, 13, 965390. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.965390>
- Ashraf M, Harris PJC, 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51(2), 163–190. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6>
- Atta K, Mondal S, Gorai S, Singh AP, Kumari A, Ghosh T, Roy A, Hembram S, Gaikwad DJ, Mondal S, Bhattacharya S, Jha UC, Jespersen D, 2023. Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. *Front. Plant Sci.*, 14, 1241736. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1241736>
- Barba-Espín G, Diaz-Vivancos P, Job D, Belghazi M, Job C, Hernández JA, 2011. Understanding the role of H₂O₂ during pea seed germination: a combined proteomic and hormone profiling approach. *Plant Cell Environ*, 34(11), 1907–1919. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02386.x>
- Fiorani F, Schurr U, 2013. Future scenarios for plant phenotyping. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 64, 267–291. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120137>
- Fonseka HH, Wickramasinghe IP, Bandara DC, 2011. Studies on deterioration and germination of bitter melon seed (*Momordica charantia* L.) during storage. *Acta Hort.*, 898, 13–18. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.898.2>
- Gill SS, Tuteja N, 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol. Biochem*, 48(12), 909–930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Hasanuzzaman M, Bhuyan MHMB, Zulfiqar F, Raza A, Mohsin SM, Mahmud JA, Fujita M, Fotopoulos V, 2020. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, 9(8), 681. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>
- Jisha KC, Vijayakumari K, Puthur JT, 2013. Seed priming for abiotic stress tolerance: An overview. *Acta Physiol. Plant.*, 35(5), 1381–1396. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1186-5>
- Joseph B, Jini D, 2013. Antidiabetic effects of *Momordica charantia* (bitter melon) and its medicinal potency. *Asian Pac. J. Trop. Dis.*, 3(2), 93–102. [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(13\)60052-3](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(13)60052-3)
- Kabata-Pendias A, 2011. Trace elements in soils and plants (4th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10158>
- Khan MA, Asaf S, Khan AL, Jan R, Kang SM, Lee IJ, 2022. Abiotic stress responses in plants: A review on seed germination and early seedling growth under stress conditions. *Plants*, 11(15), 1932. <https://doi.org/10.3390/plants11151932>
- López-Méndez AG, Rodríguez-Pérez JE, Mascorro-Gallardo JO, Sahagún-Castellanos J, Lobato-Ortiz R, 2024. Sodium chloride tolerance during germination and seedling stages of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) lines native to Mexico. *Horticulturae*, 10(5), 466. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050466>

- Marschner P, 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd Edition, Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>
- Naïtchédé LHS, Nyende AB, Runo S, Borlay AJ, 2023. Plant regeneration from embryogenic callus-derived from immature leaves of *Momordica charantia* L. *Heliyon*, 9(11), e22122. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22122>
- Özsan Kılıç T, Onus AN, 2023. A study on bitter gourd (*Momordica charantia* L.) callogenesis optimization based on hormone balance and explant types. *Int. J. Agric. Environ. Food Sci.*, 7(3): 633–638. <https://doi.org/10.31015/jaefs.2023.3.17>
- Paul V, Pandey R, Solaiyappan M, Mukherjee P, 2024. Sample collection and digestion methods for elemental analysis of plant. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35285.64481>
- Pongkitwitoon B, 2019. In vitro cultures of medicinal plant *Momordica charantia* L. and their applications. *Isan J. Pharm. Sci.*, 15(1): 58-68. <https://doi.org/10.14456/ijps.2019.4>
- Taiz L, Zeiger E, 2010. *Plant Physiol.*, 5th Edition. Sinauer Associates.
- Tavakkoli E, Fatehi F, Rengasamy P, McDonald GK, 2010. Additive effects of Na⁺ and Cl⁻ ions on growth, physiological processes, and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) under salinity stress. *J. Exp. Bot.*, 61(15), 4449–4459. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq251>
- Temizel KE, Odabaş MS, Şenyer N, Kayhan G, Bajwa S, Çalışkan O, Ergun E, 2014. Comparision of some models for estimation of reflectance of hypericum leaves under stress conditions. *Cent. Eur. J. Biol.*, 9(12): 1226-1234.
- Thomas P, 2025. Continuous injection of hydrogen peroxide in drip irrigation. *Agronomy*, 15(2), 385. <https://doi.org/10.3390/agronomy1502038>



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

<http://dergi.toprak.org.tr>



Eskişehir İli Çifteler İlçesi tarım arazilerinde bazı koruyucu tarım uygulama yöntemlerinin toprak özellikleri üzerine etkileri

^{ID} Ayten NAMLI^{1*}, ^{ID} Nihal Ceren ALICI SUNGUR¹, ^{ID} Muhittin Onur AKÇA¹,
^{ID} Zeynep Sude SAPMAZ¹, ^{ID} Nilüfer ARAÇ², ^{ID} Elif Arzu YILDIZ²

¹Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara

²WWF-Türkiye Doğal Hayatı Koruma Vakfı, İstanbul

Öz

Bu çalışmada, Eskişehir ili Çifteler ilçesinde kuru ve sululu tarım koşullarında iki pilot deneme alanında dört yıl süreli denemeler yürütülmüştür. Denemelerde doğrudan ekim, örtü bitkisi, ekim nöbeti ve kompost özütü uygulamalarını içeren koruyucu tarım uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Dördüncü yılın sonunda, bu uygulamaların toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine etkilerini belirlemek amacıyla 0-20 cm derinlikten toprak örnekleri alınmış; ayrıca, karşılaştırma amacıyla bitişik konvansiyonel tarım alanlarından referans örneklemeler gerçekleştirilmiştir. Topraklarda tekstür, saturasyon yüzdesi (Sat.), su tutma kapasitesi (STK), pH, organik karbon (OC), toplam azot (N) gibi temel özelliklerin yanı sıra, karbon mineralizasyon oranı (CMO), mikrobiyal biyokütle karbonu (Cmic), bazal solunum (CO₂ çıkışı), metabolik katsayı (qCO₂), Cmic/Corg oranı ve Katalaz enzim aktivitesi gibi biyolojik göstergeler analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, özellikle kompost özütü uygulamasının Sat. ve STK üzerinde anlamlı (p<0.05) artış sağladığını göstermiştir. Kuru tarım sahasında, koruyucu tarım uygulanan topraklarda toplam azot içeriği referans topraklara göre daha yüksek bulunmuş; ancak bu fark sululu tarım sahasında belirgin değildi. Her iki pilot alanda da koruyucu tarım uygulanan topraklarda OC, Cmic ve Katalaz enzim aktivitesi değerleri geleneksel yönetim sistemine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı şekilde (p<0.05) yüksek saptanmıştır. Öte yandan, CMO değerleri konvansiyonel sistemlerde daha yüksek olup, özellikle sıcak dönemlerde artış göstermiştir. Bu durum, koruyucu tarımın karbonun toprakta tutulmasına katkı sunduğunu göstermektedir. Ayrıca, qCO₂ değerlerinin daha düşük olması, mikrobiyal etkinliğin ve substrat kullanım verimliliğinin arttığını ortaya koymuştur. Uygulanan işlemler ile toprak parametreleri arasındaki ilişkileri daha ayrıntılı bir şekilde incelemek amacıyla Temel Bileşenler Analizi (PCA) gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, toplam 14 farklı toprak parametresi PCA'ya tabi tutularak, uygulamalar arasındaki varyansa katkı sağlayan temel değişkenler belirlenmiş ve farklı yönetim uygulamalarına bağlı olarak toprakta gözlenen etkiler daha iyi anlaşılmasına çalışılmıştır. Sonuç olarak, koruyucu tarım uygulamaları, toprak biyolojik yapısının iyileştirilmesinde önemli rol oynamakla birlikte, kuru ve sululu tarım sisteminin ikisinde de geleneksel tarıma kıyasla toprak kalitesini artırma potansiyeli taşıdığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Koruyucu tarım, toprak kalitesi, sürüm, toprak enzimleri, metabolik katsayı, karbon mineralizasyon oranı.

Effects of some conservation agriculture practices on soil properties in agricultural lands of Çifteler District, Eskişehir Province

Abstract

This study was conducted over four years in two pilot experimental sites under dryland and irrigated farming conditions in the Çifteler District of Eskişehir Province. Conservation agriculture practices, including direct seeding, cover cropping, crop rotation, and compost extract application, were implemented in the trials. At the end of the fourth year, soil samples were collected from a depth of 0-20 cm to determine the effects of these practices on the physical, chemical, and biological properties of the soil. In addition, reference samples were taken from adjacent conventional farming areas for comparison purposes. Soil analyses included texture, saturation percentage, water holding capacity (WHC), pH, organic carbon (OC), and total nitrogen (N), along with biological indicators such as carbon mineralization rate (CMR), microbial biomass carbon (Cmic), basal respiration (CO₂ release), metabolic quotient (qCO₂), Cmic/Corg ratio, and catalase enzyme activity. The findings indicated that compost extract application, in particular, significantly improved saturation percentage and water holding capacity. In the dryland site, soils under conservation agriculture had higher total nitrogen content compared to the reference soils; however, this difference was not evident in the irrigated site. In both pilot sites, soils under conservation management showed significantly higher levels of organic

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (532) 454 9351

E-posta : namli@ankara.edu.tr

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 21 Temmuz 2025

Kabul Tarihi : 15 Aralık 2025

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbbd.1747660

carbon (OC), microbial biomass, and catalase enzyme activity compared to conventional management ($p<0.05$). On the other hand, carbon mineralization values were higher in conventionally managed soils, especially during warmer periods. This suggests that conservation practices contributed to retaining carbon in the soil. Furthermore, lower qCO_2 values indicated improved microbial efficiency and better substrate utilization. To further explore the relationships between the implemented treatments and soil parameters, Principal Component Analysis (PCA) was conducted. In this context, a total of 14 different soil parameters were subjected to PCA to identify the key variables contributing to the variance among treatments and to gain a better understanding of the observed effects of different management practices on soil. As a result, conservation agriculture practices were found to play a significant role in improving the biological structure of the soil and to have the potential to enhance soil quality in both dryland and irrigated farming systems compared to conventional agriculture.

Keywords: Conservation agriculture, soil quality, tillage, soil enzymes, metabolic coefficient, carbon mineralization rate.

© 2025 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Toprak, bitkisel üretimin sürdürülebilirliği açısından temel doğal kaynaklardan biridir. Toprak ekosistemi, sürdürülebilir tarım sistemlerinin ana bileşenlerinden biri olup hem kimyasal bileşimi hem de biyolojik işlevselliği ile verimliliği doğrudan etkilemektedir. Toprak organik maddesinin zenginliği, kimyasal dengesi ve mikrobiyal çeşitliliği hem ürün verimliliğini hem de ekosistem hizmetlerini belirleyici şekilde etkilemektedir.

Toprak işleme; yabancı ot kontrolü ve ürün artıklarının işlenmesi yoluyla ürün üretimini teşvik etmek için kullanılan önemli bir tarımsal yönetim uygulamasıdır (Kladivko, 2001). Ancak yoğun mekanik müdahaleyi içeren geleneksel toprak işleme (örneğin pullukla sürüm), toprak kalitesini bozarak erozyona, besin maddesi kaybına ve toprak yapısının bozulmasına neden olmaktadır (Zhang, 2012). Bu olumsuzluklara alternatif olarak, sıfır toprak işleme veya azaltılmış toprak işleme gibi koruyucu nitelikli toprak işleme sistemleri geliştirilmiştir. Bu uygulamalar, geleneksel toprak işlemeye kıyasla çeşitli çevresel, ekonomik ve sosyal avantajlar sağlamaları nedeniyle giderek yaygınlık kazanmıştır (Busari ve ark., 2015).

Geleneksel toprak işleme ve monokültür temelli üretim sistemleri, zamanla toprak organik maddesinin azalmasına, mikrobiyal çeşitliliğin baskılanmasına ve kimyasal dengenin bozulmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle toprak verimliliğini korumaya ve artırmaya yönelik, doğaya uyumlu agroekolojik temelli koruyucu tarım uygulamaları önem kazanmaktadır. Doğrudan ekim, örtü bitkisi kullanımı, ekim nöbeti ve kompost özütü (kompost çayı) gibi uygulamalar; toprak işlemlerini azaltmakta, organik madde içeriğini artırmakta ve mikrobiyal faaliyetleri teşvik etmektedir. Bu yöntemler sayesinde, toprakta yapısal stabilite korunmakta, su tutma kapasitesi iyileşmekte ve mikrobiyal çeşitlilik dengelenmekte ve desteklenmektedir. Toprakta artan C_{mic}, enzim aktiviteleri ve solunum gibi biyolojik parametreler, besin döngüsünün etkinleşmesine katkı sağlamaktadır.

Tarımsal ekosistemlerde, kültür bitkileri ile birlikte veya rotasyon sistemleri içinde ekilebilen çeşitli örtü bitkilerinden oluşan karışımlar, toprak kalite parametrelerini ve mikrobiyal aktiviteyi geliştirerek toprak verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda, örtü bitkileriyle kaplı toprak yüzeylerinin; çıplak, bitki örtüsünden yoksun veya yoğun toprak işleme yapılan alanlara kıyasla daha yüksek mikrobiyal işlevselliğe sahip olduğu bildirilmiştir (Steenwerth ve Belina, 2008).

Lal (2004), doğrudan ekim uygulamalarının toprakta OC birikimini desteklediğini ve bu yolla hem iklim değişikliğiyle mücadelede hem de toprak verimliliğinin korunmasında etkili olduğunu vurgulamıştır. Blanco Canqui ve ark. (2019), doğrudan ekimin toprağın fiziksel yapısını koruduğunu, su infiltrasyonunu ve OC birikimini desteklediğini belirtmiştir. Kırgızistan'daki yağmur rejimli ekosistemlerde yapılan bir çalışmada, farklı sıfır toprak işleme sistemlerinin toprak verimliliği ve nem kullanım etkinliğini olumlu yönde etkilediği rapor edilmiştir (Nurbekov ve ark., 2024).

Steenwerth ve Belina (2008), örtü bitkisi uygulamalarının toprakta azot dinamikleri ve mikrobiyolojik fonksiyonlar üzerindeki olumlu etkilerini deneysel olarak ortaya koymuştur. Ferreira ve ark. (2022)'ye göre örtü bitkileri; erozyonu engellemekte, kök salgıları yoluyla mikrobiyal aktiviteyi artırmakta ve azot ile organik madde döngüsüne katkı sağlamaktadır.

Kompost özütü (kompost çayı), toprak biyolojisini doğrudan besleyen ve enzim aktiviteleri ile mikrobiyal canlılığı artırarak besin çözünürlüğünü iyileştiren canlı mikrobiyal çözüldürlerdir. Tejada ve ark. (2006), kompost ve organik materyal uygulamalarının C_{mic}, CO₂ çıkışı ve dehidrogenaz gibi enzim aktivitelerinde anlamlı artış sağladığını göstermiştir. Diacono ve Montemurro (2010), uzun dönemli organik uygulamaların toprağın biyolojik aktivitesini, besin içeriğini ve fiziksel yapısını olumlu etkilediğini bildirmiştir. Tautges ve ark. (2019), örtü bitkileri ve kompost uygulamalarının hem yüzey hem de alt toprak katmanlarında OC

birikimini artırarak toprak kalitesini uzun vadeli olarak iyileştirdiğini ifade etmiştir. Metaanalizler ve tropikal ekosistemlerde yapılan çalışmalar da kompost özütlerinin toprak biyolojik fonksiyonları ve mikrobiyal çeşitlilik üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir (Blanco-Canqui ve ark., 2019). Yadav ve ark. (2021), kompost özütlerinin mikrobiyal çeşitliliği ve toprak biyolojik işlevselliğini artırmada etkili olduğunu ve sürdürülebilir üretim sistemleri için önemli bir potansiyel sunduğunu belirtmiştir. Kompost özütü uygulamaları, domates fide gelişimini, azot fiksasyonu yapan bakterilerin yoğunluğunu ve mikrobiyal çeşitliliği artırmakta olup; aynı zamanda tarımsal ekolojik ve döngüsel ekonomi yaklaşımlarının da bir parçası olarak değerlendirilmektedir (Yanez ve ark., 2023). El Maghraby ve ark. (2024) tarafından yürütülen bir çalışmada ise, mısır ve buğdayda kompost özütü ve mikorizal mantar uygulamalarının tuzluluk stresine karşı direnç sağladığı; toprak solunumu ve enzim seviyelerini artırarak verimi olumlu etkilediği bildirilmiştir.

Ekim nöbeti, farklı bitki türlerinin kullanımıyla topraktaki mikrobiyal toplulukları zenginleştirmekte, besin döngüsüne düzenleyici etki yapmakta ve patojen baskısını azaltmaktadır. Örneğin Kanada'da yürütülen bir çalışmada, 2, 3 ve 4 yıllık rotasyon sistemlerinin, toprak mikrobiyolojik çeşitliliği ve enzim aktivitelerinde belirgin artışlar sağladığı saptanmıştır (Hertel ve ark., 2023).

Yukarıda belirtilen literatür bulgularına göre, doğrudan ekim sistemi toprakta işleme müdahalesini azaltarak fiziksel yapıyı ve mikrobiyal habitatları korumaktadır. Örtü bitkileri, yüzey örtüsü sağlayarak erozyonu önlemekte; kök salgıları ile mikrobiyal aktiviteyi desteklemektedir. Ekim nöbeti, farklı bitki türlerinin seçici etkileriyle mikrobiyal çeşitliliği artırmakta; kompost özütleri ise dışsal faydalı mikroorganizmalar ve enzimlerle toprak biyotasını zenginleştirmektedir.

Bu bağlamda, Eti Burçak Sağlıklı Toprak Hareketi Projesi kapsamında yürütülen bu çalışma; koruyucu tarım uygulamalarının toprağın fizikokimyasal (pH, organik C, Sat., kum, silt ve kil vb.) ve biyolojik (Cmic, CO₂ çıkışı, qCO₂, Katalaz enzim aktivitesi) özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu sayede toprak sağlığının sürdürülebilirliği açısından önemli bilimsel bulgular sunulması hedeflenmektedir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, korumalı tarım uygulamalarının toprağın bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile bitki verimi üzerindeki etkilerini ortaya koymak amacıyla yürütülmüştür. Tarla denemeleri, sulu ve kuru koşullarda olmak üzere iki farklı pilot sahada gerçekleştirilmiştir. Kuru tarım uygulaması 33 dekarlık bir alanda, sulu tarım uygulaması ise 20 dekarlık bir alanda yürütülmüştür. Uygulamalara 2020 yılında başlanmış ve dört yıl boyunca her yıl tekrar edilerek sürdürülmüştür.

Pilot uygulamalarda, toprak analizlerine dayalı olarak önerilen gübreleme programı taban (DAP) ve üst gübreleme (üre) olarak uygulanmıştır. Korumalı tarım kapsamında yürütülen uygulamalar aşağıdaki gibidir:

- Ekim nöbeti, örtü bitkisi-baklagil-buğday örüntüsünde gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1).
- Örtü bitkisi olarak çavdar, macar fiği karışımı ekilmiş ve yeşil biçimde hasat edilmiştir (Çizelge 1).
- Doğrudan ekim, anıza doğrudan uygulanmıştır, arazi hazırlığı amaçlı herhangi bir işlem yapılmamıştır.
- Kompost özütü, sadece kuru tarım denemesinde uygulanmış ve bitki gelişim dönemine göre 3 kez, her defasında 1 L/da dozunda püskürtme yöntemiyle uygulanmıştır.
- Geleneksel tarım (referans arazi), her yıl ekimden önce arazi hazırlığı tekrarlanmış, toprak 20-30 cm derinliğinde pullukla sürülmüş, derin sürümden sonra düzleme işlemi, tırmık veya diskaro ile parçalama işlemleri yapılmıştır. Taban (DAP) ve üst gübreleme (üre) yıllık olarak tekrarlanmıştır.

Çizelge 1. Kuru ve Sulu tarım deneme alanlarında yıllara göre yapılan uygulamalar

UYGULAMA	Alan, da	2020 Sonbahar Ekimleri	2021 Sonbahar Ekimleri	2022 Bahar Ekimleri	2022 Sonbahar Ekimleri	2023 Sonbahar Ekimleri
Kuru tarım uygulaması	33	Buğday	Macar Fiği+ Çavdar	Nohut	Buğday	Buğday
Kuru tarım referans	25	Buğday	Buğday	Nadas	Buğday	Buğday
Sulu tarım uygulaması	20	Macar Fiği+Çavdar	Anız Olarak Kaldı	Buğday	Macar Fiği+Çavdar	-
Sulu tarım referans	25	Buğday	Buğday	Yulaf	Buğday	Buğday

Denemelerin dördüncü yılında, korumalı tarım uygulamalarının etkilerini değerlendirmek için farklı örnekleme zamanlarında 0-20 cm derinlikten toprak örnekleri alınarak mevsimsel değişimlerin de ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda Ağustos ve Mart olmak üzere iki örnekleme zamanı planlanmış ancak Sulu pilot sahada örnekleme, tarla sahibinin özel durumu nedeniyle Ağustos 2023 ve Kasım 2023'te gerçekleştirilmiş; Kuru pilot sahada ise Ağustos 2023 ve Mart 2024 tarihlerinde örnekleme yapılmıştır. Her iki pilot uygulama sahasındaki sonuçların değerlendirilmesi amacıyla, bitişik konvansiyonel tarım alanlarından da referans toprak örnekleri alınmıştır. Referans (kontrol) olarak seçilen 25 dekarlık arazide yılda üç kez sürüm yapılmakta ve DAP gübresi kullanılarak buğday üretimi gerçekleştirilmektedir; alanda herhangi bir organik gübre uygulaması bulunmamaktadır.

Deneme sahalarının geniş olması nedeniyle, eğim, renk ve toprak yapısı gibi değişkenlikleri de gözeticilerle her bir sahadan 8 adet toprak örneği alınmıştır. Tüm toprak numuneleri, *Kellogg Soil Survey Laboratuvar Yöntemleri El Kitabı'nda* (Soil Survey Staff, 2014) belirtilen standartlara uygun şekilde toplanmıştır. Toprak örneklerinde Tekstür (kum, silt, kil fraksiyonları) Hidrometre yöntemi ile Bouyoucos (1951)'e göre belirlenmiştir. Organik madde (%) Modifiye edilmiş Walkley-Black yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir (Jackson, 1979). Toprak pH'sı 1:2,5 (w:v) toprak/su oranında pH metre ile ölçülmüştür. Toplam azot Kjeldahl yöntemiyle, Bremner (1965) tarafından bildirilen prosedüre göre tayin edilmiştir. Bazal solunum (CO_2 çıkışı) Isermayer (1952)'ye göre, titrimetrik yöntemle belirlenmiştir. Mikrobiyal biyokütle karbonu (C_{mic}) Anderson ve Domsch (1978)'a göre, SIR yöntemi (substrate-induced respiration) esas alınarak, toprak-glikoz karışımının başlangıç solunum tepkisi ölçülmüş ve titrimetrik olarak analiz edilmiştir. Metabolik katsayı (qCO_2) CO_2 çıkışı değerinin C_{mic} değerine bölünmesiyle hesaplanmıştır. C_{mic}/C_{org} oranı, C_{mic} değerinin TOC değerine bölünmesiyle hesaplanmıştır. CMO, 30 günlük inkübasyon sürecinde her 3 günde bir ölçülen CO_2 çıkışı değerlerinin toplanması; elde edilen kümülatif C (CO_2) değerinin, toplam OC değerine bölünmesi elde edilmiştir ($CMO, \% = \frac{Kümülatif\ C\ (CO_2)}{C_{toplam}} \times 100$). Katalaz enzim aktivitesi Beck (1971)'e göre, hidrojen peroksitin ayrıştırılmasıyla açığa çıkan oksijenin gazometrik ölçümüyle belirlenmiştir.

İstatistiksel Analiz

Çalışmada elde edilen veriler, Origin Pro 2021 (OriginLab, Northampton, MA) istatistik yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Veriler, Tukey HSD testine göre ($p < 0,05$ düzeyinde) değerlendirilmiştir. Uygulamalara bağlı toprak analiz sonuçları, tek yönlü (One Way ANOVA) ve çift yönlü (Two Way ANOVA) varyans analizleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, toprak özellikleri ile uygulamalar arasındaki ilişkiler temel bileşen analizi (PCA) analizleri yardımıyla değerlendirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Sulu Tarım Pilot Çalışması Sonuçları

2020–2023 ekim döneminde korumalı tarım uygulaması yapılan sulu tarım pilot sahasında, dört yıllık uygulama sürecinin ardından alınan toprak örneklerine ait bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik analiz sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir. Sulu tarım pilot sahası ile karşılaştırma amacıyla kullanılan referans alan, aynı şekilde Killi Tın tekstür sınıfına sahip topraklardan oluşmaktadır. Her iki arazide de toprak yapısının benzer olması, uygulamaların etkisinin daha sağlıklı karşılaştırılmasına olanak sağlamıştır. Toprakların kimyasal özelliklerinden biri olan pH değeri de analiz edilmiştir. Buna göre, korumalı tarım uygulanan alanda toprak pH değeri ortalama 7,34 olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, referans olarak seçilen geleneksel tarım alanında pH değeri ortalama 7,64 olarak ölçülmüştür.

Sulu Pilot Arazisi Koruyucu Tarım Uygulamalarının Toprağın Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri

Satürasyon yüzdesi (Sat.), toprak boşluklarının doyma noktasında içerdiği suyun kuru toprak ağırlığına oranla yüzde cinsinden ifadesidir. Bu nem düzeyinde, suyun toprak tanecikleri tarafından tutulma kuvveti sifıra yakındır; dolayısıyla su tamamen yerçekimi etkisi altındadır. Sat., genellikle kumlu topraklardan killi topraklara doğru artış gösterir ve bu değerler, toprağın bünyesi ile gözeneklilik özellikleri hakkında önemli bilgiler sunar. Su tutma kapasitesi (STK) ise drenajı iyi çalışan bir arazide, toprağın tutabileceği maksimum su miktarını ifade eder. Toprağın bu özelliği, tarımsal üretimde su verimliliği ve bitki gelişimi açısından kritik bir parametredir. Bu çalışmada, koruyucu tarım uygulanan toprakların Sat. değerleri, her iki örnekleme döneminde de yüksek grupta yer almıştır. Buna karşılık, geleneksel tarım uygulanan Referans toprakların Sat. değerleri, özellikle ağustos ayındaki örnekleme döneminde anlamlı derecede ($p < 0,05$) daha düşük bulunmuştur. Uygulamalar arasında gözlenen bu fark, istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,05$) bulunmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 2. Sulu pilot saha topraklarının uygulamalara ve zamana bağlı Sat. ve STK değerlerindeki değişimler

Uygulamalar	Zaman	Sat.	STK %
Sulu Referans	Kasım	55,63 a	52,24 a
Sulu Korumalı Tarım	Ağustos	55,51 a	51,85 a
Sulu Korumalı Tarım	Kasım	53,91 a	51,15 a
Sulu Referans	Ağustos	45,96 b	43,18 b

Proje sahasında koruyucu tarım uygulanan toprakların STK değerleri, Sat. değerleriyle benzer şekilde, her iki örneklem döneminde de yüksek grupta yer almıştır. Buna karşılık, geleneksel tarım uygulanan referans toprakların STK değerleri, özellikle Ağustos ayındaki sıcak dönemde anlamlı ($p<0.05$) derecede daha düşük bulunmuştur. Uygulamalar arasındaki fark, istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$) bulunmuştur (Çizelge 2). Elde edilen bu sonuçlara göre, koruyucu tarım uygulamalarının, yaz mevsiminin sıcak ve kurak koşullarında dahi toprağın nemini koruma konusunda etkili olduğu görülmüştür.

Sulu Pilot Arazisi Koruyucu Tarım Uygulamalarının Toprağın Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkileri

Azot (N), bir makro besin elementi olup klorofilin temel bileşeni olmasının yanı sıra, proteinlerin yapı taşlarını oluşturan aminoasitlerin de ana yapı maddesidir. FAO (1990)'ya göre, topraklarda %0,09'un altında azot bulunması "yetersiz", %0,09–0,17 arası "yeterli" ve %0,17–0,35 arası ise "yüksek" düzeyde azot içeriği olarak değerlendirilmektedir. Bu sınıflamaya göre, araştırmaya dahil edilen toprakların Ağustos ayına ait toplam azot içerikleri yeterli düzeyde bulunurken, Kasım ayında alınan örneklerde azot içeriği yetersiz düzeye düşmüştür. Sulu Pilot saha koruyucu tarım uygulamasında, toprakların toplam azot içeriği Ağustos ayında Kasım ayına göre daha yüksek saptanmış ve bu zamana bağlı azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Öte yandan, koruyucu tarım uygulanan topraklar ile geleneksel yöntemlerle yönetilen referans topraklar karşılaştırıldığında, her iki örneklem zamanında da istatistiksel açıdan anlamlı ($p<0.05$) bir fark belirlenmemiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Sulu pilot saha topraklarının uygulamalara ve zamana bağlı toplam N, organik karbon (OC) ve CMO değerleri

Uygulamalar	N %	Uygulamalar	OC %	Uygulamalar	CMO %
Sulu Korumalı Ağustos	0,13 a	Sulu Korumalı Kasım	0,765 a	Sulu Referans Ağustos	84,28 a
Sulu Referans Ağustos	0,11 a	Sulu Referans Kasım	0,589 b	Sulu Korumalı Ağustos	58,34 b
Sulu Referans Kasım	0,06 b	Sulu Korumalı Ağustos	0,485 b	Sulu Korumalı Kasım	48,07 bc
Sulu Korumalı Kasım	0,05 b	Sulu Referans Ağustos	0,291 c	Sulu Referans Kasım	38,82 c

Toprak organik maddesi, toprağın ekolojik dengesinin sürdürülebilirliği ve verimliliği açısından önemli bir faktördür. Bu madde, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri tarafından kontrol edilmekte ve aynı zamanda bu özellikler üzerinde olumlu etkiler sağlamaktadır (Koçyiğit, 2008). Toprak organik karbonunun tutulmasında; karbon stoğunun kalitesi ve miktarı ile iklim, toprak tipi, vejetasyon türü ve yönetim şekli arasında karmaşık bir etkileşim bulunmaktadır (Lal, 2004). Toprak yüzeyine dökülen bitki artıkları, içerdiği karbon ve azot miktarına bağlı olarak mikrobiyal faaliyetleri etkilemekte; bu artıkların içerdiği besin elementleri mineralizasyon yoluyla toprağa karışmakta ve C/N oranını oluşturmaktadır. Toprak organik madde miktarını; nem, pH, sıcaklık, karbon, azot ve oksijen düzeyi gibi çevresel faktörler etkilemektedir. Organik madde, toprakta kaba porlar içeren agregat yapılarının oluşumunu ve bu yapıların stabilitesini desteklemektedir (Zhang ve ark., 2009).

Bu çalışmada, koruyucu tarım uygulanan sulu tarım arazilerine ait toprakların OC değerleri, her iki örneklem döneminde de geleneksel tarım uygulanan referans topraklara kıyasla daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Genel olarak Ağustos ayında toprakların OC içerikleri düşük; Kasım ayında ise daha yüksek düzeyde belirlenmiştir (Çizelge 3). Proje sahasında, koruyucu tarım uygulamalarına bağlı olarak toplam OC miktarında belirgin bir artış gözlenmiştir. Ayrıca, baklagil bazlı ürün yetiştiriciliği sadece azot kayıplarını azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda stabil toprak organik maddesinde tutulan ürün kalıntısı karbon oranını da artırmaktadır (Drinkwater ve ark., 1998).

Toprak organik karbonunun mineralizasyonu, organik maddelerin mikrobiyal ayrışma yoluyla inorganik bileşiklere dönüşmesi sürecidir. Bu süreç, bitki gelişimi için besin sağlarken aynı zamanda karbondioksit (CO₂) gibi sera gazlarının salımına neden olmaktadır. İnkübasyon süresince mineralize olan karbonun, toplam toprak organik karbonuna oranı karbon mineralizasyon oranı (CMO) olarak adlandırılmaktadır. Toprakta uygulanan çeşitli işlemlerin ve organik madde girişlerinin mikrobiyal aktivite üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde CO₂ salımına dayalı yöntemler uzun yıllardır kullanılmaktadır (Sağlıker, 2018; Sağlıker ve Mutlu, 2018).

Literatürde, laboratuvarda kurutulup elenmiş ve daha sonra yeniden nemlendirilerek inkübe edilen topraklarda yapılan 3 günlük CMO ölçümlerinin, doğal nemli koşullarda yapılan 24 günlük ölçümlerle büyük ölçüde örtüştüğü bildirilmiştir (Franzluebbers, 1999, 2018). Ayrıca 40°C ve 60°C'de kurutulup tekrar nemlendirilen topraklarda yapılan kısa dönemli (1–3 günlük) CMO ölçümlerinin, uzun dönemli (100 günlük) CO₂ salımı ve Cmic ile anlamlı (p<0.05) düzeyde korelasyon gösterdiği ifade edilmiştir (Haney, 1999; Franzluebbers, 2000).

Bu çalışmada hem koruyucu tarım uygulanan sulu pilot deneme topraklarında hem de geleneksel uygulama yapılan referans topraklarda, CMO değerleri Ağustos ayında yüksek, Kasım ayında ise daha düşük düzeyde bulunmuştur (Çizelge 3). Ağustos ayında koruyucu tarım uygulanan sulu arazideki CMO değerleri, referans topraklara kıyasla daha düşük seviyede belirlenmiştir. Kasım ayında ise sıcaklığın düşmesiyle birlikte CMO'da genel bir azalma gözlenmiş ve her iki uygulama grubundaki değerler benzer seviyelerde kalmıştır. Özellikle sıcaklığın yüksek olduğu yaz döneminde, koruyucu tarım uygulamaları C'un ayrışmasını engelleyerek toprakta tutulmasına katkı sağlamıştır. Buna karşılık, geleneksel tarım uygulanan topraklarda CMO önemli düzeyde daha yüksek gerçekleşmiştir (p<0,05).

Sulu Pilot Arazisi Koruyucu Tarım Uygulamalarının Toprağın Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkileri

Toprak karbon döngüsünün temel bileşenlerinden biri olan CO₂ çıkışı, toprakta C depolanmasının, biyolojik aktivitenin ve genel toprak kalitesinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Ewel ve ark., 1987). Toprakta bulunan heterotrofik mikroorganizmalar, organik maddeyi karbon ve enerji kaynağı olarak kullanırken metabolik süreçler sonucunda son ürün olarak CO₂ üretmektedirler. Toplam CO₂ üretiminin yaklaşık üçte ikisinin mikrobiyal faaliyetlerden, geri kalan üçte birinin ise bitki kök solunumu ve toprak faunasının solunumundan kaynaklandığı bildirilmektedir (Anderson ve Domsch, 1978).

Toprağa organik maddenin ilavesi, mikroorganizmaların bu materyaldeki OC kullanmalarını teşvik eder ve bunun sonucunda ortama daha fazla CO₂ salımı gerçekleşir. Bu nedenle CO₂ çıkışı, mikroorganizma aktivitesinin dolaylı bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada, her iki uygulama grubunda da toprakların CO₂ çıkışı değerleri, OC içerikleriyle benzer bir eğilim göstermiştir. Ağustos ayında CO₂ çıkışı daha düşük; Kasım ayında ise önemli düzeyde daha yüksek bulunmuştur (p<0,05; Çizelge 4). Özellikle Kasım ayı örneklemelerinde, koruyucu tarım uygulanan sulu arazi topraklarının CO₂ çıkışı değerleri, geleneksel tarım yapılan referans topraklara kıyasla daha düşük düzeyde saptanmıştır (p<0,05).

Çizelge 4. Sulu pilot saha topraklarının uygulamalara ve zamana bağlı CO₂ çıkışı, Cmic ve qCO₂ değerleri

Uygulamalar	CO ₂ çıkışı (mgCO ₂ /g toprak/h)	Uygulamalar	Cmic (mgCO ₂ /g toprak/h)	Uygulamalar	qCO ₂ (µg CO ₂ / µg Cmic /toprak/24 h)
Sulu Referans Kasım	0,093 a	Sulu Korumalı Ağustos	0,511 a	Sulu Referans Kasım	0,450 a
Sulu Korumalı Kasım	0,069 b	Sulu Referans Ağustos	0,283 b	Sulu Korumalı Kasım	0,290 b
Sulu Korumalı Ağustos	0,041 c	Sulu Korumalı Kasım	0,254 b	Sulu Referans Ağustos	0,107 c
Sulu Referans Ağustos	0,030 c	Sulu Referans Kasım	0,209 b	Sulu Korumalı Ağustos	0,082 c

Bu sonuçlar, Pankhurst ve ark. (1995)'in bulgularının aksine, toprak solunumu ölçümlerinin farklı toprak yönetim sistemleri arasındaki farkları belirlemede sınırlı bir ayırt ediciliğe sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, elde edilen bulgular topraktaki karbonun daha stabil hale geldiğine işaret etmekte olup, bu süreci daha net değerlendirebilmek için uzun dönemli izleme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Mikrobiyal biyokütle, 5×10^{-3} μm 'den büyük bitki kökleri ve toprak faunası hariç olmak üzere, toprak organik maddesinin yaşayan bir bileşeni olarak tanımlanmaktadır (Jenkinson ve Ladd, 1981). Toprak mikrobiyal biyokütlesi, toplam organik maddenin çok küçük bir kısmını oluşturmaya rağmen, oldukça dinamik bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, mikrobiyal biyokütlenin ölçülmesi; toprak yönetim sistemlerinin, toprak organik maddesi üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmek açısından önemli bir gösterge niteliği taşımaktadır (Brookes, 2001, Babujia ve ark., 2010).

