



2026

Cilt/Volume : **14**

Sayı/Number : **1**

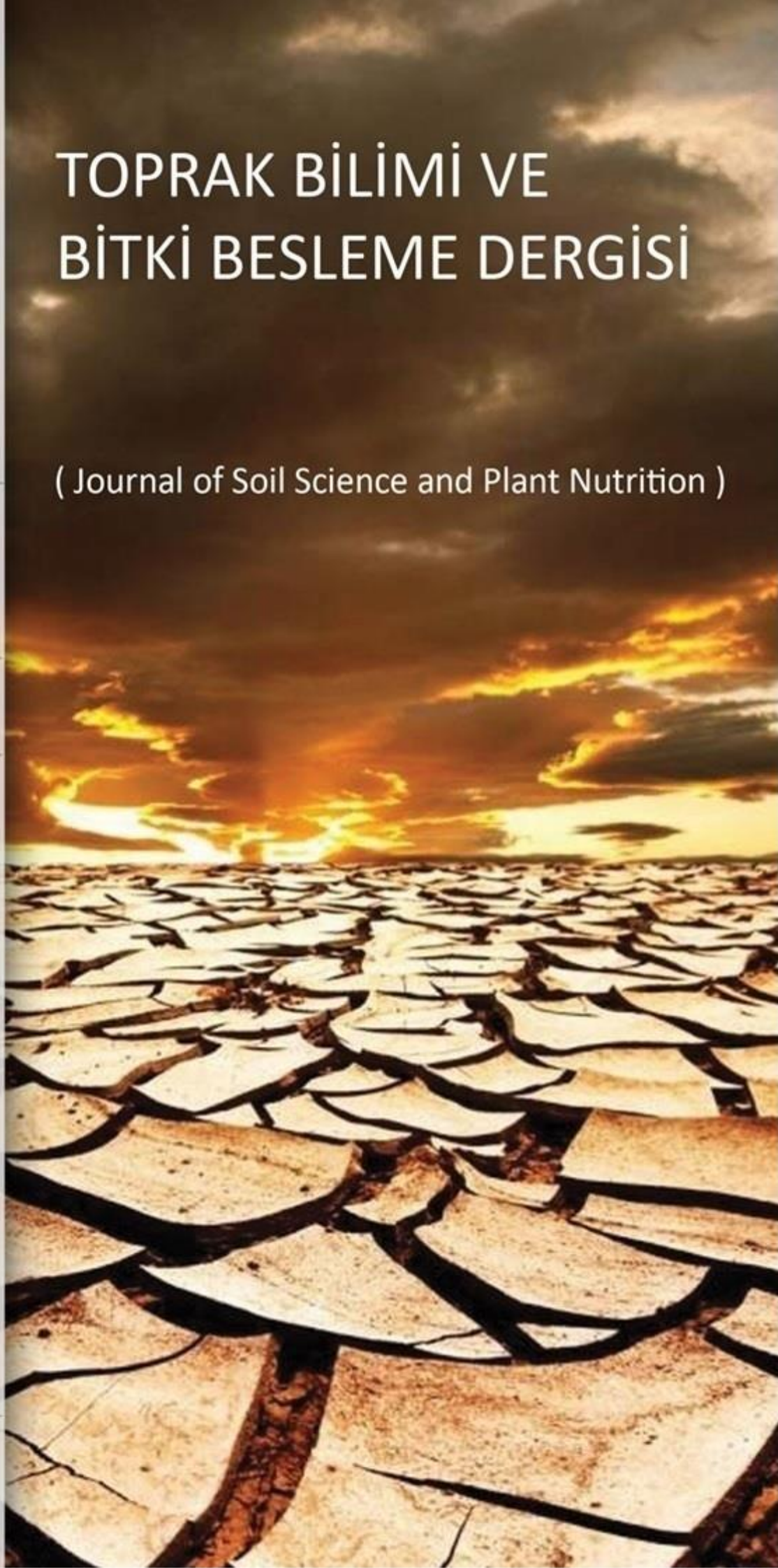
eISSN : 2146 - 8141

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



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

(Açık Erişimli Hakemli Bilimsel Dergi)



Türkiye Toprak Bilimi Derneği tarafından yayınlanmaktadır

YIL: 2026

CİLT : 14

SAYI : 1

SAYFA : 1 - 75

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

- Rize mikro havzasında erozyon duyarlılığının ICONA modeli ve coğrafi bilgi sistemi entegrasyonu ile mekânsal analizi** 1
Enver ŞEKER, Sena PACCİ KIZILDAĞ, Orhan DENGİZ
- Çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit materyali ve koyun yününün tuz stresi altında yetiştirilen arpa bitkisi gelişimi üzerine etkisi** 13
Hanife AKÇA
- Fındık zurufu-ahır gübresi karışımlarından elde edilen vermikompostların kimyasal özellikleri, buğday verimi ve toprak mikrobiyal biyokütle karbonu üzerine etkileri** 25
Tuba TOPRAK, Rıdvan KIZILKAYA
- 5403 Sayılı Kanun ve 2026 Arazi Kullanım Planlaması Yönetmeliği kapsamında entegre arazi kullanım planlamasının yeniden değerlendirilmesi: Bilim-Politika-Hukuk etkileşimleri üzerinden bir analiz** 35
Günay ERPUL
- Trakya Bölgesi çeltik topraklarında makro ve mikro besin elementlerinin belirlenmesinde H3A-4 çoklu ekstraksiyon yönteminin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi** 46
Selin ÖZDE ALTUNAY, Mehmet Ali GÜRBÜZ, Cemile BAL ÖZCAN
- Farklı sıcaklıklarda üretilen çeltik kavuzu biyokömürünün kurak koşullarda toprak özellikleri ve marul bitkisi verimine etkileri** 58
Salih DEMİRKAYA, Samiullah ZAHİD, Onur Yasin KAZKONDU, Dursun Çağrı AHISKALIOĞLU, Coşkun GÜLSER
- Kuzey Irak Duhok'ta elma ağaçlarının (*Malus domestica*) beslenme durumu** 70
Bekas Yousif HUSSEIN, Füsün GÜLSER



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

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



Rize mikro havzasında erozyon duyarlılığının ICONA modeli ve coğrafi bilgi sistemi entegrasyonu ile mekânsal analizi

Enver ŞEKER¹, Sena PACCİ KIZILDAĞ¹, Orhan DENGİZ^{2*}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Bilimleri Enst. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Samsun

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

Öz

Toprak erozyonu, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimini tehdit eden en önemli arazi bozunumu süreçlerinden biridir. Bu çalışmada, Rize ili sınırları içerisinde yer alan bir mikro havzada erozyon riskinin mekânsal dağılımının belirlenmesi amacıyla ICONA erozyon risk modeli kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, arazi örtüsü, arazi kullanımı-arazi örtüsü, jeoloji ve eğim gibi erozyon süreçlerini etkileyen temel çevresel faktörler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında analiz edilmiştir. Öncelikle arazi örtüsü ve arazi kullanım haritaları birleştirilerek toprak koruma haritası oluşturulmuş, ardından jeoloji ve eğim katmanlarının entegrasyonu ile potansiyel erozyon risk haritası elde edilmiştir. Son aşamada ise bu iki katmanın çakıştırılmasıyla ICONA erozyon risk haritası hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, çalışma alanının önemli bir bölümünde düşük ve orta düzeyde erozyon riskinin hâkim olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, özellikle havzanın güney kesimlerinde eğim değerlerinin yüksek olması, litolojik yapının ayrışmaya daha duyarlı özellikler göstermesi ve bitki örtüsünün görece zayıf olması nedeniyle yüksek ve çok yüksek erozyon riskine sahip alanların yoğunlaştığı belirlenmiştir. Çalışma sonuçları, erozyon riskinin havza ölçeğinde mekânsal olarak belirlenmesinde ICONA modelinin etkin bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca elde edilen bulguların, erozyon kontrolü ve arazi yönetimi planlamalarında öncelikli alanların belirlenmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Erozyon riski, ICONA modeli, CBS, toprak koruma.

Spatial analysis of erosion susceptibility in the Rize micro-watershed using the integration of the ICONA model and geographic information systems

Abstract

Soil erosion is one of the most significant land degradation processes threatening the sustainable management of natural resources. In this study, the ICONA erosion risk model was applied to determine the spatial distribution of erosion risk within a micro-watershed located in Rize province, Türkiye. In this concept, major environmental factors influencing erosion processes, including land use-land cover, land use, geology, and slope were analyzed using Geographic Information Systems (GIS). First, a soil protection map was generated by combining land cover and land use maps. Subsequently, a potential erosion map was produced through the integration of geological and slope layers. In the final stage, the ICONA erosion risk map was created by overlaying these two layers. The results indicated that low and moderate erosion risk classes dominate a large portion of the study area. However, areas with high and very high erosion risk were mainly concentrated in the southern parts of the watershed due to higher slope values, lithological units more susceptible to weathering, and relatively sparse vegetation cover. The findings demonstrate that the ICONA model is an effective tool for identifying the spatial distribution of erosion risk at the watershed scale. Furthermore, the results may contribute to determining priority areas for erosion control and sustainable land management planning.

Keywords: Erosion risk, ICONA model, GIS, soil protection.

© 2026 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Toprak, tarımsal üretimin devamlılığı ve ekosistemlerin işleyişi açısından temel bir doğal kaynak olup, sürdürülebilir çevre yönetiminin en önemli bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Doran ve Parkin, 1994). Ancak hem doğal süreçler hem de insan faaliyetleri sonucunda meydana gelen toprak kayıpları, ekosistem dengesini tehdit eden önemli çevresel sorunlardan biri haline gelmiştir. Dünya genelinde hızla

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (505) 438 3353
E-posta : odengiz@omu.edu.tr

Makale Türü: ARAŞTIRMA MAKALESİ

Geliş Tarihi : 10 Mart 2026 e-ISSN : 2146-8141
Kabul Tarihi : 12 Mayıs 2026 DOI : 10.33409/tbbbd.1905061

artan nüfus baskısı, yanlış ve yoğun arazi kullanımı ile aşırı toprak işleme gibi antropojenik faktörler toprak bozunumunu hızlandırmaktadır. Buna ek olarak, ormansızlaşma ve iklim değişikliğine bağlı olarak artan ekstrem iklim olayları da bu süreci tetikleyen başlıca etmenler arasında yer almaktadır (FAO ve ITPS, 2015; Bünemann ve ark., 2018).

Toprak kaybı yalnızca yüzey toprağının fiziksel olarak uzaklaşması anlamına gelmemekte; aynı zamanda toprağın üretkenliğini belirleyen organik madde içeriği, besin elementleri ve mikrobiyal aktivite gibi temel özelliklerin de azalmasına neden olmaktadır (Pimentel ve ark., 1995). Bu süreç, zamanla toprak verimliliğinin düşmesine ve bitkisel üretimin azalmasına yol açarak tarımsal sürdürülebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir (Lal, 2001; Pimentel ve Burgess, 2013). Ayrıca toprak bozunumu, karbon, su ve besin döngüsü gibi temel ekosistem süreçlerini etkileyerek ekosistem hizmetlerinin zayıflamasına neden olmaktadır. Toprak bozunumunu hızlandıran en temel süreçlerden biri olan erozyon, toprak yüzeyinin su, rüzgâr veya insan faaliyetlerinin etkisiyle aşınarak taşınması olarak tanımlanmaktadır (Morgan, 2005). Erozyonun en belirgin sonuçlarından biri, verimli üst toprağın kaybına bağlı olarak tarımsal üretimin azalmasıdır (Lal, 1998). Erozyonun etkileri yalnızca üretim kaybı ile sınırlı olmayıp; aynı zamanda ekosistem fonksiyonlarının bozulmasına ve çevresel sürdürülebilirliğin zayıflamasına da neden olmaktadır (Panagos ve ark., 2021). Su erozyonu ile taşınan ince toprak parçacıkları su kaynaklarına karışarak suyun bulanıklığını artırmakta ve su kalitesini düşürmektedir. Bu durum, hem sulama hem de içme suyu temini açısından sorunlara yol açarken sucul ekosistemler üzerinde de olumsuz etkiler oluşturabilmektedir (IERE, 2025). Üst toprağın kaybı, organik madde ve bitki besin elementlerinin azalmasına neden olarak bitki kök gelişimini sınırlandırmakta ve uzun vadede tarımsal verimliliği düşürmektedir. Ayrıca toprak yapısının bozulması, suyun infiltrasyon kapasitesini azaltarak yüzey akışının ve sedimentasyonun artmasına yol açmaktadır. Bu durum sel riskinin artmasına ve altyapı üzerinde çeşitli hasarların meydana gelmesine neden olabilmektedir (Lal, 1998; Pimentel ve ark., 1995). Erozyon aynı zamanda doğal habitatların parçalanmasına ve biyoçeşitliliğin azalmasına da neden olmaktadır; çünkü bitki örtüsü ve toprak organizmaları için gerekli yaşam ortamları önemli ölçüde bozulmaktadır (IERE, 2025). Bu çok yönlü etkiler, erozyonun hem çevresel hem de ekonomik maliyetlerini artırmakta ve sürdürülebilir toprak yönetimi yaklaşımlarının geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir.

Erozyonun kontrol altına alınması büyük ölçüde uygun arazi kullanımı ve etkin yönetim planlamasına bağlıdır. Erozyon; iklim, toprak özellikleri, topoğrafya ve bitki örtüsü arasındaki etkileşimler sonucunda toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirebilmektedir (Pla, 1997). Ayrıca erozyon sonucu oluşan sediment birikimleri, su kalitesi ve sucul habitatlar üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir (Akay, 2005; Akay ve ark., 2008). Türkiye’de erozyonla mücadele kapsamında çeşitli ulusal eylem planları uygulanmaktadır. Erozyonla Mücadele Eylem Planı kapsamında yaklaşık 335 bin hektarlık alanda toprak muhafaza tesis çalışmaları gerçekleştirilmiş; ayrıca Yukarı Havza Sel Kontrolü Eylem Planı doğrultusunda 200 sel havzasında uygulamalar yürütülmüştür. Bunun yanında Baraj Havzaları Yeşil Kuşak Ağaçlandırma Eylem Planı kapsamında 486 baraj ve gölet havzasında ağaçlandırma faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda erozyonla taşınan sediment miktarında önemli bir azalma sağlanmış ve 2018 yılı itibarıyla yıllık sediment taşınımı yaklaşık 154 milyon tona düşmüştür (ÇMUSEP, 2019).

Türkiye’nin topoğrafik özellikleri, erozyon süreçlerinin yaygınlaşmasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Ülkenin ortalama yükseltisinin yaklaşık 1250 m olması ve yüzölçümünün önemli bir bölümünün yüksek eğim değerlerine sahip bulunması, yüzey akışını artırarak toprak kaybını hızlandırmaktadır. Nitekim Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %46’sı %40’tan fazla, %62,5’ten fazlası ise %15’in üzerinde eğime sahiptir. Bu topoğrafik yapı; iklim koşulları, toprak özellikleri ve arazi kullanım biçimleri ile birlikte değerlendirildiğinde, orman, mera ve tarım alanlarında erozyon riskinin artmasına neden olmaktadır. Bu kapsamda, Türkiye topraklarının yaklaşık %80’inin farklı şiddetlerde erozyon tehdidi altında olduğu belirtilmektedir (Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023). Erozyon sonucunda her yıl yaklaşık 345 milyon ton sedimentin nehirler, göller, barajlar ve denizlere taşındığı ifade edilmekte olup, bu durum özellikle baraj rezervuarlarının kapasitesini ve ekonomik ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir. Örneğin, Ankara Çubuk-I Barajı 54 yıl içerisinde depolama kapasitesinin %70’ini kaybederken, Seyhan ve Kartalkaya barajlarında bu oran sırasıyla %40 ve %30 olarak belirlenmiştir. Mevcut sedimentasyon hızının devam etmesi durumunda bazı barajların yaklaşık 25 yıl içerisinde kapasitelerinin yarısını kaybedebileceği öngörülmektedir (DSİ, 2010). Benzer şekilde, Avrupa Birliği ülkelerinde tarım arazilerinin yaklaşık %20’sinin yüksek veya çok yüksek düzeyde su erozyonu riski taşıdığı bildirilmektedir (ICONA, 1991). Bu nedenle, özellikle Türkiye’deki su havzalarında sediment taşınımı ve yüzey akışı süreçlerinin doğru şekilde belirlenmesi, etkili toprak koruma uygulamalarının planlanması açısından büyük önem taşımaktadır (Yüksel ve ark., 2007).

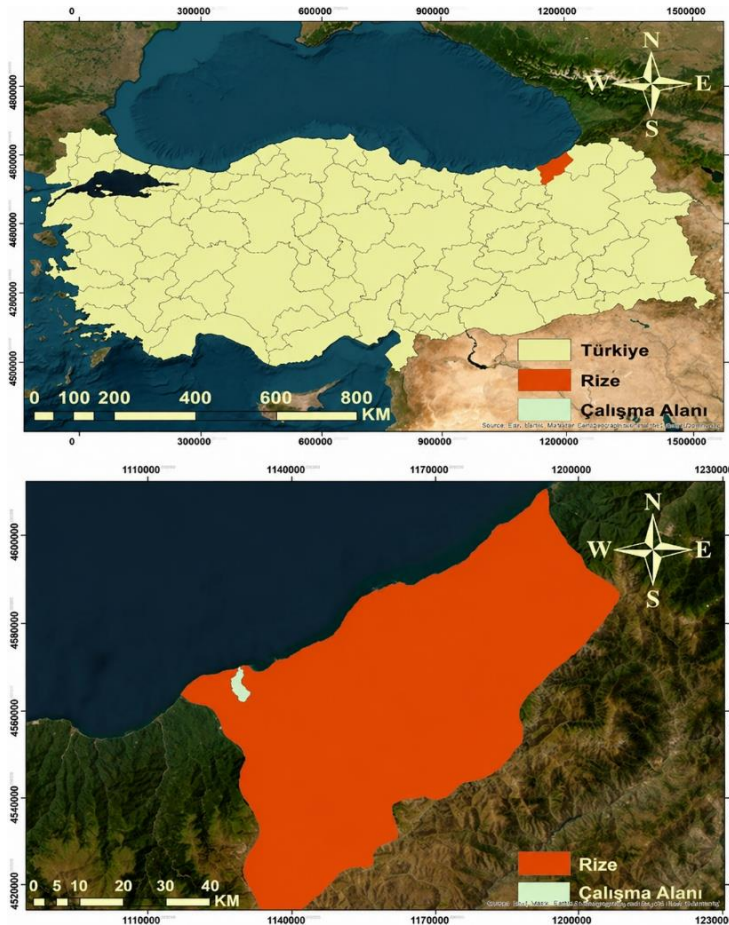
Toprak kaybı, yüzey akışı ve erozyon riskinin belirlenmesine yönelik olarak farklı kalitatif ve kantitatif birçok modelleme yaklaşımları geliştirilmiştir (Kantar ve Dengiz, 2015). LEAM, CORINE, USLE ve ICONA modelleri bu amaçla yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır (Morgan, 2005). Bu modeller arasında ICONA erozyon modeli, özellikle geniş alanlarda su erozyonu riskinin belirlenmesi için geliştirilmiş nitel ağırlıklı bir değerlendirme yaklaşımı sunmaktadır. ICONA modeli; eğim, toprak özellikleri, litolojik yapı, arazi örtüsü ve arazi kullanım durumu gibi çevresel faktörleri birlikte değerlendirerek potansiyel erozyon riskini sınıflandırmaktadır (ICONA, 1988). Modelin temel amacı erozyon miktarını doğrudan hesaplamak değil, erozyona duyarlı alanların mekânsal dağılımını belirlemektir. USLE ve CORINE gibi modeller yağış enerjisi, toprak aşınabilirliği ve topografik faktörleri kullanarak nicel toprak kaybı tahminleri üretirken, ICONA modeli daha sınırlı veri gereksinimi ile hızlı ve uygulanabilir risk haritaları oluşturabilmektedir. Bu durum özellikle uzun dönemli ölçüm verilerinin bulunmadığı veya veri kalitesinin sınırlı olduğu havzalarda, modelin önemli bir avantaj sağlamasına neden olmaktadır (Borrelli ve ark., 2020; Panagos ve ark., 2018).

ICONA modelinin bir diğer önemli yönü ise erozyon kontrolü ve toprak koruma uygulamalarında öncelikli alanların belirlenmesine katkı sağlamasıdır. Bu nedenle model, havza ölçeğinde gerçekleştirilen planlama çalışmalarında karar destek aracı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Bayramin ve ark., 2003; Arabameri ve ark., 2019). Modelin yapısı gereği, sediment verimi hesaplamaları veya rezervuar ömrü tahminleri gibi sayısal değerlendirmelerde tek başına yeterli olmayabileceği; bu tür analizlerde daha kapsamlı sonuçlar elde edebilmek için sayısal erozyon modelleriyle birlikte kullanılmasının gerekli olduğu belirtilmektedir (ICONA, 1991; Morgan, 2005; Yüksel ve ark., 2007). Bu çalışmada, Rize ili sınırları içerisinde yer alan bir mikro havzasında erozyona duyarlı alanların belirlenmesi amacıyla ICONA modelinin uygulanması ve elde edilen veriler doğrultusunda erozyon risk haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

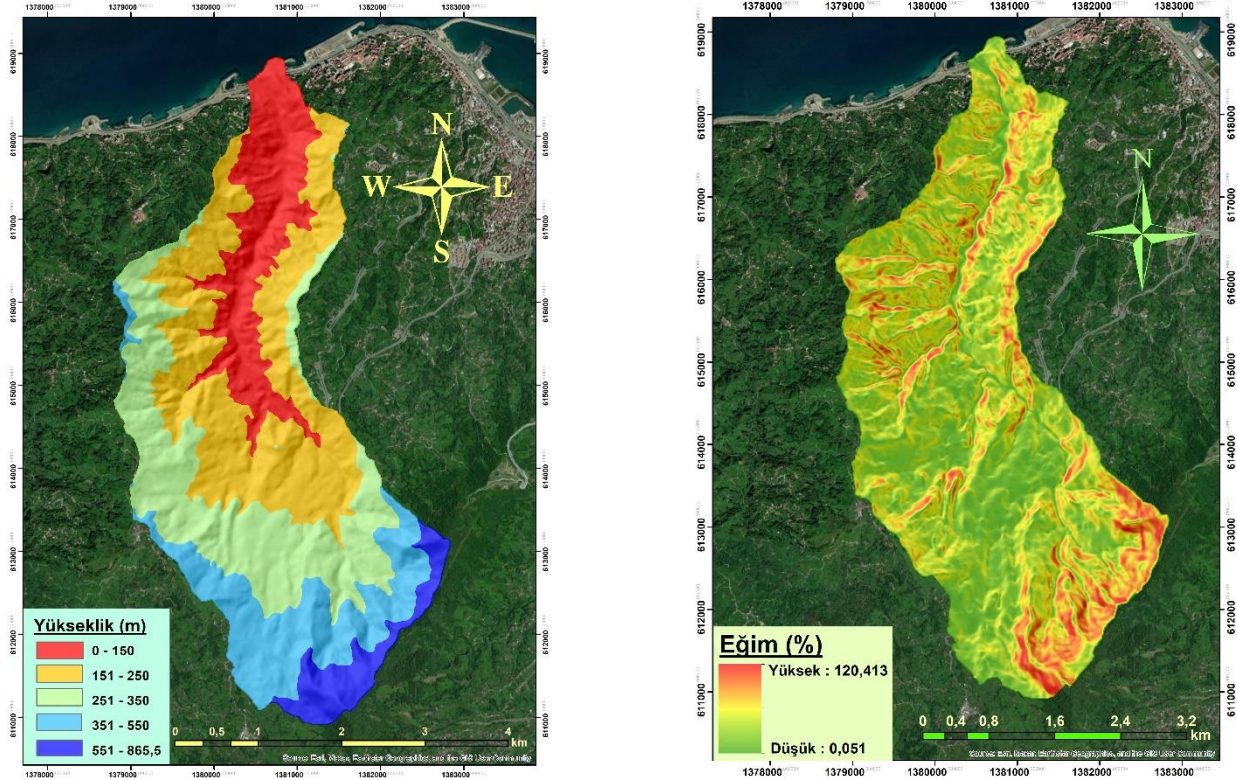
Çalışma alanının genel özellikleri

Çalışma alanı, Rize ili sınırları içerisinde yer alan bir mikro havza olup WGS-84 datumuna göre UTM Zone 37 koordinat sisteminde yaklaşık olarak 622.000–626.000 doğu ile 4.536.000–4.543.000 kuzey koordinatları arasında konumlanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı haritası

Çalışma alanı yaklaşık 16.720 ha büyüklüğünde olup deniz seviyesinden yüksekliği 0 ile 862 m arasında değişmektedir (Şekil 2). Havzanın topoğrafik yapısı genel olarak oldukça engebeli ve dağlık karakterdedir. Bu nedenle alanın büyük bir bölümünde eğim değerleri yüksek ve arazi morfolojisi belirgin şekilde parçalanmış bir yapı göstermektedir. Litolojik açıdan değerlendirildiğinde havza, çoğunlukla kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşı gibi sedimanter kökenli kayalardan oluşmaktadır. Bölgedeki baskın toprak tipi kırmızı-sarı podzolik topraklar olup FAO-WRB (2014) sınıflandırma sistemine göre bu topraklar ağırlıklı olarak Alisol ve Acrisol grupları içerisinde yer almaktadır.



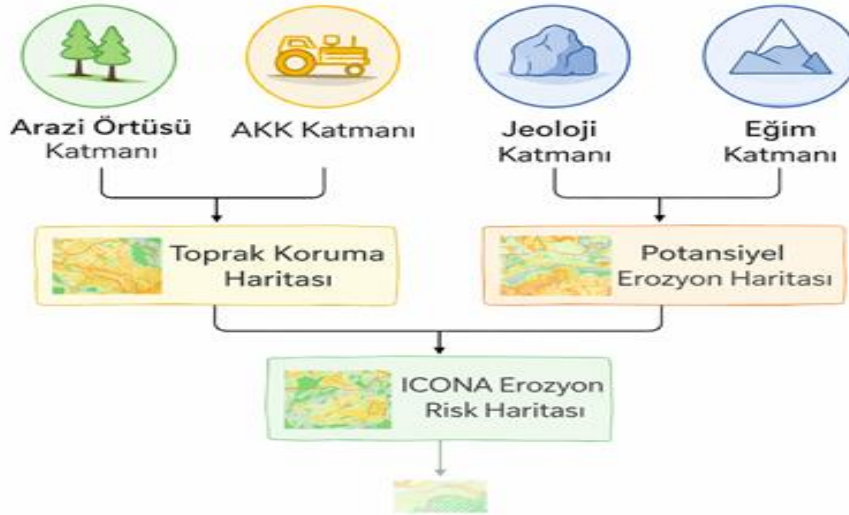
Şekil 2. Çalışma alanına ait sayısal yükselti modeli ve eğim haritaları

Arazi kullanım özellikleri incelendiğinde mikro havzanın önemli bir bölümünün çay tarımı amacıyla değerlendirildiği görülmektedir. Bununla birlikte bazı kesimlerde, doğal orman alanları ile mera alanları da bulunmaktadır. Bölge iklimi, serin yazlar ve ılıman kışlarla karakterize edilen Karadeniz ikliminin etkisi altındadır ve yıl boyunca düzenli yağış almaktadır. Yağışların özellikle ilkbahar ve sonbahar aylarında arttığı Rize ili, Türkiye’de yıllık yağış miktarının en yüksek olduğu bölgelerden biridir. Bu nedenle bölgedeki bağıl nem oranı yılın büyük bölümünde %75’in üzerinde seyretmektedir. Newhall simülasyon modeline göre yapılan değerlendirmelerde (Van Wambeke, 2000), çalışma alanındaki toprakların sıcaklık rejiminin mesic, nem rejiminin ise perudic olduğu belirlenmiştir (Saygın ve ark., 2023; Pacci ve ark., 2024).

Yöntem

Erozyon tahmin modelleri, çalışma alanına ait farklı tematik katmanların bütünleştirilmesiyle oluşturulan mekânsal analiz yaklaşımlarına dayanmaktadır. Bu kapsamda, erozyon süreçlerini kontrol eden temel faktörler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında sayısallaştırılarak analiz edilmektedir. CBS tabanlı modelleme, farklı veri türlerinin aynı koordinat sisteminde bir araya getirilmesine olanak sağlayarak, erozyon riskinin mekânsal dağılımının belirlenmesinde etkin bir araç olarak kullanılmaktadır (Eastman, 2012; Malczewski, 2004). Bu tür yaklaşımlar, özellikle veri kısıtlı bölgelerde hızlı ve uygulanabilir sonuçlar üretmesi açısından yaygın olarak tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, erozyon riskinin belirlenmesi amacıyla ArcMap 10.5 yazılımı kullanılmış ve ICONA erozyon risk modeli uygulanmıştır. ICONA modeli, erozyon riskinin belirlenmesinde çok kriterli bir yaklaşım sunmakta olup, sınırlı veri gereksinimi ile geniş alanlarda uygulanabilirliği nedeniyle öne çıkmaktadır (ICONA, 1991; Yüksel ve ark., 2007). Model, temel olarak dört ana bileşene dayanmaktadır: (I) arazi örtüsü, (II) arazi kullanımı, (III) jeoloji ve (IV) eğim. Bu bileşenler, erozyon süreçleri üzerindeki etkilerine göre analiz edilmekte ve belirli aşamalar doğrultusunda birleştirilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. ICONA erozyon modelinin adımları

ICONA erozyon risk modelinde erozyon duyarlılığının belirlenmesi amacıyla farklı tematik katmanlar bir araya getirilerek analizler gerçekleştirilmektedir. ICONA erozyon risk modeline başlamadan önce ilk aşamasında çalışma alanına ait arazi örtüsü-arazi kullanımı haritası oluşturulmuştur. Arazi örtüsü sınıflandırması, aşağıda verilen tabloda (Tablo 1) belirtilen sınıflar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Arazi örtüsü sınıfları

Sınıflar	Bitki örtüsü yoğunluğu
1.	%25'ten az
2.	%25-50
3.	%50-75
4.	%75'ten fazla

İkinci aşamada çalışma alanına ait arazi kullanımı haritası oluşturulmuştur. Arazi kullanımı sınıflandırması, aşağıda verilen tabloda (Tablo 2) belirtilen sınıflar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Arazi kullanım sınıfları

Sınıflar	Arazi kullanım sınıflandırması
1.	Sulama ihtiyacı olmayan tarım alanları
2.	Meyvelik alanlar
3.	Sulu tarım alanları
4.	Orman alanları
5.	Makilik alanlar
6.	Mera, seyrek çalılık alanlar

Üçüncü aşamada arazi örtüsü ve arazi kullanım sınıfı haritaları birleştirilerek toprak koruma haritası oluşturulmuştur. Toprak koruma haritasının oluşturulmasında kullanılan matriks Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Arazi örtüsü ve arazi kullanım sınıfı kullanılarak oluşturulan toprak kullanımı haritası matriksi.

Arazi kullanımı	Arazi örtüsü			
	1	2	3	4
1	5 (ÇD)	5 (ÇD)	4 (D)	4 (D)
2	5 (ÇD)	5 (ÇD)	4 (D)	3 (O)
3	3 (O)	2 (Y)	1 (ÇY)	1 (ÇY)
4	4 (D)	3 (O)	2 (Y)	1 (ÇY)
5	5 (ÇD)	4 (D)	3 (O)	2 (Y)
6	5 (ÇD)	4 (D)	3 (O)	2 (Y)

ÇY: Çok yüksek (1), Y: Yüksek (2), O: Orta (3), D: Düşük (4), ÇD: Çok düşük (5)

Dördüncü aşamada çalışma alanına jeoloji haritası oluşturulmuştur. Jeoloji sınıflandırması, aşağıda verilen tabloda (Tablo 4) belirtilen sınıflar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Jeoloji sınıfları

Jeoloji sınıfları	Jeolojik yapı
(A)	Aşınmamış kompakt kaya, kuvvetli çimentolaşmamış konglomeralar veya topraklar, kabuklar, sert tavalar
(B)	Çatlak veya orta derecede aşınmış kohezyonlu kayalar veya topraklar
(C)	Hafif ila orta sıkıştırılmış tortul kayalar veya topraklar
(D)	Yumuşak/düşük dirençli veya şiddetli/derin aşınmış kayalar veya topraklar
(E)	Gevşek, yapışkan olmayan tortular, topraklar veya detritik malzemeler.

Beşinci aşamada çalışma alanına ait eğim haritası oluşturulmuştur. Eğim sınıflandırması, aşağıda verilen tabloda (Tablo 5) belirtilen sınıflar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5. Eğim sınıfları

Sınıflar	Eğim sınıfı
1.	Düz ile hafif eğimli (0-3%)
2.	Orta (3-12%)
3.	Dik (12-20%)
4.	Çok dik (20-35%)
5.	Aşırı (> 35%)

Altıncı aşamada jeoloji ve eğim haritaları birleştirilerek potansiyel erozyon haritası oluşturulmuştur. Potansiyel erozyon haritasının oluşturulmasında kullanılan matriks Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Jeoloji ve eğim kullanılarak oluşturulan potansiyel erozyon haritası matriksi.

Eğim sınıfı	Jeoloji sınıfı				
	A	B	C	D	E
1	1 (ÇD)	1 (ÇD)	1 (ÇD)	1 (ÇD)	2 (D)
2	1 (ÇD)	1 (ÇD)	2 (D)	3 (O)	3 (O)
3	2 (D)	2 (D)	3 (O)	4 (Y)	4 (Y)
4	3 (O)	3 (O)	4 (Y)	5 (ÇY)	5 (ÇY)
5	4 (Y)	4 (Y)	5 (ÇY)	5 (ÇY)	5 (ÇY)

ÇY: Çok yüksek (5), Y: Yüksek (4), O: Orta (3), D: Düşük (2), ÇD: Çok düşük (1)

Yedinci ve son aşamada ise toprak kullanımı ve potansiyel erozyon haritaları birleştirilerek ICONA erozyon risk haritası oluşturulmuştur. Haritanın oluşturulmasında kullanılan matriks Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Toprak kullanımı ve potansiyel erozyon haritaları kullanılarak oluşturulan ICONA erozyon risk haritası matriksi.

ICONA Erozyon Risk Haritası					
Toprak koruma	Potansiyel erozyon				
	1 (ÇD)	2 (D)	3 (O)	4 (Y)	5 (ÇY)
1 (ÇY)	1 (ÇD)	1 (ÇD)	1 (ÇD)	2 (D)	2 (D)
2 (Y)	1 (ÇD)	1 (ÇD)	2 (D)	3 (O)	4 (Y)
3 (O)	1 (ÇD)	2 (D)	3 (O)	4 (Y)	4 (Y)
4 (D)	2 (D)	3 (O)	3 (O)	5 (ÇY)	5 (ÇY)
5 (ÇD)	2 (D)	3 (O)	4 (Y)	5 (ÇY)	5 (ÇY)

ÇY: Çok yüksek, Y: Yüksek, O: Orta, D: Düşük, ÇD: Çok düşük

Bulgular ve Tartışma

Model Parametrelerinin Mekansal Değerlendirilmesi

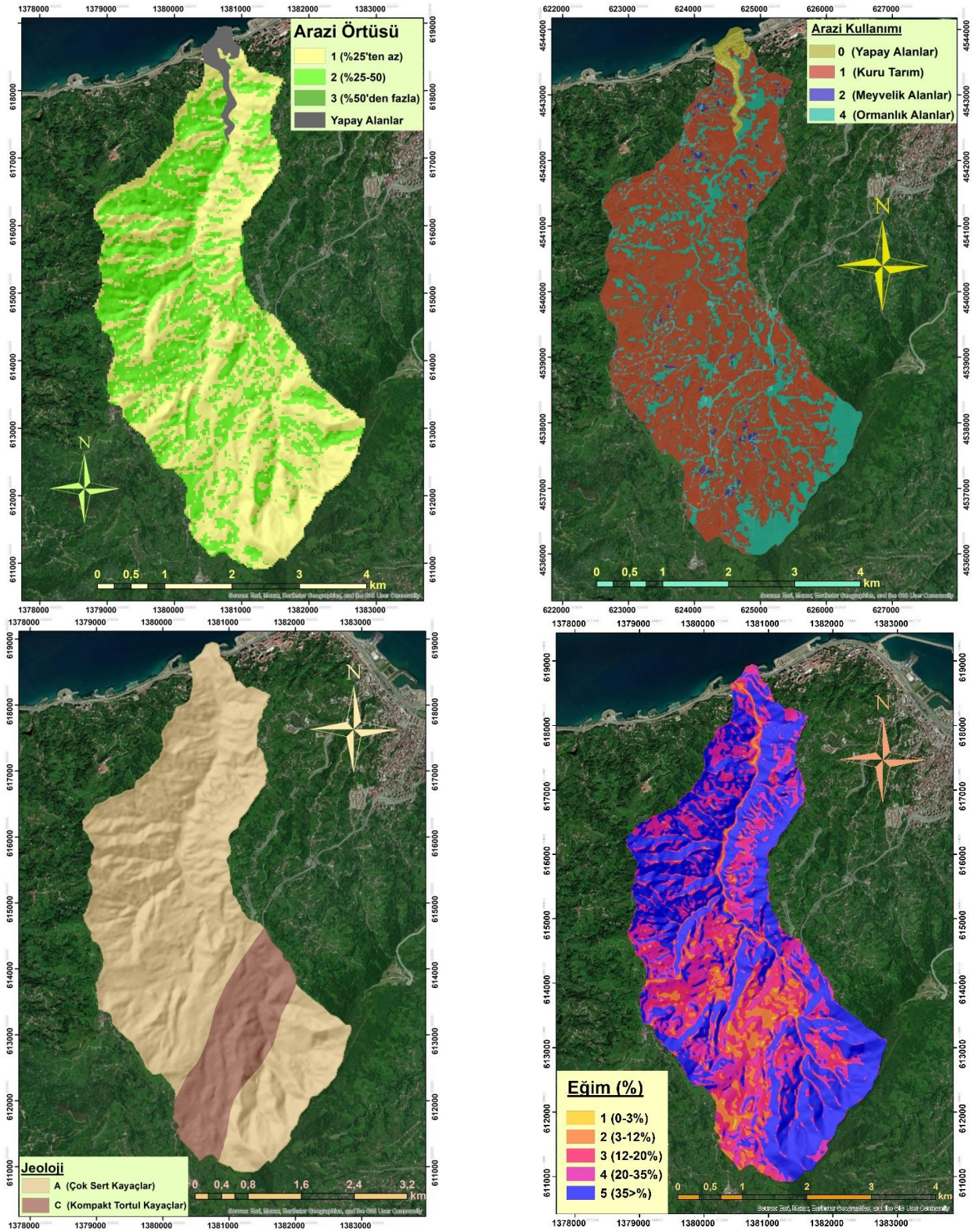
ICONA erozyon risk haritasının oluşturulmasında ilk aşama olarak, çalışma alanına ait arazi örtüsü ve arazi kullanım haritaları çakıştırılarak toprak koruma haritası elde edilmiştir (Şekil 4). Bu aşamada bitki örtüsünün yoğunluğu ile arazi kullanım biçimi birlikte değerlendirilerek yüzeyin erozyona karşı korunma düzeyi belirlenmektedir. Bitki örtüsünün yeterli düzeyde olması ve uygun arazi kullanım uygulamaları, yağışın doğrudan toprak yüzeyine etkisini azaltarak yüzey akışını sınırlandırmakta ve böylece erozyon süreçlerinin şiddetini önemli ölçüde düşürmektedir (Dengiz ve ark., 2014). Çalışma alanına ait bitki örtüsü yoğunluğu haritası genel olarak değerlendirildiğinde, çalışma alanının önemli bir bölümünde bitki örtüsü yoğunluğunun %25–50 aralığında olduğu ve bu alanlarda orta düzeyde bir vejetasyon örtüsünün yaygın olduğu anlaşılmaktadır. Bitki örtüsü yoğunluğunun %50'nin üzerinde olduğu alanlar çalışma alanının genellikle kuzey kesimlerinde ve bazı eğimli yamaç bölgelerinde sınırlı bir dağılım göstermektedir. Buna karşılık, bitki örtüsü yoğunluğunun %25'in altında olduğu alanlar ağırlıklı olarak güney kesimlerde ve daha açık topoğrafik

özelliklere sahip bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda yüzey akışının sınırlandığı ve buna bağlı olarak toprak kaybının azalmasının beklendiği bilinmektedir. Buna karşın, vejetasyon örtüsünün zayıf veya seyrek olduğu alanlarda toprak yüzeyi dış etkenlere daha açık hale gelmekte ve bu durum erozyon riskini artırmaktadır. Bu nedenle çalışma alanındaki bitki örtüsü dağılımı, erozyon riskinin mekânsal değişimini ortaya koymada dikkate alınması gereken temel faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir.

Ayrıca Şekil 4’ de çalışma alanına ait arazi kullanım haritası sunulmaktadır. Harita incelendiğinde, çalışma alanında arazi kullanımının büyük ölçüde sulama ihtiyacı bulunmayan tarım alanlarından oluştuğu dikkat çekmektedir. Sulama ihtiyacı bulunmayan tarım alanları havzanın geniş bir bölümüne yayılmış olup özellikle orta ve güney kesimlerde yoğunlaşmaktadır. Meyvelik alanlar ise daha sınırlı alanlarda bulunmakta ve parçalı bir dağılım göstermektedir. Ormanlık alanların çalışma alanının belirli kesimlerinde yer aldığı ve daha çok eğimin yüksek olduğu, doğal bitki örtüsünün nispeten korunabildiği bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Buna karşılık yapay alanların çalışma alanı içerisinde oldukça sınırlı bir yer kapladığı anlaşılmakta olup bu alanlar haritada “0 - sıfır” olarak ifade edilmiştir. Arazi kullanım tiplerinin bu şekilde dağılım göstermesi, özellikle tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu alanlarda toprak yüzeyinin daha fazla müdahaleye maruz kalmasına neden olabilmektedir. Bu durum, toprak yapısının bozulmasına ve yüzey akışının artmasına bağlı olarak erozyon riskinin mekânsal dağılımı üzerinde önemli bir etki yaratmaktadır. Bu nedenle arazi kullanım özellikleri, erozyon duyarlılığının değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken temel faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir.

Modelin ikinci aşamasında ise jeoloji ve eğim haritaları bir araya getirilerek potansiyel erozyon haritası oluşturulmuştur. Bu aşamada litolojik özellikler ile topoğrafik eğim değerleri birlikte değerlendirilerek alanın doğal erozyon duyarlılığı ortaya konulmaktadır (Karakoca ve ark., 2023). Şekil 4’de çalışma alanına ait jeoloji haritası sunulmaktadır. Harita incelendiğinde çalışma alanında iki farklı jeolojik birimin yer aldığı görülmektedir. Alanın büyük bölümünün çok sert kayalardan (A) oluştuğu, kompakt tortul kayaların (C) ise daha çok havzanın orta ve güney kesimlerinde sınırlı alanlarda dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Çok sert kayaların hâkim olduğu bölgelerde kayaç direncinin yüksek olması nedeniyle yüzey aşınımının nispeten daha düşük düzeyde gerçekleşmesi beklenmektedir. Buna karşılık kompakt tortul kayaların bulunduğu alanlarda ayrışma ve parçalanma süreçlerinin daha hızlı gerçekleşebilmesi, bu bölgelerin erozyona karşı daha duyarlı olabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle jeolojik yapı, çalışma alanında erozyon riskinin mekânsal dağılımını etkileyen önemli unsurlardan biri olarak değerlendirilmektedir. Jeolojik özellikler, erozyon süreçlerini doğrudan etkileyen temel faktörler arasında yer almakta olup kayaçların litolojik özellikleri; ayrışma hızı, geçirgenlik ve yüzey akışı üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle daha zayıf yapıli tortul kayaçlar, fiziksel ve kimyasal ayrışmaya karşı daha hassas olduklarından erozyon süreçlerinin daha hızlı ilerlemesine neden olabilmektedir. Buna karşılık daha dayanıklı ve sert kayaçların bulunduğu alanlarda ayrışma ve parçalanma süreçleri genellikle daha yavaş gerçekleşmekte ve buna bağlı olarak yüzey aşınımı daha sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle ICONA erozyon risk modelinde jeolojik yapı, erozyon duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan önemli parametrelerden biri olarak ele alınmakta ve havza ölçeğinde erozyon riskinin mekânsal dağılımının ortaya konulmasında dikkate alınmaktadır (ICONA, 1991; Morgan, 2005).

Eğim, yüzey akışının hızını ve taşıma kapasitesini doğrudan etkileyen temel topoğrafik faktörlerden biri olarak kabul edilirken, kayaçların litolojik özellikleri ise ayrışma direnci ve toprak oluşum süreçleri üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır (Panagos ve ark., 2015). Şekil 4’de çalışma alanına ait eğim haritası sunulmaktadır. Harita genel olarak değerlendirildiğinde, çalışma alanının önemli bir bölümünde yüksek eğim değerlerinin hâkim olduğu görülmektedir. Özellikle %20-35 ve %35’in üzerindeki eğim sınıflarının havzanın geniş bir kısmında yayılım göstermesi, bölgenin genel topoğrafyasının engebeli ve dağlık bir karaktere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Orta eğimli alanlar (%12-20) daha çok yamaç bölgelerinde yer alırken, düşük eğimli alanlar (%0-3 ve %3-12) ise sınırlı alanlarda bulunmakta ve çoğunlukla havza tabanı gibi daha düz topoğrafik kesimlerde görülmektedir. Eğim, yüzey akışının hızını ve buna bağlı olarak toprak taşınımını doğrudan etkileyen önemli topoğrafik faktörlerden biridir. Eğim değerlerinin artması, yüzey akışının hızını artırarak toprağın taşınma potansiyelini yükseltebilmekte ve bu durum erozyon riskinin artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle yüksek eğime sahip alanların erozyon açısından daha hassas olduğu değerlendirilmektedir. Bu bağlamda eğim faktörü, ICONA erozyon risk modelinde erozyon duyarlılığının belirlenmesinde dikkate alınan temel parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir.



Şekil 4. Çalışma alanına ait arazi örtüsü, arazi kullanımı, jeoloji ve eğim haritaları

Potansiyel Risk Değerlendirmesi

Çalışma kapsamında oluşturulan tematik katmanların, CBS ortamında bir araya getirilmesi sonucunda ICONA erozyon risk modeline ait toprak koruma, potansiyel toprak erozyonu ve nihai ICONA erozyon risk haritaları oluşturulmuştur. Arazi örtüsü, arazi kullanımı, topoğrafya ve jeolojik yapı gibi çevresel faktörler; yüzey akışı ve toprak taşınımını etkileyen başlıca parametreler arasında yer almakta olup, havza ölçeğinde erozyon süreçlerinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Poesen, 2018; Bünemann ve ark., 2018). Bu

kapsamda ilk olarak arazi örtüsü ve arazi kullanım haritalarının birleştirilmesiyle elde edilen toprak koruma haritası değerlendirilmiştir. Şekil 5’de arazi örtüsü ve arazi kullanım haritalarının karşılaştırılmasıyla elde edilen toprak koruma haritası sunulmaktadır. Harita incelendiğinde, çalışma alanının önemli bir bölümünde toprak koruma düzeyinin orta ve düşük sınıflarda yoğunlaştığı görülmektedir. Orta düzeyde koruma sağlayan alanlar havzanın geniş kesimlerine yayılmış durumdayken, düşük koruma kapasitesine sahip alanlar özellikle yamaç bölgelerinde ve tarımsal faaliyetlerin daha yoğun olduğu kesimlerde belirginleşmektedir. Buna karşılık çok yüksek koruma kapasitesine sahip alanların çalışma alanı içerisinde daha sınırlı bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır.

Bitki örtüsü yoğunluğu ve arazi kullanım biçimi, erozyon süreçlerini doğrudan etkileyen temel faktörler arasında yer almaktadır. Bitki örtüsü, yağış damlalarının kinetik enerjisini azaltarak toprak parçacıklarının yüzeyden kopmasını sınırlandırmakta ve yüzey akış hızını düşürerek sediment taşınımını azaltmaktadır (Gyssels ve ark., 2005). Buna karşılık bitki örtüsünün zayıf olduğu veya tarımsal kullanımın yoğun olduğu alanlarda toprak yüzeyi daha açık hale gelmekte ve bu durum erozyon riskinin artmasına neden olabilmektedir (Zuazo & Pleguezuelo, 2008). Bu nedenle toprak koruma kapasitesinin mekânsal dağılımı, çalışma alanında erozyona duyarlı bölgelerin belirlenmesinde önemli bir gösterge olarak değerlendirilmektedir. Jeolojik yapı ve topoğrafik özellikler ise bir alanın doğal erozyon duyarlılığını belirleyen başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle ICONA modelinde potansiyel erozyonun belirlenmesi amacıyla jeoloji ve eğim katmanları birlikte değerlendirilerek toprak aşınımı haritası oluşturulmaktadır (Montgomery, 2007). Bu yaklaşım, litolojik özellikler ile topoğrafik eğimin yüzey akışı ve sediment taşınımı üzerindeki etkilerinin birlikte analiz edilmesine olanak sağlamaktadır (García-Ruiz ve ark., 2015).

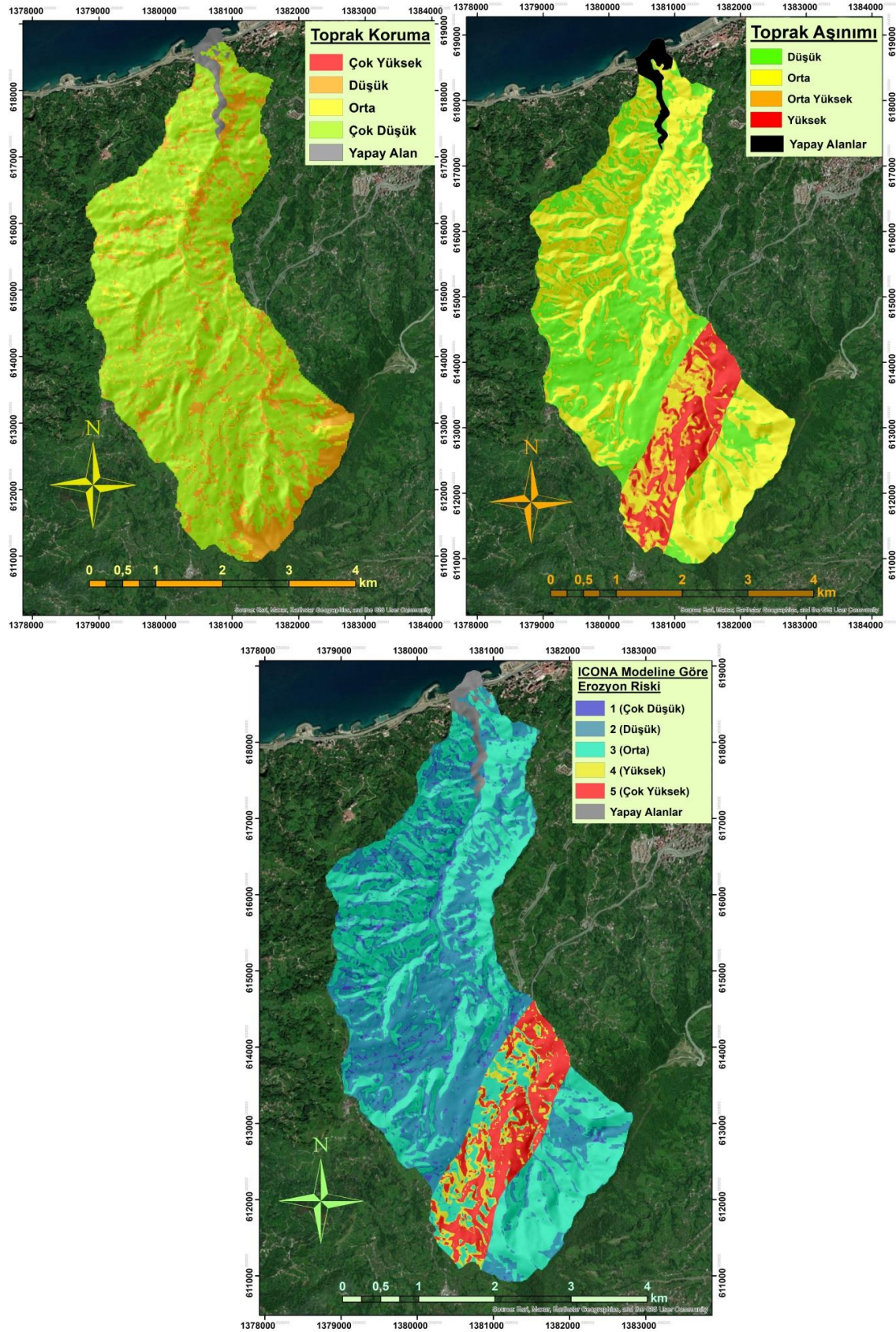
Ayrıca, Şekil 5’de jeoloji ve eğim haritalarının karşılaştırılmasıyla elde edilen toprak aşınımı (potansiyel erozyon) haritası sunulmaktadır. Harita incelendiğinde, çalışma alanının önemli bir bölümünde düşük ve orta düzeyde potansiyel erozyon sınıflarının hâkim olduğu görülmektedir. Bununla birlikte özellikle havzanın güney kesimlerinde yüksek ve orta-yüksek erozyon duyarlılığına sahip alanların daha yoğun bir şekilde dağıldığı dikkat çekmektedir. Bu durumun, söz konusu bölgelerde eğim değerlerinin yüksek olması ve litolojik özelliklerin ayrışmaya daha duyarlı yapıda bulunmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Eğim, yüzey akışının hızını ve akışın taşıma kapasitesini doğrudan etkileyen temel topoğrafik faktörlerden biridir. Eğim değerlerinin artmasıyla birlikte yüzey akışı hızlanmakta ve bu durum toprak parçacıklarının taşınmasını kolaylaştırmaktadır (Toy ve ark., 2002). Benzer şekilde ayrışmaya daha duyarlı litolojik birimlerin bulunduğu alanlarda toprak oluşum süreçleri daha hızlı gerçekleşebilmekte ve bu durum erozyona karşı hassasiyeti artırabilmektedir. Bu nedenle yüksek eğim değerleri ile ayrışmaya yatkın litolojik özelliklerin birlikte bulunduğu alanların potansiyel erozyon açısından daha riskli bölgeleri temsil ettiği değerlendirilmektedir (García-Ruiz ve ark., 2015).

ICONA modelinin son aşamasında ise arazi örtüsü ve arazi kullanım katmanlarının birleştirilmesiyle elde edilen toprak koruma haritası ile jeoloji ve eğim katmanlarının entegrasyonu sonucu oluşturulan toprak aşınımı haritası CBS ortamında karşılaştırılarak nihai erozyon risk haritası elde edilmiştir. Bu işlem sayesinde çalışma alanında erozyon riskinin mekânsal dağılımı ortaya konulabilmektedir. ICONA modelinde kullanılan bu yaklaşım, erozyon süreçlerini etkileyen doğal ve insan kaynaklı faktörlerin birlikte değerlendirilmesine dayanmaktadır (Verstraeten ve ark., 2009).

ICONA modelinin son aşamasında ise elde edilen toprak koruma haritası ile potansiyel erozyon haritası karşılaştırılarak çalışma alanına ait nihai ICONA erozyon risk haritası oluşturulmuştur. Bu işlem sonucunda bitki örtüsü, arazi kullanımı, jeolojik yapı ve topoğrafya gibi temel çevresel faktörler birlikte değerlendirilmiş ve havza ölçeğinde erozyon riskinin mekânsal dağılımı ortaya konulmuştur. Bu yaklaşım, özellikle veri eksikliğinin bulunduğu alanlarda hızlı ve güvenilir erozyon risk değerlendirmesi yapılmasına olanak tanıyan pratik bir yöntem olarak literatürde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Bayramin ve ark., 2003).

Son olarak Şekil 5’de ICONA modeline göre oluşturulan erozyon risk haritası verilmiştir. Harita incelendiğinde, çalışma alanının önemli bir bölümünde düşük ve orta düzeyde erozyon riskinin hâkim olduğu görülmektedir. Bununla birlikte özellikle havzanın güney kesimlerinde yüksek ve çok yüksek erozyon riskine sahip alanların daha yoğun olarak dağıldığı dikkat çekmektedir. Bu durumun, söz konusu bölgelerde eğim değerlerinin yüksek olması, litolojik birimlerin ayrışmaya daha duyarlı özellikler göstermesi ve toprak koruma kapasitesinin görece düşük olması ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Erozyon riskinin mekânsal dağılımı incelendiğinde, yüksek ve çok yüksek risk sınıflarının özellikle eğimli yamaç alanlarında ve bitki örtüsünün daha seyrek olduğu bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Buna karşılık düşük eğime sahip ve

bitki örtüsü yoğunluğunun daha yüksek olduğu alanlarda erozyon riskinin nispeten daha düşük düzeylerde kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, topoğrafya ile arazi örtüsünün erozyon süreçleri üzerindeki belirleyici etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Benzer şekilde gerçekleştirilen çalışmalar da eğim, litoloji ve arazi kullanım özelliklerinin birlikte değerlendirilmesinin havza ölçeğinde erozyon riskinin belirlenmesinde daha güvenilir sonuçlar verdiğini göstermektedir (Toy ve ark., 2002).



Şekil 5. Çalışma alanına ait toprak koruma, toprak aşınım ve erozyon risk haritaları

SONUÇ

Bu çalışmada Rize ili sınırları içerisinde yer alan bir mikrohavzada erozyon riskinin mekânsal dağılımı ICONA modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Arazi örtüsü, arazi kullanımı, jeolojik yapı ve topoğrafik eğim gibi erozyon süreçlerini doğrudan etkileyen çevresel faktörler CBS ortamında analiz edilerek tematik katmanlar oluşturulmuş ve model kapsamında entegre edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, çalışma alanında düşük ve orta düzeyde erozyon riskinin geniş alanlarda yayılım gösterdiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte havzanın özellikle güney kesimlerinde eğim değerlerinin yüksek olması, litolojik birimlerin ayrışmaya daha duyarlı özellikler göstermesi ve bitki örtüsü yoğunluğunun görece düşük olması nedeniyle yüksek ve çok yüksek erozyon risk sınıflarının yoğunlaştığı belirlenmiştir. Bu durum, topoğrafya, jeolojik yapı ve arazi örtüsü gibi faktörlerin birlikte değerlendirilmesinin erozyon süreçlerinin anlaşılmasında önemli olduğunu göstermektedir. Çalışmada kullanılan ICONA modeli, özellikle veri eksikliğinin bulunduğu alanlarda erozyon riskinin hızlı ve pratik bir şekilde belirlenmesine olanak sağlaması bakımından önemli avantajlar sunmaktadır. Modelin sunduğu mekânsal değerlendirme yaklaşımı sayesinde havza içerisinde erozyona karşı daha hassas bölgeler belirlenebilmekte ve bu alanlar için uygun arazi yönetimi stratejileri geliştirilebilmektedir.

Sonuç olarak elde edilen erozyon risk haritası, çalışma alanında uygulanabilecek toprak ve su koruma önlemlerinin planlanması açısından önemli bir karar destek aracı niteliğindedir. Özellikle yüksek risk sınıfında yer alan yamaç alanlarında bitki örtüsünün artırılması, uygun arazi kullanım planlamasının yapılması ve toprak koruma uygulamalarının geliştirilmesi erozyonun azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca benzer çalışmaların farklı havzalarda uygulanması, bölgesel ölçekte erozyon riskinin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine yardımcı olacaktır.

Kaynaklar

- Akay AE. 2005. The effects of forest roads on sediment production and erosion. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(2), 99–105.
- Akay AE, Erdaş O, Reis M, Yüksel A. 2008. Estimating sediment yield from forest road surfaces in the eastern Black Sea region of Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136, 95–103.
- Arabameri A, Rezaei K, Cerda A, Lombardo L, Rodrigo-Comino J. 2019. GIS-based soil erosion susceptibility mapping using statistical and machine learning models in a semi-arid environment. *Science of the Total Environment*, 655, 1299–1312.
- Bayramin İ, Dengiz O, Başkan O, Parlak M. 2003. Soil erosion risk assessment with ICONA model: Case study Beypazarı area. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27, 105–116.
- Borrelli P, Robinson DA, Fleischer LR, Lugato E, Ballabio C, Alewell C, Meusburger K, Modugno S, Schütt B, Ferro V, Bagarello V, Van Oost K, Montanarella L, Panagos P. 2020. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 11, 6145.
- Bünemann EK, Bongiorno G, Bai Z, Creamer RE, De Deyn, G, De Goede R, Flesskens L, Geissen V, Kuyper TW, Mäder P, Pulleman M, Sukkel W, Van Groenigen JW, Brussaard L. 2018. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105–125.
- Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. 2023. On İkinci Kalkınma Planı (2024–2028). Ankara: T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı.
- ÇMUSEP. 2019. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Ulusal Stratejisi ve Eylem Planı. Çölleşme ve erozyonla mücadele ulusal stratejisi ve eylem planı (2019-2030). Ankara: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü.
- Dengiz O, İmamoğlu A, Saygın F. 2014. Assessment of soil erosion risk using the ICONA model: A case study from the Black Sea region of Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 6501–6518.
- Doran JW, Parkin TB. 1994. Defining and assessing soil quality. In J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek B A. Stewart (Eds.), *Defining soil quality for a sustainable environment* (pp. 3–21). Soil Science Society of America.
- DSİ. 2010. Türkiye’de barajlarda sedimantasyon ve rezervuar kapasite kayıpları. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Eastman, J. R. (2012). *IDRISI Selva Manual*. Clark Labs-Clark University, Worcester, 45.
- FAO. 2014. *World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO ve ITPS. 2015. *Status of the world’s soil resources (SWSR) – Main report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- García-Ruiz JM, Beguería S, Lana-Renault N, Nadal-Romero E, Cerdà A. 2015. Ongoing and emerging questions in water erosion studies. *Land Degradation & Development*, 26, 5–21.
- Gyssels G, Poesen J, Bochet E, Li Y. 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: A review. *Progress in Physical Geography*, 29(2), 189–217.
- ICONA 1988, Agresividad de la lluvia en España. Valores del factor R de la ecuación universal e pérdidas de suelo, Servicio de publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ed. Ariel, S.A, Barcelona, Madrid, pp. 292.
- ICONA. 1991. Agresividad de la lluvia y erosión potencial en España. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA), Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, Spain.
- IERE. 2025. Institute for Environmental Research and Education. How does soil erosion affect water quality?
- Kanar E, Dengiz O. 2015. Madendere Havzasında Potansiyel Erozyon Risk Durumunun İki Farklı Parametrik Model Kullanarak Belirlenmesi ve Risk Haritalarının Oluşturulması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*. 2: 123-134
- Karakoca E, Dengiz O, Özcan H. 2023. Assessment of soil erosion sensitivity using GIS-based models in watershed scale. *Environmental Earth Sciences*, 82, 412.
- Kasap M. 2024. Using the ICONA model to assess the current erosion risk of the Hopa Stream catchment (Artvin, Türkiye). *Forestist / Forestry related journal*.
- Lal R. 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 17(4), 319–464.
- Lal R. 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519–539.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*.
- Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33), 13268–13272.
- Morgan RPC. 2005. *Soil erosion and conservation* (3rd ed.). Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Pacci S, Dengiz O, Alaboz P, Saygın F. 2024. Artificial neural networks in soil quality prediction: Significance for sustainable tea cultivation. *Science of the Total Environment*, 947, 174447.
- Panagos P, Borrelli P, Poesen J, Ballabio C, Lugato E, Meusburger K, Alewell C. 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental science & policy*, 54, 438–447.
- Panagos P, Borrelli P, Meusburger K. 2018. A new European slope length and steepness factor (LS-factor) for modeling soil erosion by water. *Geosciences*, 8(9), 1–17.
- Panagos P, Ballabio C, Borrelli P, Meusburger K, Klik A, Rousseva S, Tadić MP, Michaelides S, Hrabalíková M, Olsen P, Aalto J, Lakatos M, Rymaszewicz A, Dumitrescu A, Beguería, S, Alewell C. 2021. Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*, 769, 145252.
- Pimentel D, Harvey C, Resosudarmo P, Sinclair K, Kurz D, McNair M, Crist S, Shpritz L, Fitton L, Saffouri R, Blair R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201), 1117–1123.
- Pimentel D, Burgess M. 2013. Soil erosion threatens food production. *Agriculture*, 3(3), 443–463.
- Pla I. 1997. A soil water balance model for monitoring soil erosion processes and effects on steep lands in the tropics. *Soil Technology*, 11(1), 17–30.
- Poesen J. 2018. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43, 64–84.
- Saygın F, Şavşatlı Y, Dengiz O, Namlı A, Karataş A, Şenol ND, Demirkaya S. 2023. Soil quality assessment based on hybrid computational approach with spatial multi-criteria analysis and geographical information system for sustainable tea cultivation. *The Journal of Agricultural Science*, 161(2), 187–204.
- Toy TJ, Foster GR, Renard KG. 2002. *Soil erosion: Processes, prediction, measurement, and control*. John Wiley & Sons.
- Van Wambeke, A. 2000. The Newhall simulation model for estimating soil moisture and temperature regimes. Cornell University, Department of Crop and Soil Sciences, Ithaca, NY.
- Verstraeten G, Poesen J, Demarée G, Salles C. 2009. Long-term (105 years) variability in rain erosivity as derived from 10-min rainfall depth data for Ukkel (Brussels, Belgium): Implications for assessing soil erosion rates. *Journal of Geophysical Research*, 111, F04006.
- Yüksel A, Akay, A. E., Reis M. 2007. Estimating sediment yield from forest road surfaces in the eastern Black Sea region of Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 127, 347–356.
- Zuazo VHD, Pleguezuelo CRR. 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 65–86.



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

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



Çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit materyali ve koyun yününün tuz stresi altında yetiştirilen arpa bitkisi gelişimi üzerine etkisi

Hanife AKÇA*

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

Öz

Tuzluluk, bitkisel üretimi sınırlandıran önemli abiyotik stres faktörlerinden biridir ve bitkilerde büyüme, besin elementi alımı ve fizyolojik süreçler üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Bu çalışmada, çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit materyali ile koyun yününün, tuz stresi altında yetiştirilen arpa bitkisinin gelişimi, besin elementi alımı ve bazı fizyolojik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Saksı denemesi tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuş ve uygulamalar koyun yünü (0, 5 ve 10 g kg⁻¹) ile K-Si biyokompozit (0 ve 2 g kg⁻¹) kombinasyonlarından oluşturulmuştur. Tuz stresi 500 mg P kg⁻¹ olacak şekilde 15-15-15 gübresi ve 10 mM NaCl uygulaması ile sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, K-Si ve koyun yünü uygulamalarının birlikte uygulanması arpa bitkisinde kuru ağırlık, N, P, K ve Si konsantrasyonlarını, nispi nem içeriği ve yaprak su tutma kapasitesini artırmıştır. K-Si uygulaması bitkide Na birikimini azaltırken, koyun yünü uygulamalarında Na konsantrasyonunda artış gözlenmiştir. Ayrıca, silisyum uygulamalarının membran geçirgenliğini azaltarak stres toleransını artırdığı belirlenmiştir. Korelasyon analizleri, bitki gelişimi ile besin elementi alımı ve fizyolojik parametreler arasında pozitif ilişkiler olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak, K-Si biyokompozit materyali ve koyun yününün birlikte kullanımının tuz stresinin olumsuz etkilerinin azaltılmasında etkili bir yaklaşım olarak değerlendirilebileceği; ancak koyun yünü uygulamalarında Na birikimi açısından doz optimizasyonunun önemli olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tuz stresi, çeltik kavuzu kaynaklı silisyum, K-Si biyokompozit materyali, koyun yünü.

Effects of K-Si biocomposite material obtained from rice husk and sheep wool on the growth of barley under salinity stress

Abstract

Salinity is one of the major abiotic stress factors limiting crop production by adversely affecting plant growth, nutrient uptake, and physiological processes. This study aimed to evaluate the effects of a K-Si biocomposite material derived from rice husk, and sheep wool on the growth, nutrient concentration and some physiological parameters of barley grown under salinity stress. The pot experiment was conducted in a completely randomized design with treatments consisting of sheep wool (0, 5, and 10 g kg⁻¹) and K-Si biocomposite (0 and 2 g kg⁻¹) combinations. Salinity stress was imposed by applying 500 mg P kg⁻¹ 15-15-15 fertilizer and 10 mM NaCl. The results indicated that the combined application of K-Si biocomposite and sheep wool significantly increased dry weight, as well as N, P, K, and Si concentrations in barley plants. In addition, relative water content and leaf water retention capacity were improved. While the K-Si application reduced Na accumulation in plant tissues, an increase in Na concentration was observed with sheep wool treatments. Silicon application also decreased membrane permeability, indicating enhanced stress tolerance. Correlation analysis revealed positive relationships between plant growth, nutrient uptake, and physiological parameters. The combined use of K-Si biocomposite and sheep wool can be considered an effective and sustainable approach to mitigate the adverse effects of salinity stress; however, Na accumulation associated with sheep wool application should be carefully managed through appropriate dose optimization.

Keywords: Salinity stress, rice husk-derived silicon, K-Si biocomposite, sheep wool.