Bu çalışmada, sulu tarım pilot sahasında koruyucu tarım uygulanan toprakların mikrobiyal biyokütle karbon (Cmic) değerleri (SIR yöntemi), geleneksel tarım uygulanan referans topraklarla karşılaştırıldığında anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$; Çizelge 4). Koruyucu tarım yönetimi altındaki topraklarda mikrobiyal biyoküttele gözlendi bu artış, aynı zamanda OC içeriğindeki artışla da uyumludur. Mikrobiyal biyokütledeki artış, toprak verimliliğindeki yükselişin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Garcia ve ark., 2000; Babujia ve ark., 2010).

Spesifik solunum hızı ($q\text{CO}_2$) ya da diğer adıyla metabolik katsayı, birim biyokütle başına ve zamanla ilişkili olarak gerçekleşen CO_2 üretimini ifade eder. Bu parametre, yalnızca CO_2 kıyasla mikrobiyal metabolik etkinliği değerlendirmede daha işlevsel bir ölçüttür. Bu nedenle verimlilik analizlerinde (Insam ve Haselwandter, 1989) ve ekim nöbeti çalışmalarında (Anderson ve Domsch, 1990) yaygın olarak kullanılmaktadır. $q\text{CO}_2$, hem CO_2 hem de Cmic'i birlikte değerlendirerek, toprak biyotasının farklı toprak yönetimi yaklaşımlarına verdiği tepkilerin ayırt edilmesinde güçlü bir gösterge olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmada, sulu tarım pilot sahasında koruyucu tarım uygulanan toprakların $q\text{CO}_2$ değerleri Kasım ayında, Ağustos ayına göre daha yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$; Çizelge 4). Ancak geleneksel tarım yapılan referans topraklarla karşılaştırıldığında, koruyucu tarım uygulanan toprakların $q\text{CO}_2$ değerleri her iki örnekleme döneminde de önemli derecede daha düşük seviyede bulunmuştur ($p < 0,05$; Çizelge 4). Kasım ayında $q\text{CO}_2$ değerleri sırasıyla koruyucu tarım için 0,29 ve geleneksel tarım için 0,45; Ağustos ayında ise sırasıyla 0,107 ve 0,082 olarak ölçülmüştür.

Anderson (2003), nötr reaksiyonlu topraklarda spesifik solunum hızının 0,5 ile 2,0 arasında değiştiğini belirtmiştir. Bu oranın 2'nin üzerine çıkması, enerji kullanım etkinliği düşük mikrobiyal toplulukların varlığına işaret etmektedir. Yüksek $q\text{CO}_2$ değerleri, organik substratların mikrobiyal biyokütle tarafından verimsiz kullanıldığını gösterir. Substrat kalitesinin düşük olduğu ya da toprakta stres koşullarının hâkim olduğu durumlarda, daha fazla karbon solunuma yönelmekte ve biyokütle üretimi azalabilmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda, çalışma alanında belirlenen $q\text{CO}_2$ değerleri değerlendirildiğinde, koruyucu tarım uygulamasının geleneksel uygulamaya kıyasla toprak kalitesinin korunmasında daha etkili bir yaklaşım olduğu söylenebilir.

Katalaz enzimi, hidrojen peroksit (H_2O_2) molekülünü su ve moleküler oksijene ayrıştıran bir enzimdir. Katalaz enzim aktivitesi, topraktaki aerobik mikrobiyal popülasyonun varlığı ve toprak verimliliği ile doğrudan ilişkilidir. Hücre içi (intraseküller) bir enzim olan Katalaz enzim aktivitesi, topraktaki aerobik mikroorganizma yoğunluğunu değerlendirmek için biyolojik indikatör olarak kullanılmaktadır (Garcia ve Hernandez, 1997). Katalaz enzim aktivitesi, toprak ekosisteminde önemli bir rol oynar ve toprak kalitesini değerlendirmede biyolojik aktivite indeksi olarak değerlendirilebilir (Qu ve ark., 2012). Yüksek Katalaz enzim aktivitesi hem toprak verimliliğinin hem de aerobik mikrobiyal varlığın göstergesi kabul edilmektedir (Burns, 1982).

Bu çalışmada, sulu tarım pilot deneme sahasından alınan toprak örneklerinde Katalaz enzim aktiviteleri Ağustos ayında, Kasım ayına göre daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 5). Uygulamalar kıyaslandığında ise, Pilot_2 sahasında koruyucu tarım uygulanan toprakların Katalaz enzim aktivitesi, geleneksel tarım yapılan referans topraklara göre her iki örnekleme döneminde de istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$).

Çizelge 5. Sulu pilot saha topraklarının uygulamalara ve zamana bağlı Katalaz enzim aktivitesi değerleri

Uygulamalar	Zaman	Katalaz Enzim Aktivitesi ($\text{ml O}_2 \text{ g}^{-1} 3 \text{ dak}^{-1}$)
Sulu Korumalı Tarım	Ağustos	875,07 a
Sulu Referans	Ağustos	668,88 b
Sulu Korumalı Tarım	Kasım	454,79 c
Sulu Referans	Kasım	366,23 c

Örtü bitkilerinin, toprakta Katalaz enzim aktivitesini artırdığı ve bu artışın örtü bitkileri aracılığıyla sağlanan organik madde birikimine bağlı olarak mikrobiyal faaliyetin artmasından kaynaklandığı çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur. Katalaz enzim aktivitesinin topraktaki mikrobiyal aktivite ile yakından ilişkili olması, bu bulguları desteklemektedir. Zhao ve ark. (2016), örtü bitkilerinin toprakta Katalaz enzim aktivitesini belirgin şekilde artırdığı sonucuna varmışlardır.

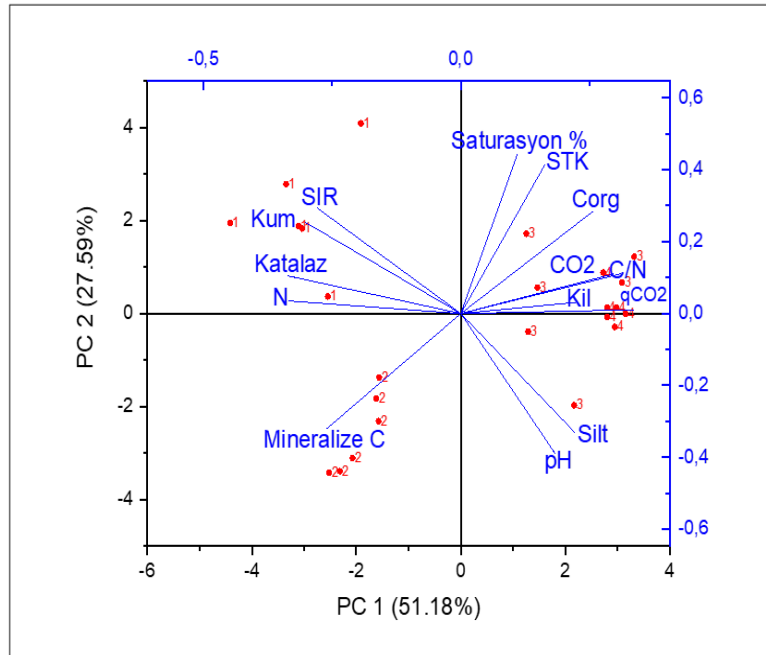
Sulu Tarım Uygulamasına Ait Temel Bileşenler Analizi (PCA)

Uygulamalar ile toprak parametreleri arasındaki ilişkileri daha ayrıntılı şekilde değerlendirmek amacıyla Temel Bileşenler Analizi (PCA) gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, toplam 14 farklı toprak parametresi PCA'ya tabi tutulmuş ve elde edilen dağılım sonuçları Şekil 1'de sunulmuştur.

PCA sonuçlarına göre, toplam varyansın %78,77'si açıklanmıştır (PC1: %51,18; PC2: %27,59). Analiz bulgularına göre:

- STK, CO₂ çıkışı, qCO₂, OC, C/N oranı, kil miktarı ve Sat. gibi parametreler, koruyucu tarım uygulanan örneklerde yoğunlaşmıştır.
- Toplam N, Cmicve Katalaz enzim aktivitesi, özellikle Kasım ayına ait koruyucu tarım uygulaması örneklerinde ön plana çıkmıştır.
- CMO değerleri ise geleneksel uygulama yapılan referans topraklarda daha belirgin olarak gözlemlenmiştir.

Sulu tarım pilot denemesinde, koruyucu tarım uygulanan topraklarda OC ve biyokimyasal reaksiyonlara ilişkin göstergelerin yoğunlaşması, buna karşılık referans topraklarda CMO'nun baskın olması, geleneksel uygulamaların bırakılarak koruyucu tarım sistemlerine geçilmesinin önemini açıkça ortaya koymaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Pilot_2 Sulu Denemesine Ait Temel bileşen analizi (PCA)

(Sulu-Ağustos:1; Sulu Referans-Ağustos: 2; Sulu-Kasım: 3; Sulu Referans-Kasım: 4).

Kuru Tarım Pilot Çalışması Sonuçları

2020–2023 ekim döneminde koruyucu tarım uygulamaları yürütülen sahada dört yıllık uygulama sürecinin ardından Ağustos 2023 ve Mart 2024 tarihlerinde alınan toprak örneklerine ait bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik analiz sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir. Kuru pilot uygulama sahasında hem koruyucu tarım uygulanan alanların hem de geleneksel yöntemlerin sürdürüldüğü referans toprakların tekstür sınıfı Killi Tın olarak belirlenmiştir. Sahadaki toprakların pH değerleri de analiz edilmiştir. Koruyucu tarım uygulanan alanlarda pH değeri 7,87 olarak ölçülürken, bitişik konvansiyonel tarım arazilerinden alınan referans toprakların ortalama pH değeri 7,81 bulunmuştur. Her iki durumda da çalışma sahası topraklarının hafif alkalın özellikte olduğu belirlenmiştir.

Kuru Pilot Arazisinde Koruyucu Tarım Uygulamalarının Toprağın Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri

Kuru tarım pilot sahasında koruyucu tarım uygulanan toprakların Sat., hem Ağustos 2023 hem de Mart 2024 örnekleme dönemlerinde yüksek grupta yer almıştır. Buna karşılık, geleneksel tarım yapılan referans topraklarda Ağustos ayında Sat. değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Koruyucu ve geleneksel uygulamalar arasında elde edilen bu fark, istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$; Çizelge 6).

Çizelge 6. Kuru Pilot saha topraklarının uygulamalara ve zamana bağlı Saturasyon yüzdeleri ve STK değerlerindeki değişimler

Uygulamalar	Sat.	Uygulamalar	STK
Kuru Korumalı Ağustos	66,275 a	Kuru Özütlü Mart	54,67 a
Kuru Özütlü Ağustos	63,58 a	Kuru Özütlü Ağustos	51,75 ab
Kuru Özütlü Mart	55,59167 b	Kuru Korumalı Mart	50,49 ab
Kuru Korumalı Mart	52,73667 bc	Kuru korumalı Ağustos	50,16 ab
Kuru Referans Ağustos	49,3 bc	Kuru Referans Ağustos	49,17 b
Kuru Referans Mart	48,41 c	Kuru Referans Mart	47,22 b

Kuru pilot sahasında koruyucu tarım uygulanan toprakların STK değerleri, en yüksek düzeyde özüt uygulaması yapılan parsellerde (Mart örnekleme %54,67 ve Ağustos örnekleme %51,75) belirlenmiştir. Bu değeri, özüt uygulanmamış koruyucu tarım uygulaması izlerken, en düşük STK değerleri ise geleneksel tarım yapılan referans topraklarda ölçülmüştür. Uygulamalar arasında elde edilen bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$, Çizelge 6). Öte yandan, örnekleme zamanları arasında STK değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır.

Kuru Pilot Arazisinde Koruyucu Tarım Uygulamalarının Toprağın Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkileri

Kuru tarım pilot sahasında koruyucu tarım uygulanan topraklar ile geleneksel yöntemlerle yönetilen referans topraklar karşılaştırıldığında, her iki örnekleme zamanında da koruyucu tarım uygulanan toprakların toplam N içeriklerinin referans topraklara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 7). Ayrıca, koruyucu tarım uygulanan alanlardaki toplam N içeriği Ağustos ayında, Mart ayına göre daha yüksek bulunmuş; bu zamana bağlı değişim istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir ($p<0,05$).

Çizelge 7. Kuru Pilot saha topraklarının uygulamalara ve zamana bağlı toplam N, OC ve CMO değişimleri

Uygulamalar	N %	Uygulamalar	OC %	Uygulamalar	CMO %
Kuru Özütlü Ağustos	0,22 a	Kuru Özütlü Ağustos	1,29 a	Kuru Referans Ağustos	235,44 a
Kuru Korumalı Ağustos	0,21 a	Kuru Özütlü Mart	1,10 a	Kuru Referans Mart	185,25 a
Kuru Özütlü Mart	0,20 ab	Kuru Korumalı Ağustos	0,77 b	Kuru Korumalı Ağustos	86,07 b
Kuru Korumalı Mart	0,19 ab	Kuru Korumalı Mart	0,68 b	Kuru Özütlü Ağustos	52,17 bc
Kuru Referans Ağustos	0,14 bc	Kuru Referans Ağustos	0,20 c	Kuru Korumalı Mart	37,11 bc

Kuru pilot sahasında koruyucu tarım uygulanan toprakların OC içerikleri, geleneksel tarım uygulanan referans topraklara göre daha yüksek bulunmuş ve uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı olmuştur ($p<0,05$). Özüt uygulaması yapılan koruyucu tarım parsellerinde en yüksek OC değeri elde edilmiş, bunu sırasıyla özüt uygulanmamış koruyucu tarım uygulaması ve referans toprak takip etmiştir (Çizelge 7). Toprakların OC içerikleri, Ağustos ayında Mart ayına göre daha yüksek düzeyde belirlenmiş ve bu fark da istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$).

Ayrıca, koruyucu tarım uygulanan toprakların CMO değerleri, geleneksel tarım yapılan referans topraklara kıyasla daha düşük bulunmuştur (Çizelge 7). Özellikle özüt uygulaması yapılan koruyucu tarım parsellerinde CMO, diğer iki uygulama parseline göre daha düşük seviyede gerçekleşmiştir ($p<0,05$). Ağustos ayı örneklerinde CMO, Mart ayına göre daha yüksek düzeyde saptanmış ve bu değişim de istatistiksel olarak

anlamli olmuştur ($p<0,05$). Geleneksel uygulamaların sürdürüldüğü referans topraklarda ise CMO'nun oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$).

Kuru Pilot Arazisi Koruyucu Tarım Uygulamalarının Toprağın Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkileri

Kuru pilot sahasında koruyucu tarım uygulanan toprakların CO₂ çıkışı değerleri, geleneksel uygulama yapılan referans topraklara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Özütl uygulanmamış koruyucu tarım parsellerinin CO₂ çıkışı ise, özütl uygulaması yapılan topraklara göre daha düşük düzeyde gerçekleşmiştir (Çizelge 8). Özütl uygulamalarında gözlemlenen daha yüksek CO₂ çıkışı, büyük olasılıkla sıvı organik materyalin devreye girmesiyle birlikte toprakta bulunan aktif karbon havuzunun büyümesiyle ilişkilidir.

Organik yönetim altındaki, özellikle özütl uygulaması yapılan topraklarda ölçülen yüksek toprak solunumu değerleri, toprak organik maddesindeki ve mikrobiyal biyokütledeki artışla uyumlu bir şekilde gerçekleşmiştir. Ayrıca Ağustos ayında alınan örneklerde CO₂ çıkışı, Mart ayına göre anlamlı düzeyde daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$).

Çizelge 8. Kuru pilot saha topraklarının uygulamalara ve zamana bağlı CO₂ çıkışı, Cmic ve qCO₂ değerleri

Uygulamalar	CO ₂ çıkışı (mgCO ₂ /g toprak/h)	Uygulamalar	Cmic (mgCO ₂ /g toprak/h)	Uygulamalar	qCO ₂ (µg CO ₂ / µg Cmic /toprak/24 h)
Kuru Özütlü Ağustos	0,61 a	Kuru Özütlü Mart	0,37 a	Kuru Özütlü Ağustos	1,89 a
Kuru Özütlü Mart	0,54 b	Kuru Korumalı Mart	0,35 a	Kuru Özütlü Mart	1,46 b
Kuru Korumalı Ağustos	0,32 c	Kuru Özütlü Ağustos	0,32 a	Kuru Korumalı Ağustos	1,02 c
Kuru Korumalı Mart	0,09 d	Kuru Korumalı Ağustos	0,31 a	Kuru Referans Ağustos	0,52 d
Kuru Referans Ağustos	0,09 d	Kuru Referans Ağustos	0,18 b	Kuru Referans Mart	0,37 de
Kuru Referans Mart	0,05 e	Kuru Referans Mart	0,14 b	Kuru Korumalı Mart	0,27 e

Kuru pilot sahasında koruyucu tarım uygulanan toprakların Cmic değerleri, geleneksel tarım yapılan referans topraklara kıyasla daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 8). Özütl uygulanmış ve uygulanmamış her iki koruyucu tarım parselinin Cmic değerleri istatistiksel olarak aynı grupta yer almış; referans parsellerin Cmic değerleri ise anlamlı düzeyde daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$; Çizelge 8). Mikrobiyal biyokütledeki bu artış, toprak verimliliğinin artışıyla doğrudan ilişkilidir (Garcia ve ark., 2000; Babujia ve ark., 2010). Örneklem zamanları arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir.

Kuru pilot uygulama sahasında, özütl uygulanmamış koruyucu tarım parsellerinin qCO₂ değerleri, geleneksel tarım uygulanan referans parsellerine kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$, Çizelge 8). En yüksek qCO₂ değerleri, özütl uygulanmış parsellerde gözlemlenmiş; bunu özütsüz koruyucu tarım uygulamaları izlemiş, en düşük değerler ise referans parsellerde ölçülmüştür ($p<0,05$).

Özütl uygulanan parsellerde qCO₂ değerleri 1,89 (Ağustos) ve 1,46 (Mart), özütsüz koruyucu tarım parsellerinde 1,02 (Ağustos) ve 0,27 (Mart), referans parsellerde ise 0,52 (Ağustos) ve 0,37 (Mart) olarak belirlenmiştir. Ağustos ayı örneklerinde qCO₂ değerleri Mart ayına göre daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$).

Anderson (2003), nötr reaksiyonlu topraklarda qCO₂ değerinin 0,5-2,0 aralığında olduğunu bildirmiştir. qCO₂ değerinin 2'nin üzerinde olması, C substratlarının mikrobiyal biyokütle tarafından düşük verimlilikle kullanıldığını ve sistemde enerji verimliliği düşük mikrobiyal toplulukların bulunduğunu göstermektedir. Yüksek qCO₂ değeri, mikrobiyal biyokütle açısından hem C içeriğinin hem de substrat kalitesinin yetersiz olduğuna işaret eder. Bu durumda, solunuma daha fazla C ayrılırken biyokütle üretimi sınırlı kalır (Anderson, 2003).

qCO_2 , CO_2 ve Cmic birlikte değerlendirdiği için, toprak biyotasının farklı yönetim sistemlerine verdiği tepkilerin belirlenmesinde tek başına CO_2 'den daha hassas bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Organik madde kalitesinin düştüğü ya da toprak stres altında olduğunda qCO_2 değerlerinde artış gözlenir.

Bu bilgiler ışığında araştırma alanındaki qCO_2 değerleri değerlendirildiğinde, özellikle özütleme uygulamalarının toprak mikrobiyal aktivitesi üzerinde kısa vadede belirgin bir etki oluşturduğu, fakat bu etkinin toprakta mikrobiyal dengenin tam olarak kurulmadığını ve muhtemelen geçici bir stres tepkisi oluştuğunu düşündürmektedir. Bu nedenle, zaman içinde göstereceği değişimin izlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, kuru tarım pilot sahasında yapılan uygulamaların toprakların Katalaz enzim aktivitesi üzerindeki etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$, Çizelge 9). En yüksek Katalaz enzim aktivitesi, özütleme uygulaması yapılan koruyucu tarım parsellerinde ölçülmüştür. Özütsüz koruyucu tarım uygulanan parsellerin Katalaz enzim aktivitesi, her ne kadar geleneksel uygulanan referans topraklara göre daha yüksek olsa da istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Zamana bağlı değişim incelendiğinde ise Mart ayında alınan toprak örneklerinin Katalaz enzim aktivitesi, Ağustos ayına göre daha yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$). Katalaz enzim aktivitesinin Mart ayında daha yüksek bulunmasının nedeninin ilk baharda topraktaki mikrobiyal faaliyetlerin yaz dönemine göre daha fazla olmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 9. Kuru pilot saha topraklarının Katalaz enzim aktivitesi

Uygulamalar	Katalaz Enzim Aktivitesi (ml O_2 g ⁻¹ 3 dak ⁻¹)
Kuru Özütlü Mart	235,44a
Kuru Korumalı Mart	185,25a
Kuru Özütlü Ağustos	86,07b
Kuru Referans Mart	52,17b
Kuru Korumalı Mart	37,11b
Kuru Referans Ağustos	22,97b

Formanek ve Vranova (2003), Katalaz enzim aktivitesinin bitki örtüsüne bağlı olarak değiştiğini ve bu aktivitenin topraktaki organik madde miktarı ve toplam N içeriği ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Sıcaklık, toprak nem seviyesini etkileyerek mikrobiyal aktiviteleri ve buna bağlı enzimatik faaliyetleri şekillendirmektedir (Kravkaz, 2014; Yang ve ark., 2018).

Örtü bitkilerinin Katalaz enzim aktivitesini artırdığı ve bu artışın örtü bitkileri aracılığıyla sağlanan organik madde birikiminin, mikrobiyal faaliyeti artırmasından kaynaklandığı çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. Bu bağlamda, Katalaz enzim aktivitesinin toprak mikrobiyal aktivitesiyle doğrudan ilişkili olduğu vurgulanmaktadır. Zhao ve ark. (2016), örtü bitkilerinin toprakta Katalaz enzim aktivitesini önemli ölçüde artırdığını belirtmiştir.

Yeşil gübre kompostları, kompostlanmış kümes hayvanı gübresi/yeşil gübre kombinasyonları ve çiftlik gübresi/yeşil gübre kombinasyonları gibi organik iyileştirme uygulamaları, birçok toprak enzim aktivitesinde anlamlı artışlara neden olmaktadır. Organik olarak yönetilen topraklardaki bu artışların, doğrudan enzim ilavesinden çok mikrobiyal aktivitenin uyarılması yoluyla gerçekleştiği düşünülmektedir (Grijalva ve ark. 2024). Ayrıca, kompost özütlü; bakteri, mantar ve protozoa gibi mikrobiyal topluluklar açısından oldukça zengindir. Bu mikroorganizmalar, toprakta organik madde ayrıştırılması, N fiksasyonu ve bitki büyüme hormonlarının üretimi gibi çeşitli biyolojik işlevleri yerine getirirler. Toprağa uygulandığında, kompost çayındaki mikroorganizmalar toprak mikrobiyal çeşitliliğini ve bolluğunu artırabilir; mikrobiyal aktiviteyi geliştirerek organik madde ayrışması ve besin döngüsünü kolaylaştırabilir. Böylece toprak verimliliğinde artış sağlanabilir (Scheuerell ve Mahaffee, 2002).

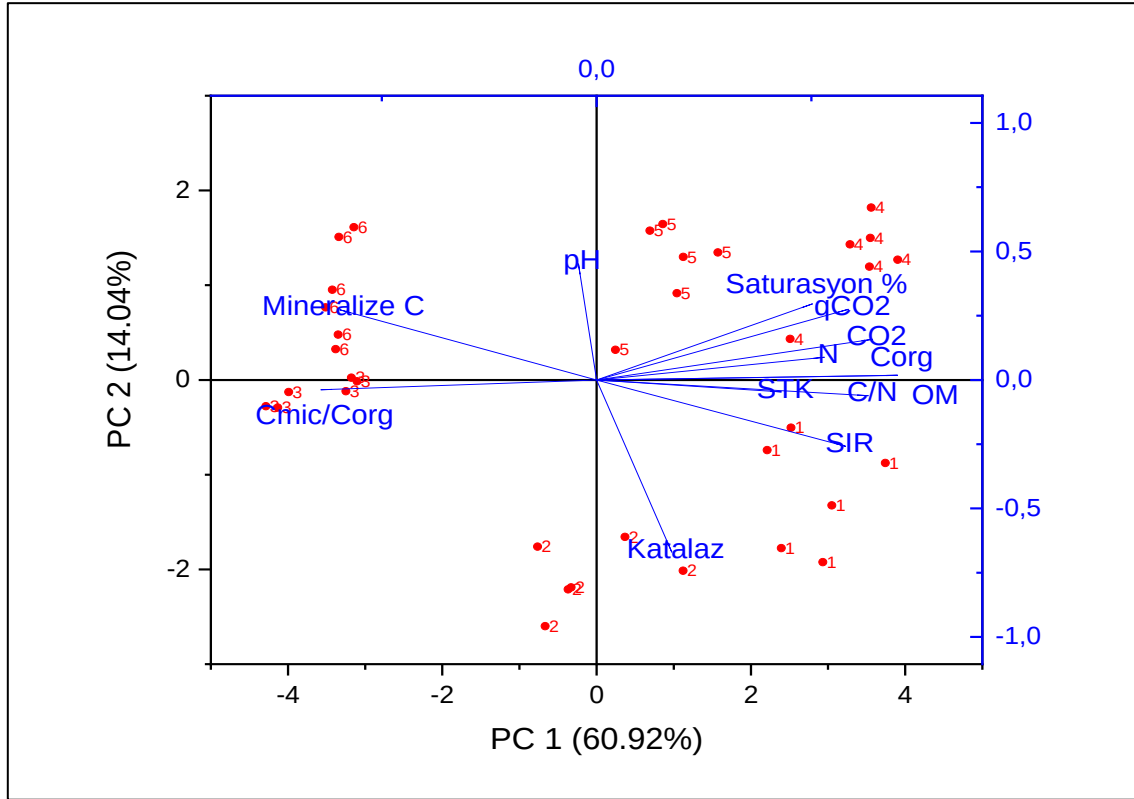
Kuru Pilot Saha Uygulamasına Ait Temel Bileşenler Analizi (PCA)

Uygulama türleri ile toprak parametreleri arasındaki ilişkileri daha ayrıntılı şekilde değerlendirmek amacıyla temel bileşenler analizi (PCA) gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, 14 farklı toprak parametresine PCA uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 2'de sunulmuştur.

PCA analizi sonucunda, Kuru Pilot Saha (Pilot_1) çalışmasında toplam varyansın yüzde 74,96'sı açıklanmıştır (PC1: %60,92; PC2: %14,04). Analiz bulgularına göre:

- STK, CO₂ çıkışı, qCO₂, OC, C/N oranı, kil miktarı ve Sat. gibi parametreler, özüt uygulanmış koruyucu tarım parsellerinde yoğunlaşmıştır.
- Cmic, Katalaz enzim aktivitesi ile kil ve silt içerikleri ise özüt uygulanmamış koruyucu tarım uygulamalarında öne çıkmıştır.
- CMO değerleri ise, geleneksel uygulama yapılan referans topraklarda daha yüksek düzeyde belirlenmiştir.

Elde edilen bu bulgular, özütlü ve özütsüz koruyucu tarım uygulanan topraklarda OC birikimi ve biyokimyasal aktivitenin arttığını; buna karşılık, geleneksel uygulamaların sürdürüldüğü referans topraklarda CMO'nun yoğunlaştığını göstermektedir. Bu durum, geleneksel tarım uygulamalarının yerine koruyucu tarım uygulamalarına geçilmesinin toprak kalitesinin sürdürülebilirliği açısından önemli olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Kuru pilot saha denemesine ait Temel Bileşen Analizi (PCA)

1: Kuru özütlü (Mart); 2: Kuru (Mart); 3: Kuru referans (Mart); 4: Kuru özütlü (Ağustos); 5: Kuru (Ağustos); 6: Kuru referans (Ağustos)

Sonuç

Geleneksel tarım yönetimi; yoğun toprak işleme ve yüksek miktarda kimyasal girdi kullanımını içermekte, bu durum ise toprak yapısını bozmakta, erozyona ve yaygın kaynaklı toprak kirliliğine yol açmaktadır. Buna karşılık doğrudan ekim, örtü bitkisi kullanımı, ekim nöbeti ve organik girdilerin dahil edildiği koruyucu tarım uygulamaları, toprak sağlığını iyileştirme potansiyeline sahiptir. Ancak bu uygulamaların, farklı iklim bölgelerinde (örneğin sıcak-nemli, soğuk-kuru gibi) ve farklı üretim sistemlerinde (sulu veya kuru tarım) toprak mikrobiyal çeşitliliği ve topluluk yapısı üzerindeki uzun vadeli etkileri henüz tam olarak anlaşılmamıştır. Bu çalışma, organik girdilerin mikrobiyal çeşitliliği artırarak daha istikrarlı bir toprak mikrobiyal yapısı oluşturacağı ve bu etkinin, örtü bitkileri ile birlikte toprak işlemez uygulamalarla desteklendiğinde TOC'un en yüksek seviyeye ulaşabileceği varsayımıyla dört yıl süreyle Eskişehir ili Çifteler ilçesinde tarla denemeleri yürütülerek planlanmıştır.

Bu çalışmada hem sulu hem de kuru tarım koşullarında yürütülen koruyucu tarım uygulamaları, geleneksel tarım yapılan referans topraklara kıyasla toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirmede etkili bulunmuştur. Koruyucu tarım uygulanan topraklarda Sat., STK, OC, toplam N ve Cmic değerleri, her iki örneklem döneminde genellikle daha yüksek ölçülmüş; bunun yanında Katalaz enzim aktivitesi ve CO₂

çıkışı değerleri de artış göstermiştir. Özüt uygulamaları, özellikle Cmic ve CMO üzerinde olumlu etkiler sağlayarak, aktif C havuzunu ve toprak biyolojik verimliliğini artırmıştır. Toprakların qCO₂ değerlerinin koruyucu tarım topraklarında daha düşük olması, mikroorganizma metabolizmasının daha verimli gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak, koruyucu tarım ve organik materyal uygulamaları hem sulu hem kuru tarım sistemlerinde toprağın STK, OC ve toplam N içeriklerini, biyolojik aktivitesini ve genel toprak sağlığını iyileştirmede etkili bir strateji olarak ortaya çıkmıştır. Temel bileşenler analizine göre değerlendirildiğinde ise, koruyucu tarım uygulanan topraklarda OC ve biyokimyasal tepkimelerin yoğunlaştığı, buna karşılık geleneksel uygulama yapılan referans topraklarda CMO değerlerinin öne çıktığı görülmüştür. Bu bulgular, geleneksel tarımdan vazgeçilip koruyucu tarım sistemlerine geçilmesinin, toprak sağlığının sürdürülebilirliği açısından önemini vurgulamaktadır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, koruyucu tarım uygulamalarının hem sulu hem kuru tarım koşullarında toprak sağlığı ve verimliliği üzerinde olumlu etkiler sağladığını göstermektedir. Bu nedenle, yerel çiftçiler tarafından koruyucu tarımın yaygınlaştırılması ve uygulanması teşvik edilmelidir. Özüt ve diğer organik materyallerin kullanımı, mikrobiyal biyokütleyi ve aktif karbon havuzunu artırarak toprakta su ve besin tutma kapasitesini iyileştirdiği için, bu uygulamaların koruyucu tarım ile birlikte uygulanması önerilmektedir. Ayrıca, toprak sağlığı ve C stoklarının sürdürülebilirliğini daha doğru değerlendirebilmek amacıyla uzun dönemli izleme çalışmalarına devam edilmelidir. Çiftçilere toprak biyolojisi, enzim aktiviteleri ve OC yönetimi konularında eğitimler verilerek koruyucu tarımın etkin bir şekilde uygulanması sağlanabilir; özellikle ekim nöbeti ve baklagil bazlı ürünlerin yetiştirilmesi, TOC ve toplam N içeriğini artırmak, N kayıplarını azaltmak ve mikrobiyal çeşitliliği desteklemek açısından önem taşımaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma WWF-Türkiye tarafından yürütülen ‘Toprağımız Hazinemiz’ projesi kapsamında toplanan verinin değerlendirilmesi ile hazırlanmıştır. Tarla denemelerinde arazilerini kullanıma sunarak çalışmaya destek olan önder çiftçilerimiz Ali Fuat Demircan ve İhsan Özen’e de teşekkür eder, katkılarından dolayı minnettarlığımızı sunarız. Projeyi finansal olarak destekleyen Eti Burçak a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Abak M, Sakin E. 2018. Toprakların C:N oranı ve bazı toprak özellikleri ile ilişkisi: Mardin Mazıdağı örneği . Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 22 (2): 255-262.
- Alef K, Nannipieri P. 1995. Catalase activity. In: Alef, K, Nannipieri, P. (Eds). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. London: Academic Press, pp.362-363.
- Anderson JPE, Domsch KH. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10, 215-221. Balota, E.L.; Colozzi-Filho, A.; Andrade, D.S., Dick, R.P. 2004. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. *Soil Tillage Res.*, 77:137-145.
- Anderson TH. 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98, 285–293.
- Anderson TH, Domsch KH. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic-C in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21, 471–479.
- Babujia LC, Hungria M, Franchini JC, Brookes PC. 2010. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. *Soil Biol. & Biochem.*, 42, 2174-2181.
- Bauhus J, Khanna PK. 1999. The significance of microbial biomass in forest soils. In: Rastin N, Bauhus J, editors. *Going Underground - Ecological Studies in Forest Soils*. Trivandrum, India: Research Signpost; pp. 77-110.
- Beck TH. 1971. Die Messung Katalasen Aktivitaet Böden. *Z. Pflanzenernaehai. Sodenk.* 130, 68 - 81.
- Blanco Canqui H, Wortmann CS, Kreikemeier G, Wienhold BJ. 2019. Soil and crop response to addition of cover crops and cattle manure in integrated crop–livestock systems. *Agricul., Ecos. Environ.* 281, 121–130.
- Bouyoucos GJ. 1951. A Recalibration of Hidrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soils. *Agronomy Journal*, 143 (9).
- Bremner JM. 1965. *Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties*. Ed. A. C. A. Black Amer. Soc. of Agron. Inc. Pub. Agron. Series No: 9 Madison, USA.
- Brookes PC. 2001. Minireview. The soil microbial biomass: concept, measurement and applications in soil ecosystem research. *Microbes Environ* 16, 131–140.
- Brookes PC. 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biol. Fert. Soils* 19, 269–279.
- Burns RG. 1982. Enzyme activity in soil. *Soil Biol. Biochem.* 14, 425.

- Busaria MA, Kukalb SS, Kaurb A, Bhattb R, Dulazi AA. 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research* 3, 119–129.
- Diacono M, Montemurro F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), 401–420.
- Dilly O. Munch JC. 1998. Ratios between estimates of microbial biomass content and microbial activity in soils. *Biology and Fertility of Soils*, 27, 374–379.
- Drinkwater LE, Wagoner P, Sarrantonio M. 1998. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*, 396, 262–265
- El Maghraby FM, Shaker EM, Elbagory M, El Dein Omara A, Khalifa TH. 2024. The Synergistic Impact of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Compost Tea to Enhance Bacterial Community and Improve Crop Productivity under Saline–Sodic Conditio. *Plants*, MDPI 13(5), 629.
- Ewel KC, Cropper WPJR, Gholz HL. 1987. Soil CO₂ evolution in Florida slash pine plantations. II. Importance of root respiration. *Can. J. For. Res.* 17.
- Ferreira CS, Souza ED, de Moraes MT. 2022. Cover crops and cropping systems improve water quality and soil microbial indicators in a tropical Ultisol. *Soil and Tillage Research*, 221, 105396.
- Formánek P, Vranová V. 2003. The effect of spruce stand thinning on biological activity in soil. *Journal of Forest Science*, 49(11), 523–530.
- Franzluebbers AJ. 2018. Short-term C mineralization (aka the flush of CO₂) as an indicator of soil biological health. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 13(017), 14.
- Franzluebbers AJ. 1999. Potential C and N mineralization and microbial biomass from intact and increasingly disturbed soils of varying texture. *Soil Biology & Biochemistry*, 31(8): 1083–1090.
- Franzluebbers AJ, Haney RL, Honeycutt CW, Schomberg HH, Hons FM. 2000. Flush of carbon dioxide following rewetting of dried soil relates to active organic pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 613–623
- García C, Hernández T. 1997. Biological and biochemical indicators in derelict soils subject to erosion. *Soil Biology and Biochemistry* 29(2), 171–177.
- Garcia CT, Hernandez JA, Pascual J, Moreno L, Ros M. 2000. Microbial activity in soils of SE Spain exposed to degradation and desertification processes. Strategies for their rehabilitation. In: *Research and Perspectives of Soil Enzymology in Spain* (eds. C. Garcia and M.T. Hernandez), Cosejo Superior de Investigaciones Cientificas, Madrid, pp. 93–143.
- Göçmez S. 2006. Menemen Ovası Topraklarında İZSU Kentsel Arıtma Çamuru Uygulamalarının Mikrobiyal Aktivite ve Biyomas ile Bazı Fiziksel ve Kimyasal Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi” Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Grijalva L, Puttena W, Huesoa A, Margenotd AJ, Rijssela QM, Koorneeff G, Veen G. 2024. Soil extracellular enzyme activity increases during the transition from conventional to organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 375, 109202.
- Haney RL. 1999. Soil C extracted with water or K₂SO₄: pH effect on determination of microbial biomass. *Canadian Journal of Soil Science*, 1999. 79(4), 529–533.
- Hertel D, Vogel HJ, Schulz E. 2023. Rotational cover cropping enhances soil biodiversity and microbial functional diversity in a boreal agroecosystem. *Frontiers in Agronomy*, 5, 117–128.
- Insam H, Haselwandter K. 1989. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. *Oecologia*, 79: 174–178.
- Isermayer H. 1952. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 56, 26–3
- Jackson, M. C. 1979. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall. Inc. Eng. Cliff. USA.
- Jenkinson, D.S., Ladd, J.N. 1981. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: Paul, E.A. Ladd, J.M., eds. *Soil biochemistry*. New York, Marcel Decker, p.415–471.
- Kelting DL, Burger JA, Edwards GS. 1998. Estimating root respiration, microbial respiration in the rhizosphere, and rootfree soil respiration in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 30, 961– 968.
- Kladivko EJ. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research*. 61(1–2), 61–76.
- Kravkaz-Kuscu IS, Sariyildiz T, Cetin M, Yigit N, Sevik H, Savaci G. 2018. Evaluation of the soil properties and primary forest tree species in Taşköprü (Kastamonu) district. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(3), 1613–1617.
- Lal R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623–1627.
- Lemanowicz J. 2019. Activity of selected enzymes as markers of ecotoxicity in technogenic salinization soils. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26, 13014–13024.
- Martínez-Yáñez MG, Silva-Ortega CO, Hernández-Aranda VA, Vallejo-Pérez MR, Alcalá-Briseño R, Vega-Manriquez DX, Aguilar-Benítez G, Jarquin-Gálvez R, Lara-Ávila JP. 2023. Analysis of bacterial microbiota of aerated compost teas and effect on tomato growth. *Microb. Ecol.* 86, 959–972.