© 2026 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (553) 244 6283
E-posta : hmert@ankara.edu.tr

Makale Türü: ARAŞTIRMA MAKALESİ

Geliş Tarihi : 27 Mart 2026 e-ISSN : 2146-8141
Kabul Tarihi : 12 Mayıs 2026 DOI : 10.33409/tbbbd.1917409

Giriş

Tuzluluk, dünya genelinde tarım topraklarının verimliliğini sınırlandıran en önemli abiyotik stres faktörlerinden biri olup, bitkilerde su alımını kısıtlamakta, iyon dengesizliğine neden olmakta ve bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygın olarak görülen tuzluluk problemi, bitkilerde sodyum (Na) birikimini artırarak besin elementi alımını sınırlandırmakta ve fizyolojik süreçlerde bozulmalara yol açmaktadır (Gonc ve ark., 2024; Shelke ve ark., 2025). Bu nedenle, tuz stresinin bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik sürdürülebilir ve çevre dostu yaklaşımların geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bitkisel üretimin en önemli hedeflerinden biri sürdürülebilirliği göz önünde bulundurarak üretimi sağlamaktır. Son yıllarda, tarımsal atıkların katma değeri yüksek materyallere dönüştürülmesi hem atık yönetimi hem de toprak verimliliğinin artırılması açısından dikkat çekmektedir (Akca ve ark., 2023a, b; Taskin ve ark., 2023; Gonc ve ark., 2024; Sahin ve ark., 2024; Sahin ve ark., 2025; Gunes ve ark., 2025a; Gunes ve ark., 2026; Akca ve ark., 2026). Çeltik kavuzu (ÇK), yüksek silisyum (Si) içeriği nedeniyle önemli bir biyokütle kaynağı olup, uygun işlemlerle bitkiler tarafından alınabilir forma dönüştürülebilmektedir. Ülkemizde 2025 yılında 998 bin ton çeltik üretimi yapıldığı bildirilmiştir (Anonim, 2026). Çeltik hasadı sonrasında yaklaşık %20 kavuz çıkmakta ve de 200 bin ton atığa neden olarak her geçen gün çeşitli çevresel sorunlara sebebiyet vermektedir. Kurutulmuş ÇK, kökenine ve türüne bağlı olarak yaklaşık ağırlıkça %15-28 silika ve %72-85 lignoselüloz (%15-22 lignin, %12-29 hemiselüloz, %29-36 selüloz ve %3-13 diğer besin elementleri) içerir. Tarımsal kullanım için yeterli protein içeriğine (ağırlıkça ~%4 protein, yağ) sahip olmadığından, ÇK'larının çoğu ya yakılır ya da düzenli depolama alanlarına gömülür (Allen ve ark., 2020). Çeltik kavuzu, en yüksek miktarda Si içeren biyokütle atığıdır ve buğday kavuzu gibi diğer kavuzlarla veya çeltik bitkisinin sapı gibi diğer kısımlarıyla karşılaştırıldığında bile Si içeriği yüksek olmaktadır (Van Hung ve ark., 2020). Çeltik kavuzunun yakılmasının düşük ekonomik verimliliği ve çevre kirliliğini artırması, bu tarımsal atıktan faydalanmak için alternatif yöntemlerin araştırılmasına yol açmaktadır. Bazı bitkiler büyümeleri için Si'yi temel bir bileşen olarak kullanırlarken (Epstein, 1994), Si kaynağı ne olursa olsun tüm bitkiler için bir stres giderici olduğu ifade edilmektedir (Zaid ve ark., 2018). Buğday, çeltik, mısır ve arpa gibi tahıllar fazla miktarda Si akümü eder (Zargar ve ark., 2019; Gunes ve ark., 2025b), stres sırasında ilave olarak Si uygulaması bitkilerin büyümesini ve verimi artırabilir. Silisyum, bitkiler tarafından Si taşıyıcılar aracılığıyla alınır ve birçok tahıl grubunda büyümeyi artıran N, P, K ve Mg alımı üzerine olumlu etkilere sahiptir (Etesami ve ark., 2022). Silisyumun bitkilerde tuz stresine karşı toleransı artırdığı, iyon dengesini düzenlediği, Na alımını sınırlandırdığı ve su kullanım etkinliğini iyileştirdiği birçok çalışmada ortaya konulmuştur (Gunes ve ark., 2008; Gonc ve ark., 2024). Bitki dokularında Si alımı, taşınması ve birikiminin araştırılması, tuzlu koşullar altında iyonik dengenin korunmasına, su alımının artırılmasına ve hücre yapısal bütünlüğünün güçlendirilmesine katkı sağlamaktadır (Manimaran ve ark., 2025).

Koyun yünü (KY), koyun yetiştiriciliği ve tekstil endüstrisinin keratin açısından zengin bir yan ürünüdür. Keratinin karmaşık yapısı nedeniyle, bu atıklar doğada bozunmaya karşı oldukça dirençlidir (Petek ve Marinšek Logar, 2021). Sonuç olarak, bu atıkların çoğu bilinçsizce yakılmakta ya da çöp sahalarında biriktirilmekte olduğu için çevre kirliliği yaratmaktadır. Ancak bu atıklar, etkili bir gübre ve toprak düzenleyicisi olarak potansiyel taşımaktadırlar (Akca ve ark., 2023b; Broda ve ark., 2023; Cetin Karaca ve ark., 2023; Taskin, 2024; Sahin ve ark., 2025; Gunes ve ark., 2025a). Bununla birlikte, KY gibi organik atıklar ise yüksek azot (N) ve diğer besin elementlerini içermeleri ve yavaş salım özellikleri sayesinde bitki beslemede alternatif bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Koyun yününün ayrışma sürecinde su tutma kapasitesini artırması ve bitkilere düzenli besin sağlaması, özellikle stres koşullarında bitki gelişimini destekleyebilecek önemli bir avantajdır. Tuzlu koşullarda yetiştirilen ayçiçeği ve mısır bitkilerinde tuzluluğun bitki büyümesi, biyokütle ve belirli fizyolojik özellikler üzerindeki etkilerini hafifletmede KY gübresinin kullanıldığı (Abdallah ve ark., 2019), biberde bitki büyümesi ve verim üzerine etkili olduğu (Cetin Karaca ve ark., 2022) ve şeker pancarında vejetatif büyüme, kök gelişimi, besin içeriği ve şeker kalitesini artırdığı (Taskin, 2024) bildirilmiştir. Ancak tuzlu koşullarda KY uygulamalarının Na dinamikleri üzerindeki etkilerinin dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit materyali ile KY'nin tuz stresi altında yetiştirilen arpa bitkisinin gelişimi, besin elementi alımı ve bazı fizyolojik özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, bu iki materyalin birlikte kullanımının tuz stresinin olumsuz etkilerini azaltmadaki potansiyelinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Çeltik kavuzundan K-Si biyokompozit materyalinin hazırlanması, koyun yünü ve K-Si materyalinin makro ve mikro element içerikleri

Saf su ile yıkanmış ve hava kurusu haline getirilmiş ham çeltik kavuzundan 50 g tartılmış ve 500 mL 2 M KOH çözeltisi ile karıştırılmıştır. Karışım alevsiz ısıtıcı tabla üzerinde 250°C'de 2 saat kaynatılarak hidrolize edilmiştir. Bu işlem çeltik kavuzunda çözünmeyen Si'yi biyojenik silisyuma dönüştürmek ve aynı zamanda materyali K ile zenginleştirmek amacıyla yapılmıştır. Hidroliz işleminden sonra elde edilen bulamaç oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiş ve ardından 1 M H₂SO₄ ile pH'ı 6.50'ye ayarlanmıştır. Daha sonra elde edilen materyal temiz bir kaba alınmış ve 35°C'ye ayarlanmış havalı kurutma dolabında kurutulmuştur. Kurutulan materyal bir öğütücü yardımıyla öğütülerek homojen hale getirilmiştir. Özel bir firmadan temin edilen KY saf su ile bolca yıkanmış ve temiz bir yüzeye serilerek kurutulmuştur. Koyun yünü ve K-Si materyali 4:1 asit karışımı (sırasıyla %65 ve %60 (v/v) HNO₃-HClO₄, Merck, EMSURE, Darmstadt, Almanya) ile 100 °C sıcaklıktaki ısıtıcı tabla (Gerhardt HT 43) üzerinde yaş yakılmış ve son olarak toplam element konsantrasyonlarının belirlenmesi için ultra saf su (18.2 MΩ) ile 50 mL'ye seyreltilmiştir. Toplam N, mikro-Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir (Moore ve ark., 2010). Makro (P, K, Ca ve Mg) ve mikro (Fe, Zn, Cu, Mn) element konsantrasyonları (Çizelge 1) ICP-OES ile tespit edilmiştir (Temminghoff ve Houba, 2004). K-Si biyokompozit materyalinin Si konsantrasyonu ise van der Vorm (1987)'a göre belirlenmiştir (Çizelge 1).

Denemenin kurulması ve deneme deseni

Saksı denemesinde kullanılan toprak örneği Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'ne ait deneme alanından (39°57'44.51" K; 32°51'46.95" G) 0-20 cm derinlikten alınmıştır. Alınan toprak örnekleri hava kurusu haline getirilmiş ve 4 mm çaplı elekten elenmiştir. 5 kg toprak örneği her bir saksıya tartılmıştır. Denemede kullanılan toprak örneğinin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini ortaya koyabilmek için bir miktar toprak örneği ayrılmış ve 2 mm'lik elekten geçirilerek analizler Page ve Keaney (1982) tarafından bildirildiği gibi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Denemede kullanılan toprak örneğine ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler ile, çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit materyalinin ve ham koyun yününün makro ve mikro besin elementi içerikleri

Özellik (Metod)	Toprak	K-Si Biyokompozit	Koyun Yünü
Tekstür (Bouyoucos)	Killi tın	-	-
CaCO ₃ (Scheibler), g kg ⁻¹	70.8	-	-
pH (1:2.5/1:5 su)	7.53	6.50	9.55
EC (1:2.5/1:5 su), dS m ⁻¹	0.38	0.68	13.7
Organik madde (Walkley-Black), g kg ⁻¹	10.7	-	-
Organik madde (Ağırlık eksilmesi, 550°C), g kg ⁻¹	-	-	827
Si (CaCl ₂), mg kg ⁻¹	60.5	-	-
Toplam-Si, g kg ⁻¹	-	27.9	-
P (NaHCO ₃ -extractable), mg kg ⁻¹	6.40	-	-
Toplam-P, g kg ⁻¹	-	0.22	1.43
Toplam-N (Kjeldahl), g kg ⁻¹	3.30	-	98.0
K (NH ₄ OAc), mg kg ⁻¹	626	-	-
Toplam-K, g kg ⁻¹	-	184	47.3
Ca (NH ₄ OAc) mg kg ⁻¹	5040	-	-
Toplam-Ca, g kg ⁻¹	-	0.77	21.4
Mg (NH ₄ OAc), mg kg ⁻¹	490	-	-
Toplam-Mg, g kg ⁻¹	-	0.12	4.78
Na (NH ₄ OAc), mg kg ⁻¹	28.2	-	-
Toplam-Na, g kg ⁻¹	-	0.37	2.10
Zn (DTPA), mg kg ⁻¹	0.96	-	-
Toplam-Zn, mg kg ⁻¹	-	6.00	139
Fe (DTPA), mg kg ⁻¹	3.62	-	-
Toplam-Fe, g kg ⁻¹	-	0.14	3711
Cu (DTPA), mg kg ⁻¹	1.89	-	-
Toplam-Cu, mg kg ⁻¹	-	4.30	14.2
Mn (DTPA), mg kg ⁻¹	7.44	-	-
Toplam-Mn, mg kg ⁻¹	-	0.01	101

Saksı denemesi tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olacak şekilde kurulmuştur. Tüm saksılara yoğun bir tuzluluk oluşturmak için 500 mg P kg⁻¹ olacak şekilde 15-15-15 gübresi ile 10 mM NaCl uygulanmış ve saksılar 2 hafta süreyle inkübe edilmiştir. Koyun yünü ham olarak 5 (KY₁) ve 10 (KY₂) g kg⁻¹ olacak şekilde artan dozlarda, K-Si biyokompozit materyali (K-Si) ise 2 g kg⁻¹ olacak şekilde katı formda uygulanmıştır. Deneme konuları; i) KY₀+K-Si₀; ii) KY₁+K-Si₀; iii) KY₂+K-Si₀; iv) KY₀+K-Si₂; v) KY₁+K-Si₂; vi) KY₂+K-Si₂ şeklinde oluşturulmuştur. Sera denemesi Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü serasında 07.01.2025-02.04.2025 tarihleri arasında yürütülmüştür. Üst gübreleme döneminde 50 mg N kg⁻¹ (amonyum nitrat, % 33 N) tüm saksılara uygulanmıştır. Tüm gübre ve materyaller ilgili saksılar içerisinde temiz bir kapta iyice karıştırılmış ve sonrasında her saksıya 20 adet olacak şekilde arpa (*Hordeum vulgare* L. cv. Aydan Hanım) tohumu ekilmiştir. Deneme süresince bitkiler çeşme suyu ile tarla kapasitesinin %70'i olacak şekilde sulanmış ve günlük olarak saksıların yerleri değiştirilmiştir. Hasat öncesinde arpa bitkilerinin bazı fizyolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulamaları temsil edecek şekilde yaprak örnekleri alınmıştır. Bitkiler temiz bir kesici yardımıyla toprak yüzeyinin 2 cm yukarısından kesilerek hasat edilmiştir. Hasat edilen bitkiler 65 °C'de durağan ağırlığa gelene kadar hava sirkülasyonlu kurutma dolabında kurutulmuş ve kurutulan bitki örnekleri hassas terazi ile tartılarak kuru ağırlıkları alınmıştır. Bitki örnekleri analizlerde kullanılmak üzere öğütülmüş ve 200 µm'lik elekten geçirilerek elenmiştir.

Bitki örneklerinin bazı fizyolojik özelliklerinin belirlenmesi

Bitkide nispi nem içeriği (NNİ): Hasat öncesinde uygulamaları temsil edecek şekilde bitkilerden alınan yaprak örnekleri hemen tartılarak yaş ağırlıkları belirlenmiş (YA) ve örnekler 4 saat saf suda bekletilerek turgor haline getirilip tekrar tartılmış (TA), son olarak da yaprak örnekleri 60°C'de hava sirkülasyonlu kurutma dolabında 24 saat kurutulup kuru ağırlık (KA) belirlenmiş ve verilen eşitlik (1) yardımıyla yaprakların nispi nem içeriği hesaplanmıştır (Dhanda ve Sethi, 1998).

$$NNİ: [(YA-KA)/(TA-KA)] \times 100 \quad (1)$$

Bitkide yaprak su tutma kapasitesi (YSTK): Hasat öncesinde uygulamaları temsil edecek şekilde bitkilerden alınan yaprak örneklerinin hemen yaş ağırlıkları belirlenmiş (W₀), daha sonra yapraklar 25°C'de % 50 nem içeren bir ortamda bekletilip 2, 4 ve 6. saatlerde tartılmış (W₂, W₄ ve W₆) ve son olarak 50°C'de 24 saat bekletilen yaprak örnekleri tartılarak (W_d) verilen eşitlik (2) yardımıyla yaprak su tutma kapasitesi belirlenmiştir (Clarke ve McCaig, 1982; Golestani ve ark., 1998).

$$YSTK: (W_0-W_2)+(W_2-W_4)+(W_4-W_6) / 3 \times W_d \times (T_2-T_1) \quad (2)$$

(T₂-T₁) iki ölçümün yapıldığı zaman aralığını ifade etmektedir (2 saat)

Bitkide membran permabilitesi (MP): Hasat öncesinde alınan yaprak örnekleri (0.1 g) önce musluk suyu ile daha sonra saf su ile yıkanmış ve bitki örnekleri 10 mL saf su içerisinde 40°C'de 30 dakika bekletilip çözeltinin EC'si ölçülmüş (C₁), su banyosunda 100°C'de 10 dakika bekletilen örnekte EC tekrar ölçülerek (C₂), verilen eşitlik (3) ile hesaplanmıştır (Premchandra ve ark., 1990; Sairam, 1994).

$$MP (\%): [1-(C_1/C_2)] \times 100 \quad (3)$$

Bitki örneklerinin yakılması ve toplam N, P, K ve Na konsantrasyonlarının belirlenmesi: Öğütülen bitki örnekleri 4:1 oranında hazırlanmış HNO₃-H₂O₂ karışımı ile yaş yakılmıştır (Kalra, 1997). Yaş yakılan örnekler 50 ml'lik balon jojelere aktarılmış ve son hacim 50 mL'ye ultra saf su (Human-9000) ile tamamlanmıştır. Elde edilen çözeltide toplam P spektrofotometre ile (Barton, 1948), toplam K ve Na ise flamefotometre cihazı (Pratt, 1965) ile belirlenmiştir. Arpa bitkisinde toplam N konsantrasyonu ise Bremner (1965)'e göre belirlenmiştir.

Bitki örneklerinde toplam Si belirlenmesi: Bitkide toplam Si van der Vorm (1987) tarafından bildirildiği şekilde mavi silika-molibdat yöntemi ile spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. 300 mg öğütülmüş bitki örneği porselen krozeler içerisinde 8 sa süreyle 550 °C'de kül fırınında yakılmıştır. Elde edilen kül 100 mL'lik hacimli polikarbonat tüplere 0.08 M H₂SO₄ ile yıkanmış ve 50 mL'ye tamamlanmıştır. Üzerine 2 ml %40'lık hidroflorik asit (HF) eklenmiştir. Renk oluşumu için bu çözeltilerden 1.5 ml tüplere alınmış ve üzerine 0.08 M H₂SO₄ ve amonyum molibdat (20 g L⁻¹) ile hazırlanan reagent çözeltisinden 1.5 mL eklenmiştir. Son olarak 1.5 mL 0.25 M tartarik asit ve 1.5 mL 0.2 M askorbik asit ilave edilmiş ve oluşan çözeltinin absorbansı 811 nm dalga boyunda ayarlanmış spektrofotometrede belirlenmiştir.

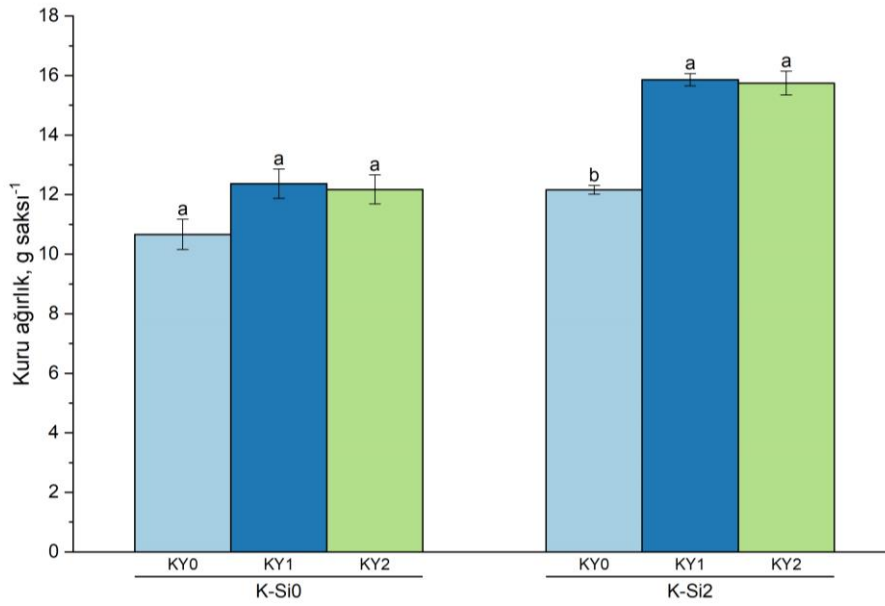
İstatistikî analizler

Elde edilen sonuçların önemliliği $p < 0.05$ olacak şekilde çift yönlü ANOVA ile ve uygulamalar arası farkın önemliliği ise Tukey (HDS) testi ile OriginPro 2025b paket programı (OriginLab, Northampton, MA) kullanılarak belirlenmiştir. Temel bileşen analizi ve Pearson korelasyon analizi ve tüm şekiller OriginPro 2025b paket programı ile elde edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Tuz stresi altında yetiştirilen arpa bitkisinde KY ve K-Si uygulamalarının kuru ağırlık üzerine etkisi

Tuz stresi altında yetiştirilen arpa bitkisi kuru ağırlığı üzerine koyun yünü (KY) ile çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit gübre (K-Si) uygulamalarının interaksyonunu istatistikî olarak önemli bulunmuştur. En yüksek kuru ağırlık K-Si biyokompozit gübrenin KY₁ dozu ve KY₂ dozu ile elde edilmiştir. Ayrıca KY ile K-Si'nin tek başına etkileri de istatistikî olarak önemli bulunmuş, K-Si varlığında artan KY ile kuru ağırlık değerleri artmıştır (Şekil 1). Abdallah ve ark. (2019) koyun yünü uygulamalarının ayçiçeği ve mısır bitkilerinde kuru ağırlığı koyun yününün zengin besin elementi içeriğine bağlı olarak artırdığını belirlemişlerdir. Taşkın ve Akça (2025) marul bitkisinde fosforla zenginleştirilmiş koyun yünü uygulamalarının kuru ağırlığı artırdığını, Akça ve ark. (2023b) ise, şeker pancarı bitkisinde KY uygulamalarına bağlı olarak ortaya çıkan verim artışının koyun yününde bulunan zengin besin elementlerinin yavaş bir şekilde salınmasına bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca tuz stresi altında yetiştirilen çeşitli bitkilerde Si uygulamaları ile kuru ağırlığın artış gösterdiği birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Akça ve ark., 2023a; Taskin ve ark., 2023; Gonc ve ark., 2024; Gunes ve ark., 2025b; Gunes ve ark., 2026; Akça ve ark., 2026). Tuzluluk bitkilerde osmotik strese neden olur ve toprağa Si uygulanması bitkilerin kullanabileceği su miktarını artırır (Schaller ve ark., 2020; Zarebanadkouki ve ark., 2022). Sonuç olarak, bitkiler osmotik strese karşı tolerans geliştirir. Bitkilerin su kullanım etkinliklerinin artması da bitki gelişimini artıran faktörlerden biridir.



Şekil 1. Çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit materyali ve koyun yünü uygulamalarının tuz stresi altında yetiştirilen arpa bitkisinin kuru ağırlık değerleri üzerine etkisi (KY0: 0 g KY kg⁻¹; KY1: 5 g KY kg⁻¹; KY2: 10 g KY kg⁻¹; K-Si0: 0 g KY-Si kg⁻¹; K-Si2: 2 g KY-Si kg⁻¹)

Tuz stresi altında yetiştirilen arpa bitkisinde KY ve K-Si uygulamalarının toplam N, P, K, Si ve Na konsantrasyonları üzerine etkisi

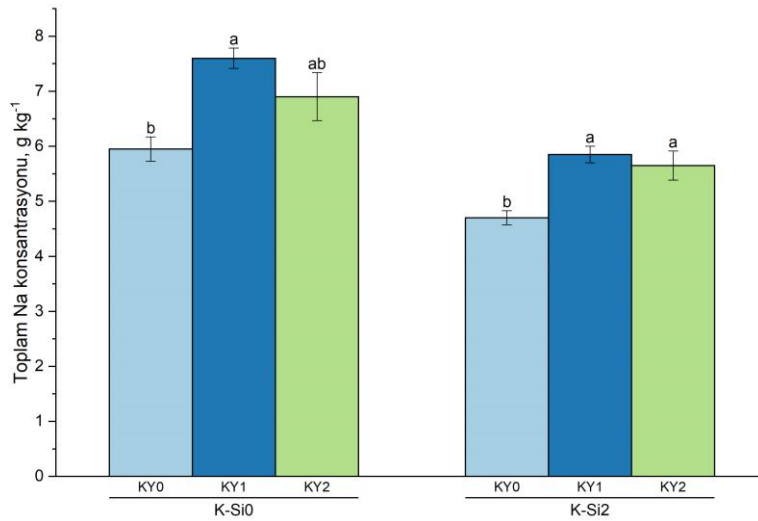
Koyun yünü ile çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit gübre uygulamalarının tuz stresi altında yetiştirilen arpa bitkisi toplam N konsantrasyonlarına etkisi incelendiğinde, sadece KY uygulamaları istatistikî olarak önemli bulunmuş, KY artışı ile KY0'a göre bitki toplam N konsantrasyonu da artmıştır (Çizelge 2). Bitki toplam P konsantrasyonu incelendiğinde ise, KY ve K-Si biyokompozit gübre uygulamaları tek başlarına istatistikî olarak etkili olmuş, KY uygulamaları ile kontrole göre P konsantrasyonu artış göstermiştir. Diğer taraftan, K-Si biyokompozit uygulaması ile bitki P konsantrasyonu kontrole göre artmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit materyali ve koyun yünü uygulamalarının tuz stresi altında yetiştirilen arpa bitkisinin toplam azot (N), fosfor (P) potasyum (K) ve silisyum (Si) konsantrasyonları üzerine etkisi

Uygulamalar	N, g kg ⁻¹	P, g kg ⁻¹	K, g kg ⁻¹	Si, g kg ⁻¹
K-Si ₀	KY ₀	34.1±1.45	1.89±0.08	60.9±3.60
	KY ₁	46.4±1.62	2.27±0.06	68.5±1.20
	KY ₂	45.6±0.89	2.27±0.08	70.9±3.33
K-Si ₂	KY ₀	34.6±0.56	2.25±0.07	68.6±1.46
	KY ₁	46.3±0.49	3.05±0.06	75.1±2.26
	KY ₂	46.3±0.50	2.97±0.14	79.6±2.86
KY	KY ₀	34.4±0.73 b	2.07±0.08 b	64.8±2.30 b
	KY ₁	46.4±0.79 a	2.66±0.15 a	71.8±1.71 a
	KY ₂	45.9±0.49 a	2.62±0.15 a	75.3±2.60 a
K-Si	K-Si ₀	42.1±1.83	2.15±0.07 b	66.8±1.99 b
	K-Si ₂	42.4±1.68	2.76±0.12 a	74.4±1.80 a
F değeri	K-Si	0.19 ^{öd}	71.7 ^{**}	12.7 ^{**}
	KY	87.5 ^{**}	27.8 ^{**}	8.32 ^{**}
	K-Si x KY	0.07 ^{öd}	3.23 ^{öd}	0.07 ^{öd}

Veriler 4 tekerrür±SE 'in ortalamaları ile elde edilmiştir. öd: önemli değil; **:p<0.01. Uygulamalar arasındaki fark p<0.05 olacak şekilde Tukey (HDS) testi ile ifade edilmiştir.

Koyun yünü ve K-Si biyokompozit gübre uygulamaları arpa bitkisi toplam K konsantrasyonlarını fosfor sonuçları ile benzer şekilde istatistiki olarak önemli düzeyde artırmış, uygulanan KY ve K-Si biyokompozit materyalleri ile kontrole göre önemli artışlar belirlenmiştir (Çizelge 2). Arpa bitkisi toplam Si konsantrasyonları incelendiğinde ise KY uygulaması ile Si konsantrasyonları artmıştır ve en yüksek Si konsantrasyonu KY₁ uygulaması ile elde edilmiştir. Çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit materyali ile arpa bitkisinin toplam Si konsantrasyonu artış göstermiştir (Çizelge 2). Arpa bitkisinin Na konsantrasyonları incelendiğinde, uygulamalar tek başına istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit materyali ve koyun yünü uygulamalarının tuz stresi altında yetiştirilen arpa bitkisinin toplam sodyum (Na) konsantrasyonları üzerine etkisi (KY₀: 0 g KY kg⁻¹; KY₁: 5 g KY kg⁻¹; KY₂: 10 g KY kg⁻¹; K-Si₀: 0 g KY-Si kg⁻¹; K-Si₂: 2 g KY-Si kg⁻¹)

Silisyum varlığında bitkide toplam Na konsantrasyonları azalış göstermiş, KY uygulamaları ile ise Na konsantrasyonu artmıştır. Koyun yününün başta N ve S olmak üzere P, K, Ca ve Mg bakımından yeterli seviyelerde olması nedeniyle dengeli ve zengin bir organik materyal olabileceği birçok araştırmacı tarafından ortaya konulmuştur (Akça ve ark., 2023b; Taskin, 2024; Sahin ve ark., 2025; Taşkın ve Akça, 2025; Gunes ve ark., 2025a). Çeşitli araştırmacılar (Böhme ve ark., 2008; Suruchi ve ark., 2014; Zheljazkov ve ark., 2009), yün atıklarının S, N, P, Ca, K, Cu, Zn ve Mn gibi besin elementlerini içerdiğini bildirmişlerdir. Atık koyun yünü, yavaş ayrışan protein bazlı bir madde olan keratin içerir (Akça ve ark., 2023b; Taskin, 2024; Sahin ve ark., 2025; Taşkın ve Akça, 2025). Yün ayrıştıkça, uzun bir süre boyunca toprağa azot salar. Bu yavaş salınan azot, bitkilere düzenli bir besin kaynağı sağlayarak büyümelerini ve verimlerini destekler. Silisyumun bitkilerde P kullanımını artırdığı bilinmektedir (Akça ve ark., 2023a; Taskin ve ark., 2023; Gunes ve ark., 2025b; Gunes ve ark., 2026). Silisyum, köklerin organik asit salgılamasını teşvik ederek rizosferdeki P'nin mobilizasyonunu

artırarak (Kostic ve ark., 2017), köklerde inorganik P (Pi) taşıyıcılarını kodlayan genlerin ekspresyonunu artırarak (Kostic ve ark., 2017) ve silikat ve fosfat anyonlarının rekabetçi adsorpsiyon ve desorpsiyon etkileşimini artırarak (Ma ve Takahashi, 1990; Soratto ve ark., 2019) bitkilerin P alımını ve kullanımını aktif hale getirmektedir. Silikat anyonları, fosfat anyonlarıyla aynı bağlanma bölgeleri için rekabet eder, P'yi toprak çözeltisine salar ve böylece bitkiler için kolayca kullanılabilir P'yi artırır (Das ve ark., 2019; Jan ve ark., 2018). Yapılan bu çalışmada arpa bitkisi K konsantrasyonu K-Si biyokompozit materyali ile artış göstermiştir. Nitekim, Ahmad (2014) ve Gonc ve ark., (2024) tuz stresi altındaki bitkilerde Si'nin K alımını uyaran bir mekanizmayı aktive ettiğini bildirmişlerdir. Ancak farklı çalışmalarda belirlendiği gibi (Gupta ve Sharma, 2014; Abdallah ve ark., 2019), bu çalışmada da tarım topraklarına koyun yününün uygulanması sonucu Na çözünürlüğünün artması tuzluluk problemine sahip tarım topraklarında tehdit oluşturmaktadır. Gerçekten de bu çalışmada artan dozda KY uygulamaları ile bitkide toplam Na konsantrasyonu artış göstermektedir. Koyun yünü uygulamasıyla mutlak gerekli besin elementlerinin konsantrasyonunun artması bitkisel üretim açısından önemli bulunurken, bitkide Na konsantrasyonunun da artıyor olması özellikle tuzlu alanlarda dikkat edilmesi ve doğru bir şekilde yönetilmesi gereken bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit materyalinin arpa bitkisinde toplam Na konsantrasyonunu önemli miktarda azaltması oldukça dikkat çekmektedir. Silisyumun bitkilerde tuzluluk stresini nasıl hafiflettiğine dair çalışmalar, öncelikle kök ve sürgünlerdeki Na seviyelerinin azaltılmasına odaklanmıştır. Örneğin, tuz stresi altındaki arpaya Si ilavesinin, kök sistemindeki Na ve Cl seviyelerini önemli ölçüde azalttığı ve aynı zamanda kökün tamamında Na ve K'nin daha eşit dağılımını teşvik ettiği gösterilmiştir. Bu, Si'nin arpadaki tuzluluk stresini hafifleten başlıca mekanizmalardan biri olarak kabul edilmektedir (Liang, 1999). Birçok çalışma, Si uygulamalarının tuzlu koşullarda bitkiler tarafından Na ve Cl alımını azalttığını bildirmiştir (Ali ve ark., 2021; Gunes ve ark., 2007; Javaid ve ark., 2019; Zuccarini, 2008).

Tuz stresi altında yetiştirilen arpa bitkisinde KY ve K-Si uygulamalarının bazı fizyolojik parametreler üzerine etkisi

Koyun yünü ile çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit materyalinin tuz stresi altında yetiştirilen arpa bitkisi membran geçirgenliği üzerine etkileri istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 3). Silisyum uygulaması olmaksızın KY₁ uygulamasında membran geçirgenliği en yüksek değere sahip olmuş ve K-Si uygulaması ile membran geçirgenliği azalış göstermiştir. Yaprak nispi nem içeriği incelendiğinde, KY ve K-Si uygulamaları ile bu değer arttığı ve bu artışın istatistiki olarak önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3). Arpa bitkisi yaprak su tutma kapasitesi üzerine ise KY ve K-Si uygulamalarının istatistiki olarak ayrı ayrı etkili olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit materyali ve koyun yünü uygulamalarının tuz stresi altında yetiştirilen arpa bitkisinin membran geçirgenliği (MG), nispi nem içeriği (NNİ) ve yaprak su tutma kapasitesi (YSTK) üzerine etkisi

Uygulamalar	MG, %	NNİ, %	YSTK, %
K-Si ₀			
KY ₀	34.1±1.22 b	84.3±1.62 c	0.14±0.01
KY ₁	43.8±1.02 a	92.9±0.36 ab	0.16±0.01
KY ₂	34.5±2.08 b	88.6±0.72 bc	0.17±0.01
K-Si ₂			
KY ₀	30.4±0.20 b	91.2±1.22 ab	0.16±0.01
KY ₁	30.3±0.28 b	93.4±1.27 a	0.18±0.01
KY ₂	30.2±1.10 b	92.9±0.60 ab	0.19±0.01
KY			
KY ₀	32.3±0.90 b	87.7±1.61 b	0.15±0.01 b
KY ₁	37.0±2.60 a	93.2±0.62 a	0.17±0.01 a
KY ₂	32.3±1.36 b	90.8±0.93 a	0.18±0.01 a
K-Si			
K-Si ₀	37.5±1.57 a	88.6±1.19 b	0.16±0.01 b
K-Si ₂	30.3±0.35 b	92.5±0.63 a	0.18±0.01 a
F değeri			
K-Si	56.5**	20.8**	26.9**
KY	11.0**	13.2**	21.5**
K-Si x KY	11.2**	4.58*	0.04 ^{öd}

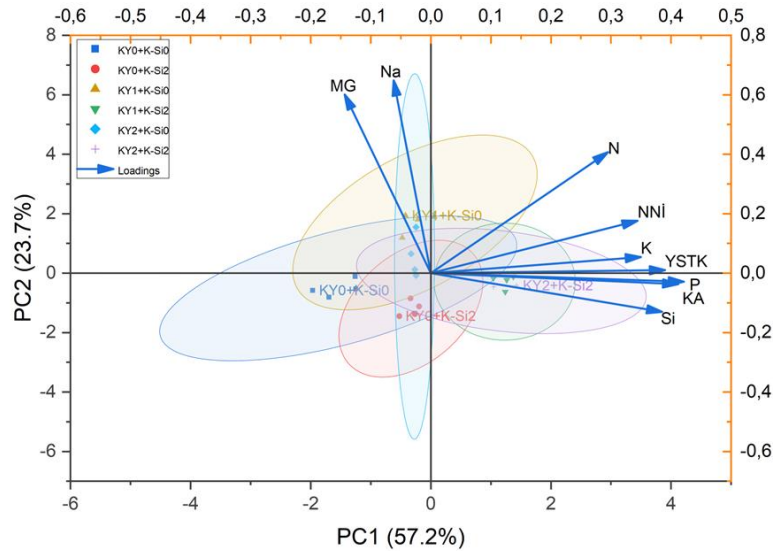
Veriler 4 tekerrür±SE 'in ortalamaları ile elde edilmiştir. öd: önemli değil; *:p<0.05; **:p<0.01. Uygulamalar arasındaki fark p<0.05 olacak şekilde Tukey (HDS) testi ile ifade edilmiştir.

Koyun yününün dozları ve K-Si uygulaması ile yaprak su tutma kapasitesi artış göstermiştir. Bu çalışmada arpa bitkisi membran geçirgenliği Si uygulamalarıyla birlikte azalma eğilimi göstermiş, Si uygulamasıyla membran geçirgenliğindeki bu azalma, Naeem ve ark. (2018) tarafından bildirilen lipit peroksidasyonundaki

azalma ile desteklenebilir. Silisyum uygulamaları bitkilerin birçok abiyotik strese karşı dayanımını artırmak için çevre dostu bir yaklaşımdır (Falouti ve ark., 2025; Shi ve ark., 2025). Silisyum, tuz stresinin klorofil içeriği üzerindeki zararlı etkisini azaltmada ve tuzluluk koşullarında fotosentetik mekanizmayı iyileştirmede etkilidir (Bounaouara ve ark., 2024; Lamsaadi ve ark., 2025), Ek olarak, Si oksidatif hasarı azaltma (Gunes ve ark., 2007), antioksidan enzimleri (örn. SOD, CAT ve GPX) aktive etme (Ellouzi ve ark., 2023) ve biyokütle üretimini artırma (Li ve ark., 2018) kapasitesine sahiptir. Ayrıca koyun yünü uygulamalarının toprak nemini artırdığı da bildirilmiştir (Abdallah ve ark., 2019). Farklı araştırmacılara göre bunun nedeni, yün liflerinin su inhibisyonunun daha yüksek olmasıdır (Mubarak ve ark., 2009; Murray ve ark., 2000; Zoccola ve ark., 2015). Bu durum çalışmada elde edilen arpa bitkisi yaprak su tutma kapasitesinin KY uygulamaları sonucu artış göstermesi bulgusunu açıklar niteliktedir.

Temel Bileşen Analizi ve Pearson Korelasyon

Deneme sonucunda elde edilen parametreler üzerinde yapılan temel bileşen analizine göre toplam değişkenlik %80.9 (PC1: %57.2 ve PC2: 23.7) olarak bulunmuştur (Şekil 3). Temel bileşen analizine göre, hem koyun yünü hem de K-Si biyokompozit materyalinin birlikte uygulanması bitki kuru ağırlığı, N, P, K ve Si konsantrasyonları ile NNİ ve YSTK üzerinde etkili olmuştur. Bitki Na konsantrasyonu ve MG'nin özellikle Si'nin olmadığı koşullarda koyun yünü dozunun artması ile artış gösterdiği belirlenmiştir. Pearson korelasyon analiz sonucuna göre, arpa bitkisi kuru ağırlığı ile Si, NNİ, YSTK, N, P ve K konsantrasyonları arasında pozitif ilişki bulunurken; bitki Na konsantrasyonu ile kuru ağırlık, Si, YSTK, P ve K konsantrasyonları arasında negatif ilişki tespit edilmiştir. Ayrıca arpa Si konsantrasyonu ile kuru ağırlık, NNİ, YSTK, N, P ve K konsantrasyonları arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur (Şekil 4).



Şekil 3. Temel bileşen analizi (KA: Kuru ağırlık; N: Azot, P: Fosfor; K: Potasyum; Na: Sodyum; Si: Silisyum; MG: Membran geçirgenliği; NNİ: Nispi nem içeriği; YSTK: yaprak su tutma kapasitesi; KY0: 0 g KY kg⁻¹; KY1: 5 g KY kg⁻¹; KY2: 10 g KY kg⁻¹; K-Si0: 0 g KY-Si kg⁻¹; K-Si2: 2 g KY-Si kg⁻¹)



*p<=0.05

Şekil 4. Korelasyon matrisi (KA: Kuru ağırlık; N: Azot, P: Fosfor; K: Potasyum; Na: Sodyum; Si: Silisyum; MG: Membran geçirgenliği; NNİ: Nispi nem içeriği; YSTK: yaprak su tutma kapasitesi)

SONUÇ

Çeltik kavuzundan elde edilen K-Si biyokompozit materyali ile koyun yününün birlikte kullanımı, tuz stresinin azaltılmasında etkili ve sürdürülebilir bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Ancak, özellikle koyun yünü uygulamalarında topraklarda sodyum yayrışlılığının artış gösterebilmesi dikkate alınmalı ve uygun doz optimizasyonu yapılmalıdır. Bu materyallerin farklı bitki türleri ve tarla koşullarında uzun dönemli etkilerinin araştırılması, uygulamaya yönelik daha kapsamlı sonuçlar elde edilmesine katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Abdallah AM, Ugolini F, Baronti S, Maienza A, Ungaro F, Camilli F, 2019. Assessment of two sheep wool residues from textile industry as organic fertilizer in sunflower and maize cultivation. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 19:793-807. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00079-y>
- Ahmad B, 2014. Interactive effects of silicon and potassium nitrate in improving salt tolerance of wheat. *J. Integr. Agric.* 13:1889–1899. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60639-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60639-5)
- Akca H, Taskin MB, Gunes A, 2023a. Phosphorus makes silicon fertilization mandatory: effect of nano-silicon on the one-sided antagonisms of phosphorus fertilization in wheat–maize and maize–maize cropping system. *J. Soil Sci. Plant Nut.* 23(4):5070-5083.
- Akca H, Taskin MB, Tugrul M, Babar SK, Gunes A, 2023b. Waste sheep wool and its hydrolysate as a nutritional support for sugar beet. *Sugar Tech.* 25(6):1566-1577.
- Akca H, Kan S, Taskin MB, Yagcioglu KD, Kadioglu YK, Gunes A. 2026. Evaluating the effectiveness of biogenic silicon sources and na-silicate as silicon fertilizers in mitigating boron toxicity in maize. *J. Soil Sci. Plant Nut.* 1-10.
- Ali M, Afzal S, Parveen A, 2021. Silicon mediated improvement in the growth and ion homeostasis by decreasing Na⁺ uptake in maize (*Zea mays* L.) cultivars exposed to salinity stress. *Plant Physiol. Biochem.* 158:208–218. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.10.040>
- Allen J, Pascual KS, Romasanta RR, Trinh MV, Thach TV, Hung NV, Chivenge P, 2020. Rice straw management effects on greenhouse gas emissions and mitigation options, *Sustain. Rice Straw Manag.* 145–159.
- Anonim, 2026. <https://istatistik.tarimorman.gov.tr/Sayfa/Detay/2197>. Erişim tarihi: 25.03.2026
- Barton C J, 1948. Photometric analysis of phosphate rock. *Analytical Chemistry* 20, no. 11: 1068–1073. <https://doi.org/10.1021/ac60023a024>.
- Bounaouara F, Hidri R, Falouti M, Rabhi M, Abdelly C, Zorrig W, Slama I, 2024. Silicon mitigates salinity effects on sorghum-sudangrass (*Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense*) by enhancing growth and photosynthetic efficiency. *Funct. Plant Biol.* 51(7):FP24029.
- Böhme Schevchenko J, Pinker I, Herfort S, 2008. Cucumber grown in sheepwool slabs treated with biostimulator compared to other organic and mineral substrates. *Acta Hortic.* 779:299–306 https://www.actahort.org/books/779/779_36.htm
- Bremner JM, 1965. Total Nitrogen Methods of Soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. In: Black CA (ed), Black. Amer. Soc. of Agron. Inc. Pub. Agronomy Series. No: 9, Madison, Wisconsin, U.S.A. 1149-1178.
- Broda J, Gawłowski A, Rom M, Kobiela-Mendrek K, 2023. Utilisation of waste wool from mountain sheep as fertiliser in winter wheat cultivation. *J. Nat. Fibers.* 20(2):2. doi: 10.1080/15440478.2023.2200047.
- Cetin Karaca U, Chalabee OAH, Saba M, (2023). The effect of sheep wool fertilizer on some biochemical properties of a clay loam soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 54(1):48-61. doi: 10.1080/00103624.2022.2109662.
- Clarke J M, McCaig TN, 1982. Excised leaf water retention capacity as an indicator of drought resistance of Triticum genotypes. *Can. J. Plant Sci.* 62:571- 578.
- Çetin Karaca U, Yarimoğlu İ, Saba M, Yossif AM, 2022. The effect of sheep wool manure on growth and yield of pepper (*Capsicum annuum*) plant. *Int. J. Agric. Nat. Sci.* 15:73–81
- Das P, Manna I, Sil P, Bandyopadhyay M, Biswas AK, 2019. Exogenous silicon alters organic acid production and enzymatic activity of TCA cycle in two NaCl stressed indica rice cultivars. *Plant Physiol. Biochem.* 136:76–91. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.026>
- Dhanda SS, Sethi GS, 1998. Inheritance of excised-leaf water loss and relative water content in bread wheat (*Triticum aestivum*). *Euphytica.* 104:39-47.
- Ellouzi H, Rabhi M, Khedher S, Debez A, Abdelly C, Zorrig W, (2023). Silicon seed priming enhances salt tolerance of barley seedlings through early ROS detoxification and stimulation of antioxidant defence. *Silicon.* 15(1):37-60.
- Epstein E, 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 91:7-11.

- Etesami H, Noori F, Jeong BR, 2022. Directions for future research to use silicon and silicon nanoparticles to increase crops tolerance to stresses and improve their quality. In *Silicon and Nano-silicon in Environmental Stress Management and Crop Quality Improvement* (Eds: Etesami H, Al Saeedi AH, El-Ramady H, Fujita M, Pessarakli M, Hossain MA). Elsevier. 349–367
- Falouti M, Ellouzi H, Amraoui S, Hemissi I, Bounaouara F, Rabhi M, Abdely C, Zorrig W, Slama I, 2025. Silicon (Si) seed priming improves growth and photosynthetic efficiency of barley plants under salt stress in agricultural field conditions. *J. Plant Growth Regul.* 44(5):2405-2424.
- Golestani AS, Assad MT 1998. Evaluation of four screening techniques for drought resistance and their relationship to yield reduction ratio in wheat. *Euphytica.* 103:293-299
- Gonc G, Gunes A, Akca H, Taskin MB, 2024. Green synthesis of biogenic nano-silicon from rice husk and its effect on combined boron and salinity stress tolerance of barley and wheat. *J. Soil Sci. Plant Nut.* 24(1):252-262.
- Gunes A, Inal A, Bagci EG, Pilbeam DJ, 2007. Silicon-mediated changes of some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach and tomato grown in sodic-B toxic soil. *Plant Soil.* 290:103–114. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9137-9>
- Gunes A, Pilbeam DJ, Inal A, Coban S, 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 39(13-14):1885-1903.
- Gunes A, Taskin MB, Akca H, Civelek ES, Emir E, 2025a. Determination of the effects of pelletized sheep wool on blossom-end rot in tomatoes using fourier transform infrared spectroscopy. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 56(21):3001-3013.
- Gunes A, Taskin MB, Akca H, Kan S, Kizilkaya RB, Yagcioglu KD, Kadioglu YK, 2025b. Impact of nano-silicon and sodium silicate on wheat grown after preceding crops. *Plant Soil.* 513(2):2925-2938.
- Gunes A, Akca H, Taskin MB, Kan S, Yagcioglu KD, Kadioglu YK, Karaboya O, 2026. Phosphorus and silicon interactions in plants: the role of biogenic nano-silicon and its composites on silicon and phosphorus nutrition of maize and rice plants. *J. Plant Nut. Soil Sci.* 189(1):17-26.
- Gupta S, Sharma A, 2014 Evaluation of plant yield, macro and micronutrients concentration in spinach (*Spinacia oleracea* L.) plant tissue as well as in soil amended with hair as fertilizer. *Int. J. Chem. Sci.* 12:73–82
- Jan S, Alyemeni MN, Wijaya L, Alam P, Siddique KH, Ahmad P, 2018. Interactive effect of 24-epibrassinolide and silicon alleviates cadmium stress via the modulation of antioxidant defense and glyoxalase systems and macronutrient content in *Pisum sativum* L. seedlings. *BMC Plant Biol.* 18:146. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1359-5>
- Javaid T, Farooq MA, Akhtar J, Saqib ZA, Anwar-ul-Haq M, 2019. Silicon nutrition improves growth of salt-stressed wheat by modulating flows and partitioning of Na⁺, Cl⁻ and mineral ions. *Plant Physiol. Biochem.* 141:291–299. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.06.010>
- Kalra Y, 1997. *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press.
- Kostic L, Nikolic N, Bosnic D, Samardzic J, Nikolic M, 2017. Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low P acid soil conditions. *Plant Soil.* 419(1):447-455.
- Lamsaadi N, El Moukhtari A, Ghoulam C, Farissi M, 2025. Biostimulatory effect of silicon on Chia (*Salvia hispanica* L.) salinity tolerance during seedling emergence. *Acta Physiol. Plant.* 47(12):111.
- Li Z, Song Z, Yan Z, Hao Q, Song A, Liu L, Yang X, Xia S, Liang Y, 2018. Silicon enhancement of estimated plant biomass carbon accumulation under abiotic and biotic stresses. A meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.* 38(3):26.
- Liang Y, 1999. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant Soil.* 209:217–224. <https://doi.org/10.1023/A:1004526604913>
- Ma J, Takahashi E, 1990. Effect of silicon on the growth and phosphorus uptake of rice. *Plant Soil.* 126(1):115-119.
- Manimaran G, Duraisamy S, Subramaniam T, Rangasamy A, Alagarsamy S, James P, Selvamani S, Perumal D, Veerappan M, Arunan YE, Periakaruppan J, 2025. Silicon-driven approaches to salinity stress tolerance: Mechanisms, uptake dynamics, and microbial transformations. *Plant Stress.* 16:100825.
- Moore JC, de Vries W, Lipp M, Griffiths JC, Abernethy DR, 2010. Total protein methods and their potential utility to reduce the risk of food protein adulteration. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 9:330–351. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00114.x>
- Mubarak AR, Ragab OE, Ali AA, Hamed NE, 2009. Short-term studies on use of organic amendments for amelioration of a sandy soil. *Afr. J. Agric. Res.* 4:621–627

- Murray J, Frost J, Wang Y, 2000. Behavior of a sandy silt reinforced with discontinuous recycled fiber inclusions. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board.* 1714:9–17
<http://trrjournalonline.trb.org/doi/10.3141/>
- Naeem A, Saifullah Z-u-R, Akhtar T, Zia MH, Aslam M, 2018. Silicon nutrition lowers cadmium content of wheat cultivars by regulating transpiration rate and activity of antioxidant enzymes. *Environ. Pollut.* 242:126–135. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.069>
- Page AL, Keaney DR, 1982. *Methods of soil analysis part 2: Chemical and micro-biological properties*, 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Petek B, Marinšek Logar R, 2021. Management of waste sheep wool as valuable organic substrate in European Union countries. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 23 (1):44–54. doi: 10.1007/s10163-020-01121-3.
- Pratt PF, 1965. *Chemical and Microbiological Properties. Methods of Soil Analysis*. Ed: Black CA, American Society of Agronomy Madison 771-1572.
- Premchandra GS, Sancoka H, Ogata S, 1990. Cell membrane stability, an indicator of drought tolerance, as affected by applied nitrogen in soybean. *J. Agron. Crop Sci.* 115:63-66.
- Sahin O, Gunes A, Yagcioglu KD, Kadioglu YK, 2024. Mitigating combined boron and salt stress in lettuce (*Lactuca sativa* L. Semental) through salicylic acid-modified rice husk biochar. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 24(3):5220-5234.
- Sahin O, Yagcioglu KD, Kadioglu YK, Ozturk HS, Gunes A, 2025. Valorization of sheep wool: impact of keratin hydrolysate on the growth and mineral nutrition of lettuce, spinach, and radish plants. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 25(2):2642-2652.
- Sairam RK, 1994. Effects of homobrassinolide application on plant metabolism and grain yield under irrigated and moisture-stress conditions of two wheat varieties. *Plant Growth Regul.* 14:173-181.
- Schaller J, Frei S, Rohn L, Gilfedder BS, 2020. Amorphous silica controls water storage capacity and phosphorus mobility in soils. *Front. Environ. Sci.* 8:94.
- Shelke DB, Chambhare MR, Sonawane HB, Islam NF, Patowary R, Das MR, Mohanta YK, Patowary K, Joshi SJ, Narayan M, Panda BP, 2025. Synergistic approaches in halophyte-microbe interactions: mitigating soil salinity and industrial contaminants for sustainable agriculture. *Discov Life.* 55(1):11.
- Shi Y, An L, Guo S, Li J, Sun H, Zhang R, Zhao H, Bai L, Hou L, Zhang Y, Ahammed GJ, 2025. Nano silicon causes a shift in rhizospheric soil microbial community structure and improves nutrient uptake and assimilation in tomato plants under low temperature. *Soil Tillage Res.* 248:106451.
- Soratto RP, Fernandes AM, Pilon C, Souza MR, 2019. Phosphorus and silicon effects on growth, yield, and phosphorus forms in potato plants. *J. Plant Nutr.* 42(3):218-233.
- Suruchi G, Anshumala S, Sarika S, Narindra B (2014) Growth, macro and micronutrient concentration in clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba*), plant tissue as well as in soil when amended with wool as fertilizer. *J. Environ. Res. Dev.* 8:607–613
- Taskin MB, Akca H, Babar SK, Kadioglu YK, Deniz K, Kan S, Gunes A, 2023. Evaluating the comparative effects of acid modified rice husk and nano-silicon derived from rice husk on phosphorus use efficiency in wheat and lettuce plants with differing silicon contents. *J. Plant Nutr.* 46(10):2329-2341.
- Taskin MB, 2024. Reducing mineral fertilizer usage: Utilizing sheep wool and alkaline hydrolysate for enhanced sugar beet cultivation. *Sugar Tech.* 26(6):1653-1664.
- Taşkın MB, Akça H, 2025. Fosforla zenginleştirilmiş koyun yünü uygulamalarının marul bitkisinin gelişimi ve besin elementi alımına etkileri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi.* 22(1):111-118.
- Temminghoff EE, Houba VJ (2004) *Plant analysis procedures*. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp 1–178
- van der Vorm PDJ, 1987. Dry ashing of plant material and dissolution of the ash in HF for the colorimetric determination of silicon. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 18:1181–1189. <https://doi.org/10.1080/00103628709367893>
- Van Hung N, Maguyon-Detras MC, Migo MV, Quilloy R, Balingbing C, Chivenge P, Gummert M, 2020. Rice straw overview: availability, properties, and management practices. *Sustain. Rice Straw Manag.* 1-13.
- Zaid A, Gul F, Ahanger MA, Ahmad P, 2018. Silicon-mediated alleviation of stresses in plants. In *Plant metabolites and regulation under environmental stress*. Elsevier. 377–387.
- Zarebanadkouki M, Hosseini B, Gerke HH, Schaller J, 2022. Amorphous silica amendment to improve sandy soils' hydraulic properties for sustained plant root access under drying conditions. *Front. Environ. Sci.* 10:935012.
- Zargar SM, Mahajan R, Bhat JA, Nazir M, Deshmukh R, 2019. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. *Biotech.* 9:73.

- Zheljazkov VD, Stratton GW, Pincock J, Butler S, Jeliaskova EA, Nedkov NK, Gerard PD, 2009. Wool-waste as organic nutrient source for container-grown plants. Waste Manag. 29:2160-2164 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09000828>
- Zoccola M, Montarsolo A, Mossotti R, Patrucco A, Tonin C, 2015. Green hydrolysis as an emerging technology to turn wool waste into organic nitrogen fertilizer. Waste Biomass Valoriz. 6:891-897 <http://link.springer.com/10.1007/s12649-015-9393-0>
- Zuccarini P, 2008. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. Biol. Plant. 52:157-160. <https://doi.org/10.1007/s10535-008-0034-3>



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

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



Fındık zurufu–ahır gübresi karışımlarından elde edilen vermikompostların kimyasal özellikleri, buğday verimi ve toprak mikrobiyal biyokütle karbonu üzerine etkileri

Tuba TOPRAK^{1*}, Rıdvan KIZILKAYA²

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bafra Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bafra-Samsun

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

Öz

Bu çalışmada, fındık zurufu ile ahır gübresinin farklı oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen vermikompostların kimyasal özellikleri belirlenmiş ve bu vermikompostların farklı dozlarda uygulanmasının buğdayın dane verimi, bitki biyolojik verimi ve toprağın mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) üzerine etkileri araştırılmıştır. Vermikompost üretiminde %25 fındık zurufu + %75 ahır gübresi, %50 fındık zurufu + %50 ahır gübresi ve %75 fındık zurufu + %25 ahır gübresi karışımları kullanılmıştır. Elde edilen vermikompostlar sera koşullarında %2, %4, %6 ve %8 dozlarında toprağa uygulanmıştır. Sonuçlar, başlangıç materyali oranlarının vermikompostların kimyasal özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Toprak kimyasal özellikleri bakımından %50 fındık zurufu + %50 ahır gübresi karışımı öne çıkarken, bitki verim parametreleri bakımından en başarılı sonuçlar %25 fındık zurufu + %75 ahır gübresi karışımında elde edilmiştir. Tüm vermikompost uygulamaları kontrole göre dane ve biyolojik verimi arttırmış, en yüksek dane verimi ve bitki biyolojik verim sırasıyla 606,40 ve 2457,87 kg da⁻¹ ile %25 fındık zurufu + %75 ahır gübresi karışımının %8 dozunda belirlenmiştir. Uygulamalar, mikrobiyal biyokütle karbon değerlerini olumlu yönde etkilerken, verim parametreleri üzerinde değişken etkiler göstermiştir. En yüksek MBC değeri 113,190 mg C 100 g⁻¹ ile %75 fındık zurufu + %25 ahır gübresi karışımının %6 dozunda saptanmıştır. Sonuç olarak, fındık zurufunun ahır gübresi ile uygun oranlarda vermikompostlanması, hem bölgesel bir tarımsal atığın değerlendirilmesi hem de buğday verimi ile toprak biyolojik kalitesinin iyileştirilmesi açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fındık zurufu, vermikompost, buğday, mikrobiyal biyokütle karbon, organik atık yönetimi.

Effects of vermicomposts obtained from hazelnut husk–farmyard manure mixtures on their chemical properties, wheat yield, and soil microbial biomass carbon

Abstract

This study investigated the chemical properties of vermicomposts produced by mixing hazelnut husk and farmyard manure at different ratios, as well as the effects of these vermicomposts applied at different doses on wheat grain yield, plant biological yield, and soil microbial biomass carbon (MBC). In vermicompost production, mixtures containing 25% hazelnut husk + 75% farmyard manure, 50% hazelnut husk + 50% farmyard manure, and 75% hazelnut husk + 25% farmyard manure were used. The obtained vermicomposts were applied to the soil at rates of 2%, 4%, 6%, and 8% under greenhouse conditions. The results showed that the initial material ratios significantly affected the chemical properties of the vermicomposts. In terms of soil chemical properties, the mixture containing 50% hazelnut husk + 50% farmyard manure was prominent, whereas the best results for plant yield parameters were obtained from the mixture containing 25% hazelnut husk + 75% farmyard manure. All vermicompost applications increased grain yield and biological yield compared to the control treatment. The highest grain yield and plant biological yield were determined as 606.40 and 2457.87 kg da⁻¹, respectively, in the 8% dose of the 25% hazelnut husk + 75% farmyard manure mixture. The applications positively affected microbial biomass carbon values, while showing variable effects on yield parameters. The highest MBC value was determined as 113.190 mg C 100 g⁻¹ in the 6% dose of the 75% hazelnut husk + 25% farmyard manure mixture. Consequently, vermicomposting hazelnut husk with farmyard manure at appropriate ratios has significant potential both for the utilization of a regional agricultural waste and for improving wheat yield and soil biological quality.

Keywords: Hazelnut Husk, vermicompost, wheat, microbial biomass carbon, organic waste management.

© 2026 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (362) 312 1919

E-posta : tuba.toprak@omu.edu.tr

Makale Türü: ARAŞTIRMA MAKALESİ

Geliş Tarihi : 5 Nisan 2026

Kabul Tarihi : 21 Mayıs 2026

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbbd.1923772

Giriş

Tarımsal üretimde verimliliğin sürdürülebilir biçimde artırılması, yalnızca bitki besin elementi girdilerinin yükseltilmesine değil, aynı zamanda toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik kalitesinin korunmasına bağlıdır. Sürdürülebilir toprak sağlığı doğrultusunda, konvansiyonel uygulamaların organik madde düzeyi ve mikrobiyal aktivite üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiler nedeniyle, organik kökenli toprak düzenleyicilere ve atık geri kazanımına dayalı üretim sistemlerine yönelik bilimsel ve tarımsal eğilimler ivme kazanmıştır. Organik materyal uygulamalarının toprak verimliliğini arttırdığı, besin elementi döngüsünü iyileştirdiği ve mikrobiyal işlevleri güçlendirdiği birçok çalışma ile ortaya konmuştur (Luo ve ark., 2018; Romaniuk ve ark., 2011). Luo ve ark. (2018) tarafından yapılan meta-analizde, organik düzenleyicilerin ürün verimini çoğu zaman mikrobiyal işlevleri iyileştirerek arttırdığı bildirilmiştir.

Tarımsal ve organik atıkların yeniden değerlendirilmesi, günümüzde hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli bir gereklilik haline gelmiştir. Özellikle lignoselülozik yapıdaki bitkisel artıklar, yüksek organik madde içermelerine karşın geniş C/N oranları ve yavaş ayrışma özellikleri nedeniyle doğrudan toprağa uygulandıklarında sınırlı yarar sağlayabilmekte, hatta bazı durumlarda geçici azot immobilizasyonuna yol açabilmektedir. Bu nedenle bu tür artıkların daha stabil, yarıyışlı besin elementleri miktarları açısından daha uygun ve toprak biyolojisi ile daha uyumlu ürünlere dönüştürülmesi gerekmektedir. Vermikompostlama, bu amaçla kullanılan etkili biyolojik dönüşüm yöntemlerinden biridir. Edwards ve Bohlen (1996) tarafından yapılan çalışmada, solucanların organik materyalin parçalanması, humifikasyonu ve mikrobiyal yönden zenginleşmesinde önemli rol oynadığı belirtilmiştir. Domínguez (2004) tarafından yapılan çalışmada, vermikompostlama sürecinin toprağın biyolojik ve kimyasal özelliklerini değiştirerek mikrobiyal aktivite ve besin elementi dönüşümünü arttırdığı ve bunun bitki büyümesi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu vurgulanmıştır. Domínguez (2004) tarafından yapılan çalışmada da vermikompostlamanın organik atıkları daha kararlı ve agronomik açıdan daha değerli ürünlere dönüştüren etkili bir biyoteknolojik süreç olduğu vurgulanmıştır.

Vermikompost, yalnızca organik maddece zengin bir ürün değil, aynı zamanda yüksek miktarda yarıyışlı bitki besin elementleri ve mikrobiyal aktivite, humik maddeler, mikrobiyal metabolitler içeren ve bitki gelişimini destekleyen bir materyaldir. Bu nedenle vermikompost uygulamalarının bitki büyümesi, verim ve toprak biyolojik aktivitesi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu çok sayıda araştırmada bildirilmiştir. Atiyeh ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada ise vermikompost uygulamalarının bitki gelişimini desteklediği, ancak bu etkinin kullanılan hammaddenin yapısına ve uygulama dozuna göre değişebildiği belirtilmiştir. Buğday özelinde yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Erdal ve Ekinci (2020) tarafından yapılan çalışmada kompost ve vermikompost uygulamalarının buğdayın büyüme ve beslenmesini iyileştirdiği gösterilmiştir. Ramazanoğlu (2024) tarafından yapılan çalışmada da vermikompost uygulamalarının buğdayda bitki gelişimi ve toprak enzim aktivitesi üzerine olumlu etkileri olduğu bildirilmiştir.

Vermikompost uygulamalarının etkileri yalnızca bitki verimi ile sınırlı değildir. Toprağın biyolojik kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan mikrobiyal biyokütle karbon (MBC), organik madde uygulamalarına hızlı yanıt veren ve toprağın aktif karbon havuzunu yansıtan önemli bir göstergedir. Anderson ve Domsch (1989) tarafından yapılan çalışmada MBC'nin, topraktaki canlı mikrobiyal havuzu temsil ettiği ve organik uygulamaların etkisini belirlemede duyarlı bir parametre olduğu belirtilmiştir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, vermikompost uygulamalarının MBC, toprak solunumu ve enzim aktivitelerini arttırdığını ortaya koymaktadır. Lv ve ark. (2020), Zhang ve ark. (2020), Iqbal ve ark. (2024) ve Türkay (2024) tarafından yapılan çalışmalarda, vermikompost uygulanan topraklarda mikrobiyal biyokütle karbonun kontrol ve mineral gübre uygulamalarına göre daha yüksek olduğu bildirilmiş ve bu çalışmalarda vermikompost uygulamalarının MBC'yi 1,5–3 kat arasında arttırabildiği ve mikrobiyal aktiviteyi belirgin biçimde uyardığı belirlenmiştir.

Türkiye, özellikle Karadeniz Bölgesi, fındık üretimi bakımından dünya ölçeğinde önemli bir konuma sahiptir. Türkiye yaklaşık 750 bin ton üretim ile dünya fındık üretiminin %65–70'ini tek başına karşılamakta olup, ülkede üretilen fındığın yaklaşık %95–98'i Karadeniz Bölgesi'nde üretilmektedir. (FAO 2024; TÜİK, 2024). Bu üretim sürecinde önemli miktarda fındık zurufu ortaya çıkmakta ve bu materyalin etkili şekilde değerlendirilmesi sürdürülebilir tarım açısından önem taşımaktadır. Fındık zurufu yüksek organik madde içeriğine sahip olmakla birlikte, geniş C/N oranı ve lignoselülozik yapısı nedeniyle doğrudan toprağa uygulandığında sınırlı bir etki gösterebilmektedir. Buna karşılık, uygun organik materyallerle birlikte biyolojik dönüşüme tabi tutulduğunda değerli bir toprak düzenleyiciye dönüşme potansiyeline sahiptir. Kızılıkaya ve Hepşen Türkay (2014) tarafından yapılan çalışmada, fındık zurufunun anaerobik arıtma çamuru

ve ahır gübresi ile birlikte *Eisenia fetida* kullanılarak vermikompostlaştırılabilirdiği gösterilmiştir. Kızılıkaya ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada da benzer şekilde fındık zurufu içeren karışımların uygun koşullarda kaliteli vermikompost oluşturabilirdiği belirtilmiştir. Ayrıca Kızılıkaya ve Ekberli (2008) tarafından yapılan çalışmada fındık zurufu uygulamasının toprak enzim aktiviteleri üzerinde etkili olduğu bildirilmiş, Rahman ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmada ise fındık zurufu kompostunun buğday ve fosfor dinamiği üzerine olumlu etkileri gösterilmiştir. Bu bulgular, fındık zurufunun uygun bir biyolojik işlemde sonra toprak verimliliği açısından önemli bir materyale dönüşebileceğini göstermektedir.

Bununla birlikte, fındık zurufunun ahır gübresi ile farklı oranlarda karıştırılarak vermikompostlaştırılması sonucu elde edilen ürünlerin buğday verimi ve toprağın mikrobiyal biyokütle karbonu üzerindeki etkilerine ilişkin çalışmalar sınırlıdır. Özellikle başlangıç karışım oranının son ürünün kimyasal özelliklerini nasıl etkilediği ve bu farklılığın bitki verimi ile toprak biyolojik özelliklerine nasıl yansıdığı konusu daha ayrıntılı araştırılmaya ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmanın amacı, fındık zurufu ile ahır gübresinin farklı oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen vermikompostların kimyasal özelliklerini belirlemek ve bu vermikompostların farklı dozlarda uygulanmasının buğdayın dane verimi, bitki biyolojik verimi ve toprağın mikrobiyal biyokütle karbonu üzerine etkilerini ortaya koymaktır. Böylece, bölgesel bir tarımsal atık olan fındık zurufunun uygun karışım oranlarıyla değerlendirilmesi yoluyla hem sürdürülebilir atık yönetimine hem de toprak verimliliğinin iyileştirilmesine katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Organik Materyaller ve Bazı Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada organik materyal olarak fındık zurufu (FZ) ve ahır gübresi (AG) kullanılmıştır. Fındık zurufu Trabzon ili Araklı ilçesi fındık bahçelerinden, ahır gübresi Samsun ili Bafra ilçesindeki bir üreticinin işletmesinden temin edilmiştir. Fındık zurufu, Karadeniz Bölgesi'nde fındık işleme sonrası ortaya çıkan lignoselülozik yapıya sahip bir organik atık olup, ahır gübresi ise karışımın C/N oranını solucan gelişimi için uygun düzeye getirmek ve vermikompostlaşma sürecini desteklemek amacıyla yardımcı materyal olarak kullanılmıştır. Organik materyaller kurutulduktan sonra öğütülmüş ve 0.5 mm elekten geçirilerek denemede kullanılmaya hazır hale getirilmiştir. Başlangıç materyallerinin pH, EC, organik madde, toplam N, C/N oranı, toplam P, toplam K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn ve Mn içerikleri belirlenmiştir. Organik madde kuru yakma yöntemiyle, toplam N Kjeldahl yöntemine göre, pH ve EC 1:10 (w/v) ekstraksiyonda pH ve EC metre ile, toplam P kuru yakma sonrası spektrofotometrik olarak, toplam K flame fotometrik olarak, toplam Ca, Mg, Fe, Cu, Zn ve Mn ise atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile belirlenmiştir. C/N oranı ise organik madde ve toplam N değerlerinden hesaplanmıştır (Kacar, 1995, Jones, 2001).

Vermikompost Üretimi

Vermikompost üretiminde, organik maddece zengin ortamlarda hızlı gelişim gösteren, adaptasyon yeteneği yüksek ve aynı zamanda vermikompostlama tesislerinde en yaygın kullanılan bir tür olan *Eisenia fetida* kullanılmıştır (Edwards ve Bohlen, 1996; Ansari ve Ismail, 2012). Vermikompost işleminde kullanılan *Eisenia fetida* piyasadan ticari yollarla temin edilmiştir. Fındık zurufu ile ahır gübresi kuru ağırlık esasına göre %25 FZ + %75 AG, %50 FZ + %50 AG ve %75 FZ + %25 AG oranlarında karıştırılmıştır. Ayrıca %100 FZ ortamı da denenmiş; ancak bu ortamda solucan gelişimi gözlenmediği için vermikompost elde edilememiştir. Her bir karışıma başlangıçta ortalama ağırlığı 1 g olan 120 adet ergin solucan/20 kg materyal ilave edilmiştir. Vermikompostlaşma işlemi kontrollü koşullarda 25 °C'de yürütülmüş ve karışımların nem içeriği süreç boyunca yaklaşık %70 düzeyinde tutulmuştur. Karışım oranına bağlı olarak vermikompostlaşma süresi değişmiş; %25 FZ + %75 AG karışımında 86 günde, %50 FZ + %50 AG karışımında 119 günde ve %75 FZ + %25 AG karışımında 187 günde olgun vermikompost elde edilmiştir. Bu nedenle sera denemesinde yalnızca başarıyla vermikompostlaştırılmış bu üç karışım kullanılmıştır.

Karışımlardan elde edilen vermikompostların Organik madde kuru yakma yöntemiyle, toplam N Kjeldahl yöntemine göre (Bremner, 1965), pH ve EC 1:10 (w/v) ekstraksiyonda pH ve EC metre ile, toplam P kuru yakma sonrası spektrofotometrik olarak (Kacar, 1995), toplam K flame fotometrik olarak (Kacar, 1972), toplam Ca, Mg, Fe, Cu, Zn ve Mn ise atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile (Kacar, 1972) belirlenmiştir. C/N oranı ise organik madde ve toplam N değerlerinden hesaplanmıştır (Kacar, 1995, Jones, 2001).