- Nannipieri P. 1994. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R., Grace, P.R. (Eds.), *Soil Biota: Management and Sustainable Farming Systems*. CSIRO, Australia, 238–244.
- Nurbekov A, Kosimov M, Islamov S, Khaitov B, Qodirova D, Yuldasheva Z, Khudayqulov J, Ergasheva K, Nurbekova R. 2024. No-till, crop residue management and winter wheat-based crop rotation strategies under rainfed environment. *Front. Agron.* Volume 6.
- Olsen SR, Cole V, Watanabe FS, Dean LA. 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction With Sodium Bicarbonate. U. S. Dept. of Agr. Cir. 939. Washington. D. C.
- Pankhurst CE, Hawke BG, McDonald HJ, Kirkby CA, Buckerfield JC, Michelsen P, 1995. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Aust J. Exp Agric*, 35, 1015–28.
- Patel K, Nirmal Kumar JI, N Kumar R ve Kumar Bhoi R. 2010. Seasonal and temporal variation in soil microbial biomass C, N and P in different types land uses of dry deciduous forest ecosystem of Udaipur, Rajasthan, Western India. *Applied Ecology and Environmental Research*, 8(4), 377-390.
- Paul EA, Clark FE. 1996. *Soil Microbiology and biochemistry*. San Diego: Academic Press. 340p.
- Purev D, Bayarmaa J, Ganchimeg B, Ankhtsetseg B, Anumandal O. 2012. Catalase, protease and urease activity in some types of soil. *Mong. J. Chem.* 13, 16–18.
- Qu Y, Tang J, Li Z, Zhou Z, Wang J, Wang S, Cao Y. 2020. Soil enzyme activity and microbial metabolic function diversity in soda saline-alkali rice paddy fields of Northwest China. *Sustainability*. 12, 10095.
- Sağlıker HA. 2018. Is parent material an important factor in soil carbon and nitrogen mineralization ? *European Journal of Soil Biology*, 89, 45-50.
- Sağlıker HA, Mutlu N. 2018. Doğu Akdeniz Bölgesi Sanayi Alanı Topraklarında Karbon Mineralizasyonu. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(7), 940-944.
- Scheuerell SJ, Mahaffee WF. 2002. *Compost Tea: Principles and Prospects for Plant Disease Control*. *Compost Science and Utilization*, 10, 313-338.
- Schlöter M, Dilly O, Munch JC. 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 98, 255-262.
- Steenwerth KL, Belina KM. 2008. Cover crops and cultivation: Impacts on soil N dynamics and microbiological function in a Mediterranean vineyard agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, 40(2), 370–380.
- Sürücü A, Kızılkaya R, Bayraklı F. 1998. Farklı organik atıkların toprakların biyolojik özelliklerine ve topraktaki Fe, Cu, Zn, Mn ve Ni yayılımına etkileri. XIV. Ulusal Biyoloji Kongresi, 7-10 Eylül 1998, Samsun, Cilt I. s. 313-323.
- Tautges NE, Chiartas JL, Gaudin ACM, O'Geen AT, Herrera I, Scow KM. 2019. Deep soil inventories reveal that impacts of cover crops and compost on soil carbon sequestration persist in the subsoil. *Global Change Biology*, 25(11), 3753–3766.
- Tejada M, Gonzalez J L, Hernandez MT, Garcia C. 2006. Application of different organic amendments in a gasoline contaminated soil: effect on soil biological properties. *Bioresource Technology*, 97(18), 2271–2276.
- Wang Y, Li C, Tu C, Hoyt GD, DeForest JL, Hu S. 2017. Long-term no-tillage and organic input management enhanced the diversity and stability of soil microbial community. *Sci. Total Environ.* 609, 341–347.
- Yadav AN, Verma P, Kumar S, Sangwan P. 2021. Role of microbial inoculants, compost tea, and soil microbes in sustainable agriculture. In *Advances in Soil Microbiology* (pp. 327–348). Springer.
- Yang L, Wen KS, Ruan X, Zhao YX, Wei F, Wang Q. 2018. Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules*, 23(4), 762.
- Zhang GH, Tang KM, Zhang XC. 2009. Temporal variation in soil detachment under different land uses in the Loess Plateau of China, *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, 1302–1309.
- Zhang XC. 2012. Effects of conservation tillage on soil aggregation and aggregate binding agents in black soil of Northeast China. *Soil and Tillage Research*. 24, 196-202.
- Zhao H, Ye L, Wang Y, Zhou X, Yang J, Wang J, Cao K, Zou Z. 2016. Melatonin increases the chilling tolerance of chloroplast in cucumber seedlings by regulating photosynthetic electron flux and the ascorbate-glutathione cycle. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1814.



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

<http://dergi.toprak.org.tr>



Fiziko-kimyasal içerikleri belirlenmiş toprakların CBS tabanlı mekansal değerlendirilmesi: Samsun-Vezirköprü örneği

Murat BİROL^{1*}, Fikret SAYGIN², Halil AYTÖP³, Orhan DENGİZ⁴,
 Yusuf KOÇ¹, Serkan İÇ¹

¹TC Tarım ve Orman Bakanlığı, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Toprak ve Su Kaynakları Bölümü, Samsun

²Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Hassas Tarım ve Tarımsal Robotlar Bölümü, Sivas

³TC Tarım ve Orman Bakanlığı, Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Toprak ve Su Kaynakları Bölümü, Kahramanmaraş

⁴Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun

Öz

Bu çalışma, Samsun ili Vezirköprü ilçesinde farklı arazi kullanım türlerine sahip alanlardan alınan toprak örneklerinin, fiziksel ve kimyasal özelliklerin mekansal dağılımını belirlemeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın yapıldığı alanda mera, orman ve tarım alanı olmakla birlikte, 3 farklı arazi kullanım ve arazi örtüsü vardır. Bu alan üzerinde dağılım gösteren tarım topraklarının, temel bazı özellikleri ve mevcut verimlilik durumlarının belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Yüzey (0–20 cm) ve yüzey altı (20–40 cm) olmak üzere toplam 1.293 noktadan toprak örnekleri alınarak; tekstür (Kum, Kil, Silt), organik madde (OM), kireç (CaCO₃) ve pH analizleri gerçekleştirilmiştir. Toprak özelliklerinin konumsal dağılımını tahmin etmek amacıyla 15 farklı enterpolasyon yöntemi değerlendirilmiş ve en düşük Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE) değerine sahip modellerle dağılım haritaları oluşturulmuştur. Bulgular, özellikle Kriging tabanlı yaklaşımların çoğu parametrede en yüksek doğruluğu sağladığını ortaya koymuştur. Analiz sonuçlarına göre, çalışma alanı topraklarının büyük bölümü killi bünye özelliği göstermekte, hafif alkali pH aralığında yer almaktadır. Organik madde içeriği ise çoğunlukla düşük düzeydedir. Elde edilen bulgular, bölgenin sürdürülebilir arazi yönetimi stratejilerinin planlanmasında ve tarımsal üretim potansiyelinin artırılmasında önemli bir temel teşkil etmektedir. Ayrıca, coğrafi bilgi sistemleri ve jeostatistiksel yöntemlerin birlikte kullanımı, tarımsal verimliliğin artırılmasına yönelik karar destek süreçlerinde güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enterpolasyon, konumsal dağılım, CBS, toprak özellikleri.

GIS-based spatial evaluation of soils with determined physico-chemical properties: A case study of Samsun-Vezirköprü

Abstract

This study aims to determine the spatial distribution of physical and chemical properties using soil samples taken from areas with different land use and land cover types (agricultural, forest, and pasture) in the Vezirköprü district of Samsun province. Soil samples were taken from a total of 1.293 locations, including surface (0–20 cm) and subsurface (20–40 cm), and analyses were conducted for texture, organic matter (OM), lime (CaCO₃) and pH. 15 different interpolation methods were evaluated to estimate the spatial distribution of soil properties, and distribution maps were created using models with the lowest RMSE values. The findings revealed that Kriging-based approaches, in particular, provided the highest accuracy for most parameters. According to the analysis results, the majority of the study area soils have a clayey texture, are in the slightly alkaline pH range. Organic matter content is mostly low. The findings provide an important basis for planning sustainable land management strategies and increasing the region's agricultural production potential. Furthermore, the combined use of geographic information systems and geostatistical methods presents a powerful tool in decision-support processes aimed at increasing agricultural productivity.

Keywords: Interpolation, spatial distribution, GIS, soil properties.

© 2025 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (535) 466 4180

E-posta : muratbirol07@hotmail.com

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 21 Ekim 2025

Kabul Tarihi : 16 Aralık 2025

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbbd.1807632

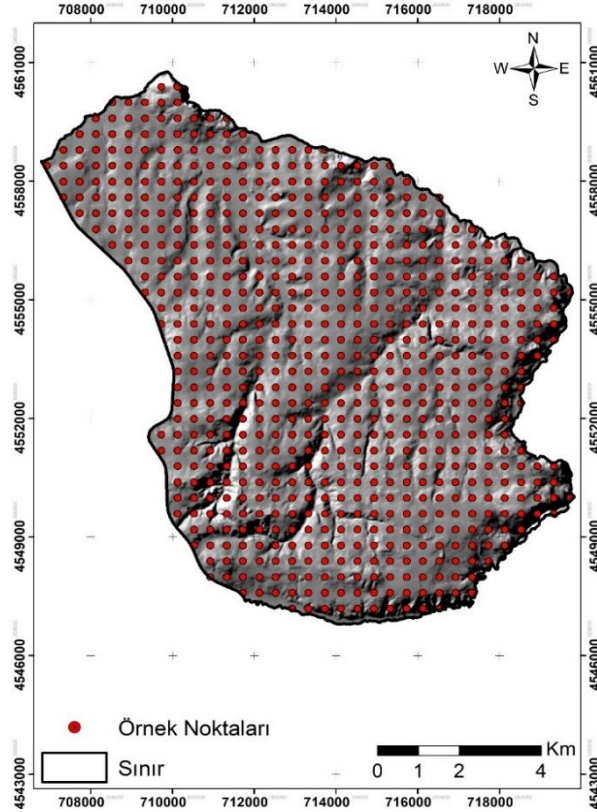
Giriş

Hızlı nüfus artışı, artan gıda talebini karşılayabilmek adına tarım alanlarının genişletilmesini zorunlu kılmaktadır (AbdelRahman ve Arafat, 2020). Bundan dolayı mevcut tarım arazilerinden yüksek verim almaya yönelik stratejik bir yönelim izlenmelidir. Bu durum toprak verimliliğinin değerlendirilmesini ve optimum tarımsal kullanımın belirlenmesini önemli hale getirmektedir. Toprak, bitkilerin gelişimini desteklemenin yanı sıra ekosistem işleyişinde de önemli rol oynar (Adetunji, 2004; Fu ve ark., 2010; Komolafe ve ark., 2021). Toprağın bu rolü ve görevi, bitki büyümesi ve gelişiminin yanı sıra bitki desenini de doğrudan etkiler. Toprakların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin fonksiyon gösterme kapasitesinin düşük olması bitkilerin yaşam döngülerinin (vejetatif gelişim, çiçeklenme ve meyve verme) sağlıklı şekilde ilerlemesine yol açabilir (Abad ve ark., 2014; Jeong ve ark., 2017). Bu bağlamda bitkiler, toprağı yalnızca fiziksel bir destek noktası olarak değil, aynı zamanda büyüme ve fizyolojik faaliyetler için gerekli elementlerin kaynağı olarak kullanır.

Farklı bölge ve zamanlarda yapılan araştırmalar, toprakların besin elementi içerikleri, organik madde düzeyleri, kireç miktarı ve pH değerlerinin mekânsal değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur (Özyazıcı ve ark., 2016; Çelik ve Dengiz, 2018; Sönmez ve ark., 2018; Peker ve ark., 2024). Bu heterojen yapı, tarımsal yönetim stratejilerinin geniş bölgesel yaklaşımlardan ziyade, yerel ölçekte ve alan bazlı olarak planlanmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle yarı kurak ve nemli iklim özelliklerinin bir arada görüldüğü bölgelerde, toprak özelliklerinin mekânsal dağılımının doğru bir şekilde belirlenmesi, üretim potansiyelinin sürdürülebilir şekilde yönetilmesi ve çevresel kaynakların etkin kullanımı açısından kritik öneme sahiptir (Turan ve ark., 2018). Dolayısıyla, toprak mekânsal heterojenliğinin detaylı bir biçimde incelenmesi ve tarımsal uygulamalara entegre edilmesi, hem verimliliğin artırılmasında hem de ekosistem sağlığının korunmasında stratejik bir yaklaşım olarak değerlendirilmelidir.

Zaman içerisinde ekolojik süreçlerin de etkisi sonucunda farklı alanlarda görülen değişkenlik (Santra ve ark., 2008), toprak yapısından kaynaklı veya amenajman uygulamaları ile değişebilir (McBratney ve Pringle 1997; Mouazen ve ark., 2003). Arazi kullanım biçimleri ve uygulanan yönetim stratejileri, toprak özellikleri üzerinde önemli düzeyde etkili olmaktadır (Spurgeon ve ark., 2013). Tarım arazilerinde toprak özelliklerinin mekansal değişiminin bilinmesi, özellikle toprak besin öğelerine bağlı üretim kısıtlarının belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, ticari gübrelerin yanlış kullanımı, bilinçsiz sulama ve aşırı toprak işlemenin yaygın kullanımı ile birlikte, toprağın kimyasal ve fiziksel özellikleri bozulabilmektedir (Khan ve ark., 2021). Ayrıca, sürdürülebilir tarım açısından gelişmekte olan ülkelerin çoğunda, mevcut besin içeriği ve dağılımı hakkında önceden bilgi sahibi olunmadan, topraklara farklılık gözetmeksizin aynı miktarda gübre ve eşit sulama gibi yanlış kültürel işlemler uygulanmaktadır. Toprağın özelliklerin hassas boyutta kısa mesafede değişimini ve mekansal dağılımını ortaya koymak hem ekonomik hem de iş gücü açısından önem arz etmektedir (FAO, 2005; El-Ramady H.R. ve ark., 2014). Toprak özelliklerinin dağılımına ilişkin bilimsel veriler, üretim için gübre, sulama, toprak işleme gibi faaliyetleri optimize etmek ve ürün verimliliğini artırmak da kritik öneme sahiptir (Jaleta ve ark., 2016). Günümüz teknolojisi ile gelişen uzaktan algılama teknolojileri ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS), tarım arazilerinin değerlendirilmesinde etkin bir araç haline gelmiştir. Bu teknolojiler sayesinde, geniş alanlara ait toprak verilerinin konumsal dağılımı haritalanabilmekte ve bu haritalar üzerinden detaylı analizler yapılabilmektedir. Böylece, tarım arazilerinin yönetimi ve verimli kullanımına yönelik karar süreçleri bilimsel verilere dayandırılabilir. Bu çalışma, belirli bir bölgedeki toprak özelliklerinin mekânsal dağılımını analiz ederek, yerel ölçekte uygulanabilir yönetim önerilerinin geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Tarımsal üretimin yoğun olarak yapıldığı Vezirköprü ilçesinde büyük çoğunluğu basınçlı sulama sistemleri ile desteklenmiş olan çalışma alanında toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine yönelik dağılım haritalarının oluşturulmasının verim üzerinde önemli düzeyde etki edeceği düşünülmektedir. Bu nedenle çalışma alanı içerisinde tarım, orman ve mera gibi farklı kullanım türleri içerisinde 400*400 m grid yöntemi ile alınmış toprak örneklerinde belirlenmiş olan fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları farklı enterpolasyon modelleri ile değerlendirilerek, en düşük hata aralığına sahip modele ilişkin konumsal dağılım haritalarının oluşturulması amaçlanmaktadır.



Şekil 2. Yüzey ve yüzey altı toprak örnekleme noktası haritası

Enterpolasyon yöntemleri

Bu çalışmada toprakların bünye, organik madde, CaCO_3 ve pH sonuçlarının mekansal dağılımını tahmin etmek için 15 farklı enterpolasyon yaklaşımları (Inverse Distance Weighting -IDW, radial based functions-RBF, ordinary kriging-OK, simple kriging-SK ve universal kriging-UK) kullanılmıştır.

İki nokta arasındaki konumsal bağlantının ölçüsü olan semivariogram, kriging yöntemi kullanılarak çözülür. Bunun sonucunda, ağırlıklar numunelerin nasıl düzenlendiğine bağlı olarak değişir. Kriging, diğer tahmin yaklaşımlarından farklı olarak tahmin alanındaki hata veya belirsizliği inceler. Radyal tabanlı fonksiyonlar (RBF) prosedürlerinde, enterpolasyonlu yüzeyin ölçülen her örnek değerinden geçmesi gereken bir dizi doğru enterpolasyon yaklaşımı kullanılır. Bu yöntem, çok boyutlu verileri enterpolasyona tabi tutmak için bir prosedürdür (Aytıp ve ark., 2023). Ayrıca bu çalışmada, toprak özelliklerinin dağılımını incelemek için sıklıkla kullanılan yöntemlerden, Completely Regularized Spline (CRS), Thin Plate Spline (TPS) ve Spline With Tension (ST) radyal fonksiyon enterpolasyon modelleri seçilmiştir (Özyazıcı ve ark., 2016; Dengiz ve ark., 2019; Şenol ve ark., 2020). Toprak özelliklerinin dağılım haritaları ArcGIS 10.8v yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur.

Bu çalışmada en iyi enterpolasyon modelini değerlendirmek ve belirlemek için ortalama kare hatasından (RMSE) (Eşitlik 1) ve ortalama mutlak hata (MAE) (Eşitlik 2) yararlanılmıştır (Ding ve ark., 2011). MAE ve RMSE, ölçülen değerler ve enterpolasyonlar arasındaki ilişkiyi yorumlamak ve kullanılan yöntemler arasında en uygun olanını seçmek için sıklıkla dikkate alınan parametreler arasındadır (Emadi ve Bagnernejad, 2014; Taşan ve Demir, 2017; Aytıp ve ark., 2023). Sonuç olarak, en düşük RMSE değerini veren yöntem, en uygun yöntem olarak belirlenmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Z_i^* - Z_i)^2}{n}} \quad (\text{Eş. 1})$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_i - Z| \quad (\text{Eş. 2})$$

Eşitlikte; Z_i : tahmin değeri, Z_i^* : gözlemlenen değer ve n : örnek sayısını ifade etmektedir.

Bulgular ve Tartışma

Toprakların genel özellikleri

Çalışma alanından 0-20 ve 20-40 cm derinliklerinden alınan toprak örneklerinde yapılan toprak analizlerinin sonuçları ve bu sonuçlara ilişkin tanımlayıcı istatistiksel veriler (standart sapma, varyans, ortalama değer, en büyük değer, en küçük değer, çarpıklık ve basıklık) Çizelge 1’de sunulmuştur. Bu çalışmada veri dağılımlarının çarpıklık ve basıklık değerleri de hesaplanmıştır. Çarpıklık, genellikle dağılımın asimetrisini ifade eder ve ± 1.0 ’dan büyük değerler çarpık kabul edilir. Basıklık, verilerin ortalama etrafındaki dağılımını ifade eder: pozitif bir değer, orta aralıkta daha az veri olduğunu (normale kıyasla) ve dağılımın uç noktalarında daha fazla veri olduğunu gösterirken, negatif değerler verilerin daha fazlasının orta aralıkta ve daha azının kuyruklarda olduğunu gösterir (Hayes ve ark., 2022). Bu çalışmaya ait kil ve pH değerleri sola çarpıklık gösterirken, diğer toprak parametreleri sağa çarpıklık göstermektedir. Basıklık katsayıları, tekstürel fraksiyonda normal ve normale yakın bir dağılım göstermiştir. Bu nedenle, sonuçların normal değerlere göre daha dik bir dağılım sergilemesine neden olmuştur (Çizelge 1).

Değişkenlik katsayısı (CV) yüksek ($>35\%$), orta ($15-35\%$) ve düşük ($<15\%$) olarak sınıflandırılmaktadır (Wilding, 1985). Toprakların bünye sonuçlarının değişim katsayısı (CV) değerleri, orta değişkenliği ifade etmektedir ($20.22-30.65$). Toprak derinliğine bağlı olarak kum, kil ve silt içeriklerinin CV katsayısı artış göstermiştir. Bizim çalışmamızla benzer şekilde Zhang ve Hartemink, (2021) toprak derinliği arttıkça bünye analiz sonuçlarının CV değerlerinin artış gösterdiğini bildirmiştir. En düşük CV değerine (≤ 0.38) sahip toprak özelliği ise Birol ve Günel (2022) ve Ertaş ve ark., (2024) ile benzer şekilde pH olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1). Çalışma alanı topraklarının OM ve CaCO_3 analiz sonuçları ise yüksek değişkenlik ($\geq 35\%$) göstermektedir. Yapılan bir başka çalışmada Bafra Ovası’nda toprakların tuzluluk ve alkalilik özelliklerinin spatial ve temporal değişimini jeostatistiksel yöntemlerle incelenmiş, CaCO_3 değerlerinin yüksek düzeyde değişkenlik sergilediği bildirilmiştir (Taşan ve Demir, 2019). Bu araştırmada alınan toprak örneklerinde fiziksel özelliklerden kum-silt-kil oranları sırası ile yüzeyde (0-20cm) en düşük 13.04 , 8.66 , 4.15 en yüksek ise 61.93 , 42.45 , 69.20 iken yüzey altında (20-40 cm) ise en düşük 10.93 , 2.31 , 3.21 en yüksek ise 70.05 , 50.91 , 69.23 ’tür. Toprak verimliliği için önemli bir parametre olan OM miktarı yüzeyde en düşük ve en yüksek sırası ile 0.27 ve 6.24 iken yüzey altında 0.20 ve 5.52 ’dir. pH değeri ise yüzeyde en düşük ve en yüksek sırası ile pH; 4.93 ve 9.95 iken, yüzey altında 5.16 ve 9.96 olduğu tespit edilmiştir. Alınan toprak örneklerinde yapılan kireç analizine göre kireç miktarı yüzey topraklarında en düşük ve en yüksek sırası ile 0.62 ve 38.16 iken yüzey altı örneklerinde 0.47 ve 47.72 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Toprak analizlerine yönelik tanımlayıcı istatistik değerleri

Tanımlayıcı İstatistik	Derinlik (cm)	EDD	EYD	Ortalama	Standart Sapma	Varyans	Varyasyon Katsayısı*	Çarpıklık	Basıklık
Kum (%)	0-20	13.04	61.93	31.70	9.00	80.97	28.39	0.75	0.51
	20-40	10.93	70.05	30.83	9.45	89.23	30.65	0.91	1.13
Silt (%)	0-20	8.66	42.45	22.87	5.02	25.20	21.95	0.50	0.98
	20-40	2.31	50.91	22.14	5.69	32.40	25.70	0.76	2.71
Kil (%)	0-20	4.15	69.20	45.44	9.19	84.38	20.22	-0.51	0.54
	20-40	3.21	69.23	47.04	9.73	94.74	20.68	-0.62	0.94
OM (%)	0-20	0.27	6.24	2.38	0.97	0.95	40.76	1.11	1.69
	20-40	0.20	5.52	1.76	0.77	0.59	43.75	0.90	1.72
pH	0-20	4.93	9.95	7.81	0.54	0.29	6.90	-1.90	4.97
	20-40	5.16	9.96	7.96	0.50	0.25	6.28	-1.98	6.03
CaCO_3 (%)	0-20	0.62	38.16	10.59	7.30	53.22	68.93	0.51	-0.15
	20-40	0.47	47.72	11.29	7.78	60.58	68.91	0.64	0.51

*Varyasyon Katsayısı: <15 = Düşük Değişkenlik, $15-35$ = Orta Değişkenlik, >35 = Yüksek Değişkenlik, EDD: En düşük değer, EYD: En yüksek değer

Enterpolasyon modeller ve dağılım haritaları

Toprak örneklerinde yapılan analizlerin (tekstür, organik madde, CaCO_3 ve pH) belirlenen değerlerinin mekansal dağılım haritalarını üretmek için on beş farklı enterpolasyon modeli kullanılmış ve bu modellerin RMSE değerleri belirlenmiştir (Çizelge 2). Enterpolasyon modellemelerinin haritaları ArcMap yazılımı yardımıyla yapılmıştır. Bir çok araştırmacı, belirli toprak karakteristiklerinde en uygun enterpolasyon yöntemini belirlemek için Kriging, IDW ve RBF modellerinden yararlanmıştır (Xie ve ark., 2020; Abdulmanov ve ark., 2021; Jiang ve ark., 2022; Saygın ve ark., 2023). Ayrıca bir çok çalışma, her farklı arazi karakteristiğinde, en uygun enterpolasyon modelini seçmek için RMSE değerlerini kullanmıştır (Liu ve ark.,

2019; Srivastava ve ark., 2019; Barrena-González ve ark., 2022). Yüzey toprak (0-20 cm) örneklerinde OM parametresi IDW modelinin 1. seviyesinde, pH parametresi RBF modeline ilişkin spline with tension yöntemi ile en düşük RMSE değeri dikkate alınırken, diğer parametreler için Kriging modelinin simple ve ordinary yöntemi en düşük sonucu vermiştir. Yüzey altı (20-40 cm) topraklarında ise bütün parametreler en düşük değerler pH'da kriging modelinin ordinary yönteminden elde edilirken diğer parametreler simple kriging modelinden elde edilmiş olup, tüm parametrelere ilişkin dağılım haritaları oluşturulmuştur (Çizelge 2). Birçok araştırmacı, toprak ile ilgili çalışmalarda, örneklenmeyen alanların değerlerinin tahmininde kriging yönteminin en az varyansı gösterdiğini bildirmiştir (Vieira ve Dechen, 2010; Motaghian ve Mohammadi, 2011; Alaboz ve ark., 2020; Aytıp ve ark., 2023; Raheem ve ark., 2023; Varol ve ark., 2023).

Çizelge 2. Yüzey ve yüzey altı toprak örneklerinin fiziko-kimyasal ve verimlilik parametrelerine ait enterpolasyon modellerin RMSE değerleri

Yüzey (0-20 cm)				Yüzey altı (20-40 cm)			
Sıra	Analiz	Yöntem	Değer	Sıra	Analiz	Yöntem	Değer
1	Kum	Kriging, Ordinary, Exponential	8,073	1	Kum	Kriging, Simple, Spherical	8,688
2	Silt	Kriging, Simple, Exponential	4,730	2	Silt	Kriging, Simple, Exponential	5,548
3	Kil	Kriging, Ordinary, Exponential	8,098	3	Kil	Kriging, Simple, Exponential	8,838
4	OM	IDW 1. Derece	0,867	4	OM	Kriging, Simple, Exponential	0,718
5	Kireç	Kriging, Simple, Exponential	5,637	5	Kireç	Kriging, Simple, Exponential	6,116
6	pH	RBF, Spline With Tension	0,396	6	pH	Kriging, Ordinary, Gaussian	0,403

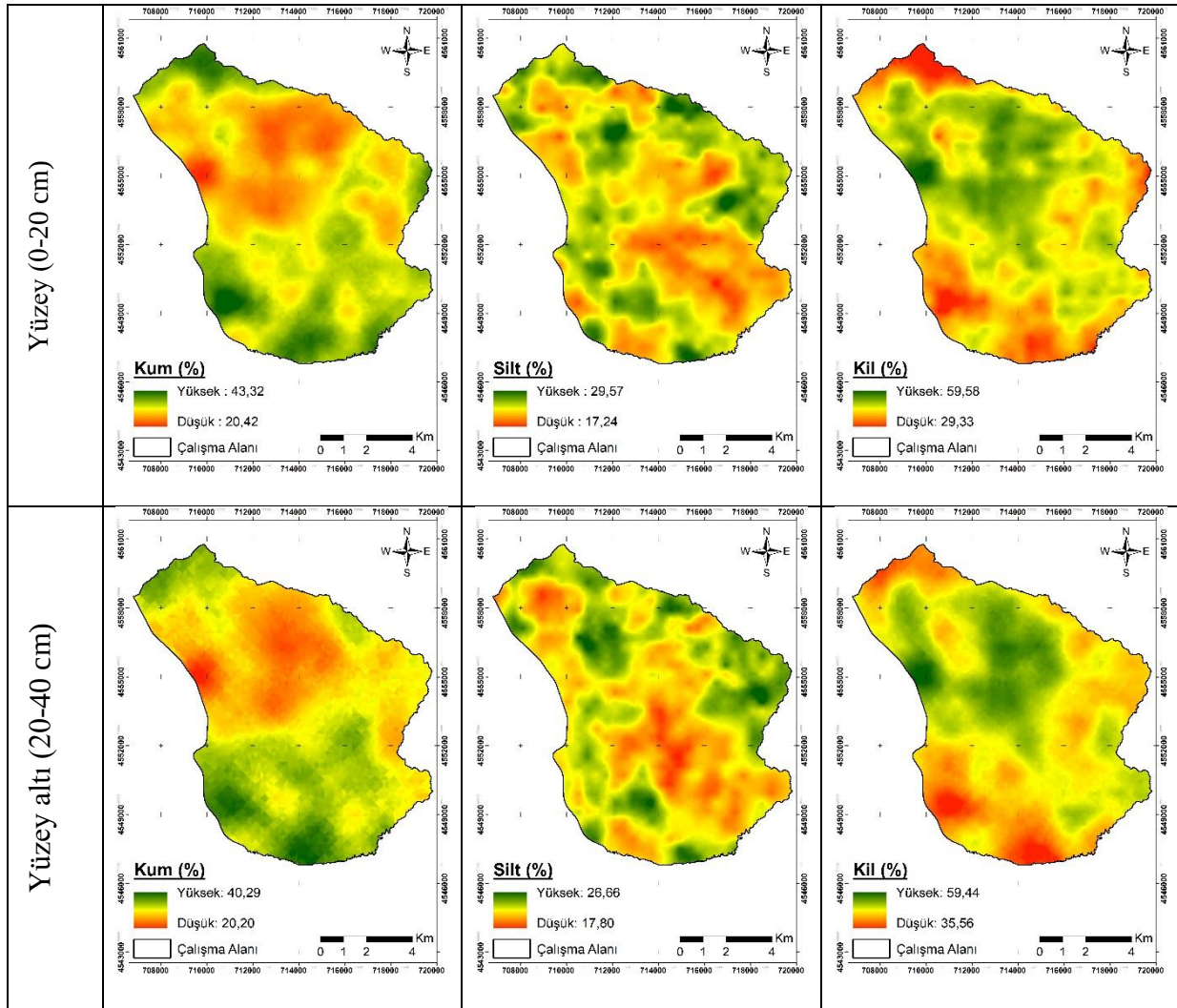
Çalışma alanı topraklarının çok büyük bir bölümü killi bünyeye sahip olup, killi toprak sınıfındaki örnek dağılımı tüm yüzeyde % 77.74 ve yüzey altında %81.79 orana sahiptir. Toprakların tamamında tuzluluk problemi yoktur. pH içerikleri % 80'in üzerinde hafif alkali reaksiyon göstermektedir. Alanın % 90'ında kireç yoğunluğu görülmektedir. Topraktaki CaCO_3 içeriği arttıkça toprağın pH'sının da doğru orantılı olarak artması beklenen bir durumdur (Kishchuk, 2000; El-Aswad ve ark., 2023). Organik madde içeriğindeki düşüklük yüzey topraklarının % 3.5'inde, yüzey altı topraklarının ise % 15.23'ünde sorun olarak görülmektedir (Çizelge 3). Türkiye topraklarının büyük çoğunluğunda organik madde miktarı düşük, kireç miktarı fazla ve pH ise hafif alkali reaksiyon göstermektedir (Sönmez ve ark., 2018). Bizim sonuçlarımız, Türkiye topraklarının genel toprak özellikleriyle benzerlik göstermektedir.

Çizelge 3. Yüzey ve yüzey altı toprak örneklerinin bazı fiziksel, kimyasal ve verimlilik parametrelerine ait dağılım oranları

Parametre	Sınıf	Tanımlama	Yüzey (0-20 cm)		Yüzey altı (20-40 cm)	
			Örnek Sayısı	%	Örnek Sayısı	%
Bünye sınıfları (%)	>%50 C. SC. SiC	Kil, Kumlu kil, Siltli kil,	510	77.74	521	81.79
	CL. SCL. L.SiCL.	Killi tın, Kumlu killi tın, Siltli killi tın	130	19.82	108	16.95
	L. SiL. Si	Tın, Siltli tın, Silt	15	2.29	6	0.94
	SL	Kumlu tın	1	0.15	2	0.31
	S. LS	Kum, Tınlı kum	*	*	*	*
pH	<4.5	Kuvvetli asit	*	*	*	*
	4.5-5.5	Orta asit	2	0.30	2	0.31
	5.5-6.5	Hafif asit	23	3.51	11	1.73
	6.5-7.5	Nötr	88	13.41	66	10.36
	7.5-8.5	Hafif alkali	537	81.86	533	83.67
	>8.5	Kuvvetli alkali	6	0.91	25	3.92
CaCO_3 (%)	0-1	Az kireçli	37	5.64	33	5.18
	1-5	Kireçli	145	22.10	133	20.88
	5-15	Orta kireçli	295	44.97	272	42.70
	15-25	Fazla kireçli	158	24.09	171	26.84
	>25	Çok fazla kireçli	21	3.20	28	4.40
OM (%)	<0.5	Çok az	5	0.76	17	2.67
	0.5-1.0	Az	18	2.74	80	12.56
	1.0-2.0	Orta	226	34.45	336	52.75
	2.0-3.0	İyi	280	42.68	159	24.96
	>3.0	Yüksek	127	19.36	45	7.06

Çalışma alanına ait yüzey ve yüze altı bünye (kum, silt ve kil) dağılım haritaları Şekil 3'te verilmiştir. Yüzey topraklarında kum bünyenin daha çok çalışma alanının kuzeyinde ve güney kısmında bulunan ormanlık alanlara doğru yüksek özellik gösterdiği, bunun yanında kil içeriğinin ise alanının büyük çoğunluğunda

özellikle basınçlı sulama ile yoğun tarım faaliyetlerinin yürütüldüğü bölgelerde dağılım gösterdiği görülmektedir. Silt içeriği ise yüzey ve yüzey altı topraklarında daha çok alanın batısında ve orta ve güneybatısında özellikle erozyona karşı duyarlı olan alanlarda görülmektedir.



Şekil 3. Çalışma alanına ait bünye dağılım haritaları

Çalışma alanını kuzey bölümü eğim azalması nedeniyle tarımın yoğun olduğu alanları temsil etmektedir. Bu kısımlarda yüzey ve yüzey altı toprak özelliklerine bakılarak pH içeriğinin hafif alkali, buna bağlı olarak kireç içeriğinin fazla ve organik madde içeriğinin ise orta ve az düzeyde olduğu görülmektedir (Şekil 4).