Deneme Toprağı ve Toprak Analizleri

Sera denemesinde kullanılan toprak, Samsun'un Bafra ilçesinde tarım yapılan araziden (41° 32' 26.3" K. ve 35° 51' 04.7" G.), 0-20 cm derinlikten alınmıştır. Alınan toprak örnekleri laboratuvara hava kuru getirilerek, 2

mm'lik elekten elenerek analize hazır hale getirilmiş, toprağın tekstürü hidrometre yöntemine göre (Bouyoucos, 1951), pH ve EC değerleri 1:1 (w/v) toprak:saf su süspansiyonunda, organik madde Walkley ve Black (1934)'e göre, toplam azot Kjeldahl yöntemine göre (Bremner, 1965), alınabilir fosfor Olsen ve ark. (1954)'e göre, değişebilir K, Ca ve Mg amonyum asetat ekstraksiyonunda (Rowell, 1996), alınabilir Fe, Cu, Zn ve Mn ise DTPA ekstraksiyonunda belirlenmiştir (Lindsay ve Norvell, 1978).

Sera Denemesi

Çalışmada test bitkisi olarak 'Pandas' türü yazlık buğday (*Triticum aestivum* L.) kullanılmıştır. Sera koşullarında yürütülen deneme, her bir saksıya 3.7 kg toprak doldurularak tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Fındık zurufu ve ahır gübresi kökenli vermikompostlar saksılara kuru ağırlık esasına göre %2, %4, %6 ve %8 oranlarında karıştırılarak uygulanmıştır. Deneme süresince herhangi bir kimyasal gübreleme ve ilaçlama yapılmamıştır. Buğday tohumları her bir saksıya 17 tane olacak şekilde elle ekilmiş ve tohumların topraktan ilk çıkışından sonra her saksıda eşit sayıda (13 adet/saksı) bitkinin bulunması amacıyla seyreltme işlemi yapılmıştır. Vermikompost konulmamış saksılar kontrol olarak kabul edilmiştir. Toprakların nem içeriği tarla kapasitesi seviyesinde tutulmuştur. Bu amaçla topraktan çeşitli yollar ile eksilen su her gün tartımlar alınarak saf su ile tamamlanmıştır. Deneme, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü seralarında tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuş ve yürütülmüştür. Deneme Kasım ayında başlatılmış ve Nisan ayında tamamlanmıştır. Toplam 150 gün süren sera denemesi sonunda, saksılardaki bitkilerin hasatı yapılmış, dane verimi hasat sonunda elde edilen tanelerin ağırlığı, biyolojik verim ise tane ve sap verimlerinin toplamı olarak değerlendirilmiştir. Hasat sonunda saksı bazında belirlenen dane ve biyolojik verim değerleri, saksı yüzey alanı dikkate alınarak alan esaslı verim birimine çevrilmiş ve sonuçlar kg da^{-1} olarak ifade edilmiştir (Stettmer, 2022). Saksılardan alınan toprak örneklerinde ise Mikrobiyal Biyomas C analizleri yapılmıştır.

Mikrobiyal Biyokütle Karbon (MBC)

Toprak örneklerinin toplam mikrobiyal biyokütle C içerikleri Anderson ve Domsch (1978) tarafından bildirilen substrat indirgenme yöntemine göre belirlenmiştir. Bu amaçla, toprak örnekleri üzerine glikozun belirli miktarları ilave edilerek belirli zaman sonunda üretilen CO_2 miktarından biyokütle C hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar $\text{mg CO}_2 - \text{C } 100\text{g}^{-1}$ kuru toprak cinsinden ifade edilmiştir.

İstatistiksel Analizler

Sera denemesi sonucunda elde edilen veriler IBM SPSS 20.0 paket programında değerlendirilmiştir. İkiden fazla grup ortalamasının karşılaştırılmasında, normal dağılım gösteren ve varyansları homojen olan veri grupları için varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Ortalama değerler arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen verilerin istatistiksel analizinde, merkezi eğilim ölçüsü olarak Aritmetik ortalama, dağılım ölçüsü olarak ise Standart sapma kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Organik Materyallerin Bazı Kimyasal Özellikleri

Denemede kullanılan başlangıç materyallerinin bazı kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Fındık zurufu, ahır gübresine göre çok daha yüksek organik madde içeriğine sahip olmasına rağmen, oldukça geniş bir C/N oranı ve daha düşük besin elementi içeriği göstermiştir. Buna karşılık ahır gübresi, daha dar C/N oranı ile daha yüksek toplam P ve mikro element içeriği sayesinde, vermikompostlaşma sürecini destekleyebilecek daha elverişli bir başlangıç materyali niteliği göstermektedir. Bu sonuç, fındık zurufunun tek başına vermikompostlaştırma için uygun olmadığını, ancak ahır gübresi ile birlikte kullanıldığında daha yararlı bir substrata dönüşebileceğini göstermektedir (Edwards ve Bohlen, 1996; Domínguez, 2004). Biruntha ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada, yüksek C/N oranına sahip bitkisel artıkların hayvansal gübre ile birlikte kullanılmasının vermikompost kalitesini yükselttiği bildirilmiştir. Motamedi ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada da başlangıç karışımının bitkisel artık:gübre oranının son ürünün olgunluk düzeyi ve besin elementleri üzerinde belirleyici olduğu vurgulanmıştır. Bu nedenle, bu çalışmada fındık zurufunun yüksek organik madde içeriğine rağmen, dar C/N oranına sahip ve besin elementleri bakımından daha zengin olan ahır gübresi ile karıştırılması tercih edilmiştir.

Çizelge 1. Denemede kullanılan organik materyallerin bazı kimyasal özellikleri ve besin maddesi içerikleri

Kimyasal özellikler	Fındık zurufu	Ahır gübresi
pH	6,085±0,025	7,40±0,01
EC (dS m ⁻¹)	3,29±0,1	0,94±0,0235
Organik madde (%)	93,13±0,0735	22,94±0,765
C/N	72,04±1,172	14,89±0,5565
Makro elementler		
N (%)	0,75±0,0115	0,89±0,0025
P (%)	0,08±0,005	0,50±0,0205
K (%)	1,67±0,07	4,92±0,025
Ca (%)	0,02±0,000	1,86±0,01
Mg (%)	0,01±0,000	0,56±0,04
Mikro elementler		
Fe (mg kg ⁻¹)	271,575±26,095	1645,80±7,4
Mn (mg kg ⁻¹)	85,04±3,85	778,54±14,622
Cu (mg kg ⁻¹)	5,50±0,03	11,95±0,604
Zn (mg kg ⁻¹)	6,63±0,435	115,03±1,025

Elde Edilen Vermikompostların Bazı Kimyasal Özellikleri

Fındık zurufu ile ahır gübresinin farklı oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen vermikompostların kimyasal özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Karışım oranı, vermikompostların pH, EC, organik madde, C/N oranı ve besin elementi içerikleri üzerinde belirgin etki oluşturmıştır. En düşük C/N oranı %50 FZ + %50 AG karışımında belirlenirken, en yüksek organik madde içeriği ve en geniş C/N oranı %75 FZ + %25 AG karışımında saptanmıştır. Toplam azot ile Fe, Mn ve Zn içeriklerinin en yüksek olduğu karışım %50 FZ + %50 AG olurken, toplam P ve Cu bakımından %25 FZ + %75 AG karışımı öne çıkmıştır. Ayrıca vermikompostlaşma süresi de karışımdaki fındık zurufu oranına bağlı olarak uzamış; %25 FZ + %75 AG karışımı 86 günde, %50 FZ + %50 AG karışımı 119 günde ve %75 FZ + %25 AG karışımı 187 günde olgunlaşmıştır. %100 fındık zurufunda ise solucan gelişimi gözlenmediğinden vermikompost elde edilememiştir. Bu sonuçlar, fındık zurufu oranı arttıkça ayrışmanın yavaşladığını ve ürün kalitesinin yalnızca organik madde yüksekliğiyle değil, biyokimyasal süreçle de değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Çizelge 2. Fındık zurufu içerikli vermikompostların kimyasal özellikleri ve besin maddesi içerikleri

	Vermikompost Bileşenleri		
	%25 FZ + %75 AG	%50 FZ + %50 AG	%75 FZ + %25 AG
Kimyasal özellikler			
pH	7,70±0,005	8±0,03	7,90±0,012
EC (dS m ⁻¹)	2,64±0,017	2,32±0,01	2,92±0,079
Organik madde (%)	53,69±1,35	39,48±0,36	68,07±1,145
C/N	21,47±0,5045	14,22±0,02	29,77±0,43
Makro elementler			
N (%)	1,45±0,0025	1,61±0,015	1,33±0,03
P (%)	0,74±0,033	0,63±0,044	0,44±0,0055
K (%)	2,23±0,005	1,45±0,09	2,68±0,055
Ca (%)	1,13±0,055	1,48±0,01	0,88±0,01
Mg (%)	0,70±0,03	0,81±0,035	0,52±0,005
Mikro elementler			
Fe (mg kg ⁻¹)	10500±147	15000±1528,2	6819±186
Mn (mg kg ⁻¹)	614,77±14,622	778,54±26,320	456,84±2,924
Cu (mg kg ⁻¹)	27,22±1,272	24,67±0,424	20,43±1,272
Zn (mg kg ⁻¹)	124,25±0,000	153,98±9,225	73,31±0,41

Filipović ve ark. (2023) tarafından yapılan çalışmada, farklı organik atık karışımlarından elde edilen vermikompostların pH değerlerinin nötre yakın veya hafif alkali aralıkta bulunduğu bildirilmiştir. Asmaa ve ark. (2025) tarafından yapılan çalışmada da bitkisel artık + hayvansal gübre karışımlarından elde edilen vermikompostların pH bakımından benzer bir eğilim gösterdiği belirtilmiştir. Biruntha ve ark. (2020) ile Balachandar ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmalarda, C/N oranındaki azalmanın vermikompost olgunluğunun önemli bir göstergesi olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmada en düşük C/N oranının %50 FZ + %50 AG karışımında bulunması, bu karışımın olgunluk ve kimyasal özellikler bakımından daha uygun bir ürün ortaya koymaktadır.

Çizelge 2'ye göre, %50 FZ + %50 AG karışımı kimyasal özellik bakımından daha dengeli bir görünüm sergilemiştir. Buna karşılık %25 FZ + %75 AG karışımı özellikle P ve Cu içeriğiyle; %75 FZ + %25 AG karışımı ise yüksek organik madde düzeyiyle dikkat çekmiştir. Ancak yüksek organik madde içeriğinin tek başına üstünlük anlamına gelmediği, geniş C/N oranı ve uzun olgunlaşma süresi ile birlikte değerlendirilmesi gerektiği açıktır. Geremu ve ark. (2020) ile Patra ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmalarda da vermikompostların besin elementi içeriklerinin başlangıç materyaline ve karışım oranına bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiği de bildirilmiştir.

Deneme Toprağının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Sera denemesinde kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir. Deneme toprağı killi tın bünyeli (Ülgen ve Yurtsever, 1995), hafif alkali reaksiyonlu (Bruce ve Rayment, 1982), hafif tuzlu (Richard, 1954), kireçli (Hizalan ve Ünal, 1966) ve organik maddece düşük (Charman ve Roper, 2000) bir topraktır. Alınabilir fosfor düzeyi düşük (Holford ve Cullis, 1985), alınabilir Ca ve Mg (Metson, 1961) düzeyi ise yüksektir. Mikro elementler bakımından Fe ve Cu yeterli görünürken (Lindsay ve Norwell, 1978), Mn içeriğinin düşük düzeyde (Lindsay ve Norwell, 1978) olduğu anlaşılmaktadır. Bu özellikler, uygulanan vermikompostların özellikle organik madde, fosfor ve biyolojik aktivite bakımından toprağa katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Çizelge 3'te görülen düşük organik madde ve düşük alınabilir fosfor düzeyi, vermikompost uygulamalarının etkisini daha net göstermiştir. Alagöz ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada, organik materyal uygulamalarının özellikle organik madde, pH, EC ve toplam N gibi toprak özellikleri üzerinde önemli etkiler oluşturduğu bildirilmiştir.

Çizelge 3. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Sonuç
Kum (%)	26,56
Silt (%)	43,50
Kil (%)	29,94
Tekstür sınıfı	Killi tın
pH (1:1)	7,55±0,25
EC (dS m ⁻¹)	1,02±0,073
Organik madde (%)	1,64±0,201
Kireç (CaCO ₃ , %)	11,19±0,332
Toplam N (%)	0,13±0,0065
Alınabilir P (mg kg ⁻¹)	6,29±0,5935
Değişebilir K (cmol(+) kg ⁻¹)	0,57±0,0345
Değişebilir Ca (cmol(+) kg ⁻¹)	31,83±0,415
Değişebilir Mg (cmol(+) kg ⁻¹)	8,88±0,455
Alınabilir Fe (mg kg ⁻¹)	6,96±0,0025
Alınabilir Cu (mg kg ⁻¹)	2,17±0,0015
Alınabilir Mn (mg kg ⁻¹)	3,11±0,0075
Alınabilir Zn (mg kg ⁻¹)	1,33±0,0075

Vermikompost Uygulamalarının Dane ve Biyolojik Verim Üzerine Etkileri

Vermikompost uygulamalarının buğdayın dane verimi ve bitki biyolojik verimi üzerine etkileri Çizelge 4 ve 5'te verilmiştir. Tüm vermikompost uygulamaları kontrol grubuna göre dane ve bitki biyolojik verimde artış sağlamıştır. Kontrolde dane verimi 133,37 kg da⁻¹, biyolojik verim 422,70 kg da⁻¹ olarak belirlenmiştir. En yüksek dane verimi ve bitki biyolojik verim, %25 FZ + %75 AG karışımının %8 dozunda sırasıyla 606,40 ve 2457,87 kg da⁻¹ olarak elde edilmiştir. %50 FZ + %50 AG karışımı da tüm dozlarda kontrolün üzerinde sonuç vermiş; ancak verim bakımından diğer iki karışıma göre daha düşük kalmıştır. %75 FZ + %25 AG karışımı ise orta düzeyde bir performans göstermiştir. Sonuçlar, doz artışına bağlı olarak verimde genel bir artış eğilimi olduğunu, ancak karışım içeriğinin verim tepkisini belirgin biçimde değiştirdiğini göstermektedir (p<0,01).

Arancon ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada, vermikompost uygulamalarının bitki büyümesi ve verim üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu, ancak bu etkinin hammaddenin yapısına ve uygulama düzeyine bağlı olduğu belirtilmiştir. Kızılıkaya ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada da vermikompost uygulamalarının buğday verimi ile bitki beslenmesini iyileştirdiği gösterilmiştir. Hadis ve ark. (2018) ile Erdal ve Ekinci (2020) tarafından yapılan çalışmalarda, buğdayda vermikompost uygulamalarının dane ve biyokütle verimini artırdığı, ancak uygulama dozunun ve materyal kalitesinin belirleyici olduğu bildirilmiştir.

Çizelge 4. Fındık zurufu içerikli vermikompostların dane verimi üzerine etkileri (kg da⁻¹)

Uygulamalar	Uygulama Dozları				F değeri
	%2	%4	%6	%8	
Kontrol	133,37±26,10Aa	133,37±26,10Ac	133,37±26,10Ad	133,37±26,10Ad	-
%25 FZ + %75 AG	185,30±33,82Ca	334,40±63,00Ba	495,53±70,56Aa	606,40±7,19Aa	40,227**
%50 FZ + %50 AG	159,00±7,37Ca	184,60±18,04Cbc	272,03±19,71Bc	356,27±24,77Ac	69,878**
%75 FZ + %25 AG	186,97±12,37Da	270,37±12,14Cab	382,87±25,93Bb	466,40±19,85Ab	132,00**
F değeri	3,791 ^{0D}	18,681*	42,787*	275,048*	-

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı temsil eder. *P<0,05, **P<0,01, ^{0D} Önemli Değil

Çizelge 5. Fındık zurufu içerikli vermikompostların biyolojik verim üzerine etkileri (kg da⁻¹)

Uygulamalar	Uygulama Dozları				F değeri
	%2	%4	%6	%8	
Kontrol	422,70±29,91Ac	422,70±29,91Ad	422,70±29,91Ac	422,70±29,91Ac	-
%25 FZ + %75 AG	995,13±98,21Ca	1679,77±94,7Ba	2110,2±168,72Aa	2457,87±175,45Aa	61,172**
%50 FZ + %50 AG	706,37±65,64Db	1121,10±98,21Cc	1360,03±88,44Bb	1692,60±66,80Ab	78,747**
%75 FZ + %25 AG	979,50±83,70Ca	1400,80±109,21Bb	1553,53±44,93Bb	1968,83±123,79Ab	55,524**
F değeri	40,102*	111,103*	150,891*	175,774*	-

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı temsil eder. *P<0,05, **P<0,01, ^{0D} Önemli Değil

Mevcut çalışmada en yüksek verimin %25 FZ + %75 AG karışımında elde edilmesi, ahır gübresi oranı yüksek ve daha hızlı olgunlaşan karışımın bitki besleme bakımından daha uygun bir ürün verdiğini göstermektedir. Bu sonuç, kimyasal kompozisyon ile verim performansının her zaman birebir örtüşmediğini, ancak P içeriği, daha uygun C/N oranı ve daha kısa olgunlaşma süresinin birlikte verim avantajı sağlayabildiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4 ve 5'te görüldüğü üzere, özellikle %25 FZ + %75 AG karışımı %6 ve %8 dozlarında belirgin üstünlük göstermiştir. Bu durum, fındık zurufunun tek başına değil, ahır gübresi ile uygun oranda dengelendiğinde verim artırıcı bir organik gübre kaynağına dönüşebildiğini göstermektedir. Yüksek fındık zurufu oranı ise verimi arttırsa da aynı düzeyde bir üstünlük sağlamamıştır. Bu durum, lignoselülozik yapının artmasıyla besinlerin serbestleşme hızının ve ürünün agronomik etkinliğinin değiştiği sonucunu ortaya çıkartmaktadır.

Vermikompost Uygulamalarının Mikrobiyal Biyokütle Karbon Üzerine Etkileri

Vermikompost uygulamalarının toprağın mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) üzerine etkileri Çizelge 6'da verilmiştir. Kontrol uygulamasında MBC 81,774 mg C 100 g⁻¹ olarak belirlenmiştir. Vermikompost uygulamaları MBC üzerinde genel olarak olumlu etki göstermiş; ancak verim parametrelerinde görülen düzenli artış eğilimi burada saptanmamıştır. En yüksek MBC değeri %75 FZ + %25 AG karışımının %6 dozunda 113,190 mg C 100 g⁻¹, ikinci en yüksek değer ise %50 FZ + %50 AG karışımının %6 dozunda 111,477 mg C 100 g⁻¹ olarak belirlenmiştir. %25 FZ + %75 AG karışımında en yüksek değer %8 dozunda 108,825 mg C 100 g⁻¹ olmuştur. Buna karşılık en düşük MBC değeri %50 FZ + %50 AG karışımının %4 dozunda saptanmıştır (p<0,05).

Çizelge 6. Fındık zurufu içerikli vermikompostların mikrobiyal biyomas karbon üzerine etkileri (mg C 100 g⁻¹)

Uygulamalar	Uygulama Dozları				F değeri
	%2	%4	%6	%8	
Kontrol	81,774±11,59Aa	81,774±11,59Aa	81,774±11,59Ab	81,774±11,59Aa	-
%25 FZ + %75 AG	87,159±2,68Aa	98,145±15,52Aa	87,582±1,54Ab	108,825±14,52Aa	2,747 ^{0D}
%50 FZ + %50 AG	71,118±5,85BCa	51,817±2,15Cb	111,477±13,35Aa	97,070±13,54ABa	21,200**
%75 FZ + %25 AG	79,383±6,39Ba	80,585±0,33Bb	113,190±0,56Aa	81,497±18,42Ba	8,453**
F değeri	2,468 ^{0D}	11,715*	9,936*	2,412 ^{0D}	-

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı temsil eder. *P<0,05, **P<0,01, ^{0D} Önemli Değil

Anderson ve Domsch (1989) tarafından yapılan çalışmada, mikrobiyal biyokütle karbonun organik uygulamalara hızlı yanıt veren aktif bir toprak göstergesi olduğu belirtilmiştir. Houot ve Chaussod (1995) tarafından yapılan bir çalışmada organik uygulamaların mikrobiyal biyokütlenin büyüklüğü ve aktivitesi üzerinde güçlü etkiler oluşturduğu bildirilmiştir. Lv ve ark. (2020), Iqbal ve ark. (2024) ve Türkay (2024) tarafından yapılan çalışmalarda vermikompostun MBC'yi artırdığı gösterilmiştir. Bu çalışmada da özellikle %6 ve %8 dozlarında kontrolün üzerine çıkan MBC değerleri bu genel eğilimle uyumludur. Bununla birlikte, en yüksek MBC değerlerinin verimde en yüksek sonuç veren karışımla çakışmaması dikkat çekicidir. Bu durum, MBC'nin yalnızca uygulanan organik materyal miktarına değil, organik materyalin ayrışma derecesine ve mikrobiyal topluluk için sunduğu karbon kaynağının niteliğine bağlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6'da görüldüğü gibi, MBC sonuçlarının bitkisel ürün verimi kadar doğrusal olmadığı görülmektedir. Verim bakımından en başarılı karışım %25 FZ + %75 AG iken, MBC bakımından en yüksek değerlerin %50 ve %75 FZ içeren karışımlarda belirlenmesi, biyolojik aktivitenin substrat kalitesine daha duyarlı olduğunu göstermektedir. Zhang ve ark. (2020) ile Przemieniecki ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmalarda da vermikompost uygulamalarına verilen biyolojik yanıtın uygulama dozu ve toprak koşullarına göre değişebildiği belirtilmiştir. Bu yönüyle mevcut bulgular, fındık zurufunun ahır gübresi ile birlikte vermikompostlaştırıldığında yalnızca bitki verimini değil, toprağın biyolojik kalitesini de iyileştirdiğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak, başlangıç materyalinin bileşimi vermikompostun kimyasal özelliklerini şekillendirmiş; bu durum ise buğday verimi ve toprağın mikrobiyal biyokütle karbon düzeyinde gözlenen değişimlerle ilişkili bulunmuştur. Kimyasal özellik bakımından %50 FZ + %50 AG karışımı öne çıkarken, verim bakımından %25 FZ + %75 AG karışımı, biyolojik aktivite bakımından ise bazı koşullarda daha yüksek fındık zurufu içeren karışımlar dikkat çekmiştir. Bu sonuç, fındık zurufunun uygun oranlarda ahır gübresi ile birlikte değerlendirilmesinin hem atık yönetimi hem de tarımsal üretim açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Sonuç

Bu çalışma, fındık zurufunun uygun oranlarda ahır gübresi ile birlikte vermikompostlaştırılması durumunda tarımsal açıdan değerli bir organik materyale dönüştürülebileceğini ortaya koymuştur. Bulgular, fındık zurufunun tek başına sahip olduğu yüksek organik madde içeriği ve geniş C/N oranının, ahır gübresi ile birlikte değerlendirildiğinde daha dengeli bir vermikompost oluşumuna katkı sağladığını göstermiştir. Vermikompost uygulamalarının buğday gelişimi, dane verimi ve bitki biyolojik verim üzerinde genel olarak olumlu etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Ayrıca uygulamaların toprak mikrobiyal aktivitesini desteklediği ve toprağın biyolojik kalitesine katkı sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte, farklı karışım oranları ve uygulama dozlarının vermikompostun etkileri üzerinde belirleyici olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak, fındık zurufunun çevresel açıdan sorun oluşturabilecek bir atık materyal olmaktan çıkarılarak sürdürülebilir tarımsal üretimde değerlendirilebilecek alternatif bir organik kaynak olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Özellikle uygun karışım oranları ile hazırlanan vermikompostların hem bitkisel üretimde hem de toprak kalitesinin iyileştirilmesinde önemli bir potansiyele sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, fındık zurufunun ahır gübresi ile birlikte vermikompostlaştırılarak organik gübre üretiminde değerlendirilmesi önerilebilir.

Kaynaklar

- Alagöz Z, Yılmaz E, Öktüren F, 2006. Organik materyal ilavesinin toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkileri. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2006, 19(2), 245-254.
- Anderson JPE, Domsch KH, 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil Biol. Biochem, 10:215-221.
- Anderson TH, Domsch KH, 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. Soil Biol. Biochem, 21:471-479.
- Ansari AA, Ismail SA, 2012. Role of earthworms in vermitechnology. Journal Agricultural Technology. 8(2):405-415.
- Arancon NQ, Edwards CA, Atiyeh R, Metzger JD, 2004. Effects of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. Bioresour Technol. 93:139-144.
- Asmaa G, Najjar S, Seoudi O, 2025. Nutrients status of vermicompost produced from the medicinal and aromatic plants residue. Egypt J. Appl. Sci. 40 (7-8): 1-11.
- Atiyeh RM, Arancon N, Edwards CA, Metzger JD, 2000. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. Bioresour Technol. 75:175-180.

- Biruntha M, Karmegam N, Archana J, Selvi BK, Paul JAJ, Balamuralikrishnan B, Chang SW, Ravindran B, 2020. Vermiconversion of biowastes with low-to-high C/N ratio into value added vermicompost. *Bioresour Technol.* 297:122398.
- Bremner JM, 1965. Organic forms of Nitrogen. *Methods of Soil Analysis. Part 2: Madison, Wis. ASA-SSSA.* 1197-1237.
- Bouyoucos GJ, 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agron J.* 43(9):434–438.
- Bruce RC, Rayment GE, 1982. *Analytical Methods and Interpretations Used by the Agricultural Chemistry Branch for Soil and Land Use Surveys.*
- Charman PEV, Roper MM, 2000. Soil Organic Matter. In *Soils: Their Properties and Management.* (Eds PEV Charman and BW Murphy) pp. 260-270. Oxford University Press, Melbourne.
- Domínguez J, 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. In: Edwards CA (Ed.), *Earthworm Ecology.* CRC Press, Boca Raton, USA.
- Edwards CA, Bohlen PJ, 1996. *Biology and Ecology of Earthworms.* 3rd ed. Chapman and Hall, London, UK.
- Erdal I, Ekinci K, 2020. Effects of composts and vermicomposts obtained from forced aerated and mechanically turned composting method on growth, mineral nutrition and nutrient uptake of wheat. *Journal Plant Nutr.* 43:1343–1355.
- FAO, 2024. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Türkiye Bülteni, Ocak 2024, Sayı 16. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü, Ankara.
- Filipović A, Mandić A, Hadžiabulić A, Johannis H, Stipanović A, Brekalo H, 2023. Characterization and evaluation of vermicomposting materials. *Ekológia (Bratislava),* 42:101–107.
- Geremu T, Hailu H, Diriba A, 2020. Evaluation of nutrient content of vermicompost made from different substrates at Mechara Agricultural Research Center on Station, West Hararghe Zone, Oromia, Ethiopia. *Ecol. Evol. Biol.* 5(4):125–130.
- Hadis M, Meteke G, Haile W, 2018. Response of bread wheat to integrated application of vermicompost and NPK fertilizers. *African Journal Agricultural Research,* 13:14–20.
- Hızalan E, Ünal H, 1966. *Topraklarda Önemli Kimyasal Analizler.* Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 278.
- Holford ICR, Culiklis BR, 1985. Effects of phosphate buffer capacity on yield response curvature and fertiliser requirements of wheat in relation to soil phosphate tests. *Australian Journal of Soil Research* 23,417-427.
- Houot S, Chaussod R, 1995. Impact of agricultural practices on the size and activity of the microbial biomass in a long-term field experiment. *Biol. Fertil. Soils.* 19:309–316.
- Iqbal A, Hussain Q, Mo Z, Hua T, Mustafa A, Tang X, 2024. Vermicompost supply enhances microbial community composition under stress conditions. *Microorganisms,* 12(6): 1252;
- Jones JB, 2001. *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analyses.* CRC Press, New York, USA, 363 p.
- Kacar B, 1972. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri. II. Bitki Analizleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 453, Ankara, Türkiye.
- Kacar B, 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri 3: Toprak Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No. 3, 705 s.
- Kızılkaya R, Ekberli İ, 2008. Determination of the effects of hazelnut husk and tea waste treatments on urease enzyme activity and its kinetics in soil. *Turkish Journal of Agriculture of Forestry.* 32(4):299–310.
- Kızılkaya R, Türkay F, Türkmen C, Durmuş M, 2012. Vermicompost effects on wheat yield and nutrient contents in soil and plant. *Arch. Agron. Soil. Sci.* 58(S1):S175–S179.
- Kızılkaya R, Hepşen Türkay FŞ, 2014. Vermicomposting of anaerobically digested sewage sludge with hazelnut husk and cow manure by earthworm *Eisenia fetida*. *Compost Sci. & Util.* 22(2): 68-82.
- Kızılkaya R, Yertayeva Z, Kaldybayev S, Murzabayev B, Zhapparova A, Nurseitov Z, 2021. Vermicomposting of anaerobically digested sewage sludge with hazelnut husk and cow manure by earthworm *Eisenia foetida*. *Eurasian Journal Soil Science.* 10(1):38–50.
- Lindsay WL, Norvell WA, 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:421–428.
- Luo G, Li L, Friman VP, Guo J, Guo S, Shen Q, Ling N, 2018. Organic amendments increase crop yields by improving microbe-mediated soil functioning of agroecosystems: A meta-analysis. *Soil Biol Biochem.* 124:105–115.
- Lv M, Li J, Zhang W, Zhou B, Dai J, Zhang C, 2020. Microbial activity was greater in soils added with herb residue vermicompost than chemical fertilizer. *Soil Ecol. Lett.* 2:209-219.

- Metson AJ, 1961. Methods of Chemical Analysis for Soil Survey Samples. Government Printers, Wellington, p. 64.
- Motamedi A, Jafarpour M, Oshaghi M, 2022. Improving the vermicompost quality by using horticultural and agronomic residues. *Journal Plant Nutr.* 45(5):727–738.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean LA, 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular No. 939. U.S. Government Printing Office, Washington, DC, USA.
- Patra R, Behera D, Mohapatra K, Sethi D, Mandal M, Patra A, Ravindran B, 2022. Juxtaposing the quality of compost and vermicompost produced from organic waste amended with cow dung. *Environ. Res.* 214:114119.
- Przemieniecki S, Zapałowska A, Skwiercz A, Damszel M, Telesiński A, Sierota Z, Gorczyca A, 2020. An evaluation of selected chemical, biochemical, and biological parameters of soil enriched with vermicompost. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28:8117–8127.
- Rahman MM, Maqbool N, Ay A, Gülser C, Kizilkaya R, 2024. Role of Hazelnut Husk Compost and Phosphate Solubilizing Bacteria in Improving Productivity and Quality Parameters of Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Their Effects on Some Soil Biological Properties. *Commun Soil Sci. Plant Anal.* 55(13): 2042–2058.
- Ramazanoğlu E, 2024. Effects of vermicompost application on plant growth and soil enzyme activity in wheat (*Triticum aestivum* L.) monitored by thermal imaging. *Cogent Food Agric*, 10:2373872.
- Richard L A, 1954. Diagnosis and improvement of saline and malkali soils. Washington, D.C. United States Department of Agriculture. Hand book 60.
- Romaniuk R, Giuffré L, Romero R, 2011. A soil quality index to evaluate the vermicompost amendments effects on soil properties. *Journal Environ. Prot.* 2:502–510.
- Rowell DL, 1996. Soil Science: Methods and Applications. Longman, Harlow, UK, 350 p.
- Türkay FŞH, 2024. Vermicompost effects on soil chemistry and biology: correlations with basil's (*Ocimum basilicum* L.) total phenolic content and phenological traits. *Black Sea Journal Agric.* 7(5): 437 – 450.
- Stettmer M, Mittermayer M, Maidl F, Schwarzensteiner J, Hülsbergen K, Bernhardt H, 2022. Three methods of site-specific yield mapping as a data source for the delineation of management zones in winter wheat. *Agriculture*, 12(8): 1128.
- Türkiye İstatistik Kurumu, 2024. Bitkisel Üretim İstatistikleri. Ankara, Türkiye. <https://data.tuik.gov.tr/>
- Ülgen N, Yurtsever N, 1995. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi (4. Baskı). T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 209, Teknik Yayınlar No: T.66, s.230, Ankara.
- Walkley A, Black IA, 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29–38.
- Zhang F, Wang R, Yang W, Liu J, Liao X, 2020. Influences of a vermicompost application on the phosphorus transformation and microbial activity in a paddy soil. *Soil Water Re.* 15:199–210.



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

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



5403 Sayılı Kanun ve 2026 Arazi Kullanım Planlaması Yönetmeliği kapsamında entegre arazi kullanım planlamasının yeniden değerlendirilmesi: Bilim-Politika-Hukuk etkileşimleri üzerinden bir analiz

Günay ERPUL*

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

Öz

Türkiye’de arazi kullanım planlaması, 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu ve 2026 Arazi Kullanım Planlaması Uygulama Yönetmeliği ile önemli bir kurumsal ve hukuki çerçeveye kavuşmuştur. Bununla birlikte, bu çerçevenin, Entegre Arazi Kullanım Planlaması (E-AKUP) kapsamında tanımlanan stratejik hedefleri ne ölçüde mekânsal karar süreçlerine dönüştürebildiği kritik bir tartışma konusu olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, Türkiye’de arazi kullanım planlama sistemini, E-AKUP hedefleri ve bu hedeflere ilişkin beklenen sonuçlar temelinde yeniden değerlendirerek, bilim-politika-hukuk etkileşimleri çerçevesinde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, planlama hedefleri ile mevcut uygulama ve karar mekanizmaları arasındaki uyumsuzluklar, geliştirilen bilim-politika-hukuk etkileşim matrisi aracılığıyla tanınal bir yaklaşımla incelenmiştir. Bulgular, Türkiye’de arazi yönetiminde temel sorunun veri eksikliğinden ziyade, stratejik hedeflerin tematik planlara, ekosistem hizmetleri temelli değerlendirmelere ve bağlayıcı karar süreçlerine yeterince dönüştürülemediği olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede, çalışma arazi kullanım planlamasının hedef odaklı bir yaklaşımla yeniden yapılandırılmasını önermekte ve bu amaçla hedef odaklı tematik entegre arazi yönetişimi çerçevesini ortaya koymaktadır. Önerilen yaklaşım, E-AKUP kapsamında tanımlanan stratejik hedeflerin tematik planlara dönüştürülmesini, bu planların mekânsal karar süreçleriyle bütünleştirilmesini ve ekosistem hizmetleri ile toprak sağlığı göstergelerini içeren gösterge ve eşik değerlerine dayalı değerlendirme mekanizmalarının oluşturulmasını içermektedir. Bu mekanizmalar, gösterge temelli izleme, denetim, yönlendirme ve teşvik süreçleri ile desteklenerek, bilimsel bilginin karar alma süreçlerine sistematik biçimde entegrasyonunu mümkün kılmaktadır. Söz konusu değerlendirme, arazi kullanım planlamasını statik bir düzenleme aracı olmaktan çıkararak, tematik önceliklere ve ekosistem hizmetlerine dayalı, veri temelli ve adaptif bir yönetim sistemine dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Sonuç olarak, Türkiye’de arazi kullanım planlamasının etkinliği, mevcut mevzuatın genişletilmesinden ziyade, E-AKUP hedeflerinin tematik ve ekosistem hizmetleri temelli planlama yaklaşımı ile operasyonelleştirilmesine bağlıdır. Bu çalışma, arazi kullanım planlamasında stratejik hedefler ile uygulama arasındaki boşluğu ortaya koyarak, bu boşluğun kapatılmasına yönelik kavramsal ve uygulanabilir bir çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Entegre arazi kullanım planlaması, 5403 sayılı kanun, arazi kullanım planlaması, bilim-politika-hukuk etkileşimi, toprak sağlığı göstergeleri, ekosistem hizmetleri

Reassessing integrated land use planning under Law No. 5403 and the 2026 Land Use Planning Regulation in Türkiye: An analysis through Science-Policy-Law interactions

Abstract

Land use planning in Türkiye has gained a significant institutional and legal framework through Law No. 5403 on Soil Protection and Land Use and the recently enacted 2026 Land Use Planning Regulation. However, the extent to which this framework is capable of translating the strategic objectives defined within Integrated Land Use Planning (ILUP) into spatial decision-making processes remains a critical issue. This study aims to reassess the land use planning system in Türkiye based on ILUP objectives and their expected outcomes, through the lens of science-policy-law interactions. In this context, mismatches between planning objectives and existing implementation and decision-making mechanisms are examined using a diagnostic approach based on a science-policy-law interaction matrix. The findings indicate that the fundamental challenge in land management in Türkiye is not the lack of data, but rather the insufficient transformation of strategic objectives into thematic plans, ecosystem services-based

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (555) 387 2005
E-posta : erpul@ankara.edu.tr

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 29 Nisan 2026 e-ISSN : 2146-8141
Kabul Tarihi : 20 Mayıs 2026 DOI : 10.33409/tbbbd.1934554

assessments, and binding decision-making processes. Accordingly, the study proposes a restructuring of land use planning through a goal-oriented approach and introduces a framework for goal-oriented, thematic, integrated land governance. The proposed framework involves translating ILUP strategic objectives into thematic plans, integrating these plans with spatial decision-making processes, and establishing evaluation mechanisms based on indicators and threshold values that incorporate ecosystem services and soil health indicators. These mechanisms are further supported by indicator-based monitoring, enforcement, guidance, and incentive processes, enabling the systematic integration of scientific knowledge into decision-making. This approach aims to transform land use planning from a static regulatory instrument into a data-driven, adaptive governance system based on thematic priorities and ecosystem services. Ultimately, the effectiveness of land use planning in Türkiye depends not on expanding existing legislation, but on operationalizing ILUP objectives through thematic and ecosystem services-based planning approaches. By revealing the gap between strategic objectives and implementation, this study provides both a conceptual and operational framework to bridge this gap.