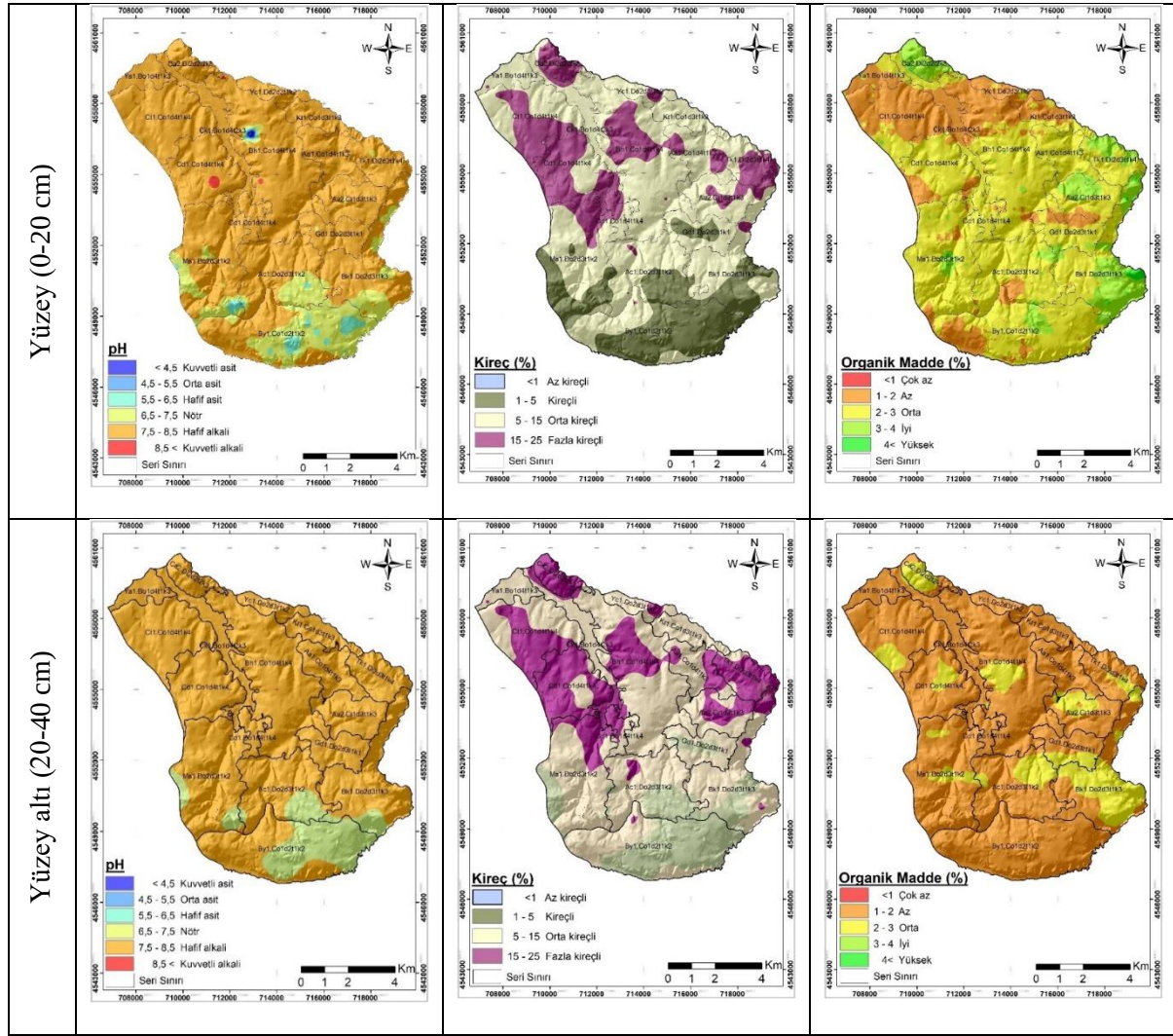
Sonuç

Bu çalışmanın temel yaklaşımı, yarı kurak ekolojik koşullara sahip bölgenin, yüzey (0-20 cm) ve yüzey altı (20-40 cm) topraklarının bünye, organik madde, CaCO_3 ve pH analiz sonuçlarının mekânsal dağılımlarını ortaya çıkartmaktır. Çalışma alanına ait toprak özelliklerinin istatistiksel analiz sonuçlarına göre, yüzey ve yüzey altı topraklarının kum, silt, OM ve CaCO_3 değerleri sola çarpıklık gösterirken, kil ve pH değerleri sağa çarpıklık göstermektedir. Ayrıca toprakların analiz sonuçlarının sahip olduğu CV katsayıları yüksek (OM ve CaCO_3), orta (bünye) ve düşük (pH) değerlere sahiptir.

Toprakların enterpolasyon modelleri sonuçlarına göre, çoğu toprak özelliği için Kriging yöntemi en düşük RMSE değerini vermiştir. Toprak tekstür fraksiyonlarının mekansal dağılım haritaları, çalışma alanının kuzey ve kuzeydoğusunda toprak tekstürünün daha ince olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, çoğu alanda kil miktarı 0-20 cm'ye kıyasla 20-40 cm'de azalmıştır. pH ve OM haritaları, çalışma bölgesindeki toprakların, genellikle hafif alkali ve orta düzeyde organik maddeye sahip olduğunu açıkça göstermektedir. Ayrıca çalışma alanının büyük bir kısmının yüksek kireç içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Artan dünya nüfusu sebebiyle gıdaya olan talep artış göstermektedir ve bu da topraklar üzerinde ki baskıyı arttırmaktadır. Artan bu baskı sebebiyle doğal bir kaynak olan toprakların daha iyi yönetilmesi gerekliliği

doğmuştur. Toprak özelliklerinin bilinmesi sürdürülebilir tarımsal üretimin sağlanmasında bir öncelik olarak görülmektedir. Yapılan bu çalışmayla toprak özelliklerinin dağılım haritalarının oluşturulması, arazilerin karakteristiklerinin bir altlık harita üzerinde açıkça görünmesini sağladığından, sürdürülebilir tarımsal üretimin geliştirilmesi açısından önemli bir ihtiyacı karşılamaktadır.



Şekil 4. Yüzey topraklarına ait pH, kireç ve organik madde dağılım haritaları

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü tarafından desteklenen "Coğrafi Bilgi Sistem Modellemesi ile Tarımsal Arazi Kullanım Planının Yapılması - Vezirköprü Örneği" TAGEM/TSKAD/B/18/A9/P2/1017 kodlu proje kapsamında üretilmiştir.

Kaynaklar

- Abad JRS, Khosravi H, Alamdarlou EH. 2014. Assessment the effects of land use changes on soil physicochemical properties in Jafarabad of Golestan province, Iran. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 3(3), 296-300.
- AbdelRahman MA., Arafat SM. 2020. An approach of agricultural courses for soil conservation based on crop soil suitability using geomatics. *Earth Systems and Environment*, 4(1), 273-285.
- Abdulmanov R, Miftakhov I, Ishbulatov M, Galeev E, Shafeeva E. 2021. Comparison of the effectiveness of GIS-based interpolation methods for estimating the spatial distribution of agrochemical soil properties. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101970.
- Adetunji MT. 2004. Integrated soil nutrient management options for Nigerian Agriculture. In *Managing soil resources for food security and sustainable environment*. 20th Annual Conference of the Soil Science Society of Nigeria, Abuja, Nigeria (pp. 189-195).

- Alaboz P, Demir S, Dengiz O. 2020. Farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılarak toprakların nem sabitelerine ait konumsal dağılımların belirlenmesi, Isparta Atabey Ovası örneği. *Tekirdağ Ziraat Fak. Dergisi*, 17(3), 432-444.
- Anonim, 2023. Vezirköprü ilçesinin iklimi. <http://www.vezirkopru.gov.tr/iklimi---bitki-ortusu>. Erişim Tarihi: 30/08/2023.
- Aytop H, Ateş Ö, Dengiz O, Yılmaz CH, Demir ÖF. 2023. Environmental, ecological and health risks of boron in agricultural soils of Amik Plain under Mediterranean conditions. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1-13.
- Barrena-González J, Lavado Contador JF, Pulido Fernández M. 2022. Mapping Soil Properties at a Regional Scale: Assessing Deterministic vs. Geostatistical Interpolation Methods at Different Soil Depths. *Sustainability*, 14(16), 10049.
- Bayraklı F, 1987. Toprak ve bitki analizleri, Ondokuz Mayıs üniversitesi Yayınları, No:17, Samsun.
- Birol M, Günel H. 2022. Field scale variability in soil properties and silage corn yield. *Soil Studies*, 11(1), 27-34.
- Bouyoucos GJ. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils 1. *Agronomy journal*, 43(9), 434-438.
- Çelik P, Dengiz O. 2018. Akselendi Ovası tarım topraklarının temel toprak özellikleri ve bitki besin elementi durumlarının belirlenmesi ve dağılım haritalarının oluşturulması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 5(1), 9-18.
- Dengiz O, Saygın F, İmamoğlu A, 2019. Spatial variability of soil organic carbon density under different land covers and soil types in a sub-humid terrestrial ecosystem. *Eurasian Journal of Soil Science*, 8(1): 35-43.
- Ding Y, 2011. Research on the spatial interpolation methods of soil moisture based on GIS, International Conference on Information Science and Technology, 709-711, China
- El-Aswad AF, Fouad MR, Badawy ME, Aly MI. 2023. Effect of calcium carbonate content on potential pesticide adsorption and desorption in calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 54(10), 1379-1387.
- El-Ramady HR, Domokos-Szabolcsy É, Abdalla NA, Taha HS, Fári M. 2014. Postharvest management of fruits and vegetables storage. In *Sustainable Agriculture Reviews: Volume 15* (pp. 65-152). Cham: Springer Inter. Publ.
- Emadi M, Baghernejad M. 2014. Comparison of spatial interpolation techniques for mapping soil pH and salinity in agricultural coastal areas, northern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(9), 1315-1327.
- FAO, 2005. The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil and sustained food production. In: Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAO Soils Bulletin No. 80*. Rome, Italy.
- Fu W, Tunney H, Zhang C. 2010. Spatial variation of soil nutrients in a dairy farm and its implications for site-specific fertilizer application. *Soil and Tillage Research*, 106(2), 185-193.
- Hayes RC, Rohan M, Li GD, Orgill SE, Poile GJ, Oates AA, Conyers MK. 2022. The nature of spatial variability of four soil chemical properties and the implications for soil sampling. *J. of Soils and Sediments*, 22(12), 3006-3017.
- Jackson ML. 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J.
- Jaleta D, Mbilinyi B, Mahoo H, Lemenih M. 2016. Eucalyptus expansion as relieving and provocative tree in Ethiopia. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 6(3), 1-12.
- Jeong G, Oeverdieck H, Park SJ, Huwe B, Ließ M. 2017. Spatial soil nutrients prediction using three supervised learning methods for assessment of land potentials in complex terrain. *Catena*, 154, 73-84.
- Jiang B, Xu W, Zhang D, Nie F, Sun Q. 2022. Contrasting multiple deterministic interpolation responses to different spatial scale in prediction soil organic carbon: A case study in Mollisols regions. *Ecol. Indicators*, 134, 108472.
- Khan MZ, Islam MR, Salam ABA, Ray T. 2021. Spatial variability and geostatistical analysis of soil properties in the diversified cropping regions of Bangladesh using geographic information system techniques. *Applied and Environmental Soil Science*, 2021(1), 6639180.
- Kishchuk BE. 2000. Calcareous soils, their properties and potential limitations to conifer growth in Southeastern British Columbia and Western Alberta: a literature review. Information Report-Northern Forestry Centre, Canadian Forest Service, (NOR-X-370).
- Komolafe AA, Olorunfemi IE, Oloruntoba C, Akinluyi FO. 2021. Spatial prediction of soil nutrients from soil, topography and environmental attributes in the northern part of Ekiti State, Nigeria. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 21, 100450.
- Liu L, Jin Y, Wang J, Hong Q, Pan Z, Zhao J. 2019. Comparison of spatial interpolation methods on slowly available potassium in soils. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 234, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- McBratney AB, Pringle M J. 1997. Spatial variability in soil-implications for precision agriculture.
- Motaghian HR, Mohammadi J. 2011. Spatial estimation of saturated hydraulic conductivity from terrain attributes using regression, kriging, and artificial neural networks. *Pedosphere*, 21(2), 170-177.
- Mouazen AM, Dumont K, Maertens K, Ramon H. 2003. Two-dimensional prediction of spatial variation in topsoil compaction of a sandy loam field-based on measured horizontal force of compaction sensor, cutting depth and moisture content. *Soil and Tillage Research*, 74(1), 91-102.

- Özyazıcı MA, Dengiz O, Aydoğan M, Bayraklı B, Kesim E, Urla Ö, Ünal E, 2016. Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi tarım topraklarının temel verimlilik düzeyleri ve alansal dağılımları. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(2016): 136-148.
- Peker AE, Dengiz O, Birol M. 2024. Bafra Ovası örnek mera alanlarının bazı fiziksel kalite indeksleri ve konumsal dağılımları. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 11(1), 58-70.
- Raheem AM, Naser IJ, Ibrahim MO, Omar NQ. 2023. Inverse distance weighted (IDW) and kriging approaches integrated with linear single and multi-regression models to assess particular physico-consolidation soil properties for Kirkuk city. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1-23.
- Santra P, Chopra UK, Chakraborty D. 2008. Spatial variability of soil properties and its application in predicting surface map of hydraulic parameters in an agricultural farm. *Current science*, 937-945.
- Saygın, F., & Dengiz, O. 2023. Detailed soil mapping and classification study for sustainable agricultural land management; Samsun-Vezirköprü example. *Soil Studies*, 12(1), 40-53.
- Saygın F, Aksoy H, Alaboz P, Dengiz O. 2023. Different approaches to estimating soil properties for digital soil map integrated with machine learning and remote sensing techniques in a sub-humid ecosystem. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(9), 1061.
- Soil Survey Staff, 1993. Soil Survey Manual, USDA. Handbook No: 18 Washington D.C.
- Sönmez B, Özbahçe A, Akgül S, Keçeci M. 2018. Türkiye topraklarının bazı verimlilik ve organik karbon (TOK) içeriğinin coğrafi veritabanının oluşturulması (Report No. TAGEM/TSKAD/11/A13/P03).T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü. [https://arastirma.tarimorman.gov.tr/toprakgubre/Belgeler/2018%20Y%C4%B1%C4%B1%20Proje%20Raporlar%C4%B1/T%C3%BCrkiye%20Topraklar%C4%B1n%C4%B1n%20Baz%C4%B1%20Verimlilik%20ve%20Organik%20Karbon%20\(TOK\)%20%C4%B0%C3%A7eri%C4%9Finin%20Co%C4%9Frafisi%20Veritaban%C4%B1n%C4%B1n%20Ol%C5%9Fturulmas%C4%B1.pdf](https://arastirma.tarimorman.gov.tr/toprakgubre/Belgeler/2018%20Y%C4%B1%C4%B1%20Proje%20Raporlar%C4%B1/T%C3%BCrkiye%20Topraklar%C4%B1n%C4%B1n%20Baz%C4%B1%20Verimlilik%20ve%20Organik%20Karbon%20(TOK)%20%C4%B0%C3%A7eri%C4%9Finin%20Co%C4%9Frafisi%20Veritaban%C4%B1n%C4%B1n%20Ol%C5%9Fturulmas%C4%B1.pdf)
- Spurgeon DJ, Keith AM, Schmidt O, Lammertsma DR, Faber JH. 2013. Land-use and land-management change: relationships with earthworm and fungi communities and soil structural properties. *BMC ecology*, 13(1), 46.
- Srivastava PK, Pandey PC, Petropoulos GP, Kourgialas NN, Pandey V, Singh U. 2019. GIS and remote sensing aided information for soil moisture estimation: A comparative study of interpolation techniques. *Resources*, 8(2), 70.
- Şenol H, Alaboz P, Dengiz O. 2020. Farklı ana materyal üzerinde oluşmuş toprakların fiziko-kimyasal ve besin elementi içeriklerinin enterpolasyon yöntemiyle değerlendirilmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(3), 505-516.
- Taşan M, Demir Y. 2017. Çeltik yetiştiriciliği yapılan arazilerde demir ve mangan içeriklerinin alansal dağılımının farklı enterpolasyon yöntemleri ile belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(1), 64-73.
- Taşan S, Demir Y. 2019. Toprakların tuzluluk ve sodikliliğinin alansal ve zamansal değişiminin jeostatistiksel yöntemlerle değerlendirilmesi: Bafra ovası örneği. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34(3), 336-350. <https://doi.org/10.7161/omuanajas.557601>
- Turan M, Dengiz O, Turan İD. 2018. Samsun ilinin Newhall modeline göre toprak sıcaklık ve nem rejimlerinin belirlenmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 5(2), 131-142.
- Van Wambeke AR. 2000. The Newhall Simulation Model for estimating soil moisture and temperature regimes. Department of Crop and Soil Sciences. Cornell University, Ithaca, NY.
- Varol M, Deliboran A, Aytop H, Ateş Ö. 2023. Boron contamination and related health risk assessment in the soils collected from olive groves in İzmir province, Türkiye. *Chemosphere*, 140210.
- Vieira SR, Dechen SCF. 2010. Spatial variability studies in São Paulo, Brazil along the last twenty five years. *Bragantia*, 69, 53-66.
- Wilding LP. 1985. Spatial variability: Its documentation accommodation and implication to soil surveys In: Soil spatial variability (Nielsen DR, Bouma J eds.) Pudoc Wageningen, The Netherlands, pp. 166-194.
- Xie B, Jia X, Qin Z, Zhao C, Shao MA. 2020. Comparison of interpolation methods for soil moisture prediction on China's Loess Plateau. *Vadose Zone Journal*, 19(1), e20025.
- Zhang Y, Hartemink AE. 2021. Quantifying short-range variation of soil texture and total carbon of a 330-ha farm. *Catena*, 201, 105200.



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

<http://dergi.toprak.org.tr>



Bitki yetiştirme ortamında torf, ahır gübresi ve kimyasal gübre uygulamalarına bazı toprak özelliklerinin tepkisi

Füsün GÜLSER*, Bulut SARĞIN

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van

Öz

Çalışmada torf, ahır gübresi ve kimyasal gübre uygulamalarının *Stevia* (*Stevia rebaudiana*) yetiştirme ortamının toprak özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneme, Toprak (T), Torf (Tf) ve Toprak:Torf:Ahır gübresi (T:Tf:AG), Toprak:Kum:Ahır gübresi (T:K:AG) olmak üzere altı farklı yetiştirme ortamı kullanılarak, her bir yetiştirme ortamı için 1:1:1 ve 2:1:1 oranlarında hem temel gübre uygulanarak hem de uygulanmaksızın, şansa bağlı deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Temel gübre olarak sırasıyla 100 mg kg⁻¹ P₂O₅, 150 mg kg⁻¹ K₂O ve 250 mg kg⁻¹ N Triple Süper Fosfat, K₂SO₄ ve (NH₄)₂SO₄ olarak uygulanmıştır. Araştırmada en düşük pH ortalamaları kimyasal gübresiz ve kimyasal gübreli uygulamaların ikisinde de torf yetiştirme ortamında sırası ile 5.08 ve 5.10 olarak, en yüksek pH ortalaması 7.72 olarak kimyasal gübre uygulanmayan toprak ortamında belirlenmiştir. En düşük EC ortalaması kimyasal gübresiz uygulamalarda 791.66 µS cm⁻¹ olarak torf yetiştirme ortamında, en yüksek EC ortalamaları ise kimyasal gübreli ve gübresiz uygulamaların her ikisinde de T:Tf:AG (1:1:1) yetiştirme ortamlarında sırası ile 4713.35 µS cm⁻¹ ve 5860.00 µS cm⁻¹ olarak bulunmuşlardır. En düşük organik madde içeriği ise kimyasal gübreli uygulamalarda T:K:AG (2:1:1) yetiştirme ortamında %0.76 olarak elde edilmiştir. En yüksek organik madde içerikleri kimyasal gübreli ve gübresiz uygulamaların her ikisinde de T:Tf:AG (1:1:1) yetiştirme ortamlarında sırası ile %12.14 ve %18.77 olarak bulunmuşlardır. Araştırma sonucunda, genel olarak ortamlardaki torf ve ahır gübresi oranı arttıkça organik madde içeriği ve EC değerlerinin arttığı, pH değerlerinin ise azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yetiştirme ortamı, turba, ahır gübresi, kimyasal gübre, toprak özellikleri.

Response of some soil properties to peat, farmyard manure and chemical fertilizer applications in plant growth media

Abstract

The study investigates the effects of Peat, Farm Yard Manure and Chemical Fertilizer Applications on soil properties of *Stevia* (*Stevia rebaudiana*) growth media. The experiment was conducted using six different growing media as Soil (S), Peat (P) and Soil:Peat:Farmyard Manure (S:P:FYM), Soil:Sand:Farmyard Manure (S:Sand:FYM) in the ratios of 1:1:1 and 2:1:1 for each combined growth media both with and without the application of basic fertilizer and carried out in three replications according to the randomized experimental design. As a basic fertilizer 100 mg kg⁻¹ P₂O₅, 150 mg kg⁻¹ K₂O and 250 mg kg⁻¹ N were applied as triple super phosphate K₂SO₄ and (NH₄)₂SO₄, respectively. In the study, the lowest pH means were determined as 5.08 and 5.10 in the peat (Tf) growth media in both the applications without and with chemical fertilizer, respectively, and the highest pH means was determined as 7.72 in the soil (S) media without chemical fertilizer application. The lowest EC means was found as 791.66 µS cm⁻¹ in peat growth media in applications without chemical fertilizer, while the highest EC means were found as 4713.35 µS cm⁻¹ and 5860.00 µS cm⁻¹ in S:P:FYM (1:1:1) growth media in both chemical fertilizer and non-fertilizer applications, respectively. The lowest organic matter content was 0.76% in the S:Sand:FYM (2:1:1) growth media in chemical fertilizer applications. The highest organic matter contents were found in the S:P:FYM (1:1:1) growth media in both chemical fertilizer and non-fertilizer applications as 12.14% and 18.77%, respectively. As a result of the research, it was determined that, in general, as the proportion of peat and farmyard manure in the media increases, the organic matter content and EC values increase, while pH values decrease.

Keywords: Growth media, peat, Farmyard manure, chemical fertilizer, soil properties.

© 2025 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (432) 444 5065 / 61
E-posta : gulserf@yahoo.com

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 10 Kasım 2025 e-ISSN : 2146-8141
Kabul Tarihi : 16 Aralık 2025 DOI : 10.33409/tbbbd.1821181

Giriş

Bitki yetiştirme ortamları su, besin maddeleri, hava ve kökler için fiziksel destek rezervuarı olarak işlev görür ve performansı kimyasal, fiziksel ve biyolojik özellikler tarafından belirlenir. Gelişen köklere su, besin, hava ve fiziksel destek sağlamak için tasarlanan bitki yetiştirme ortamlarının kompozisyonu, tekstürü ve fizikokimyasal özellikleri, bitki morfolojisini, büyüme hızını, biyokütle dağılımını, sağlığını ve verimini doğrudan etkilemektedir. Bitki yetiştirme ortamları besin elementi yarıyışlılığı, tuzluluk, pH, katyon değişim kapasitesi ve besin elementi yıkanması gibi toprak kimyasal özellikleriyle etkileşime girerek, bitkiler için besin biyo yarıyışlılığını şekillendirmektedir (Atiyeh ve ark., 2015; Li ve ark., 2022). Torf ve ahır gübresi substrat girdisi olarak, toprak ve yetiştirme ortamının pH, elektriksel iletkenlik ve organik madde içeriği gibi kimyasal ve fiziksel özelliklerini düzenleyerek bitki gelişimi için uygun ortam oluşmasına katkı sağlamaktadır. Bitki yetiştirme ortamında kullanılan torf, ortamın gözeneklilik, su tutma kapasitesi, pH tamponlama gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirerek ve besin elementi yarıyışlılığını olumlu yönde etkilemektedir. Bundan dolayı mineral toprakların veya diğer organik katkı maddelerinin yerine veya bunlara destek olarak kullanıldığında bitki büyüme performansını iyileştirmektedir (Shober ve ark., 2010; Çelebi, 2019; Fornés ve ark., 2020; Gülser ve ark., 2020).

Organik kaynaklı girdiler (ahır, kümes hayvanları ve diğer hayvan gübreleri) toprağa uygulandığında veya topraksız ortama dahil edildiğinde, özellikle azot, fosfor ve potasyum besin elementlerini takviye etmek, nem tutma kapasitesi ve gözeneklilik gibi toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirmek yolu ile bitki gelişimini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu alanda yürütülmüş olan araştırma sonuçları organik kaynaklı girdilerin eklenmesinin, katkı maddesi eklenmemiş kontrollere kıyasla biyokütleyi, boyu, yaprak alanını veya meyve verimini artırdığını ve gübre kompostladığında etkilerin genellikle daha da arttığını göstermektedir (Uka ve ark., 2013; Hu ve ark., 2018; Ddamulira ve ark., 2022; Bleizgys ve ark., 2024). Yetiştirme ortamında torf ile ahır gübresi bakımından zengin substratların birleştirilmesinin, besin elementi alımını uygun fiziksel özelliklerle dengeleyebildiği, gübrenin karıştırılmadan önce kompostlamasının, buharlaşmayı, fitotoksik bileşikler ve aşırı EC dalgalanmalarını azalttığı dolayısı ile domates ve Mongolian pine, lespedeza, lyme grass bitkilerinde ürün artışı sağlandığı bildirilmiştir (Lazcano ve ark., 2009, Hu ve ark., 2018). Bu çalışmada torf, ahır gübresi ve kimyasal gübre uygulamalarının Stevia (*Stevia rebaudiana*) bitkisinin yetiştirme ortamında bazı toprak özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü ne ait iklim odasında yürütülmüştür. Yetiştirme ortamında sıcaklık, nem, ışık ve ayrıca sterilizasyon kontrolleri yapılmıştır. İklim odasında fidelerin büyüme ve gelişme süresince % 45-55 nem, 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık foto periyod, $25 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklık ile 10 000 Lüx/Gün ışık intensitesi olacak şekilde ayarlanan kontrollü koşullar altında yetiştirilmiştir.

Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak 36 saksıda yürütülmüştür. Araştırmada 6 farklı yetiştirme ortamı, toprak (T), torf (Tf), ahır gübresi (AG) ve kumun hacim esasına göre izleyen oranlarda karışımları sonucu elde edilmiştir. Toprak, Torf, Toprak: Torf: Ahır Gübresi (1:1:1), Toprak: Kum: Ahır Gübresi (1:1:1), Toprak: Torf: Ahır Gübresi (2:1:1), Toprak: Kum: Ahır Gübresi (2:1:1). Bu yetiştirme ortamlarında temel gübrelemeli ve temel gübrelemesiz olmak üzere 2 farklı uygulama yapılmıştır. İki adet şeker otu fidesi 3 kg kapasiteli plastik saksılara dikilerek birinci haftanın sonunda 1 adet bitkiye seyreltilmiştir. Temel gübreleme olarak 100 mg kg^{-1} , P_2O_5 150 mg kg^{-1} , K_2O ile 250 mg kg^{-1} N olacak şekilde sırasıyla TSP, K_2SO_4 ve $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ gübreleri uygulanmıştır. Deneme, fide dikiminden hasada kadar iklim odasında kontrol altında tutulmuş ve 8 hafta sonra sonlandırılmıştır. Denemede kullanılan yetiştirme ortamlarının özellikleri ve uygulamalar Çizelge 1’de ve Çizelge 2’de verilmiştir.

Farklı uygulamaların yapıldığı yetiştirme ortamlarında toprak reaksiyonu 1:2.5 (W:V) toprak: su süspansiyonunda pH metre ile, toprak tuzluluğu EC metre ile aynı süspansiyonda (Black, 1965), organik madde içeriği Walkley-Black yaş yakma metoduna (Jackson, 1958) göre belirlenmiştir. Farklı uygulamalarda elde edilen veriler arasındaki farklılıkları ortaya koymak amacıyla yapılan istatistiksel analizler için SPSS paket programı kullanılmıştır (SPSS, 2018).

Çizelge 1. Denemede kullanılan torf ve ahır gübresinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Genel Özellikler	Organik Materyal	
	Torf	Ahır Gübresi
pH	6.04	8.59
EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	390	320
OM (%)	50	73
N (%)	2.47	1.93
P	0.68	3500
K(mg kg^{-1})	182	8300
Ca(mg kg^{-1})	1260	61900
Mg (mg kg^{-1})	769	7700
Fe (mg kg^{-1})	330	3450
Zn (mg kg^{-1})	17	205
Mn (mg kg^{-1})	12	188
Cu (mg kg^{-1})	7	50

Çizelge 2. Denemede kullanılan yetiştirme ortamları ve uygulamalar

NPK Gübrelemeli Yetiştirme Ortamı	NPK Gübrelemesiz Yetiştirme Ortamı
1) Toprak	1) Toprak
2) Torf	2) Torf
3) Toprak:Tf:Ahır Gübresi (1:1:1)	3) Toprak:Tf:Ahır gübresi (1:1:1)
4) Toprak:Kum:Ahır Gübresi (1:1:1)	4) Toprak:Kum:Ahır Gübresi (1:1:1)
5) Toprak:Tf:Ahır gübresi (2:1:1)	5) Toprak:Tf:Ahır Gübresi (2:1:1)
6) Toprak:Kum:Ahır Gübresi (2:1:1)	6) Toprak:Kum:AhırGübresi (2:1:1)

Bulgular ve Tartışma

İstatiksel analiz sonuçlarına göre, kimyasal gübre uygulamaları, EC uygulamaları, %1 düzeyinde önemli değişimler meydana getirmişlerdir. Farklı yetiştirme ortamlarında torf ve ahır gübresi uygulamalarının pH, EC ve OM içeriğine etkileri %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Kimyasal gübre ve yetiştirme ortamı interaksiyonları pH üzerinde % 1 düzeyinde etkili olmuş, EC ve OM içeriği üzerinde ise önemli değişimler meydana getirmemiştir (Çizelge 3). Genel olarak ortamlardaki torf ve ahır gübresi oranı arttıkça organik madde içeriği ve EC değerlerinin arttığı, pH değerlerinin ise azaldığı belirlenmiştir (Çizelge 4, Şekil 1).

Çizelge 3. Toprak özelliklerine ait varyans analizlerinin F değerleri

VK	Sd	pH	EC	OM
		F	F	F
Kimyasal gübre	1	2.41 ^{öd}	21.73**	2.27 ^{öd}
Yetiştirme ortamları	5	4.33**	53.97**	31.06**
Kimyasal gübre X yetiştirme ortamı	5	4.203**	0.96 ^{öd}	2.33 ^{öd}

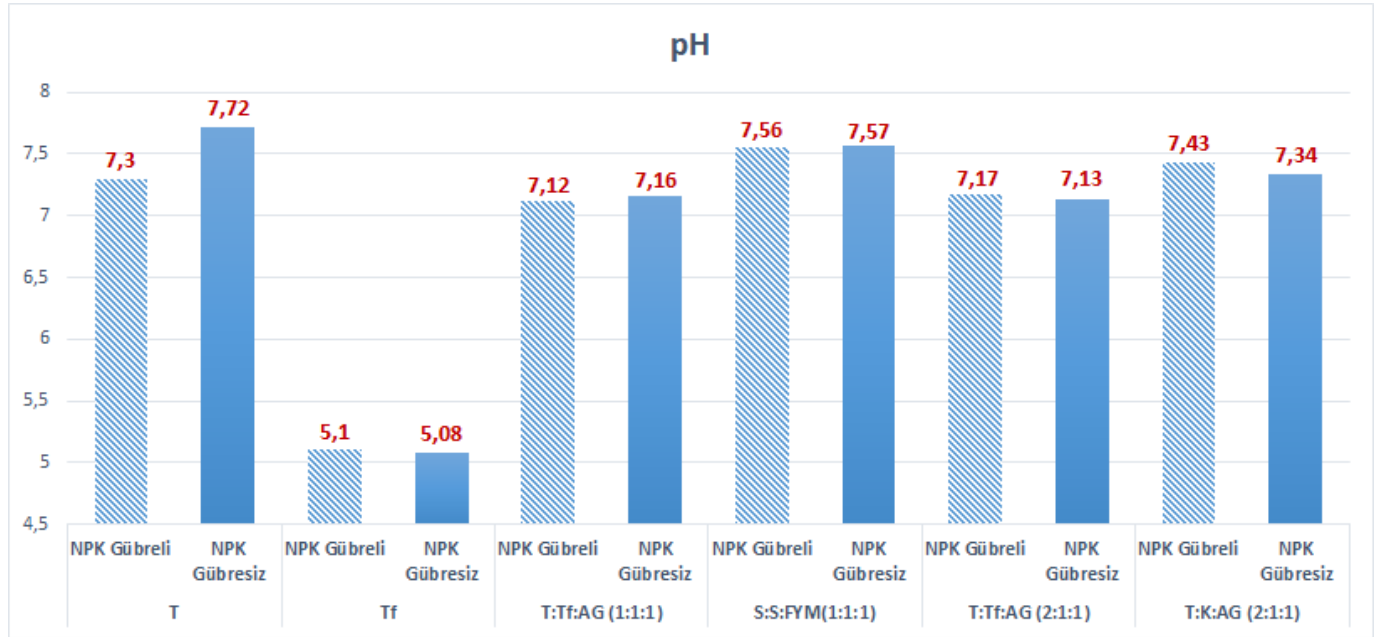
** ile gösterilen F değeri % 1 düzeyinde önemlidir (P<0.01), * ile gösterilen F değeri % 5 düzeyinde önemlidir (P<0.05)

Çizelge 4. Farklı Yetiştirme ortamlarında incelenen toprak özelliklerine ilişkin ortalamalar

NPK Gübreleme	Yetiştirme ortamı	pH	EC	OM
		(1:2.5)	($\mu\text{S cm}^{-1}$)	(%)
Kimyasal gübresiz	Toprak	7.72c	163.13a	1.46a
	Torf	5.08a	791.66a	50.00
	T:Tf:AG (1:1:1)	7.16b	4713.35d	12.14d
	T:K:AG (1:1:1)	7.57c	3071.66c	4.06b
	T:Tf:AG (2:1:1)	7.13b	2976.66c	6.99c
	T:K:AG (2:1:1)	7.34b	1998.00b	2.21a
Genel ortalama		7.00	2285.74	12.80
Kimyasal gübreli	Toprak	7.29bc	1143.00a	0.97a
	Torf	5.10a	1843.33a	50.00
	T:Tf:AG (1:1:1)	7.12b	5860.00c	18.77c
	T:K:AG (1:1:1)	7.56d	3036.00b	2.46ab
	T:Tf:AG (2:1:1)	7.17b	3966.00b	8.85b
	T:K:AG (2:1:1)	7.43cd	2985.00	0.76b
Genel ortalama		6.94	3138.89	13.63

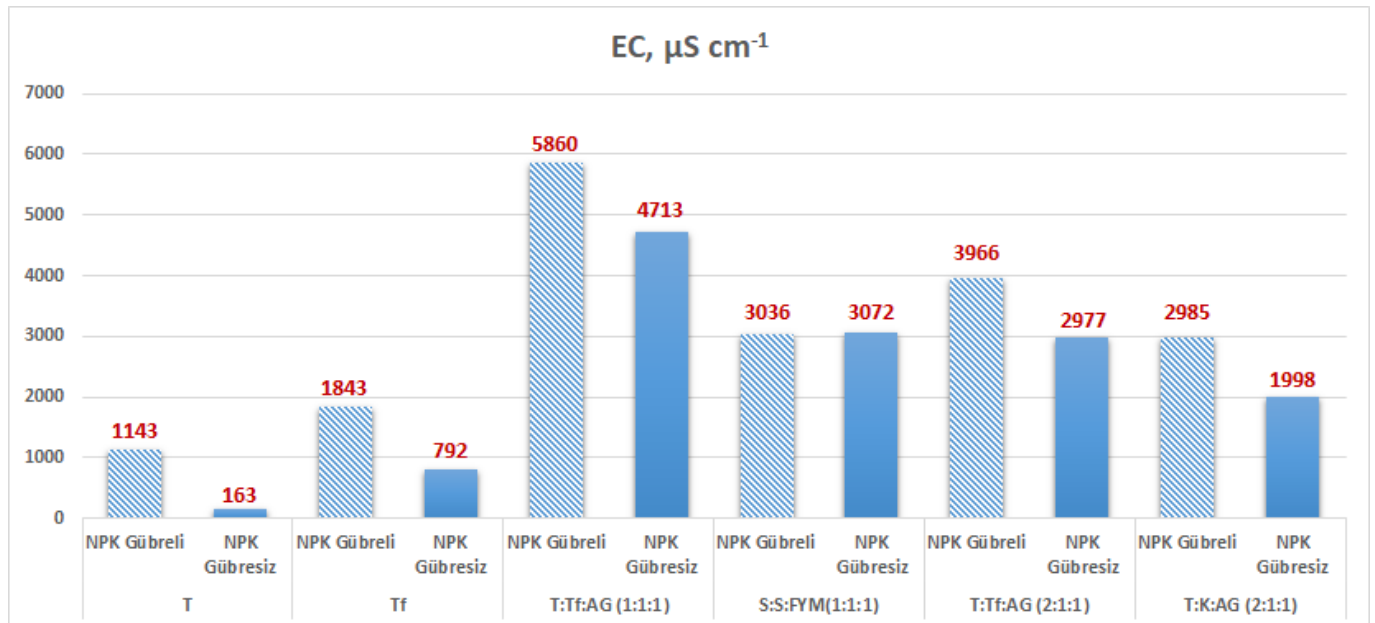
a,b,c: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Araştırmada en düşük pH ortalamaları kimyasal gübresiz ve kimyasal gübreli uygulamaların her ikisinde de torf yetiştirme ortamında sırası ile 5.08 ve 5.10 olarak belirlenmiştir. En yüksek pH ortalamaları ise gübresiz uygulamalarda toprak yetiştirme ortamında 7.72, kimyasal gübreli uygulamalarda T:K:AG (1:1:1) yetiştirme ortamında 7.56 olarak bulunmuştur.