Keywords: Integrated land use planning, law no. 5403, land use planning, science-policy-law interaction, soil health indicators, ecosystem services

© 2026 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Arazi Kullanım Planlaması (AKUP), arazi kaynaklarının fiziksel, ekolojik, ekonomik ve sosyal özellikleri dikkate alınarak farklı kullanım biçimleri arasında en uygun dağılımın sağlanmasını amaçlayan planlama süreci olarak tanımlanmaktadır. Geleneksel arazi kullanım planlaması yaklaşımları çoğunlukla arazi uygunluğu, sınıflandırma ve sektörel ihtiyaçlara dayalı karar üretimine odaklanmakta; tarım, orman, yerleşim ve diğer kullanım türleri arasında mekânsal düzenleme sağlamayı hedeflemektedir (FAO, 1993). Bununla birlikte, günümüzde iklim değişikliği, arazi tahribatı, biyolojik çeşitlilik kaybı ve gıda güvenliği gibi çok boyutlu çevresel sorunlar, arazi kullanım planlamasının yalnızca teknik bir tahsis aracı olarak ele alınmasının yetersiz kaldığını göstermektedir.

Bu bağlamda Entegre Arazi Kullanım Planlaması (E-AKUP) (Verburg ve ark., 2023), arazi kullanım kararlarını yalnızca teknik bir tahsis süreci olarak değil, aynı zamanda stratejik politika hedeflerini mekânsal sistemler üzerinden hayata geçiren bütünsel bir yönetim yaklaşımı olarak ele almaktadır. E-AKUP yaklaşımı, farklı sektörler, aktörler ve ekosistem bileşenleri arasındaki ilişkileri birlikte değerlendirmeyi amaçlamakta ve özellikle arazi tahribatının dengelenmesi (ATD) çerçevesinde geliştirilen bilim-politika arayüzü çalışmalarında açık biçimde vurgulanmaktadır (Orr ve ark., 2017; Cowie ve ark., 2018).

E-AKUP yaklaşımının temel çıkış noktası, arazi sistemlerinin yalnızca fiziksel özellikleri üzerinden değil, aynı zamanda üretkenlik, karbon döngüsü, ekosistem hizmetleri ve sosyo-ekonomik işlevler üzerinden değerlendirilmesidir. Nitekim IPBES değerlendirmeleri, arazi sistemlerinin çok işlevli yapısının ancak ekosistem hizmetleri temelli yaklaşımlar ile anlaşılabilirliğini vurgulamakta ve bu durumun planlama süreçlerine doğrudan yansıtılması gerektiğini savunmaktadır (IPBES, 2018a,b; 2019).

Türkiye bağlamında, arazi kullanım planlamasının bilimsel temeli büyük ölçüde toprak özellikleri sonrasında ise erozyon süreçleri ve üretkenlik dinamikleri üzerine kuruludur. Bu çerçevede geliştirilen ulusal çalışmalar, özellikle su erozyonu, toprak kaybı ve arazi bozulumu süreçlerinin mekânsal olarak analiz edilmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Erpul ve ark., 2018; 2020; Türkeş ve ark., 2020). Bununla birlikte, bu bilimsel bilgi birikiminin planlama süreçlerine entegrasyonu, halen sınırlı bir düzeyde kalmaktadır.

E-AKUP yaklaşımı kapsamında stratejik hedeflerin tanımlanması, planlama sürecinin yönünü belirleyen temel adımdır. FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) tarafından geliştirilen arazi kullanım planlama rehberleri ve sürdürülebilir arazi yönetimi yaklaşımları, bu hedeflerin gıda güvenliği, doğal kaynakların korunması, iklim değişikliğine uyum ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliği gibi çok boyutlu politika alanlarını kapsamaları gerektiğini ortaya koymaktadır (FAO, 1993; Baritz ve ark., 2018; Ziadat ve ark., 2018; Corsi, 2018). Türkiye’de bu hedefler, sürdürülebilir toprak ve arazi yönetimi (SAY/STY), tarımsal üretimin korunması ve doğal kaynak yönetimi gibi alanlarda somut karşılık bulmaktadır (FAO, 2019; Namlı ve ark., 2025; Erpul, 2025).

Ancak stratejik hedeflerin tanımlanması tek başına yeterli değildir. Bu hedeflerin planlama sürecinde etkili olabilmesi için tematik arazi kullanım planlarına dönüştürülmesi gerekmektedir. Tematik planlama yaklaşımı, arazi sistemlerinin farklı işlevlerini ayrı ancak bütünsel planlama katmanları olarak ele almayı mümkün kılmakta ve özellikle erozyon yönetimi, toprak organik karbonu (TOK), arazi üretkenlik dinamiği (AÜD) ve ekosistem hizmetleri gibi göstergelerin planlama sürecine entegrasyonunu sağlamaktadır (UNCCD, 2022; Erpul ve ark., 2023). Arazi sistemlerinin çok boyutlu ve etkileşimli yapısı, planlama süreçlerinin tekil göstergelere dayalı yaklaşımlarla sınırlandırılmayacağını göstermekte olup, farklı sosyal, ekonomik ve çevresel dinamiklerin birlikte ele alınmasını gerektirmektedir (Meyfroidt ve ark., 2018).

Bu noktada Arazi Tahribatının Dengelenmesi Karar Destek Sistemi (ATD-KDS), tematik planlama ile mekânsal karar üretimi arasında kritik bir köprü işlevi görmektedir. ATD-KDS, arazi üretkenliği, karbon stokları ve erozyon gibi göstergeleri bütüncül bir biçimde değerlendirerek planlama süreçlerinde veri temelli karar alma mekanizmalarının geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Erpul ve ark., 2023; FAO & ÇEM, 2019–2023). Bununla birlikte, sistemin etkinliği büyük ölçüde veri akışının sürekliliği, farklı kurumsal veri kaynaklarının güncelliği ve birlikte işlerliği ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle ülkesel ölçekte standartlaştırılmış, güncel ve dinamik veri akışının sürdürülebilir biçimde sağlanamaması, karar destek sistemlerinin planlama süreçlerine tam kapasiteyle entegrasyonunu sınırlandıran önemli bir sorun alanı oluşturmaktadır. Bu durum, yalnızca teknik değil, aynı zamanda kurumsal koordinasyon ve veri yönetişimi açısından da önemli gereksinimlere işaret etmektedir. Buna rağmen ATD-KDS yaklaşımı, entegre arazi kullanım planlamasının arazi tahribatının dengelenmesi hedefleri ile ilişkilendirilmesini mümkün kılan önemli bir kavramsal ve uygulamalı altyapı sunmaktadır (Cengiz & Erpul, 2025).

Bununla birlikte, planlama sisteminin etkinliği yalnızca tematik planların varlığına değil, bu planların nasıl uygulandığına bağlıdır. Bu nedenle E-AKUP yaklaşımı, gösterge ve eşik temelli değerlendirme mekanizmalarının geliştirilmesini ve bu mekanizmaların izleme, yönlendirme ve teşvik süreçleri ile desteklenmesini öngörmektedir. Bu tür bir yaklaşım, arazi kullanım planlamasının statik bir süreç olmaktan çıkarılarak adaptif ve öğrenen bir yönetim sistemi haline gelmesini sağlamaktadır (Sanz ve ark., 2017; UNCCD & FAO, 2020).

Sonuç olarak, E-AKUP yaklaşımı, stratejik hedeflerden tematik planlara, bu planlardan mekânsal kararlara ve bu kararların adaptif yönetim mekanizmalarına bağlandığı bütüncül bir planlama mantığı sunmaktadır. Bu kavramsal çerçeve, mevcut mevzuatın bu hedef odaklı ve tematik yaklaşımı ne ölçüde desteklediğinin sorgulanmasını gerekli kılmaktadır.

Materyal ve Yöntem

Mevzuat Analizi: E-AKUP Bağlamında Stratejiden Operasyona Geçişin Sınırlılıkları

Türkiye’de arazi kullanım planlaması, 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu ve bu Kanuna dayalı olarak geliştirilen ikincil mevzuat çerçevesinde şekillenmektedir. 4 Nisan 2026 tarihli Arazi Kullanım Planlaması Uygulama Yönetmeliği ile birlikte, planlama sürecinin veri temelli bir yapıya kavuşturulması yönünde önemli bir kurumsal adım atılmıştır. Yönetmelik, toprak etüt, sınıflama ve haritalama çalışmalarını planlama sürecinin temel bileşenleri olarak tanımlamakta ve farklı ölçeklerde plan üretimini sistematik bir çerçeveye oturtmaktadır. Benzer şekilde, tarım arazilerinin korunmasına ilişkin düzenlemeler, karar süreçlerini belirli kriterlere bağlayarak kurumsal denetim ve kontrol mekanizmalarını güçlendirmektedir.

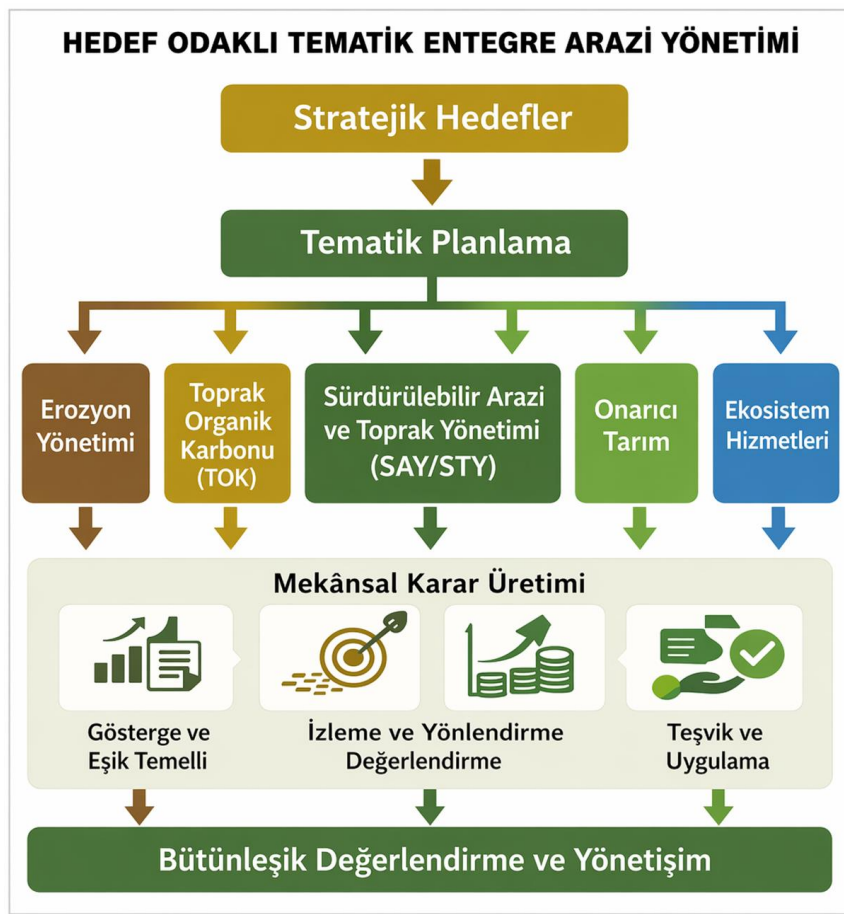
Bu yönüyle mevcut mevzuat, arazi kullanım planlamasının bilimsel veri üretimi ve teknik analiz kapasitesi açısından güçlü bir altyapı sunduğunu göstermektedir. Nitekim Türkiye’de geliştirilen ulusal veri tabanları ve çalışmalar, özellikle erozyon süreçleri, toprak kaybı ve arazi bozulumu dinamiklerinin mekânsal olarak değerlendirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Erpul ve ark., 2018; 2020; Türkeş ve ark., 2020). Ayrıca ATD-KDS gibi karar destek sistemleri, arazi sistemlerinin çok göstergeli analizine imkân tanıyarak planlama süreçlerinde veri temelli karar alma potansiyelini artırmaktadır (Erpul ve ark., 2023; FAO & ÇEM, 2019–2023).

Bununla birlikte, bu teknik kapasitenin stratejik planlama hedeflerini mekânsal karar süreçlerine dönüştürme noktasında ne ölçüde etkin olduğu kritik bir inceleme alanı oluşturmaktadır. Uluslararası literatürde, arazi kullanım planlamasının yalnızca veri üretimi ile değil, bu verilerin politika ve karar mekanizmalarına entegrasyonu ile anlam kazandığı vurgulanmaktadır (Orr ve ark. 2017; Verburg ve ark., 2023). Bu bağlamda Türkiye’de arazi kullanım planlamasına yönelik önemli veri üretim çalışmaları ve kurumsal altyapılar geliştirilmiş olmakla birlikte, özellikle ülkesel ölçekte morfometrik esaslara dayalı sayısal ve niceliksel toprak bilgi sistemlerinin planlama süreçlerine tam olarak entegre edilebildiğini söylemek güçtür. Mevcut yapı, belirli göstergeler ve tematik veri katmanları açısından önemli bir potansiyel sunmasına rağmen, bu verilerin mekânsal karar üretim süreçlerine sistematik ve bütüncül biçimde dönüştürülmesinde hâlen çeşitli sınırlılıklar içermektedir.

Mevzuatın planlama yaklaşımı incelendiğinde, sürecin büyük ölçüde arazi sınıflandırması ve uygunluk değerlendirmesi üzerine kurgulandığı görülmektedir. Toprak özellikleri, arazi kullanım kabiliyeti ve mevcut kullanım biçimleri üzerinden yapılan bu değerlendirmeler, planlama sürecine önemli bir bilimsel temel sağlamasına karşın, karar üretiminin çoğunlukla “uygunluk belirleme” düzeyinde kaldığını göstermektedir.

Bu durum, planlamanın stratejik hedeflere dayalı olarak farklılaşmasını ve tematik öncelikler doğrultusunda yönlendirilmesini sınırlandıran bir yapı ortaya koymaktadır. Oysa çağdaş arazi yönetimi yaklaşımları, planlama süreçlerinin çok işlevli arazi sistemlerini dikkate alacak biçimde yeniden kurgulanması gerektiğini ortaya koymaktadır (IPBES, 2018a,b; Cowie ve ark., 2018). Nitekim Arazi Tahribatının Dengelenmesi (ATD) yaklaşımı kapsamında geliştirilen uygulamalar, arazi üretkenliği, toprak organik karbonu ve ekosistem hizmetleri gibi göstergelerin birlikte değerlendirilmesine dayalı bütünsel planlama yaklaşımlarının önemini göstermektedir (Orr ve ark., 2017). Benzer şekilde Avrupa Birliği'nde geliştirilen entegre peyzaj ve arazi sistemi yaklaşımları, farklı arazi işlevlerinin ve sektörel önceliklerin birlikte ele alındığı çok katmanlı planlama modellerinin giderek daha fazla önem kazandığını ortaya koymaktadır (Verburg ve ark., 2023).

Bu noktada en belirgin yapısal eksikliklerden biri, tematik arazi kullanım planlamasına ilişkin açık ve sistematik bir çerçevenin mevzuat içerisinde yeterince tanımlanmamış olmasıdır. Mevcut düzenlemelerde erozyon, verimlilik veya tarımsal üretim gibi unsurlar dolaylı biçimde yer almakla birlikte, bu unsurların ayrı planlama katmanları olarak ele alınması ve mekânsal karar süreçlerine entegre edilmesi yönünde bütüncül bir yaklaşım bulunmamaktadır. Oysa sürdürülebilir arazi yönetimi ve arazi tahribatının dengelenmesi yaklaşımları, tematik planlamanın bu tür sistemlerin temel bileşenlerinden biri olduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır (Orr ve ark., 2017; UNCCD, 2022).



Şekil 1. Hedef odaklı tematik entegre arazi yönetimi çerçevesi ve tematik arazi kullanım planlamasında çeşitlilik ve dönüşüm olanakları.

Bu şekil, Entegre Arazi Kullanım Planlaması (E-AKUP) kapsamında stratejik hedeflerden tematik planlamaya, mekânsal karar üretiminden gösterge ve eşik temelli değerlendirme ile izleme, yönlendirme ve teşvik süreçlerine uzanan bütünsel yapıyı göstermektedir. Çerçeve, arazi kullanım planlamasının statik bir sınıflandırma yaklaşımından çıkarılarak, hedef odaklı ve tematik bir yapıda yeniden kurgulanması gerektiğini vurgulamaktadır. Erozyon yönetimi, toprak organik karbonu (TOK), sürdürülebilir arazi ve toprak yönetimi (SAY/STY), onarıcı tarım ve ekosistem hizmetleri gibi temalar, planlama sürecinde değerlendirilebilecek esnek ve genişletilebilir bileşenleri temsil etmektedir. Bu yaklaşım, tematik planların mekânsal kararlarla bütünlleştirilmesi yoluyla arazi yönetiminde adaptif ve öğrenen bir yönetim yapısının geliştirilmesini amaçlamaktadır.

Bu bağlamda, toprak organik karbonu (TOK), arazi üretkenlik dinamiği (AÜD), ekosistem hizmetleri ve onarıcı tarım gibi tematik alanlar, arazi kullanım planlamasının yönünü belirleyebilecek kritik bileşenler olarak öne çıkmaktadır. Türkiye’de bu alanlara ilişkin önemli bilimsel ve kurumsal bilgi birikimi bulunmakta; özellikle sürdürülebilir toprak yönetimi, ulusal toprak bilgi sistemleri ve arazi tahribatının dengelenmesine yönelik politika ve eylem planlarında bu temalar farklı düzeylerde ele alınmaktadır (Erpul ve ark., 2019; FAO Türkiye, 2019; Erpul, 2025; Erpul & Akgöz, 2025; Namlı ve ark., 2025). Küresel Toprak Paydaşlığı kapsamında geliştirilen Türkiye Toprak Bilgi Sistemi çalışmaları ile sürdürülebilir toprak yönetimine yönelik ulusal eylem planları, tematik göstergelerin ve veri altyapılarının geliştirilmesine yönelik önemli kurumsal adımlar ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, mevcut mevzuat bu tematik önceliklerin planlama sürecine nasıl entegre edileceğine ilişkin açık ve operasyonel bir yönlendirme sunmamaktadır. Bu durum, planlama sisteminin tematik çeşitlilikten uzaklaşmasına ve dönüşümsel yaklaşımların sınırlı kalmasına neden olmaktadır.

Benzer bir sınırlılık, gösterge temelli değerlendirme mekanizmalarında da gözlenmektedir. Mevzuat, veri üretimi ve analiz süreçlerini detaylı biçimde tanımlamakla birlikte, bu verilerin karar süreçlerini yönlendiren operasyonel göstergelere dönüştürülmesi ve belirli eşik değerler aracılığıyla planlama sürecine entegre edilmesi konusunda sınırlı bir çerçeve sunmaktadır. Oysa arazi tahribatının dengelenmesi yaklaşımı, göstergelere dayalı izleme ve eşik temelli müdahale mekanizmalarının planlama sistemlerinin merkezinde yer alması gerektiğini vurgulamaktadır (UNCCD & FAO, 2020; Cowie ve ark., 2018).

İzleme ve denetim mekanizmaları açısından değerlendirildiğinde ise, mevcut sistemin ağırlıklı olarak mevzuata uygunluk denetimi ve ihlal tespiti üzerine kurulu olduğu görülmektedir. Bu yapı, planlama sürecinin önleyici ve yönlendirici (proaktif) bir araç olmasından ziyade, daha çok ortaya çıkan sorunlara sonradan müdahale etmeye dayalı tepkisel (reaktif) bir kontrol mekanizması olarak işlemlerine neden olmaktadır. Benzer şekilde tarımsal teşvik mekanizmalarının planlama sistemi ile bütünleşik bir biçimde ele alınmaması, sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılmasını sınırlandırmaktadır. Oysa uluslararası çalışmalar, sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarının başarısının büyük ölçüde teşvik, yönlendirme ve katılımcı mekanizmaların varlığına bağlı olduğunu göstermektedir (Sanz ve ark., 2017).

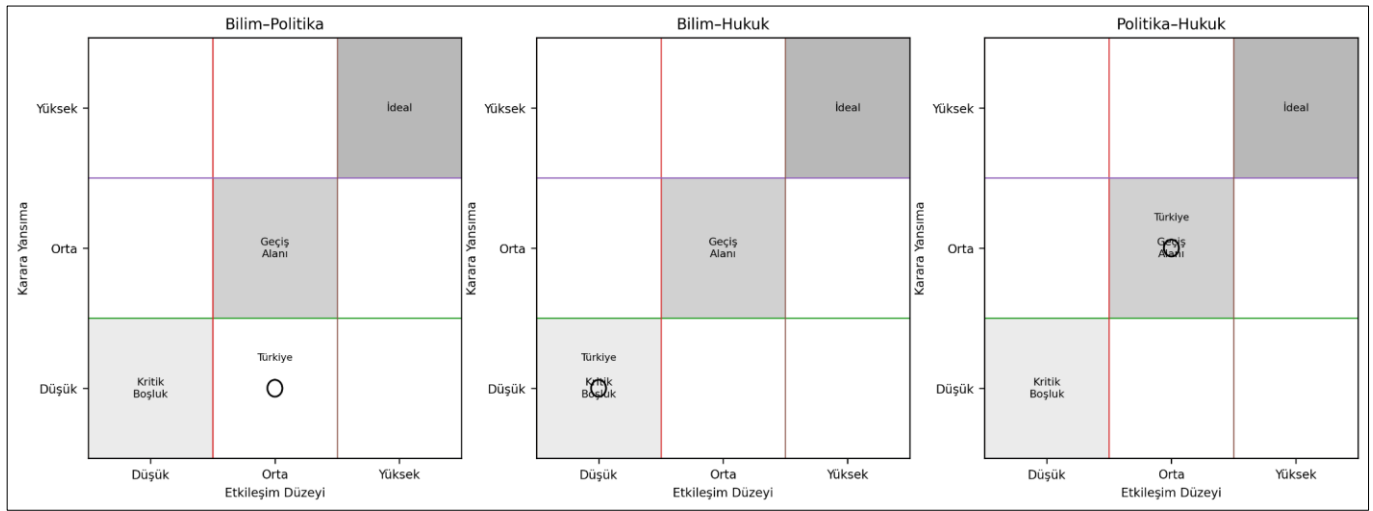
Bu değerlendirmeler birlikte ele alındığında, Türkiye’de arazi kullanım planlamasına ilişkin mevcut mevzuatın önemli bir teknik ve kurumsal çerçeve sunduğu, ancak stratejik hedeflerin tematik planlara, bu planların mekânsal kararlara ve bu kararların adaptif yönetim mekanizmalarına dönüştürülmesinde önemli boşluklar içerdiği görülmektedir. Bununla birlikte, planlama süreçlerinde kullanılan verilerin parçalı yapısı, veri bütünlüğü ve birlikte işlerlik sorunları ile ülkesel ölçekte güncel ve standartlaştırılmış veri akışının sınırlı olması, sistemin etkinliğini kısıtlayan temel sorun alanları arasında yer almaktadır. Dolayısıyla mevcut sorun, yalnızca veri eksikliği ya da yalnızca yönetsel entegrasyon yetersizliği ile açıklanamayacak; veri altyapısı, kurumsal koordinasyon ve bilimsel bilginin hedef odaklı ve tematik planlama süreçlerine dönüştürülmesi arasındaki çok boyutlu ilişkiler çerçevesinde değerlendirilmesi gereken bir yapı ortaya koymaktadır. Bu durum, çalışmanın bir sonraki bölümünde sunulan bilim-politika-hukuk etkileşim matrisi çerçevesinde daha sistematik bir biçimde analiz edilmekte ve söz konusu boşlukların yapısal boyutları ortaya konulmaktadır.

Bilim-Politika-Hukuk Etkileşim Matrisi: Şekil Temelli Tanısal bir Okuma

Bu bölümde, Türkiye’de arazi kullanım planlama sisteminin yapısal özellikleri, Şekil 2’te sunulan 3×3 tanısal matris çerçevesi üzerinden bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmektedir. Söz konusu çerçeve, bilim, politika ve hukuk bileşenleri arasındaki etkileşim düzeyini ve bu etkileşimin karar süreçlerine yansıma kapasitesini birlikte ele alarak, sistemin hangi alanlarda işlevsel olduğu, hangi alanlarda dönüşüm potansiyeli taşıdığı ve hangi alanlarda yapısal boşluklar içerdiğini görünür kılmaktadır. Bu tür etkileşim temelli yaklaşımlar, özellikle bilim-politika arayüzü çalışmalarında giderek daha fazla önem kazanmakta ve karmaşık çevresel yönetim sistemlerinin analizinde etkili araçlar olarak kullanılmaktadır (Cash ve ark., 2003; Turnhout ve ark., 2007; Orr ve ark., 2017). Şekilde yer alan gölgelendirilmiş hücreler kritik boşluk, geçiş alanı ve ideal yönetim durumlarını temsil ederken, işaretlenen konumlar Türkiye’nin mevcut sistem içerisindeki yerini analitik olarak ortaya koymaktadır.

Bu çerçevede ilk olarak bilim-politika etkileşimine bakıldığında, Türkiye’nin bu boyutta orta düzey etkileşim ile düşük karar yansıması arasında bir konumda yer aldığı görülmektedir. Bu durum, bilimsel bilginin sistem içerisinde üretildiğini ve belirli ölçüde dolaşıma girdiğini, ancak politika üretim süreçlerine yön verecek düzeyde bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Başka bir ifadeyle, sistemde yalnızca bilgi eksikliği değil, aynı zamanda üretilen bilginin politika hedeflerine dönüştürülmesi ve karar süreçlerine entegre edilmesi aşamasında yapısal kopukluklar ortaya çıkmaktadır. Özellikle farklı kurumlar arasında veri ve bilgi

paylaşımının sınırlı kalması, bilimsel göstergelerin planlama kararlarında bağlayıcı ölçütler olarak yeterince kullanılamaması ve izleme sonuçlarının politika geri besleme mekanizmalarına etkin biçimde yansıtılamaması bu sorunlara örnek olarak gösterilebilir. Bu tür kopukluklar, bilimsel bilginin karar süreçlerine entegrasyonunda karşılaşılan temel sorunlar arasında yer almakta ve literatürde sıklıkla vurgulanmaktadır (Sarewitz & Pielke, 2007; Cowie ve ark., 2018). Bu konum, bilim-politika ilişkisinin tamamen zayıf bir yapı sergilemediğini, ancak henüz dönüşümsel bir kapasiteye ulaşmadığını ve kritik boşluk ile geçiş alanı arasında salınan bir yapı arz ettiğini düşündürmektedir. Dolayısıyla bu etkileşim alanı, uygun mekanizmalarla güçlendirildiğinde sistemin genel performansını yukarı taşıyabilecek temel bir kaldıraç işlevi görebilir. Bilim-hukuk etkileşimi ise çok daha belirgin bir zayıflık alanına işaret etmektedir. Şekil 2’de bu ilişkinin doğrudan kritik boşluk bölgesinde konumlandığı görülmektedir. Bu konum, bilimsel bilginin hukuki karar mekanizmalarına bağlanamadığını ve normatif bir güce dönüştürülemediğini ortaya koymaktadır. Mevzuatın bilimsel veri üretimini zorunlu kılması, ilk bakışta güçlü bir entegrasyon izlenimi verse de bu verilerin hukuki sonuçlar doğuran eşik değerler veya bağlayıcı kriterler haline getirilmemiş olması, bilim-hukuk etkileşimini işlevsiz kılmaktadır. Bu durum, bilimsel bilginin sistem içerisinde üretildiğini ancak “gösterge” düzeyinde kalıp “kural” düzeyine taşınamaması olarak ifade edilebilir ve çevresel yönetim literatüründe önemli bir yapısal sorun olarak tanımlanmaktadır (Turnhout ve ark., 2007; Verburg ve ark., 2023). Bu nedenle bilimsel bilgi, sistem içerisinde “tanımlayıcı” bir rol üstlenmekte, ancak “belirleyici” bir araç haline gelememektedir. Bu durum, arazi kullanım planlamasında bilimsel temelin hukuki yapı ile bütünleşemediğini ve sistemin en kritik yapısal boşluğunun bu alanda ortaya çıktığını açık biçimde göstermektedir.



Şekil 2. Bilim-Politika-Hukuk etkileşimlerine dayalı 3×3 tanısıl matris ve Türkiye’nin mevcut konumlandırılması. Arazi kullanım planlama sisteminde bilim, politika ve hukuk arasındaki etkileşimleri analiz etmek amacıyla geliştirilen 3×3 tanısıl matris yaklaşımını göstermektedir. Her bir matris, ilgili iki bileşen arasındaki etkileşim düzeyi ile bu etkileşimin karar süreçlerine yansıma kapasitesini birlikte değerlendirmektedir. Gölgelendirilmiş hücreler, sırasıyla kritik boşluk, geçiş alanı ve ideal yönetim koşullarını temsil etmektedir. İşaretlenen noktalar, Türkiye’nin mevcut planlama sisteminin ilgili etkileşim boyutlarındaki yaklaşık konumunu göstermektedir.

Politika-hukuk etkileşimi incelendiğinde ise daha dengeli, ancak sınırlı bir yapı ile karşılaşılmaktadır. Türkiye’nin bu boyutta geçiş alanı içerisinde konumlandığı görülmekte, yani politika hedeflerinin belirli ölçüde hukuki mekanizmalara dönüştürülebildiği anlaşılmaktadır. Bu dönüşümün niteliği incelendiğinde, ilişkinin büyük ölçüde denetim, izin ve yaptırım süreçleri üzerinden işlediği görülmektedir. Bu durum, politika-hukuk etkileşiminin yönlendirici ve dönüştürücü bir yapıdan ziyade, kontrol ve uygunluk denetimi odaklı bir karakter taşıdığını göstermektedir. Benzer bulgular, çevresel politika uygulamalarında hukuki mekanizmaların çoğu zaman reaktif bir karakter taşıdığını ortaya koyan çalışmalarda da vurgulanmaktadır (Sanz ve ark., 2017). Dolayısıyla mevcut yapı, sistemin tamamen zayıf olmadığını, ancak ideal yönetim düzeyine ulaşabilmesi için teşvik edici ve yönlendirici araçlarla desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu üç etkileşim boyutu birlikte değerlendirildiğinde, Türkiye’de arazi kullanım planlama sisteminin asimetrik bir yapı sergilediği açıkça ortaya çıkmaktadır. Bilim-hukuk etkileşimi kritik boşlukta yer alırken, bilim-politika etkileşimi dönüşüm potansiyeli taşıyan bir ara bölgede konumlanmakta ve politika-hukuk etkileşimi ise görece daha gelişmiş, ancak sınırlı bir etki kapasitesine sahip bir geçiş alanında bulunmaktadır. Bu dağılım, sistemin bileşenlerinin tekil olarak var olduğunu, ancak bu bileşenler arasında güçlü ve dengeli bir etkileşim kurulamadığını göstermektedir. Bu tür asimetrik etkileşim yapıları, karmaşık çevresel yönetim

sistemlerinde sıkça gözlemlenmekte ve bütünlük planlama yaklaşımlarının gerekliliğini ortaya koymaktadır (Cowie ve ark., 2018; Orr ve ark., 2017).

Bu noktada özellikle geçiş alanlarının önemi daha belirgin hale gelmektedir. Matris çerçevesi, orta düzey etkileşim bölgelerinin durağan alanlar olmadığını, aksine dönüşüm potansiyelinin yoğunlaştığı dinamik bölgeler olduğunu ortaya koymaktadır. Politika–hukuk etkileşiminin bu alanda yer alması, mevcut sistemin tamamen yeniden inşa edilmesi gerekmeden, uygun araçlarla güçlendirilebileceğini göstermektedir. Benzer şekilde bilim–politika etkileşiminin bu alana yakın bir konumda bulunması, tematik planlama ve gösterge temelli yönetim mekanizmaları ile desteklendiğinde sistemin genel işleyişinin daha üst bir düzeye taşınabileceğini düşündürmektedir.

Bu bütüncül değerlendirme, Türkiye’de arazi kullanım planlamasının temel sorununun veri eksikliği ya da mevzuat yetersizliği olmadığını, esas sorunun bilim, politika ve hukuk arasındaki etkileşimlerin zayıf ve parçalı yapısından kaynaklandığını açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu nedenle çözüm arayışı, yeni veri üretimi veya mevzuatın genişletilmesinden ziyade, mevcut bileşenler arasındaki ilişkilerin güçlendirilmesine ve bu ilişkilerin hedef odaklı, tematik ve adaptif bir yönetim yapısı içerisinde yeniden kurgulanmasına odaklanmalıdır.

Bu çerçevede, bir sonraki bölümde sunulan yaklaşım, söz konusu etkileşim boşluklarını gidermeyi ve sistemin geçiş alanlarından ideal yönetim düzeyine doğru evrilmesini sağlamayı amaçlayan bir çözüm çerçevesi olarak ele alınmaktadır.