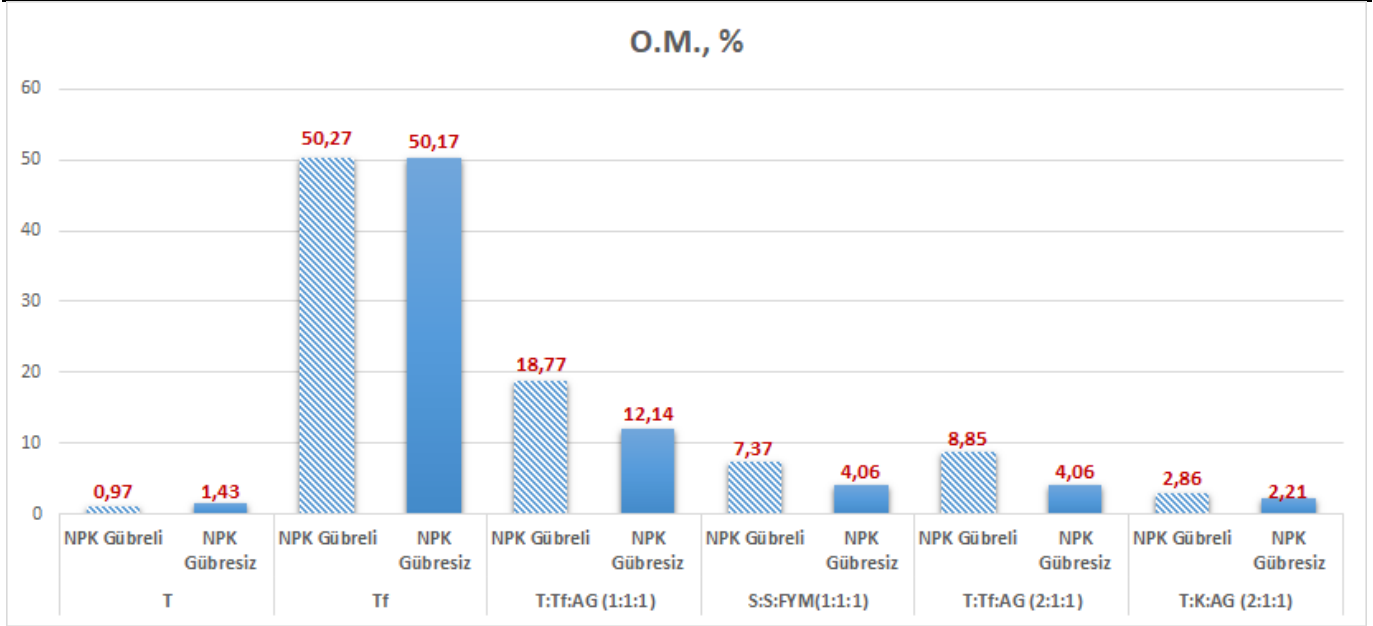


Şekil 1. Torf, ahır gübresi ve NPK gübre uygulamalarının yetiştirme ortamının reaksiyonuna etkileri ($P < 0.01$)

En düşük EC ortalamaları kimyasal gübresiz ve kimyasal gübreli uygulamalarda $163.13 \mu\text{S cm}^{-1}$ ve $1143.00 \mu\text{S cm}^{-1}$ olarak toprak yetiştirme ortamında elde edilmişlerdir. En yüksek EC ortalamaları ise kimyasal gübreli ve gübresiz uygulamaların her ikisinde de T:Tf:AG (1:1:1) yetiştirme ortamlarında sırası ile $4713.35 \mu\text{S cm}^{-1}$ ve $5860.00 \mu\text{S cm}^{-1}$ olarak bulunmuşlardır (Çizelge 4, Şekil 2). En düşük organik madde içeriği ise kimyasal gübresiz uygulamalarda %1.46 olarak toprak yetiştirme ortamında, kimyasal gübreli uygulamalarda T:K:AG (2:1:1) yetiştirme ortamında % 0.76 olarak elde edilmiştir. En yüksek organik madde içerikleri kimyasal gübreli ve gübresiz uygulamaların her ikisinde de T:Tf:AG (1:1:1) yetiştirme ortamlarında sırası ile % 12.14 ve % 18.77 olarak bulunmuşlardır (Çizelge 4, Şekil 3).



Şekil 2. Torf, ahır gübresi ve NPK gübre uygulamalarının yetiştirme ortamının EC değerlerine etkileri ($P < 0.01$).



Şekil 3. Torf, ahır gübresi ve NPK uygulamalarının yetiştirme ortamının organik madde içeriğine etkileri ($P < 0.01$).

Kimyasal gübre uygulamalarında elde edilen EC ve OM ortalamaları kimyasal gübre uygulanmayan yetiştirme ortamlarında elde edilen değerlere kıyasla daha yüksek bulunmuşlardır. Kimyasal gübre uygulamalarında elde edilen pH, ortalamaları ise kimyasal gübre uygulanmayan yetiştirme ortamlarındaki pH değerlerinden daha düşük bulunmuştur (Çizelge 4; Şekil 1,2,3). Bu çalışmanın sonuçları ile uyumlu olarak, farklı araştırmacılar tarafından organik kökenli materyal ilavesinin toprakların EC ve OM içeriklerini kontrole göre artırdığı bildirilmiştir (Candemir ve Gülser, 2007; Demir ve Gülser, 2021; Bayraklı ve Gülser, 2023; Demirkaya ve Gülser, 2025). Ayrıca, farklı organik atık uygulamaları ile toprağa ilave olunan organik madenin mineralizasyonu sırasında açığa çıkan H^+ iyonları ve oluşan zayıf karbonik asidin (H_2CO_3) toprakta pH değerlerindeki düşüşe neden olduğu bildirilmiştir (Iyobe ve Haraguchi, 2008; Lazcano ve ark., 2009; Candemir ve Gülser 2011; Lazcano ve ark., 2009; Bleizgys ve ark., 2024). Armanto (2019), ve Choo ve ark., (2019) torf gibi organik materyallerin toprak pH tamponlama kapasitesini artırabileceğini ve katyon değişim kapasitesini değiştirebileceğini, dolayısı ile daha kararlı bir ortam pH'sı oluşabileceğini vurgulamışlardır.

Torf içeren ortamlar, torfun doğal asiditesi ve proton dengesi ile katyon değişim kapasitesini etkileyen humik maddelerin varlığı nedeniyle sıklıkla daha düşük pH değerleri sergilemektedir. Bu etki, optimum bitki gelişimi için pH ayarlaması gerektiren ortamlarda yararlı olmaktadır (Harris ve ark., 2020; Ortiz-Delvasto ve ark., 2023). Torftan ortama geçen çözünmüş iyonlar ve çözünmüş organik maddeler yoluyla yetiştirme ortamının EC'sinin arttığı ve bu artışın büyüklüğünün torfun oranına ve yardımcı bileşenlere bağlı olduğu bildirilmiştir. Birçok çalışma, torf açısından zengin ortamların, torf içermeyen ortamlara kıyasla daha yüksek EC değerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu EC artışı, daha yüksek torf oranlarında torfun yetiştirme ortamına iyonik yükler ekleyen diğer çözünür katkı maddeleriyle (kompostlar, gübreler veya suni gübreler) desteklendiği durumlarda daha belirgin olmaktadır. Ortamdaki torf, önemli düzeyde organik madde havuzuna katkıda bulunmakta, ortamın tamponlama kapasitesini ve katyon değişim kapasitesini artırmaktadır. Bu organik madde girdisi, besin elementlerinin yarıyışlılığını iyileştirmekte ve pH'yı asitleştirici girdilere veya mevsimsel dalgalanmalara karşı ortam reaksiyonunu tamponlayabilmektedir (Ortiz-Delvasto ve ark., 2023). Yetiştirme ortamlarına dahil edilen ahır gübresinin hem saksı hem de tarla koşullarında toprak organik maddesini veya toprak organik karbonunu sürekli olarak artırdığı, dolayısı ile karbon girdisini ve organik madde fraksiyonlarını stabilize eden mikrobiyal dönüşümü aktive ettiği bildirilmiştir (Bahuguna ve ark., 2021; Kumar ve ark., 2023). Ahır gübresi uygulamaları, özellikle daha yüksek uygulama oranlarında veya tuz açısından zengin girdilerle birleştirildiğinde, bileşiminde bulunan çözünebilir iyonlar ve organik madde ayrışmasını takiben artan besin elementi konsantrasyonları nedeni ile toprak EC'sini genellikle yükseltmektedir (Skuodienė ve ark., 2021; Kumar ve ark., 2023).

Bu çalışmada kimyasal gübre uygulamalarında elde edilen EC ve OM ortalamaları kimyasal gübre uygulanmayan yetiştirme ortamlarında elde edilen değerlere kıyasla daha yüksek bulunmuşlardır. Kimyasal gübre uygulamalarında elde edilen pH, ortalamaları ise kimyasal gübre uygulanmayan yetiştirme

ortamlarındaki pH değerlerinden daha düşük bulunmuştur (Çizelge 4, Şekil 1, 2, 3). NPK kimyasal gübrelemesi altında, nitrifikasyon ve proton salınımı nedeniyle toprak pH'sı zamanla düşmektedir. Bu durum, asitlenmeyi hafifletmek için yeterli tamponlama veya organik materyal girdisi olmadığı sürece toprak organik maddesi stoklarının azalmasına yol açabilmektedir (Wang ve ark., 2014). Özellikle yüksek oranlarda veya uzun süreli yapılan inorganik gübre uygulamalarında çözünabilir tuz seviyelerinin artması nedeni ile toprak EC'si artmaktadır. Bu artışın tamponlama kapasitesini artıran yönetim uygulamalarıyla veya organik madde eklenmesiyle hafifletilebildiği bildirilmiştir (Goutami ve ark., 2015; Kwaghe ve ark., 2017, Bandaogo ve ark., 2020). Bu alanda yürütülmüş olan farklı araştırma sonuçları, inorganik gübrelemenin ahır gübresi, kompost, biyokömür gibi organik girdilerle birleştirilmesinin genellikle toprak organik madde içeriğinin artması ve toprak strüktürünün iyileşmesiyle sonuçlandığını ve bunun da toprak organik maddesinin mineralizasyonunu önlemeye yardımcı olduğunu göstermektedir (Romanyà ve ark., 2012; Rehim ve ark., 2020; Ronga ve ark., 2020).

Organik materyal olarak torf ile ahır gübresinin birleştirilmesi, ortamda bitki besin elementi tedarikini uygun fiziksel özelliklerle dengeleyebilmektedir. Gübrenin karıştırılmadan önce kompostlaması, buharlaşmayı, fitotoksik bileşikler ve aşırı EC dalgalanmalarını azaltarak domates ve yatak bitkileri gibi ürünlerde bitki gelişimi üzerine olumlu etki yapmaktadır (Lazcano ve ark., 2009; Hu ve ark., 2018). Ayrıca torfun tamponlama kapasitesinin, bazı gübrelerin asitleştirici etkilerini yumuşatabildiği ve pH'ı birçok ürün için tolere edilebilir aralıklarda sabitleyebildiği bildirilmiştir (Steinberga ve ark., 2014).

Sonuç

Araştırmada torf ve ahır gübresi bileşenlerinin bitki yetiştirme ortamında pH, EC ve OM içeriği üzerinde etkili olduğu, bu etkinin genel olarak ortam pH'ında düşüş ve EC ve OM içeriğinde artış şeklinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Kimyasal gübre uygulamalarının bu etkiyi desteklediği görülmüştür. Bunun yanında organik kaynaklı gübreler kimyasal gübrelerin etkinlik derecesini artırarak kimyasal gübre tüketiminin azaltılmasına olanak sağlamaktadır. Bitki yetiştirme ortamlarının fiziksel kimyasal ve biyolojik özelliklerinin tohum çimlenmesi, fide gelişimi ve bitki büyüme parametreleri ile yakın ilişki içinde olduğu bilinmektedir. Dolayısı ile ortamlarda kullanılan bileşenlerin özellikleri ve formülasyonu büyük önem taşımaktadır. Torf, öncelikle organik madde sağlar ve pH üzerinde tamponlayıcı etkilere ve iyon dinamikleri aracılığıyla EC üzerinde belirli bir etkiye sahip fiziksel özellikleri iyileştirir; ahır gübresi, toprak sağlığını iyileştirmek için besin ve daha fazla OM sağlar, ancak uygun şekilde işlenmez veya dengelenmezse EC'yi yükseltebilir ve pH'ı değiştirebilir. Bu bakımdan yetiştirme ortamlarında torf-ahır gübresi ve kimyasal gübre kombinasyonları kullanılırken dikkatli formülasyon, pH/EC/OM takibi ve denemeye dayalı optimizasyon önemlidir. Ayrıca torf ve ahır gübresi gibi organik katkı materyalleri, küresel iklim değişikliği ve yanlış toprak yönetimi gibi unsurlar ile baskı altına alınan toprak sağlığının korunması ve sürdürülebilirliğine katkı sağlayabilmeleri bakımından da oldukça faydalı substrat bileşenleri olarak değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

- Armanto ME. 2019. Comparison of chemical properties of peats under different land uses in south sumatra, indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 20(5), 184-192. <https://doi.org/10.12911/22998993/105440>
- Atiyeh RM, Subler S, Edwards CA, Bachman G, Metzger JD, Shuster W. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*, 44(5), 579-590.
- Bahuguna A, Sharma S, Yadav J. 2021. Effect of different organic sources on physical, chemical and biological properties of soil in inceptisols of varanasi. *International Journal of Plant and Soil Science*, 41-52. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2021/v33i530436>
- Bandaogo AA, Ouattara K, Sermé I. 2020. Long term effect of tillage and organo-mineral fertilizer application on phosphorus dynamics on ferric lixisol in burkina faso. *Journal of Agricultural Studies*, 8(4), 240. <https://doi.org/10.5296/jas.v8i4.17328>
- Bayraklı B, Gülser C. 2023. Changes in some physical properties of the soils tread with wheat straw and rice husk under the rotation of white-head cabbage, tomato and wheat. *Soil Studies*, 12(1), 30-39.
- Black CA, 1965. *Methods of Soil Analysis: Part I, Physical and Mineralogical Properties*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Bleizgys R, Povilaitis A, Pekarskas J, Naujokienė V. 2024. Effectiveness of the sustainable manure pile model for ammonia emission and soil. *Agronomy*, 14(7), 1475.
- Candemir F, Gülser C. 2007. Changes in some chemical and physical properties of a sandy clay loam soil during the decomposition of hazelnut husk. *Asian Journal of Chemistry* 19 (3), 2452-2460.

- Candemir F, Gülser C, 2011. Effects of different agricultural wastes on some soil quality indexes at clay and loamy sand fields. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 42 (1):13-28.
- Choo LNLK, Ahmed OH, Majid NMBN, Aziz ZFA. 2019. Improving nitrogen availability on a tropical peat soil cultivated with ananas comosus l. merr. using pineapple residue ash. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(2), 657-672. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00154-4>
- Çelebi M. 2019. Effects of different growing media on the yield in tomato, cucumber and pepper, and on seedling in tomato. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 112-120. <https://doi.org/10.33462/jotaf.332857>
- Demir Z, Gülser C. 2021. Effects of rice husk compost on some soil properties, water use efficiency and tomato (*Solanum lycopersicum* L.) yield under greenhouse and field conditions. *Communications in soil science and plant analysis*, 52(9), 1051-1068.
- Demirkaya S, Gülser C. 2025. Biochar innovations for sustainable agriculture: Acidification and zinc enrichment strategies to improve calcareous soil fertility and wheat yield. *Soil and Water Research*. 20(2):105-118.
- Damulira G, Malaala A, Otim A, Florence N, Maphosa M. 2022. Soil amendments improved tomato growth, yield and soil properties. *American Journal of Plant Sciences*, 13(07), 960-971. <https://doi.org/10.4236/ajps.2022.137063>
- Fornés F, Liu-Xu L, Lidón A, Sánchez-García M, Cayuela ML, Sánchez-Monedero MÁ, Belda RM. 2020. Biochar improves the properties of poultry manure compost as growing media for rosemary production. *Agronomy*, 10(2), 261. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020261>
- Goutami N, Rani P, Pathy RL, Babu PR. 2015. Soil properties and biological activity as influenced by nutrient management in rice- fallow sorghum. *International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology*, 5(1), 10-14. <https://doi.org/10.3329/ijarit.v5i1.24581>
- Gülser F, Çığ A, Gökkaya TH, Atmaca H. 2020. Effects of different growing media on plant growth and nutrient contents of petunia (*petunia hybrida*). *International Journal of Secondary Metabolite*, 6(4), 302-309. <https://doi.org/10.21448/ijsm.554693>
- Harris CN, Dickson RW, Fisher PR., Jackson BE, Poleatewich A. 2020. Evaluating peat substrates amended with pine wood fiber for nitrogen immobilization and effects on plant performance with container-grown petunia. *HortTechnology*, 30(1), 107-116. <https://doi.org/10.21273/horttech04526-19>
- Hu Y, Mgelwa AS, Singh AN, Zeng D. 2018. Differential responses of the soil nutrient status, biomass production, and nutrient uptake for three plant species to organic amendments of placer gold mine-tailing soils. *Land Degradation and Development*, 29(9), 2836-2845. <https://doi.org/10.1002/ldr.3002>
- Iyobe T, Haraguchi A. 2008. Ion flux from precipitation to peat soil in spruce forest-sphagnum bog communities in the ochiishi district, eastern hokkaido, japan. *Limnology*, 9(2), 89-99. <https://doi.org/10.1007/s10201-007-0228-y>
- Jackson ML. 1958. *Soil chemical analysis*. Verlag Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ. 498 S. DM 39.40.
- Kumar S, Kumar TKS, Kumar R, Pathak D, Kumar D, Kumar A, Tiwari H. 2023. Assessment of physico-chemical properties of soil as influenced by different moisture regimes and nitrogen sources in wheat crop. *International Journal of Plant and Soil Science*, 35(19), 765-772. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i193609>
- Kwaghe EK, Saddiq AM, Solomon RI, Musa SA. 2017. Integrated nutrient management on soil properties and nutrient uptake by red onion. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 5(5), 471-475. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i5.471-475.927>
- Lazcano C, Arnold JT, Tato A, Zaller JG, Domínguez J. 2009. Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(4), 944-951. <https://doi.org/10.5424/sjar/2009074-1107>
- Li R, Hao H, Hui S, Wang L, Wang H. 2022. Composted rabbit manure as organic matrix for manufacturing horticultural growing media: composting process and seedling effects. *Sustainability*, 14(9), 5146. <https://doi.org/10.3390/su14095146>
- Ortiz-Delvasto N, García-Ibáñez P, Olmos-Ruiz R, Bárzana G, Carvajal M. 2023. Substrate composition affects growth and physiological parameters of blueberry. *Scientia Horticulturae*, 308, 111528. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111528>
- Rehim A, Khan M, Imran M, Bashir MA, Ul-Allah S, Khan MN, Hussain M. 2020. Integrated use of farm manure and synthetic nitrogen fertilizer improves nitrogen use efficiency, yield and grain quality in wheat. *Italian Journal of Agronomy*, 15(1), 1360. <https://doi.org/10.4081/ija.2020.1360>
- Romanyà J, Arco N, Solà-Morales Id, Armengot L, Sans FX. 2012. Carbon and nitrogen stocks and nitrogen mineralization in organically managed soils amended with composted manures. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 1337-1347. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0456>
- Ronga D, Mantovi P, Pacchioli MT, Pulvirenti A, Bigi F, Allesina G, Prà AD. 2020. Combined effects of dewatering, composting and pelleting to valorize and delocalize livestock manure, improving agricultural sustainability. *Agronomy*, 10(5), 661. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050661>

- Shober AL, Wiese C, Denny GC, Stanley CD, Harbaugh BK, Chen J. 2010. Plant performance and nutrient losses during containerized bedding plant production using composted dairy manure solids as a peat substitute in substrate. *HortScience*, 45(10), 1516-1521. <https://doi.org/10.21273/hortsci.45.10.1516>
- Skuodienė R, Repšienė R, Karčauskienė D, Matyžiūtė V. 2021. The effect of liming and organic fertilisation on the incidence of weeds in the crops of the rotation. *Zemdirbyste-Agriculture*, 108(1), 27-34. <https://doi.org/10.13080/z-a.2021.108.004>
- SPSS, 2018. IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Steinberga V, Dubova L, Alsina I, Gmizo G, Malecka S. 2014. The Effect of Peat and Vermicompost Cavitation Products on the Soil Biological Activity. *Proc. Latv. Univ. Agr*, 32(327).
- Uka UN, Chukwuka KS, Iwuagwu M. 2013. Relative effect of organic and inorganic fertilizers on the growth of okra *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. *Journal of Agricultural Sciences, Belgrade*, 58(3), 159-166.
- Wang X, Tong Y, Gao Y, Gao P, Fen L, Zhao Z, Pang Y. 2014. Spatial and temporal variations of crop fertilization and soil fertility in the loess plateau in china from the 1970s to the 2000s. *PLoS ONE*, 9(11), e112273. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112273>



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

<http://dergi.toprak.org.tr>



Yarı kurak bir bölgede oluşmuş toprakların detaylı etüd-haritalaması ve sınıflandırılması[†]

Bulut SARGIN*, Siyami KARACA

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van

Öz

Bu çalışma yarı kurak ekosisteme sahip olan Van ili Tuşba ilçe sınırları içerisinde yer alan Alaköy ve Atmaca mahalleri topraklarının haritalanması, sınıflandırılması ve özelliklerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Çalışma alanı, yaklaşık 4206.82 hektarlık bir yüzölçümüne sahiptir. Karasal iklimin hüküm sürdüğü bölgede Newhall simülasyon modeline göre, toprak sıcaklık rejimi Mesic ve toprak nem rejimi ise Dry Xeric olarak belirlenmiştir. Paleozoyik'ten Kuaterner'e kadar uzanan geniş bir jeolojik zaman aralığında oluşmuş olan alan, tektonik olarak karmaşık bir ilişki sunan ve katmanlı bir düzen içinde sıralanan metamorfik, volkano-sedimanter ve çökellerden (sedimanter) oluşan kayaç birimlerini içermektedir. Çalışmada, 1:25.000 ölçekli topografik harita, uydu görüntüsü, jeoloji haritası ve arazi gözlemlerinden yararlanılarak 15 adet toprak profili açılarak tanımlanmış ve horizon esasına göre toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örnekleri üzerinde yapılan fiziksel, kimyasal ve verimlilik analizleri sonucunda elde edilen verilere göre, Toprak Taksonomisi (Soil Taxonomy) ve Dünya Referans Sistemine (FAO-WRB) göre sınıflandırma yapılmıştır. Çalışma alanında, Toprak Taksonomisine göre iki ordo, dört alt ordo, dört büyük grup ve sekiz alt grup altında toplanan toplam on beş toprak serisi ve FAO-WRB sistemine göre 8 referans toprak grubu saptanmıştır. Tanımlanan 15 toprak serisi, zayıf gelişim gösteren Entisol (10 seri) ve gelişimi yeni başlamış Inceptisol (5 seri) ordolarına aittir. Üretilen haritalarda, alanın %63.01'lik kısmını Entisoller oluştururken, geri kalan %35.68 kısmında Inceptisoller yer almaktadır. Elde edilen sonuçlara çalışma alanında, seri ve faz düzeyinde detaylandırılarak oluşturulan temel toprak haritası, havza topraklarının sürdürülebilir yönetimi için önemli bir bilimsel altyapı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yarı kurak ekosistem, toprak etüd ve haritalama, CBS, toprak sınıflandırması.

Detailed survey-mapping and classification of soils formed in a semi-arid region

Abstract

This study aims to map, classify, and determine the characteristics of the soils in Alaköy and Atmaca neighborhoods, located within the borders of Tuşba district of Van province, which has a semi-arid ecosystem. The study area covers approximately 4206.82 hectares. In this region, where continental climate prevails, the soil temperature regime is determined as Mesic and the soil moisture regime as Dry Xeric according to the Newhall simulation model. Formed over a wide geological time span from the Paleozoic to the Quaternary, the area contains rock units consisting of metamorphic, volcano-sedimentary, and sedimentary rocks arranged in a layered order, exhibiting a complex tectonic relationship. In the study, 15 soil profiles were opened and defined using a 1:25,000 scale topographic map, satellite imagery, geological map, and field observations, and soil samples were taken according to the horizon principle. Based on data obtained from physical, chemical, and fertility analyses of soil samples, classification was performed according to Soil Taxonomy and the World Reference System (FAO-WRB). In the study area, a total of fifteen soil series were identified, grouped under two orders, four suborders, four major groups, and eight subgroups according to Soil Taxonomy, and eight reference soil groups according to the FAO-WRB system. The 15 identified soil series belong to the Entisol (10 series) and Inceptisol (5 series) orders, which show poor development and have just begun to develop. In the maps generated, Entisols constitute 63.01% of the area, while Inceptisols occupies the remaining 35.68%. The basic soil map created in the study area, detailed at the series and phase level, provides an important scientific infrastructure for the sustainable management of basin soils.

Keywords: Semi arid ecosystem, soil survey and mapping, GIS, soil classification.

© 2025 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

[†]Bu çalışma, birinci yazarın ikinci yazar danışmanlığında gerçekleştirdiği doktora tezinden bazı veriler kullanılarak üretilmiştir.

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (535) 613 8528

E-posta : bulutsargin@yyu.edu.tr

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 10 Kasım 2025

Kabul Tarihi : 16 Aralık 2025

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbbd.1821201

Giriş

Toprak, yalnızca üretim ortamı değil; aynı zamanda iklimin düzenlenmesi, su döngüsünün sürdürülmesi ve biyolojik çeşitliliğin korunması açısından ekosistemlerin temel bileşenlerinden biridir (Sargın ve Karaca, 2023). Yeri doldurulamaz bir doğal varlık olan toprak, gıda üretimi, ormancılık ve hayvancılık gibi önemli faaliyetlerin dayanağını oluşturur. Ancak erozyon, iklim değişikliği ve hatalı arazi kullanımı gibi baskılar, toprak sağlığının bozulmasına ve verimliliğin azalmasına yol açmaktadır (Odabaşı ve ark., 2024). Tarımsal kullanım ve tarım dışı arazi uygulamalarının doğru yönetilmesi gerekir. Yatırım ve stratejik planların başarısı da buna bağlıdır. Tüm bu başarılar, kapsamlı bir toprak veri tabanının varlığını zorunlu kılar. Bu veri tabanı konuma dayalı, niteliksel ve niceliksel bilgiler içermelidir. Arazi kullanım kararlarını bu somut verilere dayandırmak artık bir tercih değildir. Bu durum, ulusal düzeyde stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu nedenle, toprakların fiziksel, kimyasal, biyolojik ve verimlilik özelliklerinin detaylı biçimde belirlenmesi ve bu özelliklerin çevresel faktörlerle ilişkilerinin ortaya konulması sürdürülebilir yönetim için kritik öneme sahiptir (Qi ve ark., 2025; Koca, 2025). Pedoloji biliminin öncüleri olan Dokuchaev ve Hilgard, aynı ana materyal üzerinde farklı iklim ve topoğrafik koşullar altında farklı toprak tiplerinin gelişebileceğini vurgulamışlardır (Dinç ve ark., 1997). Nitekim toprak serileri, benzer genetik horizonlara ve ortak ana materyale sahip grupları tanımlamakta; horizon dizilimi, renk, strüktür, tekstür, kireç ve tuz içeriği gibi arazi koşullarında gözlemlenebilen özellikler aracılığıyla birbirinden ayrılmaktadır (Dinç ve Şenol, 2001). Arazide yapılan bu gözlemler, laboratuvar analizleriyle desteklendiğinde horizonların özellikleri ve besin elementlerinin dağılımı daha sağlıklı değerlendirilebilmektedir (Hartemink ve ark., 2020). Bu çalışma, Van ili Tuşba ilçesinde yer alan Alaköy ve Atmaca mahallerinde farklı ana materyaller ve fizyografik üniteler üzerinde gelişmiş toprak serilerini incelemektedir. Amaç, serilerin morfolojik, fiziksel, kimyasal ve verimlilik özelliklerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmek ve detaylı toprak haritalamasıyla bölgenin verimlilik potansiyeline ilişkin bilimsel veriler sunmaktır. Böylece elde edilen sonuçların, sürdürülebilir toprak yönetimi ve arazi kullanım planlamaları için önemli bir temel oluşturması hedeflenmektedir.

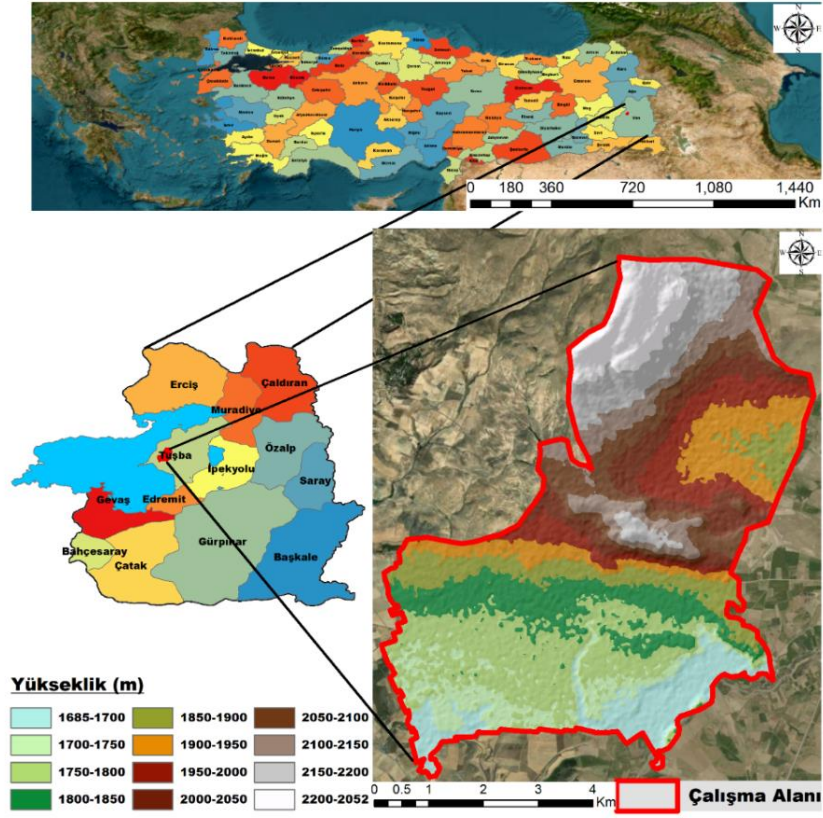
Materyal ve Yöntem

Çalışma Alanı Genel Özellikleri

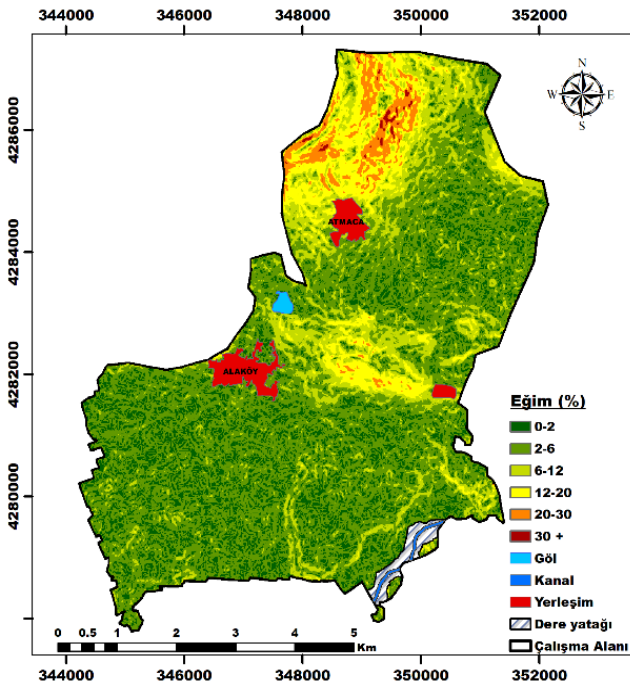
Çalışma alanı, Van ili Tuşba ilçe sınırları içerisinde yer alan Alaköy ve Atmaca mahallerini kapsayan alan içerisinde 344000-352000 m doğu ve 42760000-4288000 m kuzey (WGS-84, Zone 38, UTM-m) arasında bir konumdadır. Yaklaşık 4206.82 hektarlık bir yüzölçümüne sahip olan çalışma alanı, deniz seviyesinden 1685 ile 2230 metre arasında değişen yüksekliklere sahiptir (Şekil 1).

Çalışma alanı topoğrafik açıdan incelendiğinde, büyük ölçüde işlemeli tarıma uygun araziler tarafından domine edildiğini göstermektedir. Nitekim sahanın %18.56'sı '%0-2 Düz veya Düze Yakın' ve %52.99'u ise '%2-6 Hafif Eğimli' sınıflarında yer almaktadır (Şekil 2a). Çalışma alanında en yaygın bakı yönü %20.10 ile güneydoğu olarak belirlenmiştir (Şekil 2b).

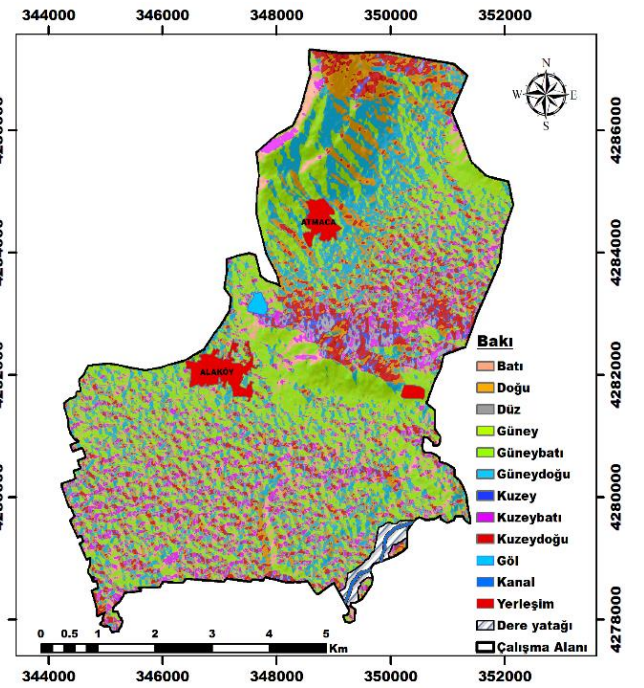
Çalışma alanını temsil eden Alaköy ve Atmaca mahallelerinin toprak rejimleri ve su bütçesi, Van Meteoroloji Bölge İstasyonu'nun 1980-2020 yıllarındaki iklim verileri temel alınarak karakterize edilmiştir (MGM, 2021). Soil Survey Staff (1999) metodolojisi ve Newhall simülasyon modeli (Van Wambeke, 2000) kullanılarak yapılan analizler, 50 cm derinlikteki yıllık ortalama toprak sıcaklığını 13.12 °C, ortalama yıllık yağış miktarını 406.97 mm ve yıllık potansiyel buharlaşmayı 756.32 mm olarak ortaya koymuştur (Çizelge 1). Model sonuçlarına göre, yıllık ortalama toprak sıcaklığının 8 ile 15 °C aralığında olması ve yıllık ortalama sıcaklık ile kış mevsimi ortalama sıcaklık farkının 6 °C'yi aşması, alanın "Mesic" sıcaklık rejimine sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 3). Nem rejimi ise, yaz ve kış aylarında sırasıyla en az 45 gün süren kesintisiz kurak ve nemli periyotların varlığı ile toprak sıcaklığının 8 °C'nin üzerinde olduğu dönemde 90 günlük bir nem eksikliği gözlenmesi kriterlerine dayanarak "Dry Xeric" olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 4). Çalışma alanına ait aylık su açığı ve fazlasını detaylandıran toprak-su bütçesi diyagramı Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon ve yükseklik haritası



Şekil 2a. Çalışma alanı eğim haritası

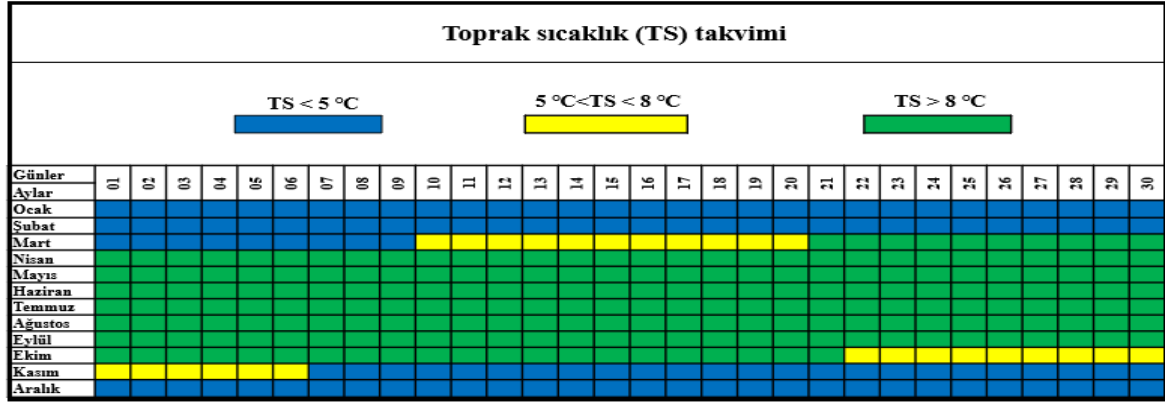


Şekil 2b. Çalışma alanı baki haritası

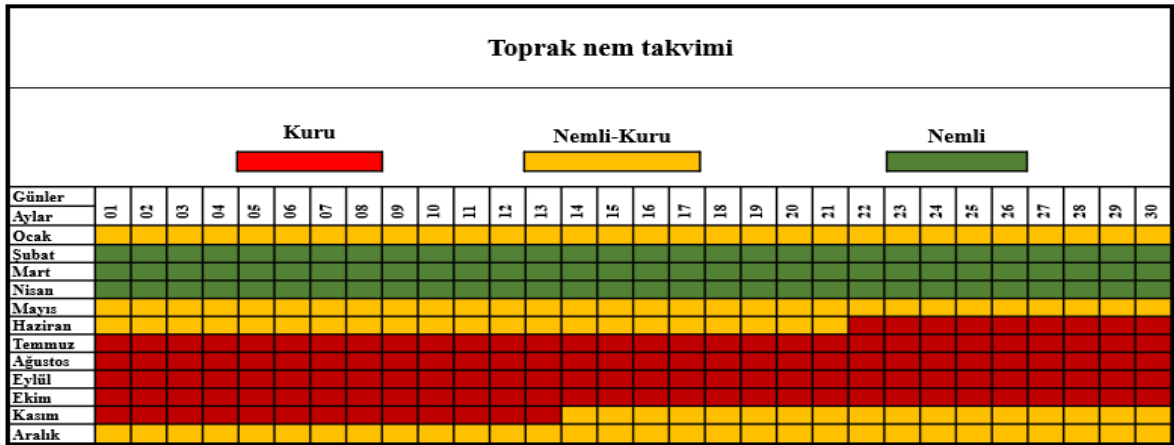
Çizelge 1. Çalışma alanının toprak su bütçesi

İstasyon Mevkii: Van Bölge	Enlem: 355779												
İstasyon No : 17172	Boylam: 4259243												
Periyot : 1980-2020	Yükselti: 1675.0												
Toprak Sıcaklık Rejimi: Mesic	Toprak Su Tutma Kapasitesi: 90 cm												
Toprak Nem Rejimi: Xeric	Alt Grup: Dry Xeric												
Aylar													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
T	2.3	1.9	4.5	9.7	14.7	20.3	24.9	26.2	22.9	16.3	9.2	4.5	13.12
P	34.57	34.3	49.2	54.5	48.7	17.2	6.8	7.2	16.1	46.4	50	42	406.97
PE	3.36	2.52	10.72	34.74	70.82	113.81	154.1	155.25	113.6	64.17	24.57	8.64	756.32
P-PE	31.21	31.78	38.48	19.76	-22.12	-96.61	-147.3	-148.05	-97.5	-17.77	25.43	33.3	349.34

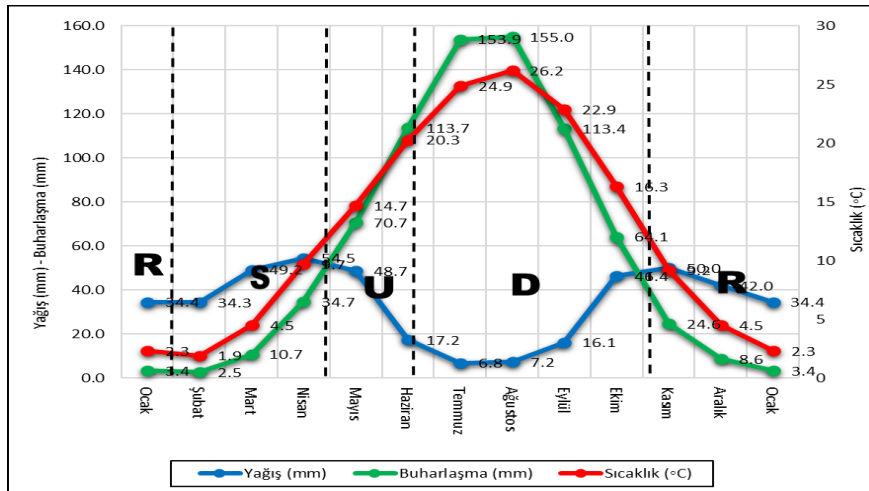
T: 50 cm toprak sıcaklık; P: Yıllık ortalama yağış; PE: Yıllık ortalama topraktan buharlaşma



Şekil 3. Çalışma alanına ait toprak sıcaklık takvimi.



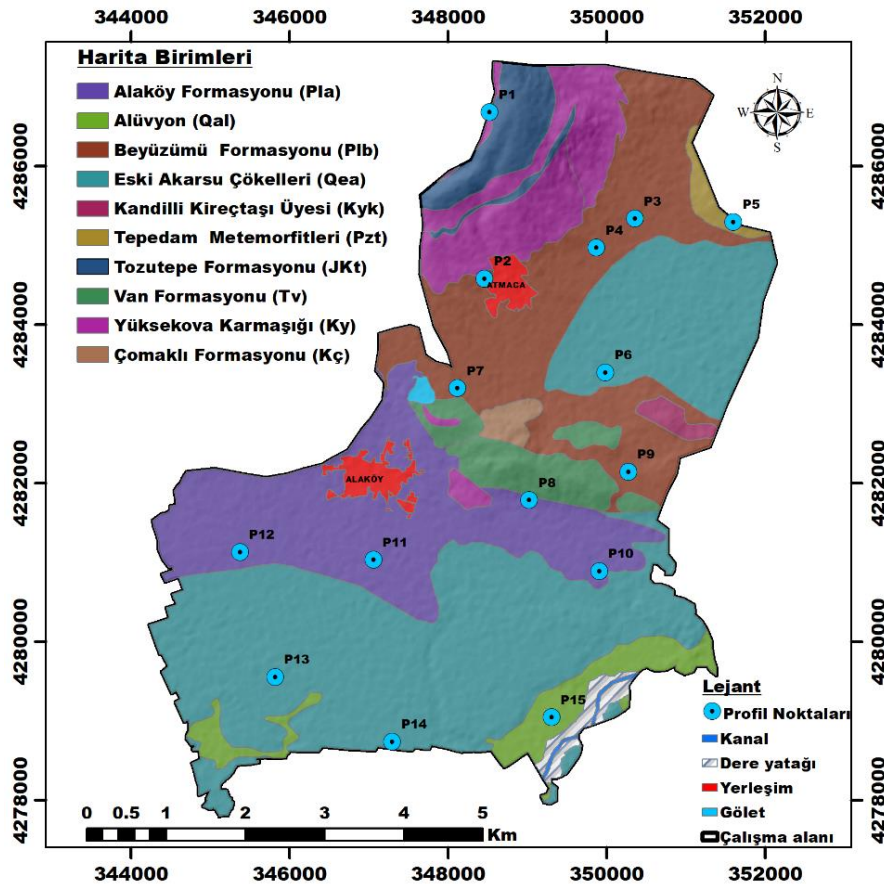
Şekil 4. Çalışma alanına ait toprak nem takvimi.



Şekil 5. Çalışma alanına ait su bütçe diyagramı.

Çalışma Alanının Jeolojisi

Çalışma alanının jeolojik özellikleri, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan 1/100.000 ölçekli K50 jeoloji paftası (MTA, 2007) temel alınarak incelenmiştir. Alan Paleozoyik'ten Kuaterner'e uzanan geniş bir zaman aralığında oluşmuş ve tektonik olarak karmaşık bir ilişki sunan katmansal birimlerin ardalanmasından meydana gelmektedir. Bölgede yüzeyleyen bu birimler, yaşlıdan gence doğru; Üst Paleozoyik, Jura-Kretase (Alt ve Üst Kretase dahil), Oligosen-Alt Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner dönemlerine aittir. Bitlis metamorfik kompleksi içerisinde tektonik dilimlerde halde yüzeyleyen Üst Paleozoyik yaşlı Tepedam Metamorfitleri (Pzt) oluşturmaktadır. Bu birim şist, kuvarsit ve mermer gibi metamorfik kayalarla karakterize edilir. Bu temel üzerinde Jura-Alt Kretase zamanında oluşan yaşlı Tozutepe Formasyonu (JKt) yer alır. Formasyon, baskın olarak orta-kalın tabakalı dolomitik kireçtaşları ile ardalanmalı kuvarsit ve mikrit seviyelerinden oluşmuştur. Katmanlı dizilimin devamında, tektonik olarak karmaşık bir yapı sunan Üst Kretase dönemine ait Yüksekova Karmaşığı (Ky) gözlenir. Volcano-sedimanter bir istif (katman dizilimi) sunan bu birim; spilit, bazalt, tüf, şeyl, konglomera ve foraminiferli kireçtaşı gibi litolojik çeşitliliği bir arada barındırır. Daha genç birimleri temsil eden Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Van Formasyonu (Tv), kendisinden yaşlı birimler üzerine aşıl uyumsuzlukla gelmektedir. Formasyon, türbiditik akıntılarla çökelmiş kumtaşı-kıltaşı-silt taşı ardalanması ile olistostromal çakıl taşı, tüfit ve olistolit blokları içermesiyle ayırt edilir. Pliyosen dönemi istifi, altta Dreissena fosilleri içeren kumtaşı-çakıl taşı-kireçtaşı ardalanmasından oluşan Beyüzümü Formasyonu (Plb) ile temsil edilir. Bu birimin üzerine uyumsuzlukla, gölsel ve akarsu-delta şekillerini yansıtan kıltaşı, silt taşı, çakıl taşı ve pomzalı kumtaşlarından oluşan Alaköy Formasyonu (Pla) gelir. Stratigrafik kolonun en üst seviyesini ise güncel akarsu sistemleri tarafından depolanan ve vadi tabanları ile ovaları kaplayan, tutturulmamış kum, çakıl, silt ve kilden oluşan Kuvaterner yaşlı Alüvyon (Qal) oluşturur. Genel olarak, çalışma alanının jeolojik yapısı, farklı dönemlere ait sedimanter, volkanik ve metamorfik kayalardan oluşan çok bileşenli ve karmaşık bir katmanlı yapıyı yansıtmaktadır. Bu çeşitlilik, bölgedeki tektonik süreçlerin, çökme ortamlarının ve litolojik evrimin çok yönlü etkilerini ortaya koymaktadır. Arazi çalışmaları kapsamında, sahanın jeolojik çeşitliliğini temsil edecek şekilde ana formasyonlar üzerinden belirlenen 15 adet profil noktasının (P1-P15) konumu, jeoloji haritası üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Çalışma alanı jeoloji haritası

Yöntem

Bu çalışma, arazi, laboratuvar ve ofis çalışmalarını kapsayan üç aşamalı bir metodolojiye dayanmaktadır. Arazideki detaylı toprak etüt ve haritalama süreçleri Soil Survey Manual (Soil Survey Staff, 1993) rehberliğinde yürütülürken, toprakların sınıflandırılması Toprak Taksonomisi (Soil Survey Staff, 2014) kriterlerine göre yapılmıştır. Tüm laboratuvar analizleri ve verilerin değerlendirildiği ofis çalışmaları, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nde gerçekleştirilmiştir.

Büro ve Ön Arazi Çalışması

Arazi etütleri, çalışma sahasının jeomorfolojik heterojenliğini temel alan sistematik bir örnekleme stratejisiyle yürütülmüştür. Çalışma sahası; dik yamaç, alt etek, ova, tepe, çukurluk ve nehir yatağı olmak üzere altı ana fizyografik birimden oluşmaktadır. Bu birimler, ön arazi gözlemleri ve hava fotoğraflarının stereoskop yorumu sonucunda belirlenmiştir. Bu alanların pedolojik çeşitliliğini temsil etmek üzere toplam 19 profil noktası belirlenmiştir. Bunlardan, farklı toprak serilerini karakterize ettiği saptanan 15 profil (P1–P15) detaylı inceleme ve örnekleme için seçilirken, tekrarlayan özellikler gösteren 4 profil örnekleme kapsamı dışında tutulmuştur. Ayrıca, toprak serilerinin yanal sınırlarının hassas bir şekilde çizilebilmesi amacıyla saha genelinde 1040 adet burğu ile kontrol gerçekleştirilmiştir. Detaylı incelemeye alınan her bir profilin morfolojik tanımlamaları, Soil Survey Staff (1993; 2014) tarafından belirlenen standart prosedürler izlenerek arazide yapılmıştır. Tanımlamayı takiben her bir genetik horizonttan alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri, fiziksel, kimyasal ve verimlilik analizleri için etiketlenerek laboratuvara götürülmüştür.

Laboratuvar Çalışmaları

Fiziksel Analizler:

Laboratuvar analizleri kapsamında, toprakların temel fiziksel özellikleri standart yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Toprak tekstürü (kum, silt, kil dağılımı) hidrometre metoduna (Bouyoucos, 1951) göre belirlenmiştir. Tarla kapasitesi ve Solma noktası analizleri, seramik plakalar üzerine yerleştirilen doymun toprak örneklerine sırasıyla 1/3 atm ve 15 atm basınç uygulanarak ölçülmüştür (Richards, 1954). Yarıyışlı su miktarı ise, bu iki değer arasındaki fark üzerinden hesaplama yoluyla elde edilmiştir. Hacim ağırlığı, bozulmamış toprak örneklerinde Blake ve Hartge., (1986)' e göre belirlenmiştir. Hidrolik iletkenlik değerleri ise Klute ve Dirksen., (1986)' e göre belirlenmiştir.

Kimyasal Analizler:

Toprak pH'sı, 1:2.5'lik toprak-su karışımında pH metre ile ölçülmüştür (Bayraklı 1987). Elektriksel iletkenlik (EC), yine toprak-su süspansiyonunda kondüktivimetre cihazıyla belirlenmiştir (Richards, 1954). Toprakların kireç miktarı Scheibler kalsimetresi kullanılarak elde edilmiştir (Soil Survey Staff, 2014). Organik madde içeriği Walkley-Black yöntemiyle analiz edilmiştir (Jackson, 1958). Değişebilir katyonlar (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} ve Na^{+}) sodyum asetat ile ekstrakt edilmiştir. Bu katyonlar daha sonra Thermo-3000 modeline sahip atomik absorpsiyon spektrofotometresinde okunmuştur (Rhoades, 1982).

Verimlilik Analizleri:

Makro elementlerden alınabilir fosfor (P), Olsen metoduna (Olsen, 1954) göre tayin edilmiştir. Yarıyışlı potasyum (K) ise; 1 N amonyum asetat (NH_4OAc) ile ekstrakte edildikten sonra Thermo-3000 model AAS cihazında okunarak (Kacar, 1994) belirlenmiştir. Toplam azot (N) içeriği Kjeldahl metodu (Kacar, 1994) kullanılarak belirlenmiştir. Son olarak, topraktaki mikro elementler (Fe, Mn, Zn ve Cu) DTPA ekstraksiyon yöntemine göre tespit edilmiştir (Lindsay ve Norvell, 1978).

Toprak Sınıflandırması

Toprakların sınıflandırılması amacıyla, arazide tanımlanan morfolojik özellikler ve laboratuvarla elde edilen analitik veriler birleştirilmiştir. Bu sentezleme sürecinde iki temel uluslararası sistemden yararlanılmıştır. Bunlar, Birleşik Devletler Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından geliştirilen Toprak Taksonomisi (Soil Survey Staff, 2014) ve IUSS tarafından yayımlanan Dünya Toprak Kaynakları Referans Bazı (IUSS Working Group WRB, 2022) sistemleridir. Toprak Taksonomisi, toprakları öncelikli olarak diyagnostik yüzey (epipedon) ve yüzey altı (endopedon) horizonları ile toprak nem ve sıcaklık rejimlerine dayandıran, kapsamlı ve hiyerarşik bir sistemdir. Bu sistemde topraklar Ordo, Alt Ordo, Büyük Grup, Alt Grup, Aile ve Seri olmak üzere altı kategorik seviyede sınıflandırılmaktadır. Buna paralel olarak, uluslararası bir korelasyon dili sağlamak ve pedogenetik süreçleri vurgulamak amacıyla WRB sistemi de kullanılmıştır. WRB, Toprak Taksonomisi 'ne benzer şekilde diyagnostik horizonlar, diyagnostik özellikler ve diyagnostik materyaller kullanarak

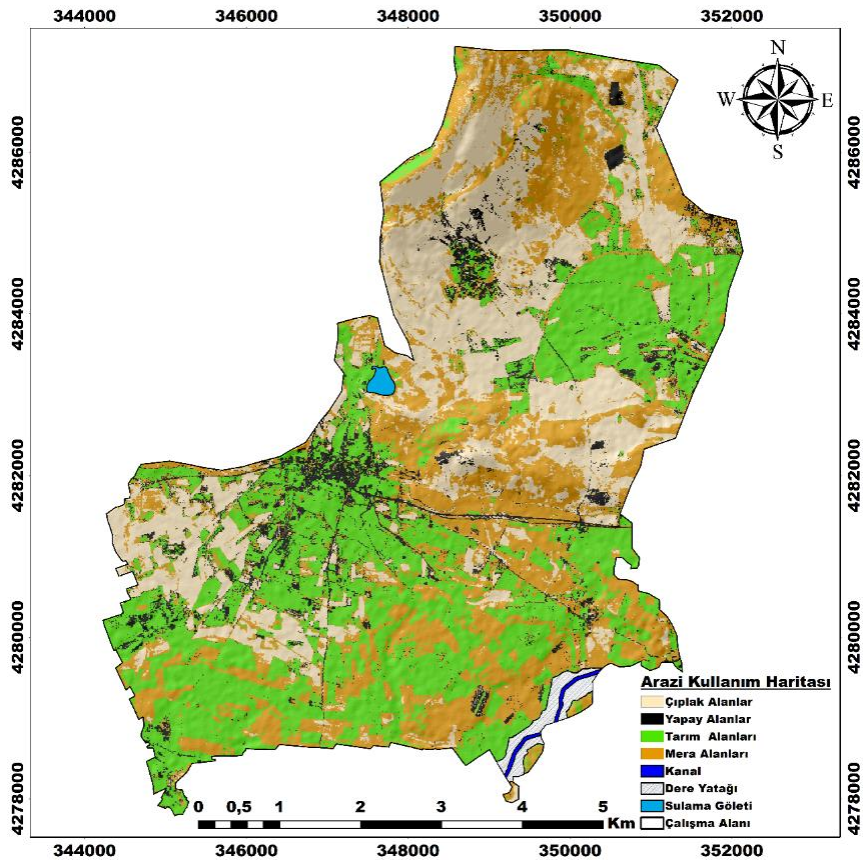
toprakları 8 farklı referans toprak grubu altında sınıflandıran ve bunlara niteleyiciler ekleyen bir yaklaşımdır.

Arazi Örtüsü Yoğunluğu ve Arazi Kullanımı Desenin Belirlenmesi

Çalışma alanının arazi örtüsü/arazi kullanımı (AÖ/AK) haritası, 10 m mekânsal çözünürlüğe sahip 26 Mayıs 2020 tarihli Sentinel-2A uydu görüntüsü kullanılarak üretilmiştir. Dört temel sınıfı (tarım alanları, mera alanları, çıplak alanlar ve yapay yüzeyler) esas alan eğitim verileri, ENVI 5.3 yazılımı aracılığıyla Maksimum Olabilirlik (Maximum Likelihood) denetimli sınıflandırma algoritmasına girdi olarak sunulmuştur. Sınıflandırma performansının doğrulanması amacıyla, her sınıf için 80 nokta olmak üzere (toplam 320) araziden toplanan GPS referans verileri kullanılarak bir hata matrisi oluşturulmuştur. Değerlendirme sonucunda elde edilen %84,09'luk genel doğruluk ve 0.74'lük Kappa katsayısı, üretilen tematik haritanın arazi gerçekliği ile önemli düzeyde bir uyum sergilediğini ve güvenilir olduğunu teyit etmektedir (Lillesand ve ark., 2008.) Elde edilen Haritanın alansal dağılım sonuçları incelenmiştir (Çizelge 2). Çalışma alanındaki en baskın arazi kullanım tipi tarım alanlarıdır. Tarım alanları, sahanın %34.51'ini kaplamaktadır. Çalışma alanının mevcut arazi kullanım desenini gösteren tematik harita Şekil 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Çalışma alanında kontrollü sınıflandırma ile elde edilen arazi kullanım türleri

Doğruluk Yüzdesi = %84.09 Kappa Değeri = 0.74		
Sınıf	Alan (ha)	Oran (%)
Çıplak Alanlar	1168.98	27.79
Tarım Alanları	1451.63	34.51
Mera Alanları	1235.97	29.38
Yapay Alanlar (Yol, Yerleşim, vb.)	295.01	7.01
Sulama Göleti	8.79	0.21
Kanal	6.83	0.16
Dere yatağı	39.62	0.94
Toplam	4206.82	100.00



Şekil 7. Çalışma alanına ait arazi örtüsü ve arazi kullanım haritası

Bulgular ve Tartışma

Çalışma Alanı Topraklarının Sınıflandırılması

Alaköy ve Atmaca Mahalleleri toprakları, arazi ve laboratuvar verileri kullanılarak Toprak Taksonomisi (Soil Survey Staff, 2014) ve Dünya Toprak Referans Sistemi (FAO-WRB 2014)'a göre sınıflandırılmış olup, sonuçlar Çizelge 3'te sunulmuştur. Toprak Taksonomisi sistemine göre yapılan bu sınıflandırmada, toprakların pedogenetik gelişimi, epipedon (yüzey) ve endopedon (yüzey altı) varlığı ile bu horizonlara ait morfolojik, fiziksel, kimyasal ve verimlilik özellikleri esas alınmıştır. Bu kapsamda, alanda ochric epipedonu ile lithic, vertic, aquic ve cambic yüzey altı tanımlayıcıları belirlenmiştir. Sınıflandırma çalışmaları sonucunda, araştırma sahasında iki ordo, dört alt ordo, dört büyük grup ve sekiz alt grup düzeyinde olmak üzere toplam on beş toprak serisi tanımlanmıştır. Bu sınıflandırma, sahanın pedogenetik açıdan genç ve gelişmekte olan bir toprak karakterine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Nitekim tanımlanan 15 seri, zayıf gelişmiş Entisol (10 seri) ve gelişimine yeni başlamış Inceptisol (5 seri) ordolarına aittir. Alanda Entisollerin çoğunlukta olması, erozyon, sığ ana materyal veya taşkın gibi toprak oluşumunu yavaşlatan faktörlerin etkin olduğunu göstermektedir. Sınıflandırma sonuçları, iklimin toprak oluşumunda güçlü bir etkisinin olduğunu açıkça göstermektedir.

Çizelge 3. Çalışma alanı toprak serilerinin Toprak Taksonomisine göre sınıflandırması (Soil Taxonomy, 2014)

Toprak Taksonomisi (2014)				
Ordo	Alt Ordo	Büyük Grup	Alt Grup	Seri Adı
Entisol	Fluvent	Xerofluvents	Aquic Xerofluvents	Çimen
			Typic Xerofluvents	Dikilitaş
			Lithic Xerorthents	Tapular
	Orthent	Xerorthents	Typic Xerorthents	Sarıtaş
				Ziyaret
				Bağdelik
				Atmaca
				Yukarı Atmaca
	Psamment	Xeropsamments	Typic Xeropsamments	Buzlu pınar
				Elmalı
Inceptisol	Xerpt	Haploxerpts	Typic Haploxerpts	Alaköy
			Fluventic Haploxerpts	Güneş
			Vertic Haploxerpts	Yolarası
				Karasu
				Gölet

Çizelge 4'te sunulan verilere göre, 4206.82 hektarlık toplam alanın pedogenetik karakteri, genç ve az gelişmiş topraklar tarafından domine edilmektedir. Toprak Taksonomisi 'ne göre, alanın en baskın ordosu olan Entisol, toplam alanın %63.01'ini kaplarken, Inceptisol ordosu %35.68 oranında bir dağılıma sahiptir ve kalan %1.31'lik alan ise sulama göleti, kanal ve dere yatağı gibi toprak dışı unsurlardan oluşmaktadır. Alt grup düzeyinde en geniş yayılıma sahip toprak tipi, %24.75 oranıyla Typic Xerorthents olarak belirlenmiştir. FAO-WRB sisteminde Typic Leptosol olarak adlandırılan bu topraklar, eğimi %20'nin üzerinde olan ve erozyon süreçlerinin etkin olduğu yamaç arazilerde yer alarak genellikle sığ bir profil sergilemektedir. Buna karşın, en sınırlı yayılıma sahip alt grup %4.57 oranıyla Vertic Haploxerpts (FAO-WRB'de Vertic Cambisols) olarak tanımlanmış ve bu birimin genellikle alüvyal düzlüklerde yer aldığı saptanmıştır. Bu dağılım, çalışma alanının büyük çoğunluğunun, sığ (Leptosol) veya taşkın (Fluvisols) gibi faktörlerle pedogenetik gelişimi kısıtlanmış zayıf profilli topraklardan ve profil gelişimi yeni başlamış genç topraklardan (Cambisoller) oluştuğunu göstermektedir (Çizelge 4).

Typic Haploxerpts- Eutric Cambisols (Alaköy, Güneş, Yolarası Serisi) Topraklar

Çalışma alanının kuzey ve batı kesimlerinde, sahanın %26.86'sını (869.87 ha) kaplayan topraklar, Toprak Taksonomisi (Soil Survey Staff, 2014)' ne göre Typic Haploxerpts (Şekil 8a) olarak sınıflandırılmıştır. Dünya Toprak Referans (FAO-WRB, 2014) sistemindeki karşılığı Eutric Cambisols (Şekil 8b) olan bu grup; Alaköy, Güneş ve Yolarası serilerini içermektedir. Bu seriler, kumtaşı, kıltaşı, silt taşı, çakıl taşı ve pomzalı kumtaşı gibi litolojik olarak çeşitli ana materyaller üzerinde gelişmiştir. Bu serilerin toprakları A/Bw/C1/C2, A/Bw/Ck1/Ck2 ve Ap/Bw/C1/C2 gibi farklı horizon dizilimleri sergilemektedir. Yüzey horizonları genellikle kumlu killi tın (SCL) tekstüründedir. Temel fiziksel özellikleri incelendiğinde (Çizelge 5), hacim ağırlığının 1.30–1.67 g cm⁻³ arasında, yarayışlı su içeriğinin ise %5.88 ile %12.12 arasında geniş bir aralıkta değiştiği

görülmektedir. Çizelge 6'da sunulan kimyasal analizler, toprakların temel özelliklerini göstermektedir. Yüzey horizonlarının pH değerleri 8.12–8.20 arasında olup alkali bir reaksiyon sergilemektedir. Kireç içerikleri ise %7.42 ile %15.69 arasında değişmektedir. Profil boyunca organik madde seviyelerinin düşük ve çok düşük olduğu saptanmıştır. Katyon değişim kapasitesi (KDK) değerleri, seriler arasında belirgin farklılıklar göstermektedir. Bu değerler, 14.86 ile 33.58 cmol kg⁻¹ gibi geniş bir aralıkta ölçülmüştür. Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP) değerleri %0.78–%4.83 aralığında ölçülmüş olup, %15'lik kritik sınırının altındadır. Toprakların verimlilik durumu Çizelge 7'de özetlenmiştir. Yüzey topraklarındaki toplam azot içeriği %0.060 ile %0.148 arasında değişmektedir. Yarayışlı fosfor seviyeleri, seriler arasında belirgin farklılıklar göstermektedir. Güneş (1.80–2.61 mg kg⁻¹) ve Alaköy (2.14–4.03 mg kg⁻¹) serilerinde fosfor çok düşük düzeydeyken, Yolarası serisinde (5.33–8.88 mg kg⁻¹) düşük seviyededir. Alınabilir potasyum içerikleri 305.63–399.61 mg kg⁻¹ arasında, sodyum içerikleri ise 99.49–206.93 mg kg⁻¹ arasında ölçülmüştür. Mikro element analizleri, mangan düzeylerinin 5.34–17.35 mg kg⁻¹ aralığında olduğunu göstermiştir. Çinko düzeyleri ise 0.16–0.57 mg kg⁻¹ aralığında saptanmış olup, bu değerler bitki beslenmesi açısından noksanlık sınırındadır (Lindsay ve Norvell, 1978; TOVEP, 1991; Güneş ve ark., 1996).

Çizelge 4. Toprak serilerinin Toprak Taksonomisi (2014) ve FAO-WRB (2014)'e göre alansal ve oransal dağılımı

Seri Adı	Sınıflandırma	Alan (ha)	Oran (%)	Sınıflandırma	Alan (ha)	Oran (%)
Alaköy	Typic Haploxerepts	315.61	7.50	Eutric Cambisols	315.61	7.50
Atmaca	Typic Xerorhents	318.22	7.56	Typic Leptosols	318.22	7.56
Bağdelik	Typic Xerorhents	38.59	0.92	Typic Leptosols	38.59	0.92
Buzlu pınar	Typic Xeropsamments	383.47	9.12	Eutric Regosols	383.47	9.12
Çimen	Aquic Xerofluvents	365.94	8.70	Gleyic Fluvisols	365.94	8.70
Dikilitaş	Typic Xerofluvents	465.98	11.08	Eutric Fluvisols	465.98	11.08
Elmalı	Typic Xeropsamments	195.85	4.66	Eutric Regosols	195.85	4.66
Gölet	Vertic Haploxerpts	192.17	4.57	Vertic Cambisols	192.17	4.57
Güneş	Typic Haploxerepts	261.12	6.21	Eutric Cambisols	261.12	6.21
Karasu	Fluventic Haploxerpts	439.03	10.44	Fluvic Cambisols	439.03	10.44
Sarıtaş	Typic Xerorhents	219.95	5.23	Typic Leptosols	219.95	5.23
Tapular	Lithic Xerorhents	198.27	4.71	Lithic Leptosols	198.27	4.71
Yolarası	Typic Haploxerepts	293.14	6.97	Eutric Cambisols	293.14	6.97
Yukarı Atmaca	Typic Xerorhents	262.03	6.23	Typic Leptosols	262.03	6.23
Ziyaret	Typic Xerorhents	202.21	4.81	Typic Leptosols	202.21	4.81
	Dere yatağı	39.62	0.94	Dere yatağı	39.62	0.94
	Kanal	6.83	0.16	Kanal	6.83	0.16
	Sulama Göleti	8.79	0.21	Sulama Göleti	8.79	0.21
Toplam		4206.82	100.00	Toplam	4206.82	100.00

Çizelge 5. Çalışma alanı toprak profilleri fiziksel analiz sonuçları

Seri	Horizon	Derinlik (cm)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	Tekstür Sınıfı	H. A (g cm ⁻³)	*K (cm h ⁻¹)	T K (%)	SN (%)	Y.Su (%)
Typic Xerorhents - Typic Leptosols											
Sarıtaş	A	0-21	35.36	27.14	37.50	CL	1.36	0.09	31.89	19.07	12.82
	Cr	21 +	32.80	26.30	40.90	C	1.51	0.04	29.81	16.97	12.84
Typic Xerorhents - Typic Leptosols											
Yukarı Atmaca	A	0-21	44.00	22.85	33.15	CL	1.45	0.79	27.39	16.23	11.16
	Ck	21 +	50.24	25.91	23.85	SCL	1.40	1.77	26.08	15.99	10.09
Typic Haploxerpts - Eutric Cambisols											
Güneş	A	0-20	50.55	27.79	21.66	SCL	1.67	1.94	18.73	11.35	7.39
	Bw	20-40	62.86	15.51	21.63	SCL	1.37	0.59	17.19	10.57	6.62
	C1	40-62	64.93	11.42	23.65	SCL	1.63	2.01	14.8	8.93	5.88
	C2	62 +	54.44	19.70	25.86	SCL	1.61	1.94	16.29	9.59	6.70
Typic Xerorhents - Typic Leptosols											
Atmaca	Ap	0-19	55.14	21.62	23.25	SCL	1.55	2.16	20.57	12.73	7.84
	Ad	19-36	52.76	19.96	27.29	SCL	1.51	2.05	19.34	11.6	7.74
	C1	36-81	44.61	26.06	29.32	CL	1.63	1.34	21.26	11.92	9.34
	C2	81 +	64.82	13.91	21.27	SCL	1.62	12.66	9.38	5.44	3.94
Typic Xerorhents - Typic Leptosols											
Bağdelik	A	0-22	63.77	14.32	21.91	SCL	1.48	11.75	20.88	12.78	8.10
	Ck1	22-43	62.86	15.92	21.22	SCL	1.66	9.36	16.21	9.85	6.37
	Ck2	43 +	62.97	13.83	23.19	SCL	1.60	8.12	18.1	10.98	7.12

Çizelge 5'in devamı

Aquic Xerofluvents - Gleyic Fluvisols											
Çimen	A	0-16	49.27	18.18	32.55	SCL	1.19	0.42	31.39	19.93	11.46
	A2	16-41	47.31	22.34	30.35	SCL	1.42	0.57	26.54	16.17	10.37
	Cg	41 +	30.68	29.71	39.61	CL	1.27	0.03	29.18	16.92	12.26
Vertic Haploxerpts - Vertic Cambisols											
Gölet	A1	0-14	48.10	24.08	27.82	SCL	1.44	0.61	25.46	15.67	9.79
	Bt1	14-27	14.79	35.54	49.67	C	1.65	0.04	31.93	17.30	14.64
	Bt2	27-47	8.71	38.59	52.70	C	1.60	0.03	35.57	19.02	16.55
	Ck	47 +	23.52	38.44	38.03	CL	1.35	1.14	34.72	20.82	13.90
Typic Xerorthents - Typic Leptosols											
Ziyaret	A	0-17	65.50	13.39	21.10	SCL	1.68	19.05	15.32	9.25	6.07
	AC	17-31	65.45	13.41	21.13	SCL	1.66	18.75	15.60	9.49	6.11
	Cr	31 +	63.47	17.45	19.08	SCL	1.45	7.23	21.19	13.23	7.96
Lithic Xerorthents - Lithic Leptosols											
Tapular	A	0-18	54.27	21.64	24.09	SCL	1.21	3.08	29.93	18.6	11.33
	C	18-49	68.30	11.53	20.18	SCL	1.23	4.78	25.94	16.19	9.75
	R	49 +									
Typic Xerofluvents - Eutric Fluvisols											
Dikilitaş	A	0-17	48.36	21.48	30.16	SCL	1.58	0.17	23.28	13.37	9.91
	A2	17-40	50.34	23.59	26.07	SCL	1.52	1.83	23.67	14.08	9.60
	AC	40-61	49.48	22.48	28.05	SCL	1.63	1.09	21.38	12.38	9.00
	C	61 +	40.37	29.61	30.02	CL	1.59	0.27	24.71	14.38	10.33
Typic Haploxerpts - Eutric Cambisols											
Yolarası	Ap	0-25	46.10	23.69	30.22	SCL	1.42	0.91	26.95	16.44	10.51
	Bw	25-44	41.99	31.87	26.15	L	1.37	0.29	28.46	17.64	10.81
	C1	44-105	53.01	22.78	24.21	SCL	1.30	1.86	27.27	17.23	10.03
	C2	105 +	53.85	23.90	22.25	SCL	1.31	2.24	26.62	16.91	9.72
Typic Haploxerpts - Eutric Cambisols											
Alaköy	Ap	0-30	65.39	13.44	21.18	SCL	1.47	14.63	20.31	12.67	7.65
	Bw	30-53	24.70	50.07	25.24	SiL	1.43	1.05	31.06	18.94	12.12
	C	53-75	32.84	31.75	35.41	CL	1.33	0.17	28.16	16.55	11.61
	Ck1	75-126	37.02	35.76	27.22	CL	1.38	0.11	29.46	18.25	11.21
	Ck2	126 +	45.34	19.43	35.22	SCL	1.45	0.72	26.68	16.17	10.51
Typic Xeropsamments - Eutric Regosols											
Buzlupınar	Ap	0-22	75.45	11.05	13.50	SL	1.39	2.02	24.86	15.72	9.14
	Ad	22-54	35.43	26.45	38.13	CL	1.36	0.19	27.56	15.81	11.75
	Ckm	54 +	35.25	26.10	38.65	CL	1.21	0.04	28.86	16.93	11.94
Typic Xeropsamments - Eutric Regosols											
Elmalı	Ap	0-20	77.51	6.95	15.54	SL	1.70	30.13	10.47	7.13	3.34
	A2	20-38	67.51	8.94	23.56	SCL	1.77	21.14	12.38	7.51	4.87
	AC	38-72	53.41	23.09	23.50	SCL	1.59	3.13	19.87	12.29	7.58
	C	72 +	75.74	10.92	13.34	SL	1.65	26.12	12.49	8.09	4.40
Fluventic Haploxerpts - Fluvic Cambisols											
Karasu	Ap	0-17	64.22	17.68	18.09	SL	1.60	8.57	14.41	8.89	5.52
	Ad	17-42	48.80	22.83	28.38	SCL	1.56	4.54	18.34	10.25	8.10
	Bw1	42-96	41.90	23.73	34.37	CL	1.41	0.19	24.44	13.84	10.59
	Ck1	96-132	42.33	25.99	31.68	CL	1.44	0.21	23.73	13.66	10.07
	CK2	132 +	79.71	6.90	13.39	SL	1.55	13.12	16.43	10.71	5.73

*K: Hidrolik iletkenlik, TK: Tarla kapasitesi, SN: Solma noktası, YA: Yarıyışlı su, HA: Hacim ağırlığı

Çizelge 6. Çalışma alanı toprak profilleri kimyasal analiz sonuçları

Seri	Horizon	Derinlik	pH	Kireç	EC	O.M	Değişebilir Katyonlar (cmol kg ⁻¹)			KDK	ESP
		(cm)	(1:2.5)	(%)	(dS m ⁻¹)	(%)	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺	(cmol kg ⁻¹)	(%)
Typic Xerorthents - Typic Leptosols											
Sarıtaş	A	0-23	7.93	2.94	0.14	2.38	0.29	4.91	23.26	28.45	1.02
	Cr	23 +	7.97	3.18	0.18	1.76	0.17	5.67	21.39	27.24	0.62
Typic Xerorthents - Typic Leptosols											
Yukarı Atmaca	A	0-21	8.25	15.64	0.17	1.29	0.91	0.93	20.35	22.19	4.10
	Ck	21 +	8.33	18.40	0.38	1.73	0.50	0.53	17.33	18.36	2.74
Typic Haploxerpts - Eutric Cambisols											
Güneş	A	0-20	8.24	7.47	0.11	1.84	0.53	0.71	16.03	17.27	3.07
	Bw	20-40	8.20	8.08	0.09	1.30	0.39	0.6	15.92	16.92	2.31
	C1	40-62	8.37	8.28	0.08	0.95	0.73	0.68	20.03	21.44	3.40
	C2	62 +	8.41	9.37	0.11	1.13	1.01	0.50	19.42	20.93	4.83