Tartışma ve Öneriler

Hedef Odaklı Tematik ve Adaptif Arazi Yönetimine Geçiş

Önceki bölümlerde sunulan kavramsal çerçeve, mevzuat analizi ve matris temelli tanısal değerlendirme birlikte ele alındığında, Türkiye’de arazi kullanım planlama sisteminin temel sorununun veri eksikliğinden ziyade, mevcut bilimsel bilginin politika süreçlerine entegrasyonu, sürdürülebilir arazi yönetimine geçişin temel belirleyicilerinden biridir. Nitekim arazi tahribatından sürdürülebilir arazi yönetimine yönelim, yalnızca teknik müdahalelerle değil, ekosistem hizmetleri ile geçim kaynakları arasındaki ilişkilerin dikkate alındığı bütüncül yaklaşımlar ile mümkün olmaktadır (Reed ve ark., 2015). Bu bulgu, özellikle arazi tahribatının dengelenmesi ve sürdürülebilir arazi yönetimi yaklaşımlarında vurgulanan bilim–politika–hukuk entegrasyonunun önemini doğrulamakta ve planlama sistemlerinin yalnızca teknik değil, aynı zamanda yönetim temelli bir dönüşüm gerektirdiğini ortaya koymaktadır (Orr ve ark., 2017; Cowie ve ark., 2018).

Bu bağlamda, arazi kullanım planlamasının etkinliğinin artırılması, yeni düzenlemelerin eklenmesinden çok, mevcut sistemin hedef odaklı, tematik ve etkileşim temelli bir yapı içerisinde yeniden kurgulanmasını gerektirmektedir. Bu çalışma kapsamında önerilen yaklaşım, E-AKUP çerçevesinde tanımlanan stratejik hedeflerin doğrudan mekânsal karar süreçlerine bağlanmasını sağlayan ve bilim–politika–hukuk etkileşimlerini güçlendirmeyi amaçlayan bütüncül bir yönetim modeline dayanmaktadır. Bununla birlikte, arazi kullanım planlaması süreçlerinin yalnızca ekolojik ve yönetsel boyutlar üzerinden değil, aynı zamanda ekonomik araçlar, teşvik mekanizmaları ve arazi kullanım tercihlerinin sosyo-ekonomik etkileri dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiği de açıktır. Bu nedenle ekonomik boyut, çalışma kapsamında ele alınan bilim–politika–hukuk etkileşimlerini destekleyen ve uygulama kapasitesini belirleyen tamamlayıcı bir bileşen olarak değerlendirilmektedir. Bu tür bütünlük yaklaşımlar, özellikle FAO ve UNCCD tarafından geliştirilen arazi kullanım planlama ve arazi tahribatı çerçevelerinde de önerilmekte ve sürdürülebilir arazi yönetiminin temel bileşenleri arasında yer almaktadır (Baritz ve ark., 2018; Ziadat ve ark., 2018; Corsi, 2018; UNCCD, 2022).

Bu modelin ilk ve en kritik bileşeni, stratejik hedeflerin tematik planlara dönüştürülmesidir. Mevcut sistemde planlama süreci büyük ölçüde arazi sınıflandırması ve uygunluk analizleri üzerinden ilerlemekte, ancak bu analizler politika hedefleri ile doğrudan ilişkilendirilmemektedir. Oysa erozyon, toprak organik karbonu (TOK), arazi üretkenlik dinamiği (AÜD), ekosistem hizmetleri, onarıcı tarım ve sürdürülebilir arazi ve toprak yönetimi (SAY/STY) gibi tematik alanlar, planlama sisteminin yönünü belirleyebilecek temel bileşenlerdir. Bu temaların ayrı planlama katmanları olarak tanımlanması ve mekânsal karar süreçlerine entegre edilmesi, bilimsel bilginin politika süreçlerine etkin biçimde aktarılmasını sağlayacaktır. Bu yaklaşım, özellikle ekosistem hizmetleri temelli planlama ve çok işlevli arazi yönetimi yaklaşımları ile uyumlu bir yapı sunmaktadır (IPBES, 2018a,b; 2019; Verburg ve ark., 2023). Bu bağlamda ekosistem hizmetlerinin arazi kullanım kararlarına entegrasyonu, planlama süreçlerinin etkinliği açısından kritik bir gereklilik olarak ortaya

çıkılmaktadır. Ancak mevcut uygulamalarda, ekosistem hizmetlerinin karar alma mekanizmalarına sistematik biçimde dahil edilemediği ve bu durumun sürdürülebilir arazi yönetimine geçişi sınırladığı görülmektedir (Daily ve ark., 2009).

Bununla birlikte, tematik planlamanın tek başına yeterli olmadığı açıktır. Bu planların karar süreçlerine yön verebilmesi için, gösterge ve eşik temelli bir değerlendirme sisteminin kurulması gerekmektedir. TOK, erozyon şiddeti ve AÜD gibi göstergelerin yalnızca izleme amacıyla değil, aynı zamanda belirli eşik değerler üzerinden müdahale gerekliliğini ortaya koyan araçlar haline getirilmesi, bilimsel bilginin operasyonel bir niteliğe kavuşmasını sağlayacaktır. Bu tür bir yapı, özellikle bilim-hukuk etkileşiminde tespit edilen kritik boşluğun giderilmesi açısından belirleyici bir rol oynayacaktır. Nitekim arazi tahribatının dengelenmesi yaklaşımı, göstergelerin yalnızca izleme aracı değil, aynı zamanda karar tetikleyici mekanizmalar olarak kullanılmasını önermektedir (UNCCD & FAO, 2020; Cowie ve ark., 2018).

Bu noktada, hukuki mekanizmaların yeniden ele alınması gerekmektedir. Mevcut mevzuat, büyük ölçüde uygunluk denetimi ve yaptırım üzerine kurulu olup, bilimsel göstergeler ile doğrudan ilişkilendirilen bağlayıcı karar mekanizmaları sınırlıdır. Önerilen yaklaşım, göstergelere dayalı eşik değerlerin belirli hukuki sonuçlar doğuracak şekilde tanımlanmasını ve bu sayede bilimsel bilginin normatif bir araç haline getirilmesini öngörmektedir. Bu dönüşüm, bilim-hukuk etkileşiminin kritik boşluk alanından çıkarılarak işlevsel bir düzeye taşınmasını mümkün kılacaktır. Bu tür yaklaşımlar, çevresel yönetim literatüründe “gösterge temelli yönetim” olarak tanımlanmakta ve giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Turnhout ve ark., 2007; Cash ve ark., 2003).

Politika-hukuk etkileşiminin güçlendirilmesi ise yalnızca denetim mekanizmalarının geliştirilmesi ile değil, aynı zamanda teşvik ve yönlendirme araçlarının planlama sürecine entegre edilmesi ile mümkün olacaktır. Mevcut sistemde teşvik mekanizmaları ile arazi kullanım planlaması arasında sınırlı bir ilişki bulunmakta, bu da sürdürülebilir uygulamaların yaygınlaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Oysa tematik planlama yaklaşımı ile birlikte geliştirilecek teşvik sistemleri, belirli arazi kullanım biçimlerinin desteklenmesini ve planlama hedefleri ile uygulama arasındaki bağın güçlendirilmesini sağlayacaktır. Bu tür mekanizmalar, sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılmasında kritik rol oynayan araçlar olarak tanımlanmaktadır (Sanz ve ark., 2017).

Bu çerçevenin bir diğer önemli bileşeni, izleme ve geri besleme süreçlerinin adaptif bir yönetim sistemi içerisinde ele alınmasıdır. Arazi kullanım planlamasının statik bir plan üretim süreci olmaktan çıkarılarak, sürekli veri akışı ile beslenen, öğrenen ve kendini uyarlayabilen bir yönetim yapısına dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu tür yaklaşımlar, sosyal-ekolojik sistemlerin yönetiminde adaptif yönetim olarak tanımlanmakta ve belirsizlik altında karar alma süreçlerinin etkinliğini artıran temel mekanizmalar arasında yer almaktadır (Folke ve ark., 2005). Bu noktada, Türkiye’de geliştirilen ATD-KDS gibi sistemler, planlama sürecinin bilimsel temellerini güçlendiren ve sistemin öğrenen bir yapıya dönüşmesini sağlayan araçlar olarak önemli bir potansiyel sunmaktadır (Erpul ve ark., 2023; FAO & ÇEM, 2019–2023).

Bu bütüncül yaklaşım, matris analizinde ortaya konulan etkileşim boşluklarını doğrudan hedeflemektedir. Bilim-politika etkileşimi, tematik planlama ve gösterge temelli yönlendirme ile güçlendirilmekte; bilim-hukuk etkileşimi, eşik değerler ve bağlayıcı mekanizmalar aracılığıyla yeniden kurulmakta; politika-hukuk etkileşimi ise teşvik ve adaptif yönetim araçları ile daha dengeli ve yönlendirici bir yapıya kavuşturulmaktadır. Bu sayede sistem, kritik boşluk alanlarından geçiş bölgelerine ve nihayetinde ideal yönetim düzeyine doğru evrilebilecek bir kapasite kazanmaktadır.

Sonuç olarak, Türkiye’de arazi kullanım planlamasının geliştirilmesi, yeni düzenlemeler eklemekten çok, mevcut sistemin işleyiş mantığının dönüştürülmesini gerektirmektedir. Bu dönüşüm, stratejik hedeflerin tematik planlara, bu planların mekânsal kararlara ve bu kararların adaptif yönetim mekanizmalarına bağlandığı bütünleşik bir yapı ile mümkün olacaktır. Bu çalışma kapsamında önerilen yaklaşım, entegre arazi kullanım planlamasının arazi tahribatının dengelenmesi hedefleri ile bütünleştirilmesini öngören ve Türkiye bağlamında geliştirilen uygulama çerçeveleri ile de uyumlu bir yapı sunmaktadır (Cengiz & Erpul, 2025).

Sonuç

Bu çalışma, Türkiye’de arazi kullanım planlama sistemini 5403 sayılı Kanun ve 2026 Arazi Kullanım Planlaması Uygulama Yönetmeliği çerçevesinde, Entegre Arazi Kullanım Planlaması (E-AKUP) yaklaşımı doğrultusunda yeniden değerlendirmiş ve sistemi bilim-politika-hukuk etkileşimleri üzerinden tanısal bir bakış açısıyla analiz etmiştir. Bu amaçla geliştirilen 3×3 matris çerçevesi, planlama sisteminin yalnızca

bileşenlerini değil, bu bileşenler arasındaki etkileşim düzeylerini ve bu etkileşimlerin karar süreçlerine yansıma kapasitesini ortaya koyan analitik bir araç olarak kullanılmıştır.

Elde edilen bulgular, Türkiye’de arazi kullanım planlamasına ilişkin temel sorunun veri eksikliğinden veya mevzuat yetersizliğinden ziyade, mevcut bilimsel bilginin politika ve hukuk mekanizmaları ile yeterince bütünleşmemesi olduğunu göstermektedir. Özellikle bilim–hukuk etkileşiminin kritik boşluk alanında yer alması, bilimsel göstergelerin hukuki karar süreçlerine bağlanamadığını ortaya koyarken; bilim–politika etkileşiminin geçiş alanına yakın bir konumda bulunması, sistemin dönüşüm potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Politika–hukuk etkileşimi ise görece daha gelişmiş olmakla birlikte, ağırlıklı olarak denetim ve uygunluk kontrolüne dayalı reaktif bir yapı sergilemektedir.

Bu bulgular, mevcut planlama sisteminin güçlü bir teknik ve kurumsal altyapıya sahip olmasına rağmen, stratejik hedeflerin tematik planlara, bu planların mekânsal kararlara ve bu kararların adaptif yönetim mekanizmalarına dönüştürülmesinde yapısal sınırlılıklar içerdiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla arazi kullanım planlamasının etkinliğinin artırılması, yeni veri üretiminden çok, mevcut bilginin karar süreçlerine entegrasyonunu sağlayacak etkileşim mekanizmalarının güçlendirilmesine bağlıdır.

Bu doğrultuda çalışma, hedef odaklı tematik entegre arazi yönetimi yaklaşımını bir çözüm çerçevesi olarak önermektedir. Bu yaklaşım, stratejik hedeflerin tematik planlama yoluyla mekânsallaştırılmasını, bu planların gösterge ve eşik temelli mekanizmalarla desteklenmesini ve izleme–yönlendirme–teşvik süreçleri ile bütünleştirilmesini öngörmektedir. Böylece arazi kullanım planlaması, statik ve sınıflandırma odaklı bir yapıdan çıkarak, veri temelli, izlenebilir ve adaptif bir yönetim sistemine dönüşebilecektir.

Sonuç olarak, Türkiye’de arazi kullanım planlamasının geliştirilmesi, yeni mevzuat üretiminden ziyade, mevcut sistemin işleyiş mantığının yeniden kurgulanmasını gerektirmektedir. Bu yeniden kurgulama, bilim, politika ve hukuk arasındaki etkileşimlerin güçlendirilmesine ve bu etkileşimlerin tematik, mekânsal ve adaptif bir çerçeve içerisinde bütünleştirilmesine dayanmaktadır. Bu çalışma, söz konusu dönüşüm için kavramsal ve analitik bir temel sunarak, E-AKUP uygulamalarının daha etkin ve bütünleşik bir yapıya kavuşmasına katkı sağlayamay amaçlamaktadır.

Kaynaklar

- Baritz R, Wiese L, Verbeke I, Vargas R, 2018. Voluntary guidelines for sustainable soil management: Global action for healthy soils. In *International Yearbook of Soil Law and Policy 2017* (pp. 17–36). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68885-5_3
- Cash D. W, Clark WC, Alcock F, Dickson NM, Eckley N, Guston DH, Jäger J, Mitchell RB, 2003. Knowledge systems for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(14), 8086–8091. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231332100>
- Cengiz EU, Erpul G, 2025. Achieving land degradation neutrality through integrated land use planning: A comprehensive framework for Türkiye. *Turkish Journal of Land Management*, 7(2), 83–97. <https://doi.org/10.51765/tayod.1629351>
- Corsi S, 2018. Koruyucu tarım: Doğu Avrupa ve Orta Asya’da bulunan yayım uzmanları ve çiftçilere yönelik eğitim kılavuzu. Ankara: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO).
- Cowie AL, Orr BJ, Castillo Sanchez VM, Chasek P, Crossman ND, Erlewein A, Louwagie G, Maron M, Metternicht GI, Minelli S, Tengberg AE, Walter S, Welton S, 2018. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science & Policy*, 79, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011>
- Daily GC, Polasky S, Goldstein J, Kareiva PM, Mooney HA, Pejchar L, Ricketts TH, Salzman J, Shallenberger R, 2009. Ecosystem services in decision making: Time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 21–28. <https://doi.org/10.1890/080025>
- Erpul G, 2025. Türkiyede Toprak Sağlığının Korunması: Strateji ve Politika Çerçevesi. *EKİN BÜLTENİ*, 11 (24 – 34).
- Erpul G, Akgöz R, 2025. Türkiye’de toprak sağlığı kavramının ülkesel politika ve stratejilere bütünleştirilmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 13(1) 81 – 95
- Erpul G, Şahin S, İnce K, Küçümen A, Akdağ MA, Demirtaş İ, Çetin E, 2018. Türkiye Su Erozyonu Atlası, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları, ISBN: 978-605-9550-23-9. Ankara.
- Erpul, G., Akça, E., Kurşun, G., Keskin, S., S. Madenoğlu. 2019. Küresel Toprak Paydaşlığı ve Türkiye Toprak Bilgi Sistemi T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım Reformu Genel

- Page 19 of 34 Müdürlüğü & Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü. Ocak 2019, Ankara. ISBN: 978-605-7599-04-9.
- Erpul G, Şahin S, İnce K, Küçümen A, Akdağ MA, Demirtaş İ, Sarıhan B, Çetin E, Şahin S, 2020. Su Erozyonu İl İstatistikleri. Toprak Erozyonu Kontrol Stratejileri (Sürdürülebilir Arazi/Toprak Yönetimi Uygulama ve Yaklaşımları). Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları. Ankara.
- Erpul G, Akça E, Tekin SN, Karaman NA, Canlı P, Morkoç S, Kavaklı Karataş Z, Dursunoğlu FÜ, 2023. Arazi Tahribatının Dengelenmesi Karar Destek Sistemi İl İstatistikleri ve Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Yaklaşımları ve Uygulamaları Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları. Ankara.
- FAO, 1993. Guidelines for land-use planning. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO, 2019. Sürdürülebilir Toprak Yönetimi Gönüllü Kılavuz İlkeleri. Roma.
- FAO Türkiye. 2019. Sürdürülebilir Toprak Yönetimi Ulusal Eylem Planı. Ankara 22pp. Lisans CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- FAO, ÇEM, 2019–2023. Contributing to Land Degradation Neutrality (LDN) Target Setting by Demonstrating the LDN Approach in the Upper Sakarya Basin for Scaling up at National Level (GCP/TUR/065/GFF). FAO, Rome & ÇEM, Ankara.
- Folke C, Hahn T, Olsson P, Norberg J, 2005. Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 441–473. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>
- IPBES, 2018a. The IPBES assessment report on land degradation and restoration. Montanarella, L., Scholes, R., and Brainich, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 744 pages.
- IPBES, 2018b. Summary for policymakers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental SciencePolicy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. R. Scholes, L. Montanarella, A. Brainich, N. Barger, B. ten Brink, M. Cantele, B. Erasmus, J. Fisher, T. Gardner, T. G. Holland, F. Kohler, J. S. Kotiaho, G. Von Maltitz, G. Nangendo, R. Pandit, J. Parrotta, M. D. Potts, S. Prince, M. Sankaran and L. Willemsen (eds.) IPBES secretariat, Bonn, Germany. 44 pages
- IPBES, 2019. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio, H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy)
- Meyfroidt P, Chowdhury RR, de Bremond A, Ellis EC, Erb KH, Filatova T, Garrett RD, Grove JM, Heinimann A, Kuemmerle T, Kull CA, Lambin EF, Landon Y, le Polain de Waroux Y, Messeri P, Müller D, Nielsen JØ, Peterson GD, Rodriguez García V, Schlüter M, Verburg P H, 2018. Middle-range theories of land system change. *Global Environmental Change*, 53, 52–67. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.08.006>
- Namlı A, Akça E, Akça MO, Aydın G, Erdem DB, Çullu MA, Saygın SD, Erpul G, Kızılkaya R, Ortaş İ, Öztürk HS, Torun MB, Turgay OC, 2025. Sürdürülebilir Toprak Yönetiminin Göstergeleri, Sayfa: 100-125. Türkiye Ziraat Mühendisliği X. Teknik Kongresi. (13-17 Ocak 2025, Ankara).
- Orr BJ, Cowie AL, Castillo Sanchez V.M, Chasek P, Crossman N.D, Erlewein A, Louwagie G, Maron M, Metternicht G.I, Minelli S, Tengberg A.E, Walter S, Welton S, 2017. Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany.
- Reed MS, Stringer LC, Dougill AJ, Perkins JS, Atlhopheng JR, Mulale K, Favretto N, 2015. Reorienting land degradation towards sustainable land management: Linking sustainable livelihoods with ecosystem services in rangeland systems. *Journal of Environmental Management*, 151, 472–485. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.010>
- Sanz MJ, de Vente J, Chotte JL, Bernoux M, Kust G, Ruiz I, Almagro M, Alloza JA, Vallejo R, Castillo V, Hebel A, Akhtar-Schuster M, 2017. Sustainable Land Management contribution to successful land-based climate change adaptation and mitigation. A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany.
- Sarewitz D, Pielke RA, Jr, 2007. The neglected heart of science policy: Reconciling supply of and demand for science. *Environmental Science & Policy*, 10, 5–16. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2006.10.001>
- Turnhout E, 2009. The effectiveness of boundary objects: The case of ecological indicators. *Science and Public Policy*, 36(5), 403–412. <https://doi.org/10.3152/030234209X442007>

- Türkeş M, Öztaş T, Tercan E, Erpul G, Karagöz A, Dengiz O, Doğan O, Şahin K, Avcıoğlu B, 2020. Desertification vulnerability and risk assessment for Turkey via an analytical hierarchy process model. *Land Degradation & Development* 31(2), 205–214.
- UNCCD, 2022. Global Land Outlook 2: Land restoration for recovery and resilience. United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn, Germany.
- UNCCD, FAO, 2020. Land degradation neutrality in small island developing states. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany, and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.
- Verburg PH, Metternicht G, Aynekulu E, Deng X, Herrmann S, Schulze K, Akinyemi F, Barger N, Boerger V, Dosdogru F, Gichenje H, Kapović-Solomun M, Karim Z, Lal R, Luise A, Masuku BS, Nairesiae E, Oettlé N, Pilon A, Raja O, Ravindranath NH, Ristić R, von Maltitz G, 2023. The contribution of integrated land use planning and integrated landscape management to implementing land degradation neutrality: Entry points and support tools. UNCCD Science-Policy Interface (SPI) Technical Series No. 06. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany.
- Ziadat F, Bunning S, Corsi S, Vargas R, 2018. Sustainable soil and land management for climate-smart agriculture. In *Climate-smart agriculture sourcebook* (2nd ed.). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

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



Trakya Bölgesi çeltik topraklarında makro ve mikro besin elementlerinin belirlenmesinde H3A-4 çoklu ekstraksiyon yönteminin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi[†]

¹Selin ÖZDE ALTUNAY^{1,2}, ²Mehmet Ali GÜRBÜZ^{2*}, ³Cemile BAL ÖZCAN³

¹Kırklareli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, KIRKLARELİ

²Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, KIRKLARELİ

³İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi (İTUAM), Kırklareli Üniversitesi, KIRKLARELİ

Öz

Bu çalışma, Trakya Bölgesi'ndeki çeltik topraklarında makro ve mikro besin elementlerinin belirlenmesinde H3A-4 çoklu ekstraksiyon yönteminin uygulanabilirliğini değerlendirmek ve bu yöntemin geleneksel toprak ekstraksiyon yöntemleriyle olan ilişkisini incelemek amacıyla yürütülmüştür. Edirne, Kırklareli ve İstanbul illerindeki çeltik yetiştirme alanlarından toplanan toprak örnekleri; toprak pH'sı, elektriksel iletkenlik (EC), bünye ve bitkiler tarafından alınabilir besin elementi içerikleri açısından analiz edilmiştir. Araştırmada makro besin elementleri olarak fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg); mikro besin elementleri olarak ise demir (Fe), manganez (Mn), bakır (Cu), çinko (Zn) ve bor (B) değerlendirilmiştir. Geleneksel ekstraksiyon yöntemleri arasında alınabilir P için Olsen, değişebilir K, Ca ve Mg için amonyum asetat (NH₄OAc), alınabilir Fe, Mn, Cu ve Zn için DTPA ve alınabilir B için sıcak su ekstraksiyonu kullanılmıştır. Bu yöntemlerden elde edilen sonuçlar, H3A-4 ekstraksiyonu sonrasında ICP-OES ile belirlenen değerlerle karşılaştırılmıştır. İncelenen topraklar genel olarak nötr ile hafif alkalin reaksiyon göstermiş, 0.18-2.74 dS m⁻¹ arasında değişen EC değerleri ağırlıklı olarak tuzsuz ile hafif tuzlu koşullara işaret etmiştir. Ayrıca, toprakların büyük çoğunluğu ağır bünyeli özellikler göstermiştir. Korelasyon analizleri, H3A-4 ekstraksiyon yönteminin K ve Mg için geleneksel yöntemlerle çok güçlü, Ca ve B için güçlü ve anlamlı pozitif ilişkiler gösterdiğini ortaya koymuştur. Fe ve Mn için orta düzeyde, P için ise zayıf ancak istatistiksel olarak anlamlı pozitif ilişkiler belirlenmiştir. Buna karşılık, Zn ve Cu için yöntemler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Bu sonuçlar, H3A-4 çoklu ekstraksiyon yönteminin Trakya Bölgesi çeltik topraklarında bitkiler tarafından alınabilir besin elementlerinin eşzamanlı belirlenmesi için pratik bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, yöntemin tarımsal yorumlama ve gübreleme önerilerinde kullanılabilmesi için bitki besin elementi alımı ve ürün verimi ile desteklenen kalibrasyon çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: H3A-4 ekstraksiyonu, çeltik toprakları, bitkiler tarafından alınabilir besin maddeleri, ICP-OES, toprak verimliliği, Trakya Yöresi.

Assessment of the applicability of the H3A-4 multi-extraction method for determining macro and micronutrients in paddy soils of the Thrace Region

Abstract

This study was conducted to evaluate the applicability of the H3A-4 multi-extraction method for the determination of macro- and micronutrients in paddy soils of the Thrace Region and to investigate its relationship with conventional soil extraction methods. Soil samples collected from rice-growing areas in Edirne, Kırklareli, and Istanbul provinces were analyzed for soil pH, electrical conductivity (EC), texture, and plant-available nutrient contents. The investigated macronutrients included phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), and magnesium (Mg), while iron (Fe), manganese (Mn), copper (Cu), zinc (Zn), and boron (B) were evaluated as micronutrients. Conventional extraction methods included Olsen for available P, ammonium acetate (NH₄OAc) for exchangeable K, Ca, and Mg, DTPA for available Fe, Mn, Cu, and Zn, and hot-water extraction for available B. The results obtained from these methods were compared with those determined by the H3A-4 extraction procedure using ICP-OES analysis. The investigated paddy soils were generally neutral to slightly alkaline in reaction, and EC values ranging from 0.18 to 2.74 dS m⁻¹.

[†] Bu çalışma Selin ÖZDE ALTUNYAY tarafından Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde tamamlanan " Trakya Yöresi Çeltik Topraklarında H3A Çoklu Ekstraksiyon Yönteminin Rutin Yöntemlerle Karşılaştırılması " yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (533) 574 2100
E-posta : gurbuzmehmetali@tarimorman.gov.tr

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 3 Haziran 2026
Kabul Tarihi : 18 Haziran 2026

e-ISSN : 2146-8141
DOI : 10.33409/tbbdd.1934554

indicated predominantly non-saline to slightly saline conditions. In addition, most of the soils were characterized by heavy-textured properties. Correlation analyses revealed that the H3A-4 extraction method exhibited very strong positive relationships with conventional extraction methods for K and Mg, and strong positive and significant relationships for Ca and B. Moderate positive relationships were observed for Fe and Mn, whereas P showed a weak but statistically significant positive relationship. In contrast, no statistically significant relationship was detected between the methods for Zn and Cu. These results indicate that the H3A-4 multi-extraction method may serve as a practical alternative for the simultaneous determination of plant-available nutrients in paddy soils of the Thrace locality. However, calibration studies supported by plant nutrient uptake and crop yield data are still required before the method can be reliably used for agronomic interpretation and fertilizer recommendations.

Keywords: H3A-4 extraction, rice soils, plant-available nutrients, ICP-OES, soil fertility, Thrace Region.

© 2026 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Toprak, bitkisel üretimin temel doğal kaynağı olup içerdiği besin elementlerinin yararışlılığı bitki gelişimi, ürün verimi ve kalite üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. “Tarımsal üretimde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin uygun yöntemlerle belirlenmesi büyük önem taşımaktadır (FAO ve ITPS, 2015; Havlin ve ark., 2014). Bu nedenle toprak analizlerinde kullanılan ekstraksiyon yöntemlerinin doğruluğu ve güvenilirliği, gübreleme programlarının oluşturulması ve bitki besleme yönetimi açısından kritik rol oynamaktadır.

Çeltik (*Oryza sativa* L.) tarımı, Türkiye’nin kendi kendine yeterli olma potansiyeli olan stratejik tarımsal üretim alanlarından biridir. Türkiye’de çeltik üretimi, tahıl ekim alanları içerisinde yaklaşık %1’lik paya sahip olmasına rağmen toplam tahıl üretiminin %2.5’ini oluşturmaktadır. Üretimin yaklaşık %70’i Marmara-Trakya Bölgesi’nde gerçekleşirken, il bazında Edirne %44’lük pay ile ilk sırada yer almakta, onu Samsun (%15) ve Balıkesir (%13) illeri izlemektedir (Hekimoğlu ve Altındağ, 2019).

Bölgede çeltik üretimi, başta Meriç ve Ergene havzaları olmak üzere, su rejimi bakımından çeltik yetiştiriciliğine uygun özellikler gösteren alüviyal ve hidromorfik alüviyal topraklarda yoğunlaşmaktadır (Anonim, 1991a; Anonim, 1991b; Anonim, 1993). TÜİK verilerine göre 2024 yılında Edirne’de yaklaşık 48 600 ha, Kırklareli’nde 1700 ha ve Tekirdağ’da 2400 ha alanda çeltik üretimi gerçekleştirilmiştir. Trakya Bölgesi’nde çeltik tarımının uzun yıllardır monokültür sisteminde sürdürülmesi, çeltik tavalarının her üretim döneminde yeniden düzenlenmesi, kazı-dolgu faaliyetleri ve dönemsel taşkınlar gibi uygulamalar, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde önemli değişimlere neden olmaktadır. Bu değişimler, özellikle bitki besin elementlerinin yararışlılık düzeylerinin düzenli olarak izlenmesini gerekli kılmaktadır.

Çeltik yetiştiriciliğinin gerçekleştirildiği sulak alan topraklarında, su rejimine bağlı olarak redoks potansiyelinde meydana gelen değişimler, başta Fe ve Mn olmak üzere birçok besin elementinin çözünürlüğünü ve yararışlılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Toprakların su altında kalmasıyla oluşan indirgen koşullar, Fe ve Mn oksitlerinin çözünmesine yol açarak bu elementlerin toprak çözeltisindeki konsantrasyonlarını artırabilmektedir (Ponnamperuma, 1972; Sahrawat, 2005). Bu nedenle, çeltik topraklarında kullanılan ekstraksiyon yöntemlerinin, sulak koşullarda gerçekleşen besin elementi dönüşümlerini ve yararışlılık dinamiklerini doğru şekilde yansıtabilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bitkiye yararışlı besin elementlerinin belirlenmesinde, alınabilir fosfor için Olsen, değişebilir K, Ca ve Mg için amonyum asetat (NH₄OAc) ve alınabilir Fe, Zn, Cu ile Mn için DTPA ekstraksiyon yöntemleri toprak analiz laboratuvarlarında yaygın olarak kullanılan standart prosedürler arasında yer almaktadır (Olsen ve ark., 1954; Lindsay ve Norvell, 1978). Ancak, bu yöntemlerin farklı ekstraktantlara dayanması analiz süreçlerinin karmaşıklığını artırmakta ve zaman, iş gücü ile maliyet açısından ek yükler oluşturmaktadır. Bunun yanında, güçlü asidik veya şelatlayıcı ekstraktantların kullanımı, rizosfer koşullarında gerçekleşen doğal çözünme ve besin elementi salım süreçlerini tam olarak yansıtamadığından, bitkiye yararışlı besin elementi fraksiyonlarının belirlenmesinde bazı sınırlamalara neden olabilmektedir.

Son yıllarda geliştirilen H3A ekstraksiyon yöntemi, rizosfer koşullarını ve bitki kök salgılarının besin elementi çözünürlüğü üzerindeki etkilerini taklit etmeyi amaçlayan organik asit temelli bir çoklu ekstraksiyon yaklaşımı olarak dikkat çekmektedir. Malik, sitrik ve oksalik asit gibi zayıf organik asitlerden oluşan H3A ekstraktı, tek bir ekstraksiyon işlemiyle çok sayıda makro ve mikro besin elementinin eş zamanlı olarak belirlenmesine olanak sağlamaktadır (Haney ve ark., 2006; Haney ve ark., 2010). H3A yönteminin güncellenmiş versiyonu olan H3A-4, geleneksel ekstraktantların aşırı çözündürme etkisini azaltmak ve bitkiye yararışlı besin elementi havuzunu daha biyolojik olarak anlamlı bir şekilde temsil etmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu yönüyle H3A-4, agresif kimyasal ekstraktantlara kıyasla besin elementi yararışlılığının değerlendirilmesinde daha gerçekçi bir yaklaşım sunmaktadır (Haney ve ark., 2018).

Literatürde H3A ekstraksiyon yönteminin farklı toprak gruplarında uygulanabilirliğini değerlendiren çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Kansas topraklarında gerçekleştirilen bir araştırmada, H3A-4 ve Mehlich-3 yöntemleri arasında fosfor (P) ve potasyum (K) açısından yüksek düzeyde korelasyonlar belirlenmiş olmasına rağmen, ekstrakte edilen element miktarlarının önemli ölçüde farklılık gösterdiği bildirilmiştir (Rutter ve Ruiz Diaz, 2020). Benzer şekilde, Kanada'nın Manitoba bölgesinde yürütülen kapsamlı bir çalışmada H3A-4 ile Olsen-P arasında güçlü bir ilişki saptanmış ve H3A-4 yönteminin alınabilir fosforun belirlenmesinde umut verici sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Crittenden ve ark., 2024). Iowa koşullarında gerçekleştirilen araştırmalarda da H3A ve Olsen-P yöntemleri arasında yüksek düzeyde uyum bulunduğu bildirilmiştir (Mallarino ve Jones, 2018). Bununla birlikte, tüm çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmemiştir. Özellikle fosfor ve bazı mikro besin elementleri açısından H3A yöntemi ile geleneksel ekstraksiyon yöntemleri arasında düşük veya değişken düzeyde ilişkiler rapor edilmiştir (Dari ve ark., 2019). Bu farklılıkların; toprak reaksiyonu, kireç ve organik madde içerikleri, mineralojik yapı ile ekstraktantların hedeflediği kimyasal fraksiyonlardaki farklılıklardan kaynaklandığı belirtilmektedir. Dolayısıyla, H3A yönteminin performansının bölgesel toprak özelliklerine bağlı olarak değişebileceği ve her toprak grubu için ayrı değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Trakya Bölgesi topraklarının fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından önemli düzeyde değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Bölge topraklarının önemli bir kısmı ağır bünyeli, nötr-alkali reaksiyonlu ve orta ile yüksek düzeyde kireç içeriğine sahip olup, bitki besin elementlerinin yarıyışlılık durumları geniş bir varyasyon sergilemektedir (Gürbüz ve ark., 2019). Trakya yöresinde yürütülen önceki bir çalışmada, fosforun belirlenmesinde kullanılan çoklu ekstraksiyon yöntemlerinin buğday bitkisindeki uygulanabilirliği toprak ve bitki analizleri ile değerlendirilmiş; AAAC-EDTA ve AB-DTPA yöntemlerinin rutin analiz yöntemleriyle yüksek düzeyde korelasyon göstermesi nedeniyle alternatif ekstraksiyon yöntemleri olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (Gürbüz ve ark., 2016).