Çizelge 6'nın devamı

Typic Xerorthents - Typic Leptosols											
Atmaca	Ap	0-19	8.34	11.38	0.10	1.24	0.91	0.72	18.18	19.81	4.59
	Ad	19-36	8.54	12.61	0.11	1.21	1.07	0.55	15.44	17.06	6.27
	C1	36-81	8.44	10.95	0.11	1.06	0.96	0.65	17.87	19.48	4.95
	C2	81 +	8.45	11.83	0.13	0.95	0.42	0.92	25.14	26.48	1.59
Typic Xerorthents - Typic Leptosols											
Bağdelik	A	0-22	8.83	12.19	0.25	1.90	1.17	0.82	21.07	23.06	5.08
	Ck1	22-43	9.02	24.02	0.18	1.54	0.45	0.36	16.06	16.87	2.67
	Ck2	43 +	9.59	29.73	0.58	1.12	0.36	0.33	14.16	14.85	2.45
Aquic Xerofluvents - Gleyic Fluvisols											
Çimen	A	0-16	8.44	19.49	0.90	4.24	0.99	1.23	24.01	26.23	3.77
	A2	16-41	8.50	21.60	0.36	1.22	0.26	0.47	31.58	32.31	0.81
	Cg	41 +	8.53	14.68	0.23	0.86	0.43	0.57	30.55	31.55	1.37
Vertic Haploxerpts - Vertic Cambisols											
Gölet	A1	0-14	8.29	6.74	0.13	1.99	0.93	0.97	27.81	29.71	3.12
	Bt1	14-27	8.34	5.06	0.13	1.33	0.19	0.69	23.16	24.04	0.79
	Bt2	27-47	8.30	6.53	0.12	1.27	0.64	0.50	20.96	22.09	2.90
	Ck	47 +	8.70	45.10	0.14	1.68	0.53	0.18	18.91	19.61	2.70
Typic Xerorthents - Typic Leptosols											
Ziyaret	A	0-17	8.54	42.00	0.17	1.71	0.41	0.40	15.04	15.85	2.56
	AC	17-31	8.73	41.16	0.12	1.48	0.13	0.23	13.72	14.08	0.92
	Cr	31 +	8.79	44.10	0.13	1.12	0.20	0.24	14.77	15.21	1.32
Lithic Xerorthents - Lithic Leptosols											
Tapular	A	0-18	8.62	47.27	0.11	1.19	1.78	0.67	18.23	20.68	8.61
	C	18-49	8.53	17.72	0.11	1.02	1.28	1.07	12.04	14.39	8.90
	R	49 +									
Typic Xerofluvents - Eutric Fluvisols											
Dikilitaş	A	0-17	8.28	27.29	0.08	1.20	1.06	2.16	22.82	26.04	4.07
	A2	17-40	8.63	26.91	0.08	0.84	0.90	0.89	18.51	20.30	4.43
	AC	40-61	8.58	30.59	0.18	0.66	0.34	0.73	22.95	24.02	1.42
	C	61 +	8.76	25.07	0.13	0.45	0.41	0.73	15.03	16.16	2.54
Typic Haploxerpts - Eutric Cambisols											
Yolarası	Ap	0-25	8.24	15.69	0.14	0.95	0.70	0.84	20.44	21.98	3.17
	Bw	25-44	8.32	18.00	0.13	0.65	0.86	2.89	29.83	33.58	2.57
	C1	44-105	8.92	22.29	0.15	0.42	0.37	0.39	24.10	24.86	1.49
	C2	105 +	8.65	21.11	0.18	0.42	0.53	6.74	19.25	26.53	2.00
Typic Haploxerpts - Eutric Cambisols											
Alaköy	Ap	0-30	8.12	7.72	0.17	1.66	0.33	0.75	14.77	15.85	2.06
	Bw	30-53	8.24	7.72	0.12	1.45	0.19	0.63	14.04	14.86	1.26
	C	53-75	8.29	11.26	0.14	1.30	0.12	0.77	14.60	15.49	0.78
	Ck1	75-126	8.40	15.40	0.17	1.06	0.16	0.72	14.48	15.36	1.03
	Ck2	126 +	8.78	31.53	0.18	0.82	0.30	0.59	14.42	15.31	1.95
Typic Xeropsamments - Eutric Regosols											
Buzlupınar	Ap	0-22	7.92	4.16	0.09	1.57	0.63	0.86	20.98	22.48	2.80
	Ad	22-54	7.90	7.50	0.12	1.19	0.59	1.05	13.36	15.00	3.93
	Ckm	54 +	8.02	13.98	0.13	0.41	0.47	0.83	17.99	19.28	2.44
Typic Xeropsamments - Eutric Regosols											
Elmalı	Ap	0-20	8.20	3.32	0.14	0.65	1.14	0.77	23.29	25.2	4.52
	A2	20-38	8.45	8.25	0.10	0.47	0.95	0.40	21.33	22.68	4.19
	AC	38-72	8.61	11.53	0.09	0.41	0.49	0.19	15.66	16.35	3.00
	C	72 +	8.61	14.79	0.08	0.29	0.58	0.43	19.94	20.95	2.77
Fluventic Haploxerpts - Fluvisols											
Karasu	Ap	0-17	8.42	8.22	0.121	1.19	0.87	3.15	21.29	25.31	3.44
	Ad	17-42	8.79	9.27	0.121	0.96	1.03	1.27	20.81	23.11	4.46
	Bw1	42-96	8.87	13.84	0.113	0.65	0.53	0.81	20.45	21.79	2.43
	Ck1	96-132	8.63	19.14	0.114	0.53	0.36	0.20	22.21	22.77	1.58
	CK2	132 +	8.62	19.33	0.119	0.41	0.40	0.17	20.66	21.23	1.88

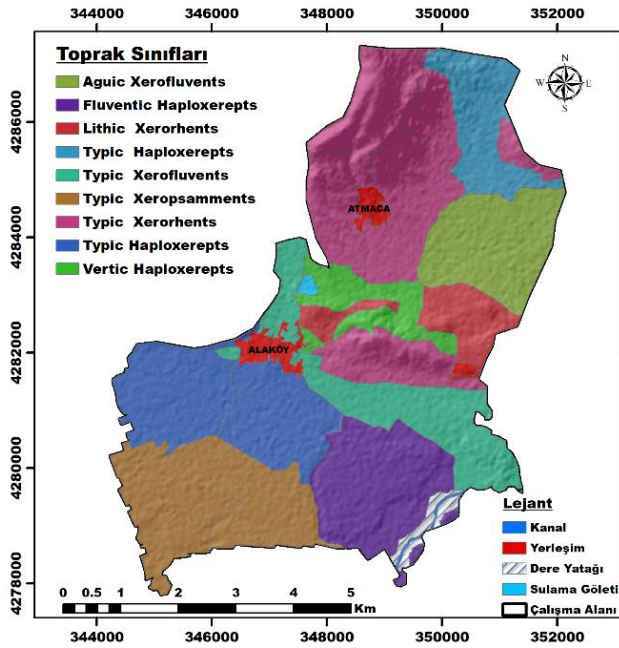
OM: Organik madde; KDK: katyon değişim kapasitesi; EC: elektriksel iletkenlik, ESP: Değişebilir sodyum yüzdesi

Çizelge 7. Çalışma alanı toprak profilleri verimlilik analiz sonuçları

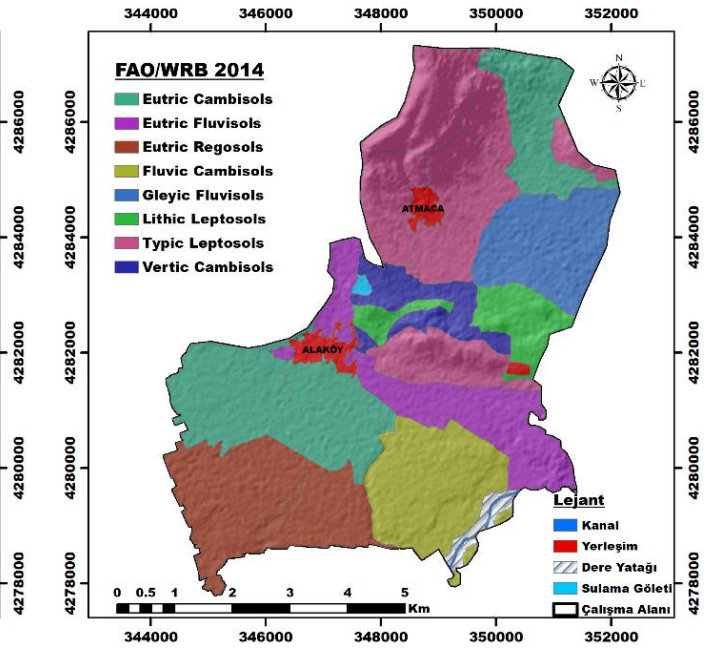
Seri	Horizon	Derinlik cm	N %	P	Na	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
mg kg ⁻¹												
Typic Xerorthents - Typic Leptosols												
Sarıtaş	A	0-23	0.172	4.59	74.87	1918.09	3011.68	1006.92	1.40	15.96	49.31	0.52
	Cr	23 +	0.109	5.01	92.31	2227.71	2844.56	932.33	1.12	10.38	36.23	0.20

Çizelge 7'nin devamı

Typic Xerorthents - Typic Leptosols												
Yukarı	A	0-21	0.120	5.20	258.65	390.67	3383.40	474.40	0.52	2.74	14.58	0.21
Atmaca	Ck	21 +	0.085	2.32	173.61	226.40	3051.26	353.55	0.39	1.91	6.99	0.14
Typic Haploxerpts - Eutric Cambisols												
Güneş	A	0-20	0.118	1.80	197.94	305.63	2648.37	399.61	0.75	5.53	17.35	0.42
	Bw	20-40	0.089	2.61	96.24	251.14	2731.90	334.56	0.69	3.34	15.09	0.33
	C1	40-62	0.065	2.54	178.82	282.55	3259.47	498.49	0.68	5.72	16.61	0.36
	C2	62 +	0.054	2.09	273.04	210.13	3352.90	373.85	0.69	4.69	14.57	0.57
Typic Xerorthents - Typic Leptosols												
Atmaca	Ap	0-19	0.098	3.20	224.56	303.61	2932.38	492.32	0.95	2.10	11.70	0.45
	Ad	19-36	0.081	3.10	258.30	231.24	2904.51	166.15	0.77	2.53	10.80	0.36
	C1	36-81	0.057	2.36	240.79	259.52	3000.76	357.69	0.80	2.23	11.07	0.58
	C2	81 +	0.049	2.14	257.31	395.77	4163.98	593.93	0.87	4.03	9.22	0.38
Typic Xerorthents - Typic Leptosols												
Bağdelik	A	0-22	0.126	3.29	309.23	333.96	2947.64	775.83	2.19	14.79	18.25	0.26
	Ck1	22-43	0.096	2.32	278.35	174.48	2512.17	481.42	0.86	14.27	15.91	0.20
	Ck2	43 +	0.091	2.49	268.40	154.98	2165.49	440.61	0.80	10.93	11.83	0.23
Aquic Xerofluvents - Gleyic Fluvisols												
Çimen	A	0-16	0.447	4.00	435.11	533.94	3036.41	1293.91	1.96	16.08	231.96	5.24
	A2	16-41	0.194	3.07	231.92	215.48	3547.98	1806.44	6.06	31.16	12.86	0.53
	Cg	41 +	0.049	6.36	118.66	247.50	3696.25	1540.10	4.75	21.76	27.65	0.44
Vertic Haploxerpts - Vertic Cambisols												
Gölet	A1	0-14	0.143	2.12	265.20	413.60	4276.04	873.04	1.07	5.35	25.59	0.42
	Bt1	14-27	0.118	1.85	62.45	290.17	4334.77	271.24	1.00	4.33	20.01	0.24
	Bt2	27-47	0.091	2.17	160.18	228.77	3997.13	238.31	1.21	4.49	19.83	0.32
	Ck	47 +	0.071	3.61	139.34	89.64	3612.92	172.05	1.07	3.22	11.29	0.22
Typic Xerorthents - Typic Leptosol												
Ziyaret	A	0-17	0.137	4.27	178.35	175.99	2793.10	187.86	1.78	4.49	26.03	0.52
	AC	17-31	0.101	4.60	75.40	123.32	2652.06	128.83	2.16	2.59	12.76	0.18
	Cr	31 +	0.069	4.25	76.75	123.02	2905.27	139.58	2.81	3.12	12.39	0.32
Lithic Xerorthents - Lithic Leptosols												
Tapular	A	0-18	0.078	7.42	541.52	284.72	1575.89	1330.27	0.86	3.50	18.91	0.43
	C	18-49	0.061	8.24	337.05	429.86	1711.40	464.50	1.22	2.43	16.58	0.36
	R	49 +										
Typic Xerofluvents - Eutric Fluvisols												
Dikilitaş	A	0-17	0.067	7.77	260.22	866.23	4125.48	349.06	1.39	5.88	21.37	0.24
	A2	17-40	0.055	3.24	224.15	382.29	2971.91	540.86	1.33	2.68	9.84	0.15
	AC	40-61	0.049	4.04	96.99	298.10	3737.45	551.61	1.30	3.27	9.07	0.21
	C	61 +	0.040	5.03	180.88	299.57	1730.68	821.74	1.00	2.54	9.39	0.17
Typic Haploxerpts - Eutric Cambisols												
Yolarası	Ap	0-25	0.060	5.71	206.93	399.61	3389.51	723.36	0.95	2.79	13.99	0.42
	Bw	25-44	0.045	5.33	297.86	1143.50	4842.58	741.14	0.63	2.01	7.88	0.29
	C1	44-105	0.043	7.33	277.48	170.69	3558.11	846.18	0.34	1.98	5.77	0.52
	C2	105 +	0.038	8.88	222.25	2642.72	2564.13	847.14	0.53	3.02	7.17	0.19
Typic Haploxerpts - Eutric Cambisols												
Alaköy	Ap	0-30	0.148	4.03	99.49	319.87	2789.57	152.41	0.59	1.89	10.53	0.27
	Bw	30-53	0.095	2.14	60.20	273.76	2651.30	141.10	0.60	2.94	8.64	0.24
	C	53-75	0.089	2.14	50.60	336.23	2860.17	159.33	0.53	2.53	7.06	0.17
	Ck1	75-126	0.078	2.17	60.30	295.12	2673.67	176.19	0.38	3.05	5.34	0.16
	Ck2	126 +	0.058	2.22	85.95	256.19	2675.19	222.25	0.09	1.74	7.35	0.16
Typic Xeropsamments - Eutric Regosols												
Buzlupınar	Ap	0-22	0.092	5.78	166.22	367.59	3164.43	702.66	0.81	3.48	14.75	0.35
	Ad	22-54	0.060	5.50	214.14	437.63	1646.12	710.18	0.85	3.20	9.49	0.29
	Ckm	54 +	0.038	5.97	144.51	345.52	2414.47	820.57	0.14	1.07	2.72	0.16
Typic Xeropsamments - Eutric Regosols												
Elmalı	Ap	0-20	0.059	6.43	383.48	321.63	3857.73	531.56	1.08	7.20	30.03	0.38
	A2	20-38	0.052	5.19	389.64	176.35	3610.45	432.68	0.70	2.76	14.18	0.20
	AC	38-72	0.048	5.97	241.18	100.95	2662.16	451.98	0.32	2.22	8.95	0.14
	C	72 +	0.031	5.57	321.91	181.15	3621.86	289.21	0.33	1.24	8.67	0.15
Fluventic Haploxerpts - Fluvisols												
Karasu	Ap	0-17	0.067	6.83	264.94	1245.08	3192.57	679.43	1.76	4.33	22.67	0.31
	Ad	17-42	0.059	7.14	408.31	540.05	3368.60	574.86	1.67	3.65	15.60	0.22
	Bw1	42-96	0.058	7.19	256.54	335.52	3141.83	643.47	1.37	2.70	10.31	0.16
	Ck1	96-132	0.050	6.93	299.52	94.33	3010.86	947.08	0.77	3.06	3.93	0.09
	CK2	132 +	0.052	6.67	246.57	81.61	2674.83	1007.42	0.72	3.64	3.28	0.10



Şekil 8a. Çalışma alanı Toprak taksonomisi (2014)'e göre sınıflandırılmış toprak haritası



Şekil 8b. Çalışma alanı FAO-WRB (2014) göre sınıflandırılmış toprak haritası

Aquic Xerofluvents – Gleyic Fluvisols Topraklar (Çimen Serisi) Topraklar

Çalışma alanının %8.70'ini (365.94 ha) kaplayan Çimen serisi, alüvyal (kumlu-çakıllı ve killi-siltli) ana materyaller üzerinde oluşmuş Aquic Xerofluvents (Şekil 8a) toprak ordo'su olarak sınıflandırılmıştır. FAO-WRB (2014) sistemindeki karşılığı Gleyic Fluvisols (Şekil 8b) olan bu topraklar, 1722 m yükseklikte ve %2–6 eğimli arazilerde yer alır. Bu toprakların profil dağılımı, A-A₂-C_g horizon dizilimi göstermekte olup, C_g horizonunun varlığı, sınıflandırmadaki Aquic (mevsimsel ıslaklık) özelliğini doğrulamaktadır. Çizelge 5'te toprakların fiziksel analiz değerlerine göre, toprağın bünyesi profil boyunca kumlu killi tınlı (SCL) bir yapıdadır. Bu yapı, yavaş drenaja işaret eden düşük bir hidrolik iletkenlik ile sonuçlanmıştır. Hacim ağırlığı 1.42 g cm⁻³'e kadar ölçülmüştür. En düşük yarıyışlı su kapasitesi ise A₂ horizonunda tespit edilmiştir. Toprakların kimyasal analiz sonuçları Çizelge 6'da sunulmuştur. Topraklar, tuzluluk riski taşımamakla (EC < 0.23 dS m⁻¹) birlikte, alkali (pH 8.44–8.53) ve kireçli (%14.68–%21.60) bir yapı sergilemektedir. Bu serideki en belirgin özellik A horizonunda %4.24 gibi çok yüksek bir organik madde birikiminin tespit edilmesidir. Bu durum, mevsimsel ıslaklığa bağlı olarak organik maddenin yavaş ayrışmasının bir sonucu olarak değerlendirilmiştir. Yüksek organik madde içeriğinin bir yansıması olarak, Katyon Değişim Kapasitesi (KDK) değerleri de 26.23–32.31 cmol kg⁻¹ gibi yüksek bir aralığa ulaşmıştır (Lindsay ve Norvell, 1978; TOVEP, 1991; Güneş ve ark., 1996). Toprakların verimlilik analizleri (Çizelge 7), besin elementleri açısından önemli farklılıklar ortaya koymuştur. Toplam azot (N) miktarı, yüksek organik maddeye paralel olarak yüzeyde %0.447 ile çok yüksek bir seviyededir, ancak derinlere inildikçe hızla düşmektedir. Buna karşın, yarıyışlı fosfor (P) seviyeleri düşük düzeyde belirlenmiştir. Genel olarak, besin elementlerinin çoğunun yüzey veya yüzeye yakın horizonlarda birikme eğiliminde olduğu görülmüştür.

Typic Xerorthents- Typic Leptosol (Atmaca, Bağdelik, Sarıtaş, Yukarı Atmaca ve Ziyaret Serileri) Topraklar

Typic Xerorthents toprak grubu, çalışma alanının yaklaşık dörtte birini (%25.75) kaplar ve dik yamaçlarda bulunur (Şekil 8a). Bu grupta Atmaca, Sarıtaş, Yukarı Atmaca, Bağdelik ve Ziyaret serileri yer alır. Topraklar, %20'nin üzerindeki yüksek eğim nedeniyle sürekli aşındığı (erozyon) için sığ veya çok sığ kalmıştır. Ayrıca kuvarsit, mermer, bazalt ve tüf gibi çok farklı kayalar üzerinde oluşmuşlardır. Bu serilerin bünyeleri killi tın (CL) veya kumlu killi tın (SCL) olup, kum oranları %35 ile %65 arasında değişmektedir. Hacim ağırlıkları ise 1.36–1.68 g cm⁻³ aralığındadır (Çizelge 5). Toprakların kimyasal özellikleri Çizelge 6'da incelendiğinde, serinin tamamı alkali (pH 7.93–9.53) toprak reaksiyonuna ve düşük organik maddeli (%0.95–2.38) içeriğine sahiptir. Toprakların kireç (CaCO₃) içeriği ise %2.94–%44.10 aralığında değişmektedir. ESP değerlerinin (%1.02–%5.08) düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 7'de toprakların verimlilik durumu düşük organik madde içeriğinin temel bir kısıtlayıcı olduğunu göstermektedir. Toprakların düşük organik

madde miktarı, hem toplam azot (N) (%0.098–%0.172) hem de yarayışlı fosfor (3.20–5.20 mg kg⁻¹) içeriklerinin düşük veya çok düşük düzeyde olmasına yol açmaktadır (Lindsay ve Norvell., 1978; TOVEP., 1991; Güneş ve ark., 1996). Potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) topraklarda yeterli seviyelerde bulunurken, çinko (Zn) ve mangan (Mn) ise alandan alana değişerek bazı yerlerde noksanlık göstermektedir.

Typic Xeropsamments- Eutric Regosols (Buzlupınar ve Elmalı Serileri) Topraklar

Çalışma alanının güney ve güneybatı kesimlerinde, sahanın %13.78'ini (579.82 ha) kaplayan topraklar, Toprak Taksonomisi'ne göre Typic Xeropsamments (Şekil 8a) ve FAO- WRB (2014)'e göre Eutric Regosols olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 8b). Buzlupınar ve Elmalı serilerini içeren bu toprak grubu, eski akarsu çökelleri üzerinde gelişmiştir. Pedogenetik sırası, Ap/Ad/Ckm ve Ap/A2/AC/C gibi horizon dizilimleri ile karakterize edilmiştir. Özellikle bu seride görülen Ckm horizonunun varlığı, profilin alt kısımlarında çimentolaşmış bir kireç birikiminin varlığına işaret etmektedir. Bu serilere ait toprakların fiziksel özellikleri Çizelge 5'te incelendiğinde, yüzey horizonlarının ana materyalin doğasına uygun olarak kumlu tın (SL) tekstür sınıfında olduğu görülmektedir. Kumlu toprak yapısına sahip olması nedeniyle, yarayışlı su kapasitesinin %3.34 (çok düşük) ile %11.94 (orta) arasında geniş bir değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Çizelge 6'da sunulan toprakların kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında, yüzey topraklarının hafif alkalın reaksiyonlu (pH 7.92–8.20), düşük kireç içeriğine (%3.32–%4.16) ve profil boyunca azalan düşük organik madde miktarına sahip olduğu görülmektedir. KDK değerleri 15.00–25.20 cmol kg⁻¹ aralığında bulunmuşken, ESP oranları %2.44–4.52 aralığında tespit edilmiştir. Toprakların verimlilik durumları Çizelge 7'de verilmiştir. Toplam azot (N) içerikleri (%0.059–%0.092) ve yarayışlı fosfor (P) seviyeleri (5.19–6.43 mg kg⁻¹) düşük düzeydedir. Toprakların yarayışlı demir (Fe) (1.07–7.20 mg kg⁻¹) ve çinko (Zn) (0.14–0.38 mg kg⁻¹) içeriklerinin ise noksanlık sınırında olduğu tespit edilmiştir.

Typic Xerofluvents- Eutric Regosols (Dikilitaş Serisi) Topraklar

Dikilitaş serisi, Toprak Taksonomisi (2014)'e göre Typic Xerofluvents toprak ordo'su olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 8a). FAO-WRB (2014) sistemindeki karşılığı ise Eutric Fluvisols (Şekil 8b) olan bu topraklar, genç alüvyal birikintiler üzerinde gelişmiştir. Ana materyal, kilitaş, spilit, bazalt, tüf ve kireçtaşı gibi litolojik olarak son derece çeşitli malzemelerin bir karışımıdır. Bu seri topraklarının fiziksel özellikleri Çizelge 5'de verilmiştir. Üst horizonlar (A, A₂, AC) kumlu killi tın (SCL) bünyeye sahipken, C horizonu ise killi tın (CL) bünyeye sahip olduğu görülmüştür. Bu durum, derinlikle birlikte ince fraksiyonların (kil) arttığını doğrulamaktadır. Kimyasal analizler Çizelge 6'da incelendiğinde, yüzey horizonunun (A) pH düzeyinin hafif alkali reaksiyonda olduğu, çok fazla kireçli ve az miktarda organik madde içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Düşük ESP oranı (%4.07), sodyumluluk riski bulunmadığını göstermektedir. Bu seriye ait toprakların verimlilik özellikleri Çizelge 7'de verilmiştir. Çizelge 7'incelendiğinde A horizonunda toplam azot miktarının %0.067 ve yarayışlı fosfor seviyesinin ise 7.77 mg kg⁻¹ olarak elde edilmiştir. Toprakların demir (Fe) ve çinko (Zn) seviyeleri ise düşük düzeyde kalarak bu topraklardaki temel mikro element noksanlıklarına işaret etmektedir (Lindsay ve Norvell., 1978; TOVEP., 1991; Güneş ve ark., 1996).

Vertic Haploxerpts- Vertic Cambisols (Gölet Serisi) Topraklar

Gölet serisi, Toprak Taksonomisi (2014)'e göre Vertic Haploxerpts (Şekil 8a) ve FAO-WRB (2014) sisteminde Vertic Cambisols (Şekil 8b) olarak sınıflandırılmıştır. Bu seri, profil boyunca belirgin bir dikey farklılaşma sergilemektedir. Bu durum, sınıflandırmadaki Vertic nitelemesinin de yansıttığı gibi, özellikle fiziksel özelliklerde belirgindir. Gölet serisi topraklarının fiziksel analizleri Çizelge 5'de incelendiğinde, yüzey horizonunun (A1) kumlu killi tın (SCL) bünyede olduğu, C horizonunun ise kil (C) tekstür sınıfında olduğu görülmektedir. Toprağın yarayışlı su kapasitesinin %9.79 ila %16.55 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Profil boyunca toprak horizonlarında pH düzeyleri hafif alkalın ve alkalın sınıfında tespit edilmiştir. Kireç içeriği en fazla Ck horizonunda %45.1'olarak belirlenmiştir. Yüzeyde en yüksek seviyede olan organik madde içeriği (%1.99) ve KDK (29.71 cmol kg⁻¹) değerleri derinlikle birlikte azalma eğilimi görülmüştür (Çizelge 6). Toprakların besin elementlerinin dağılımı organik madde eğilimi ile paralellik sergileyerek, bazı makro ve mikro elementlerin (N, K, Fe, Mn, Zn) yüzeyde yoğunlaşıp derinlik arttıkça azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 7).

Fluventic Haploxerpts- Fluvis Cambisols (Karasu Serisi) Topraklar

Karasu serisi, Toprak Taksonomisi (2014)' e göre Fluventic Haploxerpts (Şekil 8a) ve FAO- WRB (2014) sisteminde Fluvis Cambisols (Şekil 8b) olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma, toprağın genç ve alüvyal (flüviyal) kökenli yapısını yansıtmaktadır. Profil, bu alüvyal yapıya bağlı olarak belirgin bir dikey farklılaşma

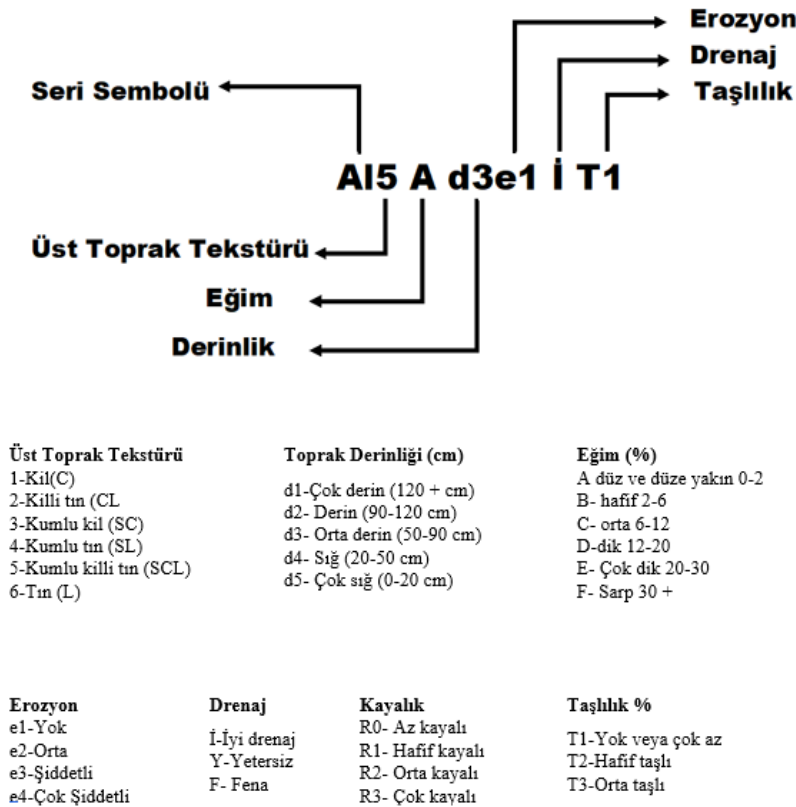
sergilemektedir. Bu dikey farklılaşma en net fiziksel özelliklerde görülmektedir (Çizelge 5). Yüzeydeki Ap horizonu, %64.22 kum içeriği ve %18.09 kil oranı sayesinde kumlu tın (SL) tekstürüne sahiptir. Yüzey horizonunda hidrolik iletkenlik değeri 8.57 cm h^{-1} iken, Ck horizonunda bu değer 13.02 cm h^{-1} 'e yükselmiştir. Karasu serisi topraklarının kimyasal analiz sonuçları Çizelge 6'da incelendiğinde, profil boyunca toprak reaksiyonunun hafif alkaline ve alkaline özellik gösterdiği (pH düzeyleri 8.42 – 8.87 aralığında) tespit edilmiştir. Kireç içeriğinin %8.22 ila %19.33 aralığında artış gösterdiği, buna karşın organik madde içeriğinin ise yüzey horizonundan (Ap) alt horizonlara doğru indikçe azaldığı saptanmıştır. KDK değeri en yüksek yüzey horizonunda $25.31 \text{ cmol kg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Toprakların potasyum ($1245.08 \text{ mg kg}^{-1}$), bakır (1.76 mg kg^{-1}), çinko (0.31 mg kg^{-1}) ve mangan (22.67 mg kg^{-1}) gibi makro ve mikro besin elementlerinin en yüksek konsantrasyonları yüzey horizonunda (Ap) tespit edilmiştir (Çizelge 7).

Lithic Xerorthents -Lithic Leptosols (Tapular Serisi) Topraklar

Tapular serisi, Toprak Taksonomisi (2014)'e göre Lithic Xerorthents (Şekil 8a) ve FAO-WRB., (2014) sisteminde Lithic Leptosols (Şekil 8b) olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmadaki Lithic nitelemesi, bu toprakların ana kayaya yakın, genç ve sığ bir yapıya sahip olduğunu doğrulamaktadır. Fiziksel analizlere bakıldığında (Çizelge 5), toprağın kumlu killi tın (SCL) yapıda olduğunu ve kum oranının C horizonunda %68.3'e kadar yükseldiğini göstermektedir. Bu kaba tekstürlü yapıya paralel olarak, hidrolik iletkenlik orta-hızlı ($3.08\text{--}4.78 \text{ cm h}^{-1}$) seviyededir. Çizelge 6'da kimyasal özellikler incelendiğinde, yüzey toprağının kuvvetli alkali ve çok fazla kireçli olduğu belirlenmiştir. Organik madde içeriğinin %1.02 ila %1.19 aralığında ve KDK değerinin ise $14.39\text{--}20.68 \text{ cmol kg}^{-1}$ aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Tapular serisinde besin elementlerinin dağılımı Çizelge 7'de incelendiğinde, sodyum (Na) yüzeyde $541.52 \text{ mg kg}^{-1}$ gibi yüksek bir değerde yoğunlaşmıştır. Toplam azot (%0.078) düşük seviyededir. Yarayışlı fosfor (P) ve potasyum (K) konsantrasyonları C horizonunda daha yüksek bulunmuştur. Mikro elementler (Cu, Zn, Fe, Mn) ise organik maddeye paralel olarak yüzeyde daha yüksek düzeylerde (Lindsay ve Norvell., 1978; TOVEP., 1991; Güneş ve ark., 1996).

Çalışma Alanı Topraklarının Seri ve Temel Toprak Haritası

Çalışma sahasının 1:25.000 ölçekli temel toprak haritası lejantı Şekil 9'da hazırlanmıştır. Haritalama, Soil Survey Staff (2014) tarafından belirlenen standartlara göre yapılmıştır. Bu süreçte taşlılık, eğim, drenaj, derinlik, bünye ve tuzluluk-alkalilik gibi faktörler dikkate alınmıştır.

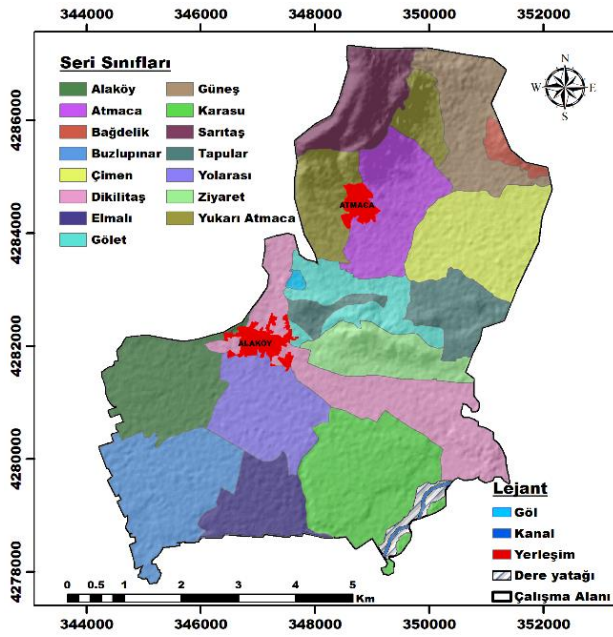


Şekil 9. Çalışma alanı temel toprak haritası lejantı

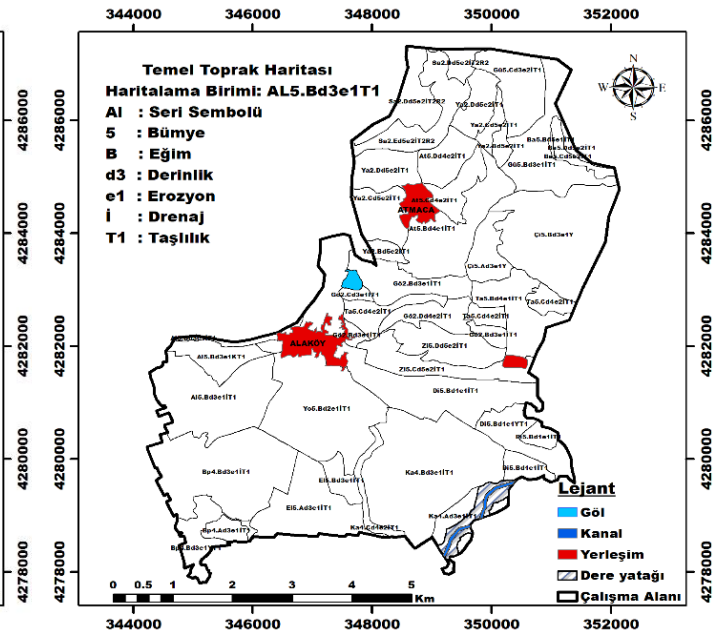
Toprak serileri ve bunların fazları, haritalama ünitesi olarak esas alınmıştır. Çalışma alanının arazi kompozisyonu Sulama Göleti, Kanal, Dere yatağı ve 15 farklı toprak serinden oluşmaktadır (Çizelge 8). Çizelge 8'deki alansal dağılım analizi, tek bir serinin mutlak hakimiyetinden ziyade, birkaç serinin baskın olduğu heterojen bir yapıyı işaret etmektedir. Dikilitaş (Di) serisi (%11.08) ve Karasu (Ka) serisi (%10.44), sırasıyla 465.98 ha ve 439.03 ha alan kaplayarak en yaygın iki birimi oluşturmakta ve birlikte toplam alanın beşte birinden fazlasını (%21.52) temsil etmektedir. Bu iki seriye ek olarak Buzlupınar (%9.12), Çimen (%8.70), Atmaca (%7.56) ve Alaköy (%7.50) serileri de dahil edildiğinde, bu altı baskın birimin çalışma sahasının yarısından fazlasını (%54.4) kapsadığı ettiği görülmektedir. Buna karşın, Bağdelik (Ba) serisi %0.92'lik (38.59 ha) oranıyla en düşük alansal yayılıma sahip profilli birim olarak öne çıkmaktadır. Su yüzeyleri ve altyapıyı temsil eden seri dışı alanlar toplam alanın %1.31'ni oluşturmaktadır. Çalışma alanına ait toprak serileri haritası Şekil 10a'da ve alana ait 1:25000 ölçekli temel toprak haritası ise Şekil 10b'de verilmiştir.

Çizelge 8. Çalışma alanı seri adları, sembolleri, alan ve % oranları

No	Profil No	Seri Adı	Sembol	Alan (ha)	Oran (%)
1	P12	Alaköy	Al	315.61	7.50
2	P4	Atmaca	At	318.22	7.56
3	P5	Bağdelik	Ba	38.59	0.92
4	P13	Buzlupınar	Bp	383.47	9.12
5	P6	Çimen	Çi	365.94	8.70
6	P10	Dikilitaş	Di	465.98	11.08
7	P14	Elmalı	El	195.85	4.66
8	P7	Gölet	Gö	192.17	4.57
9	P3	Güneş	Gü	261.12	6.21
10	P15	Karasu	Ka	439.03	10.44
11	P1	Sarıtaş	Sa	219.95	5.23
12	P9	Tapular	Ta	198.27	4.71
13	P11	Yolarası	Yo	293.14	6.97
14	P2	Yukarı Atmaca	Ya	262.03	6.23
15	P8	Ziyaret	Zi	202.21	4.81
		Sulama Göleti	Sg	8.79	0.21
		Kanal	K	6.83	0.16
		Dere yatağı	Dy	39.62	0.94
		Toplam		4206.82	100.00



Şekil 10a. Çalışma alanı toprak seri haritası



Şekil 10b. Çalışma alanı 1:25000 ölçekli temel toprak haritası

Sonuç

Bu çalışma, Van ili Tuşba ilçesine bağlı Alaköy ve Atmaca mahalleleri topraklarının genel özelliklerini belirlemek, dağılımlarını incelemek ve sınıflandırmak amacıyla yürütülmüştür. Arazi çalışmaları, etüd ve haritalama, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve laboratuvar analizlerinin sentezlenmesi yoluyla bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Çalışma alanı, jeolojik yapı ve yüzey şekilleri bakımından çeşitlilik sergilemekte olup, farklı fizyografik üniteler üzerinde (dik yamaç, alt etek, ova, tepe, çukurluk ve nehir yatağı) değişik toprak oluşum süreçleri gelişmiştir. Çukurluk araziler doğu-batı yönünde hafif eğimli düz alanlarda yer alırken, ova ve nehir yatağı toprakları benzer şekilde düz veya düze yakın topografyalarda yayılım göstermektedir. Tepe arazileri ise kuzeydoğuda orta eğimli ve ondüveli bir topoğrafya üzerinde dağılmıştır. Çalışma alanı, karasal iklim kuşağında yer almakta olup, büyük ölçüde kireçtaşı ana materyali üzerinde gelişen topraklar pedogenetik süreçler bakımından farklılık göstermektedir. Newhall Simülasyon Modeli kullanılarak yapılan iklim değerlendirmesinde, çalışma alanının toprak sıcaklık rejimi "Mesic", nem rejimi ise "Dry Xeric" olarak saptanmıştır. Bu koşullar nedeniyle, profillerde "Ochric epipedon" dışında başka yüzey tanımlama horizonu bulunmamaktadır. Bu veriler doğrultusunda topraklar, Toprak Taksonomisi (2014) ve FAO-WRB (2014) sistemlerine göre sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında en çok bulunan seri, 465.98 hektarlık (%11.08) alanıyla Dikilitaş (Di) serisi iken, en az yer kaplayan seri ise 38.59 hektarlık (%0.92) alanıyla Bağdelik (Ba) serisi olarak belirlenmiştir. FAO-WRB sistemine göre ise 8 referans toprak grubu belirlenmiştir. Çalışma alanındaki serilerde "Ochric epipedon" ve "Cambic" yüzey altı horizonları tanımlanmış, sınıflandırma ise Survey Staff (2014) 'e göre esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen 1:25.000 ölçekli temel toprak haritası, tek birimin domine etmediği, çok serili heterojen bir arazi mozaikini ortaya koymuştur. Bu değerlendirme sonucunda, araştırma sahasında Entisol ve Inceptisol ordoları belirlenmiş ve topraklar toplamda sekiz alt gruba ayrılmıştır. Bu bulgular, çalışma alanında genç ve orta gelişim düzeyindeki toprakların yaygın olduğunu göstermektedir. Haritalama sonuçlarına göre, alanın %63.01'ini Entisoller oluşturmakta, geri kalan %35.68 kısmı ise Inceptisoller tarafından temsil edilmektedir. Bu bulgular, araştırma sahasında genç ve az gelişmiş toprakların baskın olduğunu, topografya ve iklim koşullarının toprak gelişiminde belirleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, Xeric nem rejimi altında gelişim gösteren toprakların ayrıntılı incelenmesi, bölgesel toprak sınıflandırma çalışmalarının yanı sıra, ileride gerçekleştirilecek araştırmalara yön verecek ve literatüre kalıcı bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışma ile seri ve faz farklılıklarını detaylandıran temel toprak haritası, havza kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için kritik bir bilimsel altyapı sunmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2020-8962 No'lu proje olarak desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Bayraklı F, 1987. Toprak ve Bitki Analizleri, Samsun: OMÜ Yay. No: 17.
- Blake GR, Hartge KH, 1986. Bulk density. In Methods of soil analysis: Part 1—physical and mineralogical methods (2nd ed., pp. 363-375). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Bouyoucos GJ. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43(9): 434-438.
- Dinç U, Şenol S. 2001. Toprak Etüd ve Haritalama Ders Kitabı. Ç. U. Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü. Adana.
- Dinç, U., Şenol, S., Kapur, S., Atalay. İ., Cangir, C., 1997. Türkiye Toprakları. Ç.Ü. Yayınları, Ders Kitabı, No 12. Çukurova Üniversitesi Basımevi.
- FAO, 2014. World Reference Base For Soil Resources, International Soil Classification System For Naming Soils And Creating Legends For Soil Maps. Report No: 106, Rome, Italy.
- Güneş A, İnal A, Alpaslan M. 1996. Effect of Salinity on Stomal Resistance, Proline, and Mineral Composition of Pepper. *Journal of Plant Nutrition* 19 (2): 389-396.
- Hartemink AE, Zhang Y, Bockheim JG, Curi N, Silva SHG, Grauer-Gray J, Krasilnikov P. 2020. Soil horizon variation: A review. *Advances in agronomy*, 160(1), 125-185.
- IUSS Working Group WRB. 2022. World reference base for soil resources. International soil classification system for naming soils and creating legendsfor soil maps (4th ed.). International Union of Soil Sciences (IUSS). <https://www3.ls.tum.de/boku/?id=1419>
- Kacar B. 1994. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri, III. Toprak Analizleri. A.Ü.Z.F. Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No:3, Ankara, 1-705

- Klute A, Dirksen C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis-Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, American Society of Agronomy, Madison, pp. 687-734.
- Koca YK. 2025. Altordo düzeyinde sınıflandırılmış topraklarda bitki besin elementleri düzeylerindeki değişimler. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 13(1), 33-44.
- Lillesand TM, Kiefer RW, Chipman JW. 2008. *Remote Sensing and image interpretation*, 6th edition, John Wiley & Sons, Hoboken.
- Lindsay WL, Norvell WA. 1978. Development Of Dtpa Soil Test For Zinc, Iron, Manganese And Copper, *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428.
- MGM 2021. Meteoroloji Genel Müdürlüğü iklim istatistikleri. Tarım ve Orman Bakanlığı: Ankara, Türkiye.
- MTA 2007. Van İlinin Yerbilim Verileri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Odabaşı YB, Gözükara G, Yalçın B, Dengiz O. 2024. Akdeniz ekosistem koşulları altında oluşmuş toprakların sınıflaması ve dağılımlarının belirlenmesi: Kemalpaşa Havzası örneği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 12(2), 104-117.
- Qi X, Fu J. 2025. Optimize the farming system to improve the physical and chemical properties of soil in Northeast China, thereby increasing maize yield. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1626882.
- Rhoades JD. 1982. Cation exchange capacity. In *Methods of soil analysis: Part 2—Chemical and microbiological properties* (2nd ed., pp. 149-157). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Richards LA. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S. Department of Agriculture.
- Sargın B, Karaca S. 2023. Land suitability assessment for wheat-barley cultivation in a semi-arid region of Eastern Anatolia in Turkey. *PeerJ*, 11, e16396.
- Soil Survey Staff. 1993. *Soil Survey Manual*, USDA., Handbook No: 18, Washington D.C
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy. A Basic of soil classification for making and interpreting soil survey*. U.S.D.A Handbook No: 436, Washington D.C.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys To Soil Taxonomy*. 12th Edition, USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington D.C.
- TOVEP 1991. *Türkiye Toprakları Verimlilik Envanteri*. T.C. Tarım ve Orman Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.
- Van Wambeke AR. 2000. *The newhall simulation model for estimating soil moisture and temperature regimes*. Department of Crop and Soil Sciences. Cornell University, Ithaca, NY.

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ YAZIM KURALLARI

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ, bu alanda yeni bulgular ortaya koyan erişilebilir ve uygulanabilir temel ve uygulamalı yöntem ve tekniklerin sunulduğu bir forumdur. Dergi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme alanında yapılmış özgün araştırma makalelerini veya önemli bilimsel ve teknolojik yenilikleri ve yöntemleri açıklayan derleme niteliğindeki yazıları yayınlar. Yazar(lar) makalenin ne tür bir yazı olduğunu belirtmelidir. Dergiye sunulan çalışmanın başka yerde yayınlanmamış (bilimsel toplantılarda sunulan çalışmalar hariç) ve başka bir dergiye yayın için sunulmamış ve yayın hakkı verilmemiş olması gerekir. Buna ilişkin yazılı belge (sorumlu yazar tarafından onaylı) makale ile gönderilmelidir. Makale iyi anlaşılabilir bir Türkçe ile yazılmış olmalıdır. Etik Kurul Raporu gerektiren araştırma sonuçları makale olarak gönderilirken, Etik Kurul Raporu'nun bir kopyası eklenmelidir. Dergiye sunulan tüm çalışmalar, yayın kurulu ve bu kurul tarafından seçilen en az iki veya daha fazla danışman tarafından değerlendirilir. Dolayısıyla, çalışmanın dergide yayınlanabilmesi için yayın kurulu ve danışmanlar tarafından bilimsel içerik ve şekil bakımından uygun bulunması gerekir. Yayınlanması uygun bulunmayan eser yazar(lar)a iade edilir. Danışman veya yayın kurulu tarafından düzeltme istenen çalışmalar ise yazar(lar)a eleştiri ve önerileri dikkate alarak düzeltmeleri için geri gönderilir. Düzeltme istenen makaleler, düzeltme için verilen sürede (30 gün) yayın kuruluna dönmez ise, yeni sunulan bir makale gibi değerlendirilir.

Makale gönderilmesi

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ (www.toprak.org.tr) adresindeki (<http://dergi.toprak.org.tr>) linkine gönderilen makaleler hızla incelenecek ve değerlendirecek, sonuç yazarlara en kısa sürede bildirilecektir. Makaleler hakkında yapılan değerlendirmeler e-posta yoluyla sorumlu yazara bildirilecektir.

“Telif Hakkı Devir Sözleşmesi” formu

Sorumlu yazarca imzalanan Telif Hakkı Devir Sözleşmesi formunun dergiye makale sunumu esnasında gönderilmesi gerekmektedir. Yayın transfer formu gönderilmeyen makaleler değerlendirilmeye alınmayacaktır.

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ YAYIN YAZIM KURALLARI

Her çalışma MS Word 2007 (veya daha üst versiyonu) kullanılarak A4 boyutundaki kağıda kenarlarda 2.5 cm boşluk bırakılmış, Times New Roman yazı karakterinde 11 pt 1,5 satır aralıklı ve yaklaşık 20 sayfa ve aşağıdaki düzende olmalıdır. Makale başlık sayfası, Özet, Anahtar Sözcükler, İngilizce Başlık, Abstract, Keywords, Metin, Teşekkür, Kaynaklar, Şekiller (fotoğraf, çizim, diyagram, grafik, harita v.s.) ve Çizelgeler şeklinde sıralanmalıdır.

Yazar(lar) makale hazırlarken derginin web sayfasında bulunan makale örneğinden yararlanabilirler. Bölüm başlıkları da dahil tüm başlıklar küçük harflerle koyu yazılmış olmalıdır. Tüm sayfalar ve satırlar numaralandırılmış (sayfada yeniden) olmalıdır. Türk Dil Kurumu'nun yazım kuralı dikkate alınarak yazılmalı ve Türkçe noktalama işaretlerinden (nokta, virgül, noktalı virgül vb.) sonra mutlaka bir ara verilmiş olmalıdır. Metin içerisinde kısaltma kullanılacak ise ilk kullanıldığı yerde kavramın açık şekli yazılmalı ve parantez içinde kısaltması verilmelidir (katyon değişim kapasitesi (KDK) gibi). Yukarıdaki kurallara uymayan makaleler işleme alınmadan yazar(lar)ına geri gönderilecektir.

Başlık sayfası

Bu sayfada, a) Makale başlığı (Türkçe ve İngilizce başlıklar yazılmalı; başlık kısa ve konu hakkında bilgi verici ve tümü büyük harflerle yazılmış olmalı ve kısaltmalar kullanılmamalıdır), b) Yazar(lar)ın açık adı (ad ve soyad unvan belirtilmeden küçük harfler ile yazılmalı), c) Çalışmanın yapıldığı üniversite, laboratuvar veya kuruluşun adı ve adresi (sadece ilk harfleri büyük harfle yazılmalı), yazışmalardan sorumlu yazar belirtilmeli ve bu yazarın telefon ile e-posta adresi verilmelidir. Bu sayfadaki tüm bilgiler koyu karakterde yazılmış olmalıdır.

Ana metin

Makalenin ana metin bölümü, makalenin Türkçe ve İngilizce başlığı ile başlamalı ancak yazar isim ve adres bilgilerini içermemelidir. Daha sonraki bölümler aşağıdaki gibi organize edilmelidir.

Öz (Abstract): Her makalenin Türkçe ve İngilizce özeti olmalıdır (paragraf girintisi verilmeden; konuya hakim, kısa ve makalenin bütün önemli noktalarını – niçin, ne ve nasıl yapıldığını, ne bulunduğunu ve bunların ne ifade ettiğini – vurgulayan özet metni yazılmalıdır. Bu bölümde kaynak verilmemelidir. Özet ve Abstract metinlerinin hemen altında sırasıyla Anahtar Sözcükler ve Keywords yer almalıdır. Anahtar sözcüklerin ilk harfleri büyük ve virgül ile ayrılmış, başlığı tekrarlamayan fakat onu tamamlayan özellikte olmalı ve 3-6 sözcükten oluşmalıdır.

Giriş

Bu bölüm makalenin içeriğini ve yapıma nedenini kaynak bilgileri ile açıklayan kısım olup, çalışmanın amacını ve test edilecek hipotezi açık şekilde sunmalıdır.

Materyal ve Yöntem (Alt başlıklar da yapılabilir)

Denemede kullanılan materyal ve yöntemlerin başka araştırmacılar tarafından yinelenmek istemine de cevap verebilmesi için ayrıntılı olarak açıklanmalıdır. Ancak yayınlanmış olanlar varsa kapsamlı açıklamalara girmeden atıfta bulunulabilir. Test edilecek hipoteze yanıt verecek uygun istatistiksel yöntem/yöntemler kullanılmalı ve açıklanmalıdır. Uluslararası SI birim sistemi kullanılmalıdır.

Bulgular ve Tartışma

Bulgular kısa ve açıklayıcı şekilde, çizelgeler ve şekiller ile desteklenerek bu bölümde sunulmalıdır. Özellikle çizelgede sunulan veriler metin içerisinde ve şekillerde tekrarlanmamalıdır. Ancak şekillerdeki önemli veriler metin içerisinde de verilmelidir. Tartışmada elde edilen sonucun önemi, bilime ve uygulamaya katkısı kaynak bilgileri ile tartışılmalı, değerlendirilmeli veya yorumlanmalıdır. İstenirse ayrı bir **“Sonuç”** başlığı düzenlenebilir. Elde edilen sonuçların bilime ve uygulamaya katkısı ve varsa öneriler ile birlikte sonuç kısmında verilebilir.

Teşekkür

Çalışmayı destekleyen kuruluşlar ve çalışmaya emeği geçenler için kısa bir teşekkür yazısı yazılabilir.

Kaynaklar

Kaynak listesi yazar soyadına göre alfabetik olarak düzenlenmelidir. Metin içerisinde ise kaynaklar Yazar-yıl esasına ve tarih sırasına göre (Acar, 1995; Gülser ve ark., 2011; Kızılkaya ve Hepşen 2014) verilmelidir. Aynı tarihli farklı yazarların kaynaklarının bildiriminde alfabetik sıra kullanılmalıdır (Aydın, 2001; Ekberli ve ark., 2001; Özdemir ve ark., 2001). Aynı yazar tarafından aynı yıl içinde yayınlanmış birden fazla kaynak kullanılması durumunda basım yılından sonra kaynak a, b, c gibi harfler ile gösterilmelidir. Metin içerisinde atıf yapılan kaynakların tümü kaynaklar listesinde bulunmalıdır. Kaynak bölümünde değişik yerlerden alınan kaynakların yazımında aşağıdaki örneklere uyulmalıdır.

Dergiden,

Candemir F, Gülser C, 2012. Influencing factors and prediction of hydraulic conductivity in fine textured-alkaline soils. Arid Land Res. Manag. 26:15-31(Dergilerin uluslararası veya ulusal kısaltmaları verilmelidir)

Kongre veya sempozyumdan,

Gülser C, Ekberli İ, Candemir F, Demir Z, 2011. İşlenmiş bir toprakta penetrasyon direncinin konumsal değişimi. Prof.Dr.Nuri Munsuz Ulusal Toprak ve Su Sempozyumu, 244-249, 25-27 Mayıs, Ankara.

Tezden,

Kızılkaya R, 1998. Samsun Azot Sanayi (TÜGSAŞ) ve Karadeniz Bakır İşletmeleri (KBİ) çevresindeki tarım topraklarında ağır metal birikiminin toprakların bazı biyolojik özellikleri üzerine etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kitaptan,

Arshad MA, Lowery B, Grossman B, 1996. Physical tests for monitoring soil quality. In: Methods for Assessing Soil Quality (eds. Doran JW, Jones AJ), SSSA Special Publication vol. 49. Soil Sci. Soc. Am., Madison, USA, pp. 123–141.

Elektronik materyalden

Corwin DL, 2012. Delineating site-specific crop management units: Precision agriculture application in GIS. USDA-ARS, George E. Brown Salinity Laboratory. Available from URL: <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc05/papers/pap1184.pdf>

Şekil ve Çizelgeler

Her bir şekil ve çizelge metin içerisinde atfedilmiş olmalı ve ardışık olarak numaralandırılmalıdır (Şekil 1, Şekil 2 veya Çizelge 1, Çizelge 2 gibi). Şekil ve Çizelgeler ilk sunumda metin içerisinde görülmemeli, ancak metinden ayrı olarak şekiller bir sayfada, Çizelgeler ayrı bir sayfada sırasıyla verilmeli ve sayfaya dik gelecek şekilde düzenlenmelidir. Şekil başlıkları şeklin altında Çizelge başlıkları Çizelgenin üstünde yazılmalıdır. Başlıklar, şekil ve çizelgedeki her bir hücreyi açıklayıcı kısa ve öz şekilde sadece ilk sözcüğün ilk harfi büyük olarak yazılmalıdır. Şekil ve Çizelgelerde uygulamayı veya uygulama özelliğini ve ortalamalar arasındaki farklılıkları açıklamak için kullanılan kısaltmaların açıklaması mutlaka şekil ve Çizelge altında dipnot olarak verilmelidir.

Kabul Sonrası

Yayın, basım için kabul edildikten sonra, makalenin basıma hazır hali (proof) sorumlu yazara e-posta ile gönderilir. Ya da derginin web sayfasında bulunan bağlantıyı kullanarak yazar kendi kullanıcı adı ve şifresi ile sistemden PDF dosyasını indirebilir. Yazar gerekli gördüğü düzeltmeleri liste halinde yazarak editöre bildirebilir. Düzeltmeler listelenirken sayfa ve satır numaraları işaret edilir. İlaveten, basıma hazır kopyanın bir çıktısı alınır, üzerinde düzeltmeler yapılır ve e-posta ile gönderilebilir. Basıma hazır kopyada çok büyük değişiklikler veya ilaveler yapılmaması gereklidir. Bu aşamadaki düzeltmelerin sorumlusu makale yazarıdır.

Basım Ücreti

Yayınlanan makaleler için basım ücreti talep edilmemektedir.

1 9 6 4

SOIL SCIENCE SOCIETY OF TURKEY



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

www.toprak.org.tr



TELİF HAKKI DEVİR SÖZLEŞMESİ *

Makale Başlığı :

Yazarlar ve tam isimleri :

Yayıncıdan sorumlu yazarın

Adı – Soyadı :

Adresi :

Telefon :

Cep Telefonu :

Faks :

E-posta:

Sunmuş olduğumuz makalenin yazar(lar)ı olarak ben/bizler aşağıdaki konuları taahhüt ederiz:

- Bu makale bizim tarafımızdan yapılmış özgün bir çalışmadır.
- Bütün yazarlar makalenin sorumluluğunu üstleniriz.
- Bu makale başka bir yerde yayınlanmamış ve yayınlanmak üzere herhangi bir yere yollanmamıştır.
- Bütün yazarlar gönderilen makaleyi görmüş ve sonuçlarını onaylamıştır.

Yukarıdaki konular dışında yazar(lar)ın aşağıdaki hakları ayrıca saklıdır:

- Telif hakkı dışındaki patent hakları yazarlara aittir.
- Yazar makalenin tümünü kitaplarında ve derslerinde, sözlü sunumlarında ve konferanslarında kullanabilir.
- Satış amaçlı olmayan kendi faaliyetleri için çoğaltma hakları vardır.

Bunun dışında, makalenin çoğaltılması, postalanması ve diğer yollardan dağıtılması, ancak bilim ve yayın kurulunun izni ile yapılabilir. Makalenin tümü veya bir kısmından atıf yapılarak yararlanılabilir.

Ben/Biz bu makalenin, etik kurallara uygun olduğunu ve belirtilen materyal ve yöntemler kullanıldığında herhangi bir zarara ve yaralanmaya neden olmayacağını bildiririz.

Makaleye ait tüm materyaller (kabul edilen veya reddedilen fotoğraflar, orijinal şekiller ve diğerleri), bilim ve yayın kurulunca bir yıl süreyle saklanacak ve daha sonra imha edilecektir.

Bu belge, tüm yazarlar adına sorumlu yazar tarafından imzalanmalı ve form üzerindeki imza, ıslak imza olmalıdır.

Sorumlu yazarın

Adı – Soyadı :

Tarih :

İmza:

*Makalenin Editörler Kurulunca yayına kabul edilmemesi durumunda bu belge geçersizdir.



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

(Açık Erişimli Hakemli Bilimsel Dergi)



Türkiye Toprak Bilimi Derneği tarafından yayınlanmaktadır

TÜRKİYE TOPRAK BİLİMİ DERNEĞİ (TTBD) TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ ETİK İLKELER ve YAYIN POLİTİKASI

Bir araştırma kuruluşunda bilimsel araştırmalarda sorumlu konumda olan Türkiye Toprak Bilimi Derneği (TTBD) üyeleri, akademik danışmanlıklarını yürütmekte oldukları kişilerin (öğrenciler, uzmanlar, stajyerler, araştırma görevlileri, burslular, rotasyonla gelenler, vb.), olabilecek en iyi eğitimi almalarını ve meslek yaşamında doğru hedefler koyabilmelerini sağlayacak bilgi, beceri ve tutumlarla donanmalarını sağlamakla yükümlüdürler. Araştırma planlanması, yürütülmesi, sunulması ve yayımlanması sürecinde dürüst ve açık olmalıdır. Benzer konularda çalışan diğer araştırmacıların yaptığı çalışmalara saygı göstermeli, kaynak göstermeden alıntı yapmamalıdır. Bilimsel araştırma ve yayın sürecinde nesnellikten şaşmamalıdır. Yalnız kendisi için değil, çalıştığı kurum ve mensubu olduğu camia içindeki meslektaşları ve gençler için de örnek alınacak şekilde davranmalı ve etik kural ihlallerine karşı duyarlı ve uyanık olmalıdır. Araştırma yapılan ortamların sadece teknik donanım ve bilgi ile doldurulması da araştırmacı nitelikleri ve etik davranış gibi çok önemli özelliklerin kazandırılması için yeterli değildir. Her toprak bilimi ve bitki besleme alanındaki araştırmacının bu açılardan da yetkin bir şekilde yetiştirilmesi ve evrensel bilim camiasında saygın bir yer edinmesi temel önceliklerimizden birisidir.

Her çeşit bilimsel araştırmada uyulacak temel ilkeler şunlardır: Veriler, bilimsel yöntemlerle elde edilir. Bunların değerlendirilmesinde, yorumunda ve kuramsal sonuçların elde edilmesinde bilimsel yöntemlerin dışına çıkılamaz, sonuçlar saptırılamaz, elde edilmemiş sonuçlar araştırma sonuçlarıymış gibi gösterilemez. Araştırma ve deneylerin, hayvan sağlığına ve ekolojik dengeye zarar vermemesi temel ilkedir. Çalışmalara başlanılmadan önce gerekli izinler yetkili birimlerden yazılı olarak alınır. Bu çerçevede uluslararası beyanname hükümleri ve Türkiye'nin taraf olduğu uluslararası sözleşmeler ve ulusal mevzuat hükümleri göz önünde bulundurulur.

Araştırmacılar ve yetkililer, yapılan bilimsel araştırma ile ilgili olarak muhtemel zararlı uygulamalar konusunda ilgilileri bilgilendirmek ve uyarmakla yükümlüdür. Araştırmacılar, kendi vicdanî kanaatlerine göre zararlı sonuçlara ve/veya onaylamadıkları uygulamalara yol açabilecek araştırmalara katılmama hakkına sahiptir. Yapılacak çalışmalarda, diğer kişi ve kurumlardan temin edilen veri ve bilgilerin, izin verildiği ölçüde ve şekilde kullanılması, gizliliğine riayet edilmesi ve korunması sağlanır.

Her çeşit bilimsel yayında uyulacak temel ilkeler şunlardır: Bilimsel araştırmanın tasarlanması, planlanması, yürütülmesi ve yayına hazırlanması aşamalarında katkıda bulunmamış kişiler, yazar isimleri arasında gösterilemez. Bilimsel yayınlarda bir çalışmadan yararlanırken, bilimsel atıf kurallarına uygun olarak kaynak gösterilir. Henüz sunulmamış veya savunularak kabul edilmemiş tezler veya çalışmalar, sahibinin izni olmadan kaynak olarak kullanılamaz. Evrensel olarak tanınan bilim kuramları, bilim alanlarının temel bilgileri, matematik teoremleri ve ispatları gibi önermeler dışında hiçbir çalışmanın tümü veya bir bölümü, izin alınmadan ve asıl kaynak gösterilmeden çeviri veya özgün şekliyle yayımlanamaz.

Araştırma ve Yayın Etiği

Dergi, Yayın Etiği Komitesi ([Committee on Publication Ethics \(COPE\)](#)) tarafından belirlenen etik yönergeleri, çerçeveleri ve standartları benimser ve bunlara uyar.

Yazarların Etik Sorumlulukları

- Orijinal İçerik: Dergi yalnızca orijinal akademik çalışmaları yayınlar. Dergiye gönderilen yazılar yayınlanmamış veya yayın için değerlendirilmemiş olmalıdır. Ancak yazarlar, başka bir yayıncıdan ret mektubu aldıktan sonra yazılarını Dergiye gönderebilirler. Çevrimiçi olarak arşivlenmeyen tezler ve tezler orijinal ve yayınlanmamış olarak kabul edilir. Ancak, tezlerin veya tezlerin içeriğini ve verilerini kullanarak bir yazı gönderen yazarlar bunu Teşekkür bölümünde beyan etmelidir.

- Yazarlık: Yazarlar, "Yazarlık" bölümünde listelenen yazarlık kriterlerine uymalı ve bağış veya hayalet yazarlıktan kaçınmalıdır.
 - Tekrarlayan Yayın (Dublikasyon): Bir araştırmanın sonuçlarını, ilk yayınlandığı derginin editöründen izin almaksızın başka dergide tekrar yayınlamamak. Yazarlar, aynı veri kümesine, çalışmaya veya deneye dayalı bir yazıyı yayın için göndermekten kaçınmalıdır. Tekrarlayan yayınlar etik dışı kabul edilir.
 - Atıflar ve İntihal: Yazarlar, akademik çalışmalarını desteklemek için ilgili ve doğrulanmış literatüre atıfta bulunmalıdır. Başkalarının fikirlerini, yöntemlerini, verilerini, uygulamalarını, yazılarını, şekillerini veya eserlerini sahiplerine bilimsel kurallara uygun biçimde atıf yapmadan kısmen veya tamamen kendi eseriymiş gibi sunmamalıdır.
 - Yazarlar, diğer akademik çalışmalara atıfta bulunurken her türlü atıf manipölasyonundan ve suistimalden kaçınmalı ve ayrıca intihalden ve kendi kendine intihalden kaçınmalıdır.
 - Uydurma ve Sahtecilik: Yazarlar, herhangi bir içeriğin veri uydurmasından ve sahteciliğinden kaçınmalıdır. Yazarlar, yazılarında sunulan verilerin doğru ve yazıyı temsil ettiğinden emin olmakla yükümlüdür. Yazarlardan, şeffaflığı sağlamak için ham verilerini veya ek verilerini yazıyla birlikte göndermeleri istenebilir. Yazarlar, ek ve yardımcı materyal göndermekten sorumludur. Araştırmaya dayanmayan veriler üretmemek, sunulan veya yayınlanan eseri gerçek olmayan verilere dayandırarak düzenlememek veya değiştirmemek, yapılmamış bir araştırmayı yapılmış gibi göstermemek,
 - Etik onay: Etik komite onayı gerektiren çalışmalarda Yöntemler bölümünde ve makalenin sonunda Etik Komite Onayı yer almalıdır. Gönderimden önce etik komite onayı içindeki ilgili tanımlayıcı bilgilerin kimliksizleştirilmesini sağlamak zorunludur. Başlık sayfasında ayrıca üniversite, etik komite onayının tarihi ve numarası hakkında bilgiler yer almalıdır. Etik Komite Onayı sunulmalıdır.
 - Hayvan ve İnsan Deneklerle İlgili Çalışmalar: Dergiye sunulan tüm yazılar ve hayvan veya insan deneklerle ilgili tüm çalışmalar, yetkililer tarafından belirlenen yönergeler ve etik ilkelere uymalıdır.
 - Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmelidir. Yazarların (veya işverenlerinin, sponsorlarının veya ailelerinin/arkadaşlarının) araştırmayı veya sonuçların yorumlanma biçimini etkileyebilecek diğer kuruluşlarla veya onlarla çalışan kişilerle mali, ticari, yasal veya profesyonel bir bağlantısı olduğunda çıkar çatışması olabilir. Bu nedenle, yazarlar başlık sayfalarında mali, ticari, yasal veya profesyonel çıkar çatışması beyan etmelidir. Çıkar çatışması yoksa, yazarlar bunu yazılarında da beyan etmelidir.
 - Yazarların, yayınlanmış, ön baskı veya inceleme aşamasındaki bir yazıdaki herhangi bir yanlışlık veya hatayı dergi editörüne veya yayıncıya bildirmeleri ve yazıyı düzeltme veya geri çekme konusunda baş editörle işbirliği yapmaları gerekir.
 - Çarpıtma: Araştırma kayıtları ve elde edilen verileri tahrif etmek, araştırmada kullanılmayan yöntem, cihaz ve materyalleri kullanılmış gibi göstermek, araştırma hipotezine uygun olmayan verileri değerlendirmeye almamak, ilgili teori veya varsayımlara uydurmak için veriler ve/veya sonuçlarla oynamak, destek alınan kişi ve kuruluşların çıkarları doğrultusunda araştırma sonuçlarını tahrif etmemek veya şekillendirmemek,
 - Dilimleme: Bir araştırmanın sonuçlarını araştırmanın bütünlüğünü bozacak şekilde, uygun olmayan biçimde parçalara ayırarak ve birbirine atıf yapmadan çok sayıda yayın yaparak doçentlik sınavı değerlendirmelerinde ve akademik terfilerde ayırı eserler olarak sunmamak,
 - Haksız yazarlık: Aktif katkısı olmayan kişileri yazarlar arasına dâhil etmek, aktif katkısı olan kişileri yazarlar arasına dâhil etmemek, yazar sıralamasını gerekçesiz ve uygun olmayan bir biçimde değiştirmek, aktif katkısı olanların isimlerini yayım sırasında veya sonraki baskılarda eserden çıkarmak, aktif katkısı olmadığı halde nüfuzunu kullanarak ismini yazarlar arasına dâhil ettirmemek,
- Diğer etik ihlali türleri: Destek alınarak yürütülen araştırmaların yayınlarında destek veren kişi, kurum veya kuruluşlar ile onların araştırmadaki katkılarını açık bir biçimde belirtmemek, insan ve hayvanlar üzerinde yapılan araştırmalarda etik kurallara uymamak, yayınlarında hasta haklarına saygı göstermemek, hakem olarak incelemek üzere görevlendirildiği bir eserde yer alan bilgileri yayınlanmadan önce başkalarıyla paylaşmak, bilimsel araştırma için sağlanan veya ayrılan kaynakları, mekânları, imkânları ve cihazları amaç dışı kullanmak, tamamen dayanaksız, yersiz ve kasıtlı etik ihlali suçlamasında bulunmak.

Yazarlık Hakları

- Yazarlık, bir araştırmmanın yayımlanması sırasında araştırmaya katkı yapan ve atılan tüm kişilerin adlarının sıralanması demektir. Yazarlık hakkı sadece metin yazarının değildir. İlke olarak araştırma sonuçları anonim olarak yayımlanmaz.
- Yazar sıralamasında, esas bilimsel katkının kime ait olduğunun da belirlendiği bir düzen bulunur. Bu nedenle, daha araştırmaya başlarken ve araştırma süresince yazarlık konusu ilgili kişilerle tartışılmalı, hatta yazılı bir protokol haline getirilmelidir.
- Yazar listesine, araştırma fikrini ortaya atan, planlanması, tasarımı ve yapılması ile yorumlanmasına bizzat katkı ve emek harcayanlar alınır.
- Maddi kaynak, mekan veya malzeme olarak katkıda bulunanlar, idari sorumlular, bazı teknik analiz ve hizmetlerde bulunanlar ile örnek temininde yardımcı olanlar alınmaz; ancak, kendilerine teşekkür edilebilir.
- Yayın sürecinde, ilgili dergi/kurum ile yazışmaları yapan “Sorumlu Yazar” olarak kabul edilir. Sorumlu yazar, yaptığı yazışmaları diğer yazarlarla paylaşmalı, gerekli işlemleri zamanında ve doğru olarak yapmalıdır. Bu anlamda yayın sürecinde hem diğer yazarlara hem de Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisine karşı sorumludur. Yayın sürecinde hakemlerin değerlendirmeleri ile çıkan yeni durumlar tüm yazarlar tarafından paylaşılmalı ve gerekli yanıtı diğer yazarların katkı yapması sağlanmalıdır.
- Tüm yazarların makalenin içeriği konusunda sorumluluk aldığı kabul edilir. Bir makalede herhangi bir katkısı olmayan bir kişinin yazar olması etik dışıdır. Aynı şekilde yayına önemli katkısı olan birinin yazarlar arasında yer almaması da etik dışıdır.

Editör ve Hakemlerin Uyması Gereken Kurallar

Dergi Editör ve hakemleri [COPE](#) tarafından belirtilen Davranış Kuralları ve En İyi Uygulama Kılavuzuna uymakla yükümlüdür.

- El yazmalarını ve editör raporlarını gizli tutmak. El yazmaları, editör raporları ve elde edilen herhangi bir bilgi hiçbir nedenle paylaşılamaz veya ifşa edilemez.
- Anonimliklerini korumak, kimliklerini yazarlara veya diğer editörlere ve incelemecilere ifşa etmekten kaçınmak (İncelemeciler, derginin izni olmadan yazarlarla doğrudan iletişime geçemez).
- Tüm çıkar çatışmalarını (kişisel, mali, entelektüel, mesleki, politik veya dini) beyan etmek, editör ofisinden tavsiye almak veya çıkar çatışması olması durumunda incelemeye katılmamak.
- Yazarlar, diğer editörler ve hakemlerle açık ve yapıcı bir iletişim sürdürmek (Uygunsuz dil veya rahatsız edici davranış kabul edilemez).
- Atanan görevleri zamanında tamamlamak, görevden bir uzatma veya çekilme ihtiyacı olması durumunda dergiyi bilgilendirmek.
- İnceleme sürecini kolaylaştırmak, tarafsız kalmak, inceleme sürecinin tutarlı ve adil bir şekilde ilerlemesini sağlamak.
- Araştırma ve yayın etiğiyle ilgili herhangi bir suistimal, etik olmayan davranış veya usulsüzlükle karşılaşılırsa editör ofisini bilgilendirmek.
- Hakemlik yapanlar mutlaka görüş bildirdikleri konunun uzmanı olmak zorundadır. Eleştirilerin objektif ve bilimsel olarak yapılması çok önemlidir. Hakemlerin çıkar çatışması olan konuları da açıklıkla belirtmeleri gereklidir. Kimi durumlarda bu gerekçeyle etik yönden hakemlik yapmayı kabul etmemeleri gerekebilir.
- Hakemlik konusu olan tüm metinler kişiye özeldir ve bu konu diğer hakemler dışında üçüncü kişilerle paylaşılmamalıdır.
- Hakemlik işlemi, hakeme çıkar sağlamamalıdır. Hakemler eleştirdikleri metinlerden çıkar sağlamamalı ve kendi çalışmalarını için kopya çekmemelidirler.
- Hakemler değerlendirilen makale sahibinin tabi olduğu etik kurallara bağlı olmak ve bu kuralları titizlikle uygulamak durumundadır.

Çıkar Çatışmaları

Çıkar çatışmaları, yazarların, hakemlerin veya editörlerin ticari firmalar, politik, akademik ya da finansal kurum ve kuruluşlarla olan, çalışmanın yayınlanması kararını etkileyebilecek nitelikte ve üçüncü kişiler tarafından tam olarak bilinmeyen ilişkilerini tanımlar. Mali çıkar ilişkileri arasında tam/yarım zamanlı istihdam, ücretli konuşma ve seyahatler, danışmanlık ve personel eğitimi sayılabilir.

- Çıkar çatışmasına neden olabilecek ilişkiler açıkça belirtilmelidir (dergi hakemliği, yayın için gönderilen mektup, konferans vs. durumlarda).

- Mali çıkar dışında birinci dereceden akrabalık, ast-üst ilişkisi, bürokratik ilişkiler gibi ilişkiler de gerektiğinde açıklanmalıdır.

Yayın Geri çekmeler

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi (TBBBD), birden fazla gönderim, sahte yazarlık, intihal veya veri uydurma gibi etik ihlalleri olduğu tespit edilen makaleler için bir geri çekme süreci başlatacaktır. TBBBD, etik politikasının bir parçası olarak Yayın Komitesi tarafından belirlenen yönergelere ve önerilere uymaktadır.