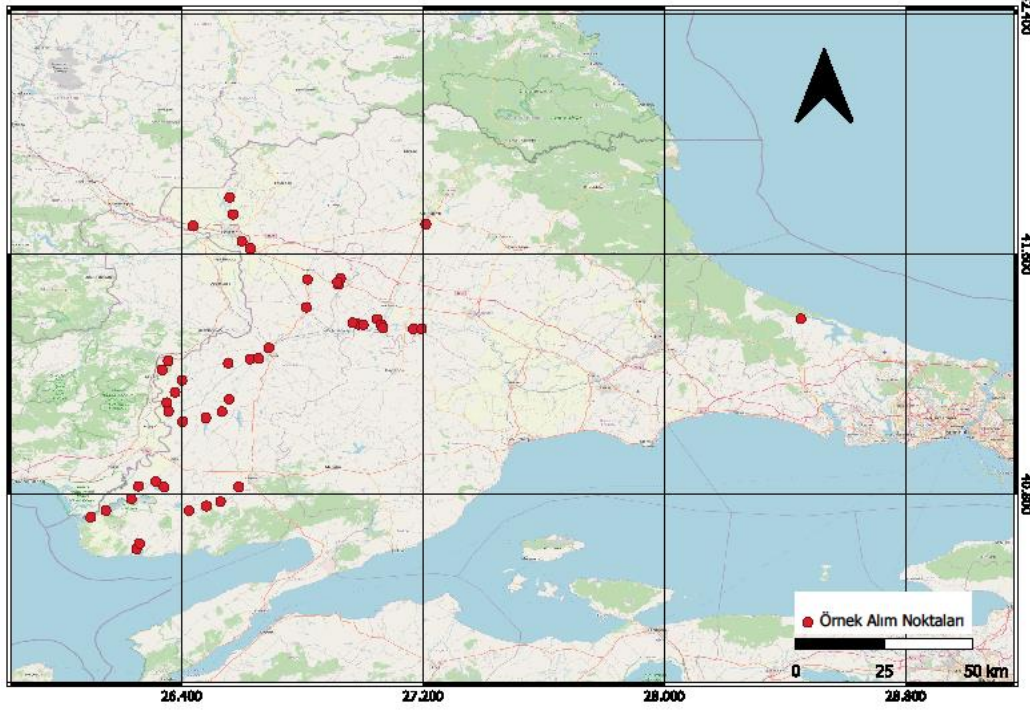
Bununla birlikte, Trakya Bölgesi'nde çeltik tarımı yapılan sulak alan topraklarında çoklu ekstraksiyon yöntemlerinin uygulanabilirliğine yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Özellikle, bitki kök bölgesindeki doğal çözünme süreçlerini taklit etmek amacıyla geliştirilen H3A-4 çoklu ekstraksiyon yönteminin bu topraklardaki performansını değerlendiren kapsamlı bir araştırmaya rastlanmamıştır. Çeltik yetiştiriciliğinde su rejimine bağlı olarak ortaya çıkan redoks değişimleri, besin elementlerinin çözünürlüğü ve yarıyışlılığı üzerinde önemli etkiler oluşturduğundan, H3A-4 yönteminin bu koşullardaki uygulanabilirliğinin ortaya konulması önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Trakya Bölgesi'nde çeltik tarımı yapılan topraklarda H3A-4 çoklu ekstraksiyon yöntemi ile belirlenen P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn ve B elementlerine ait sonuçları geleneksel ekstraksiyon yöntemleriyle karşılaştırmak, yöntemler arasındaki ilişkileri istatistiksel olarak değerlendirmek ve H3A-4 yönteminin bölgesel toprak analizlerinde kullanım potansiyelini ortaya koymaktır. Bu kapsamda, organik asit temelli bir çoklu ekstraktant olan H3A-4'ün, sulak alan koşullarında besin elementi yarıyışlılığını ne ölçüde temsil edebildiği değerlendirilmiş ve yöntemin sürdürülebilir çeltik tarımında kullanılabilişine ilişkin bilimsel veriler sunulmuştur.

Materyal ve Yöntem

Toprak örneklerinin alınması ve analiz için hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan toprak örnekleri, "Toprak İyileştirme ve Çeltik Üretiminde Verimi Artırmak Amacıyla Çeltik Saman Atığı ile Beraber Uygulanacak Biyogübre Üretimi" başlıklı ve TÜBİTAK-TAGEM 1003 Programı kapsamında desteklenen proje çerçevesinde Trakya yöresinden temin edilmiştir. Trakya yöresinde yaygın olarak çeltik tarımı yapılan Kırklareli, Edirne ve İstanbul illerindeki tarım alanlarından fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Ocak-Şubat aylarında 0-30 cm derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Çeltik hasadı yapılmış alanlardan özellikle yoğun çeltik tarımının yapıldığı Edirne ilinden bu ildeki çeltik ekilen alanları tamamını temsil edecek biçimde 5-10 km'de bir örnekleme yapılmış, diğer illerde ise az miktarda ekim yapılmış alanlardan temsili olarak toprak örneği alınmıştır. Tekirdağ ilinde çeltik tarımı yapılan ancak su kısıtı sebebiyle 2023 yılında çeltik üretimi yapılamadığından bu ilde planlanan çalışma iptal edilmiştir. Arazi çalışmaları 2024 yılında toplam 46 adet örnekleme noktasına gidilerek tamamlanmıştır. Kırklareli ili merkez ilçeden 1 adet, Lüleburgaz ilçesinden 2 adet, Babaeski ilçesinden 3 adet, Pehlivan köy ilçesinden 3 adet, Edirne ili merkez ilçeden 5 adet, Havsa ilçesinden 4 adet, Uzunköprü ilçesinden 4 adet, Keşan ilçesinden 4 adet, Enez ilçesinden 6 adet, İpsala ilçesinden 2 adet, Meriç ilçesinden 11 adet ve İstanbul ili Çatalca ilçesinden 1 adet toprak örneği alınmıştır. Örnekleme noktaları Trakya Haritası üzerinde Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Trakya çeltik sahalarından toprak örneği alınan noktalar.

Laboratuvara getirilen toprak örnekleri gölgede oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Kurumuş numuneler havanda ufalanmış ve 2 mm'lik elekten elenerek analizlere hazır hale getirilmiştir. Arazilerinin tamamı Trakya Bölgesinde bulunan Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ' da bulunan büyük toprak gruplarını ve bunların kapladığı alanlar Çizelge 1'de görülmektedir (Anonim, 1991a, 1991b ve 1993).

Çizelge 1. Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde büyük toprak grupları ve kapladığı alanlar (ha).

Büyük Toprak Grubu	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Toplam, ha
Alüviyal Topraklar	85 395	33 317	54 265	172 977
Hidromorfik Alüviyal Topraklar	14 710	-	218	14 928
Vertisol Topraklar	98 167	101 443	126 046	323 656
Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklar	208 056	341 055	133 710	682 821
Kahverengi Orman Toprakları	10 371	33 236	103 324	146 931
Kireçsiz Kahverengi Topraklar	197 765	137 551	197 195	532 511
Toplam	614 464	646 602	614 758	1 875 824

Bölgede büyük toprak grubu olarak çoktan aza doğru 1. Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları, 2. Kireçsiz Kahverengi Topraklar, 3. Vertisol Topraklar, 4. Alüviyal Topraklar, 5. Kahverengi Orman Toprakları ve 6. Hidromorfik Alüviyal Topraklar yer almaktadır. Bu yörede çeltik tarımı büyük oranda Meriç Nehri ve Ergene nehri boyunca uzanan alüviyal ve hidromorfik alüviyal toprak grubuna ait yerlerde sürdürülmektedir. Bu arazilerin bir kısmı sel ve taşkınlar nedeniyle su altında kalsa da, bahar ve yaz aylarında akarsular yatağına çekilmekte ve arazilerde tarımsal faaliyetler devam edebilmektedir.

Trakya toprakları, bünye bakımından toprakların yaklaşık, 1/3'ü hafif, 1/5'i orta ve 2/5'i ağır bünyeli, toprak reaksiyonu bakımından, yaklaşık 2/5'i asit, 1/5'i nötr ve 2/5'i alkalın reaksiyonlu, tuz bakımından 3/4'ü tuzsuz ve diğer kısmı çok hafif ve hafif tuzlu, kireç bakımından 1/2'si kireçsiz ve çok az kireçli, 1/7 az kireçli, 1/5'i orta kireçli ve kireçli ve 1/10'u ise çok kireçli sayılabilir. Organik madde bakımından 1/5'i çok az, 3/5'i az, 1/5'i ise orta ve zengin, yarıyışlı fosfor bakımından 1/5'i yetersiz ve çok yetersiz, 1/4'ü orta, 3/10'u yüksek ve 1/5'i çok yüksek, ekstrakte edilebilir potasyum bakımından, 1/7'si az, 1/4'ü orta ve yeterli, 3/5'i yüksek ve çok yüksek sınıfında yer almıştır. AAc ekstrakte edilebilir bakımından 1/10'u yetersiz ve çok yetersiz, 3/5'i orta ve 1/5'i ise yüksek ve çok yüksek, DTPA ile ekstrakte edilebilir demir bakımından ise yaklaşık 1/10 az, kalan kısmı ise yeterli sınıfında yer almıştır (Gürbüz ve ark., 2019)

Toprak analiz yöntemleri

Alınan bu toprak örneklerinin toprak reaksiyonu (pH) ölçümleri saturasyon çamuru hazırlanarak pH metre ile yapılmıştır (Jackson, 1973). Yarayışlı fosfor, 0,5 M NaHCO₃ (pH; 8,5) ekstrakte edilerek spektrofotometre ile belirlenmiştir (Olsen ve ark., 1954); yarayışlı potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg), amonyum asetatla (AAc) ekstrakte edilerek (1 M, pH:7,00) (Richards, 1954); yarayışlı demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn) ve mangan (Mn), DTPA ile (0,005 M, pH:7,3) (Lindsay ve Norvel, 1978); yarayışlı bor, sıcak su banyosunda 1/2 toprak çözelti oranı ile 0,01 M CaCl₂ ile 5 dk kaynatılıp, süzülerek, (Berger ve Troug 1939). Fosfor ekstraksiyonu dışındaki diğer ekstraktların element konsantrasyonları, dikey plazma sistemine sahip Spectro Arcos SOP ICP-OES cihazı ile belirlenmiştir. Bu çalışmalar için oluşturulan yöntemde cihaza ilişkin çalışma parametreleri ve değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Rutin analizler sonucunda belirlenen bitki besin elementi düzeylerinin değerlendirilmesi ve sınıflandırılmasında, ülkesel toprak veri tabanı çalışmalarında kullanılan sınır değerler esas alınmıştır Gürbüz ve ark. (2018).

Çizelge 2. Analiz işlemlerinin yapıldığı ICP-OES cihazı çalışma koşulları.

ICP-OES Jeneretaör Parametresi	ICP-OES Yöntem Değeri
Plazma gücü (W)	1450
Soğutucu gaz akış hızı, L/dk	13.00
Yardımcı gaz akış hızı, L/dk	1.00
Nebülizatör gaz akış hızı, L/dk	0.70

H3A-4 ekstraksiyon çözeltisinin hazırlanışı: H3A-4 çözeltisi için malik asit (1,1 g), sitrik asit (0,7 g) ve oksalik asit (0,45 g) karışımı 1 L’lik balon jojede hazırlanarak kullanılmıştır (Haney vd., 2017). Elde edilen ekstraktantın pH’ı 3,75’tir ve zayıf tamponlanmıştır. 4’er g tartılan toprak örneklerine 40’ar mL ekstraktant ilave edilmiş ve numuneler otomatik çalkalayıcıda 10 dakika boyunca dakikada 120 rpm ileri geri hareketle çalkalanmıştır. Tüm numuneler oda sıcaklığında 3500 rpm’de 5 dakika santrifüjlenmiş ve mavi bant filtre kağıdından süzülerek ICP-OES cihazında Cu, Zn, B, Fe, Mn, Mg, P, Ca ve K okumaları yapılmıştır.

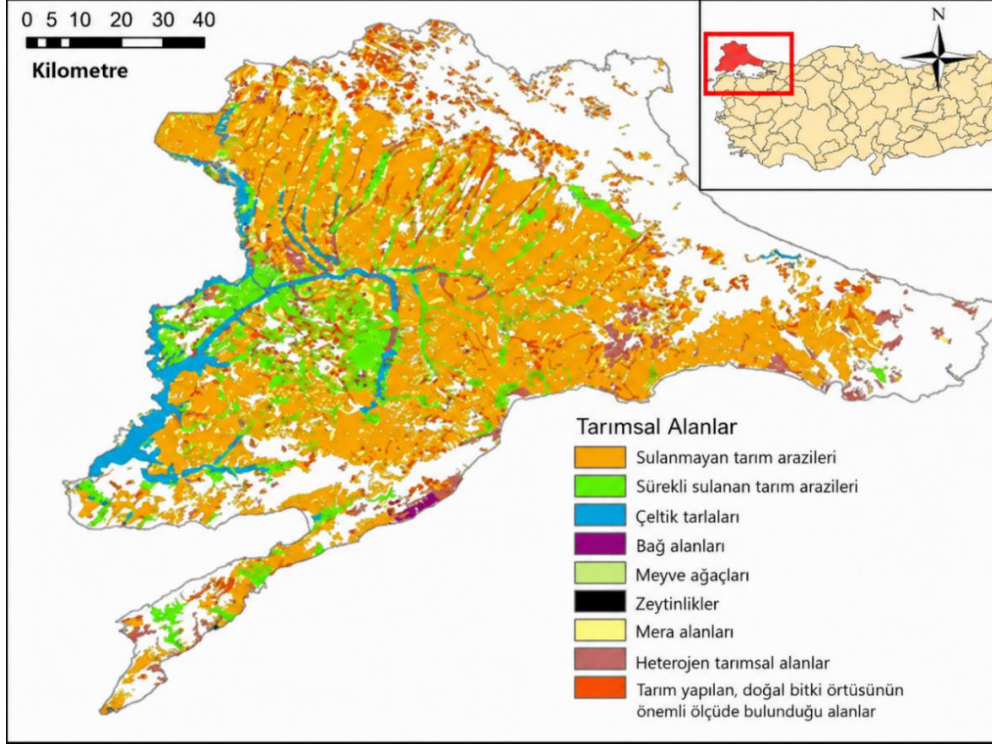
Son çalışmalar, Trakya Bölgesi tarım topraklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından önemli düzeyde değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Tekstür açısından değerlendirildiğinde, toprakların yaklaşık üçte birinin hafif bünyeli, beşte birinin orta bünyeli ve yaklaşık beşte ikisinin ağır bünyeli olduğu belirlenmiştir. Toprak reaksiyonu bakımından ise toprakların yaklaşık beşte ikisi asit karakterli, beşte biri nötr ve kalan beşte ikisi alkali özellik göstermektedir. Toprakların büyük çoğunluğu tuzsuz olup, yalnızca küçük bir kısmı hafif tuzlu sınıfta yer almaktadır (Gürbüz ve ark., 2019).

Kireç (CaCO₃) içerikleri açısından değerlendirildiğinde, toprakların yaklaşık yarısı kireçsiz veya az kireçli sınıfta bulunurken, geri kalan kısmı orta ile çok yüksek düzeyde kireç içermektedir. Organik madde içerikleri genel olarak düşük olup, toprakların büyük çoğunluğu çok düşük ve düşük sınıflarda yer almakta; yalnızca sınırlı bir kısmı orta ve yüksek düzeyde organik madde içermektedir (Gürbüz ve ark., 2019).

Besin elementi durumuna bakıldığında ise toprakların geniş bir değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Alınabilir fosfor içerikleri yetersizden çok yüksek düzeye kadar değişirken, ekstrakte edilebilir potasyum çoğunlukla yüksek ve çok yüksek düzeylerde belirlenmiştir. Ekstrakte edilebilir magnezyum genellikle orta düzeyde bulunurken, demir içerikleri çoğunlukla yeterli düzeylerde tespit edilmiştir (Gürbüz ve ark., 2019).

Tarımsal üretim

Trakya Bölgesi, arazi kullanımının büyük ölçüde tarla bitkileri yetiştiriciliğine dayandığı Türkiye’nin önemli tarımsal üretim alanlarından biridir. Kuru tarım koşullarında yaygın ekim sistemi tahıl-ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) münavebesi iken, sulanan alanlarda mısır (*Zea mays* L.) ve çeltik (*Oryza sativa* L.) ağırlıklı olarak yetiştirilmektedir. Kanola (*Brassica napus* L.) ise zaman zaman kuru tarım sistemlerine dahil edilmektedir. Bölge, Türkiye’nin toplam ayçiçeği ve çeltik üretiminin önemli bir kısmını, yaklaşık yarısını karşılamaktadır. Bölgedeki ürün deseni Şekil 2’de görülmektedir.

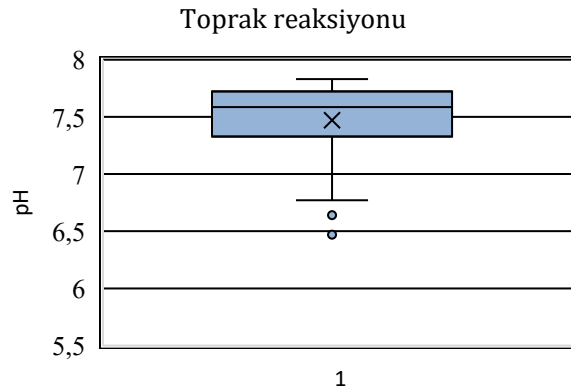


Şekil 2. Trakya Bölgesinde tarım alanlarındaki ürün deseni.

Bulgular ve Tartışma

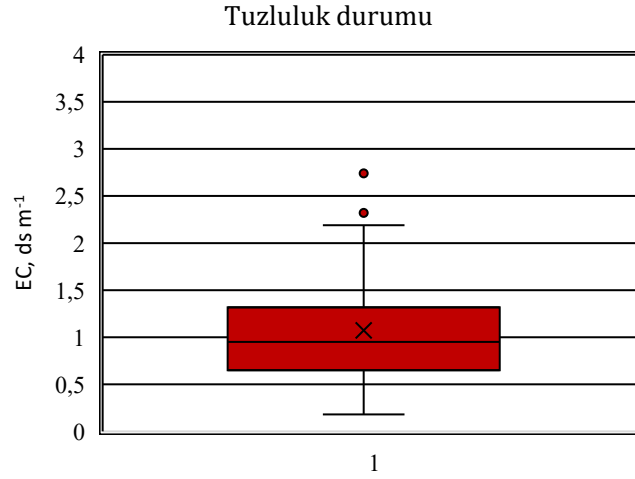
Çeltik sahası toprak örneklerinin genel özellikleri

Yöredeki çeltik tarımı yapılan toprakların pH değerleri minimum 6.47 maksimum 7.83 aralığında olduğu görülmekte olup ortalama, ortanca değerleri sırasıyla 7.47; 7.59'dür (Şekil 3). Bu değerler Trakya toprakları için Gürbüz ve ark. (2019) tarafından bildirilen nötr-alkali aralıklarla uyumlu olup toprakların çoğu orta alkalin sınıfındadır. "Su altında kalan toprakların toprak reaksiyonu nötre yakın olur" gerçeğine uygun biçimde yöre toprakları dağılım göstermiştir.



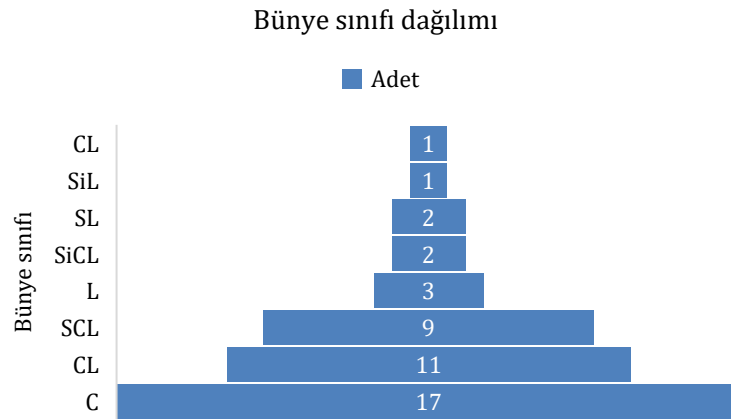
Şekil 3 Trakya Bölgesinde çeltik tarımı yapılan toprakların pH değerleri.

Tuzluluk (EC) değerlerine bakıldığında (Şekil 4) 0.18-2.74 dS m⁻¹ arasında ve sınıf olarak tuzsuz ve hafif tuzlu grupta yer almaktadır. Yörede çeltik tarımının Meriç ve Ergene Nehri boyunca yapıldığı ve bunların ikisi birleşerek Ege Denizine döküldüğü için kapalı bir havza oluşumu görülmemektedir. Bu iki nehir ve yan kolları aynı zamanda bir drenaj kanalı görevini üstlenmekte ve adeta çözünmüş tuz ve sedimentleri denize taşımaktadır. Bu durum ve yörenin yağış rejimi (yıllık 550-600 mm), akarsulardaki su kalitesinin durumu, topraklarda tuzluluğun oluşmasına belli ölçüde engel olmaktadır. Bazı yerlerde, ağır bünye ve aşırı gübreleme kaynaklı hafif tuzluluk görülse de, bu durum yöredeki çeltik tarımı üzerine önemli etkiler oluşturacak düzeyde gözükmemektedir.



Şekil 4. Trakya Bölgesinde çeltik tarımı yapılan toprakların tuzluluk durumu.

Çeltik tarımı yapılan toprakların bünye dağılımını gösteren Şekil 5'e göre; toprakların bünye sınıfı dağılımının en fazla C, sonra CL ve üçüncü olarak da SCL sınıfına sahip olduğu görülmektedir. Çeltik alanlarında ağır bünyeli toprakların fazlalığı, çeltik tarımının büyük oranda düşük hidrolik iletkenliğe sahip topraklarda yürütüldüğünü göstermektedir. Su yönetimi ve sulama uygulamaları bakımından bu durum uygun gözükmemektedir.



Şekil 5. Trakya Bölgesinde çeltik tarımı yapılan alanlardan alınan toprak örneklerinin bünye sınıfı dağılımı.

Rutin ve H3A-4 analiz yöntemleri ile elde edilen bitki besin elementi sonuçlarının değerlendirilmesi

Trakya Yöresi çeltik tarımı yapılan alanlardan alınan toprak örneklerinin rutin (geleneksel) ekstraksiyon analiz yöntemi ile elde edilen makro ve mikro besin elementlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Trakya Yöresinde çeltik tarımı yapılan toprak örneklerinin Amonyum asetat ile yapılan ekstraksiyon sonuçları değerlendirildiğinde Ca, K ve Mg sırasıyla 531-7949 mg kg⁻¹ (çok az ve çok yüksek sınıfta), 37.0-743 mg kg⁻¹ (az ve çok yüksek sınıfta), 82.6-1875 mg kg⁻¹ (çok az ve aşırı yüksek sınıfta) aralığında tespit edilmiştir. Aynı toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Mn miktarı 5.06-122 mg kg⁻¹ (az ve fazla sınıfta), Fe için 28.5-302 mg kg⁻¹ (yüksek sınıfta), Cu için 0.80-8.45 mg kg⁻¹ (yeterli sınıfta), Zn için 0.48-9.97 mg kg⁻¹ (az ve çok fazla sınıfta) olduğu belirlenmiştir. Sıcak su ekstraksiyonu ile B miktarı değerlendirildiğinde 0.05-1.94 mg kg⁻¹ (çok yetersiz ve yüksek sınıfta) aralığında belirlenmiştir. Bu veriler dağılım açısından, çarpıklık ve basıklık istatistiklerine göre K, Ca, Mg ve Cu değişkenleri normale yakın dağılım gösterirken, Zn, Fe ve Mn yüksek pozitif çarpıklık ve basıklık değerleri nedeniyle normal dağılımdan belirgin sapma göstermiştir.

Çizelge 3. Geleneksel ekstraksiyon yöntemleriyle belirlenen besin maddesi konsantrasyonlarının tanımlayıcı istatistikleri.

	P	K	Ca	Mg	Zn	Fe	Cu	Mn	B
	mg kg ⁻¹								
Min.	5.64	37	531	82.6	0.48	28.5	0.80	5.06	0.05
Max.	71.9	743	7949	1875	9.97	302	8.45	122	1.94
Ortalama	24.7	305	4984	784	2.35	90.0	4.30	25.5	0.65
Çarpıklık	1.53	0.64	-0.81	0.78	2.08	2.14	0.19	2.76	1.31
Basıklık	3.00	0.14	0.00	0.52	5.88	7.74	-0.78	8.17	2.44
Standart sapma	13.4	167	1825	412	1.81	47.0	1.96	23.2	0.38

Trakya Yöresi çeltik tarımı yapılan alanlardan alınan toprak örneklerinin H3A-4 çoklu ekstraksiyon analiz yöntemi ile elde edilen makro ve mikro besin elementlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. H3A-4 ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, ekstrakte edilebilir Ca, K ve Mg miktarlarının sırasıyla 38-3889 mg kg⁻¹, 25.4-285 mg kg⁻¹ ve 56.1-816 mg kg⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir. H3A-4 yöntemi ile belirlenen mikro element içerikleri ise Zn için 0.010-9.799 mg kg⁻¹, Fe için 14.3-614 mg kg⁻¹, Cu için 0.089-3.17 mg kg⁻¹, Mn için 3.23-145 mg kg⁻¹ ve B için 0.196-4.136 mg kg⁻¹ aralığında tespit edilmiştir. Fosfor kapsamı ise 1.57-134 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Ortalama değerlere göre Fe ve Ca'nın diğer elementlere kıyasla daha yüksek ekstraksiyon düzeylerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4. H3A-4 ekstraksiyon yöntemleriyle belirlenen besin maddesi konsantrasyonlarının tanımlayıcı istatistikleri.

	P	K	Mg	Ca	Zn	Fe	Cu	Mn	B
	mg kg ⁻¹								
Min	1.57	25.4	56.1	38.0	0.01	14.3	0.09	3.23	0.20
Max	134	285	816	3889	9.80	614	3.17	145	4.14
Ortalama	37.4	128.4	318.3	1634	1.19	194.9	1.07	48.7	1.33
Çarpıklık	1.37	0.58	1.00	0.17	4.67	1.05	1.22	1.01	1.47
Basıklık	154	0.28	0.91	-1.49	26.9	0.40	1.45	1.00	1.89
Standart sapma	32.2	60.8	177	1221	1.45	154	0.75	32.3	0.89

Verilerin dağılım özellikleri incelendiğinde, çarpıklık ve basıklık istatistiklerine göre K ve Ca değişkenlerinin normale yakın dağılım gösterdiği, Mg, Fe ve Mn değerlerinin ise sınırda ancak kabul edilebilir dağılım özellikleri sergilediği belirlenmiştir. Buna karşılık Zn, çok yüksek çarpıklık (4.67) ve basıklık (26.88) değerleri nedeniyle normal dağılımdan belirgin şekilde sapmış ve güçlü pozitif asimetri göstermiştir. Benzer şekilde P, Cu ve B değişkenlerinde de pozitif çarpıklığa bağlı normal dağılımdan kısmi sapmalar gözlenmiştir. Bu sonuçlar, özellikle bazı besin elementlerinde yüksek varyasyon ve olası uç değer etkilerinin bulunduğunu göstermektedir.

Rutin toprak analizi verilerinde ve H3A-4 çoklu ekstraksiyon analiz sonuçlarında bazı besin elementlerinde yüksek çarpıklık ve basıklık değerleri ile normal dağılımdan sapma gözlemlendiğinden, değişkenler arası ilişkilerin değerlendirilmesinde Pearson yerine non-parametrik Spearman sıra korelasyonu tercih edilmiştir. Spearman sıra korelasyon katsayısının mutlak değeri ne kadar yüksekse, iki değişken arasındaki ilişki o kadar güçlü kabul edilir. Korelasyon katsayılarının yorumlanmasında Evans (1996) tarafından önerilen sınıflandırma kullanılmıştır; buna göre $|r| < 0.20$ çok zayıf, 0.20–0.39 zayıf, 0.40–0.59 orta, 0.60–0.79 güçlü ve 0.80 üzeri çok güçlü ilişki olarak değerlendirilmiştir.

Bu kapsamda H3A-4 yöntemi ile rutin ekstraksiyon yöntemleri (Olsen-P, sıcak su-B, amonyum asetat K-Ca-Mg-Na, DTPA Fe-Mn-Cu-Zn) arasında oluşan ilişkiler Çizelge 4'te Spearman korelasyon katsayıları ile değerlendirilmiştir. Pozitif korelasyonlar, rutin yöntemle ekstrakte edilen element miktarı arttıkça H3A-4 ile ekstrakte edilen miktarın da arttığını; negatif korelasyonlar ise rutin yöntemle ekstrakte edilen element miktarı arttıkça H3A-4 ekstraksiyonunun azaldığını göstermektedir. $p < 0.05$ düzeyinde anlamlı bulunan elementlerde ilişki istatistiksel olarak güvenilir kabul edilmiştir. Korelasyon katsayılarının işaret ve büyüklükleri, yöntemlerin birbiriyle uyum düzeyini, yani H3A-4'ün rutin yöntemlerle benzer fraksiyonları çözüp çözmediğini ortaya koyması açısından önem taşımaktadır.

H3A-4 ile Olsen-P yöntemleri arasında zayıf düzeyde pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ($r = 0.324$; $p < 0.05$). Fosfor açısından H3A-4–Olsen ilişkisinin zayıf düzeyde bulunması, H3A-4'nin P'yi çözmede Olsen ile aynı kimyasal mekanizmalara dayanmadığını göstermektedir. Literatürde de P için rutin yöntemler ile çoklu ekstraksiyon yöntemleri arasında değişken sonuçlar rapor edilmiştir. Dari ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada Idaho genelindeki tarım alanlarından 0–30 cm derinlikten alınan toprak örnekleri Bray-1, H3A, Mehlich-3 ve Olsen-P ekstraksiyon yöntemleriyle analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Olsen-P ile Mehlich-3 arasında anlamlı bir ilişki bulunduğunu buna karşın Bray-1 ve H3A yöntemlerinin Olsen-P ile ilişkili olmadığını göstermiştir. Ayrıca, Bray-1 ve H3A yöntemlerinin Olsen-P'ye göre daha düşük ekstrakte edilebilir fosfor (P) değerleri verdiği, Mehlich-3 yönteminin ise daha yüksek P değerleri çıkarabildiği; sonuç olarak Mehlich-3, alkali kireçli topraklarda kullanım için değerlendirilebilirken, Bray-1 ve H3A'nın uygulanabilirliğini sınırlayacak önemli sorunları olduğu belirlenmiştir. Buna karşın Kanada'nın Manitoba bölgesindeki geniş kapsamlı bir çalışmada Crittenden ve ark. (2024), 961 toprak örneğinde H3A-4 ile Olsen-P arasında yüksek düzeyde ilişki olduğunu bildirmiştir ($R^2 = 0.74$). Benzer şekilde Mallarino ve Jones (2018), Iowa koşullarında H3A ile Olsen-P arasında çok yüksek düzeyde ilişki rapor etmişlerdir ($R^2 = 0.97$). Aynı çalışmada Bray-1 ve Mehlich-3 yöntemleriyle de yüksek ilişkiler belirlenmiştir. Gürbüz ve ark. (2016), buğday yetiştirilen Trakya Yöresi topraklarında fosforun belirlenmesine yönelik yürüttükleri çalışmada, AAAC-EDTA ve AB-DTPA ekstraksiyon yöntemlerinin rutin analiz yöntemleriyle yüksek uyum gösterdiğini ve yarıyışlı fosforun belirlenmesinde güvenle kullanılabilirliğini bildirmiştir. Bu tür sonuçlar, belirli bölge ve toprak gruplarında H3A-P'nin Olsen-P'ye güçlü şekilde eşlik edebildiğini göstermiştir. Çalışmalar arasındaki farklılıklar, fosforun toprak pH'ına, Ca-P komplekslerine, organik asit çözünürlüğüne ve kil ve mineralojik yapıya son derece duyarlı olmasından ve H3A serisinin Olsen' e göre farklı pH ve kimyasal madde ve farklı ekstraksiyon süreçlerinden kaynaklanabilir. Bu çalışma özelinde çeltik tarımının doğal yapısından dolayı yaz mevsimi boyunca su altında kalmış ve toprak reaksiyonu nötre yaklaşmış, anaerobik koşullardan dolayı organik fosfor formlarından az miktarda yararlanılması ve aşırı gübreleme toprakların fosfor düzeyini değiştirebilir. Bu sonuçlar, çeltik topraklarında fosforun değerlendirilmesi için H3A-4 yöntemine özgü bölgesel kalibrasyon çalışmalarına ihtiyaç duyulabileceğini göstermektedir.

K, Ca ve Mg için elde edilen güçlü korelasyonlar, H3A-4 yönteminin değişebilir baz katyonlarını ekstrakte etmede rutin yöntemlerle benzer davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır. K için H3A-4 ile NH_4OAc arasında çok güçlü pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($r = 0.940$; $p < 0.05$). Ca sonuçları açısından H3A-4 ve NH_4OAc yöntemleri arasında güçlü düzeyde pozitif ve anlamlı ilişki belirlenmiştir ($r = 0.732$; $p < 0.05$). Magnezyum için iki yöntem arasında çok güçlü pozitif ve anlamlı bir ilişki vardır ($r = 0.895$; $p < 0.05$).

Makro elementlerde elde edilen sonuçlar literatürle büyük ölçüde uyumludur. Bu çalışmada H3A-4 ile NH_4OAc yöntemleri arasında K, Ca ve Mg için belirlenen güçlü ve çok güçlü ilişkiler, H3A-4 yönteminin değişebilir baz katyonlarını ekstrakte etmede rutin yöntemlere benzer davranış gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bu eğilim, Crittenden ve ark. (2024) tarafından amonyum asetat-K ile H3A-4 arasında rapor edilen yüksek ilişki düzeyi ($r^2 = 0.83$) ile uyumludur. Benzer şekilde Dari ve ark. (2019), H3A ile rutin ekstraksiyon yöntemleri arasında özellikle değişebilir katyonlarda anlamlı ilişkiler bulunduğunu bildirmiştir. Rutter ve ark. (2021) ise Mehlich-3 ile NH_4OAc arasında K ve Mg açısından yaklaşık 1:1 ilişki olduğunu rapor ederek çoklu ekstraksiyon yöntemlerinin değişebilir katyon havuzlarını temsil etme potansiyeline dikkat çekmiştir. Louisiana koşullarında yürütülen başka bir çalışmada da Mehlich-3 ile NH_4OAc arasında K, Ca, Mg ve Na açısından çok yüksek korelasyonlar ($R \geq 0.923$) belirlenmiştir. Ayrıca Hu ve ark. (2025) tarafından Colorado koşullarında yürütülen çalışmada H3A ile Mehlich-3 arasında P ve K için anlamlı ilişkiler ($r^2 = 0.75$ ve 0.73) rapor edilmiş, ancak H3A'nın Mehlich-3'e kıyasla daha düşük ekstraksiyon değerleri verdiği belirtilmiştir. Aynı çalışmada H3A'nın "kök salgılarını taklit eden, Mehlich-3 kadar agresif olmayan" bir ekstrakt olduğu vurgulanmış ve bazı önceki çalışmalarda H3A ile tekli/çoklu element ekstraksiyon yöntemleri arasındaki korelasyonların zayıf veya önemsiz bulunabildiği ifade edilmiştir. Bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, H3A-4 yönteminin özellikle değişebilir baz katyonlarının belirlenmesinde rutin yöntemlerle yüksek düzeyde uyum gösterebildiği, ancak ekstraksiyon gücü ve çözüldürdüğü kimyasal fraksiyonlar açısından yöntemler arasında farklılıkların bulunabileceği anlaşılmaktadır.

Kansas'ta yürütülen geniş ölçekli bir çalışmada ise, H3A-4 ile Mehlich-3 arasında yüksek korelasyonlar bulunmasına rağmen (P için $r = 0.90$, K için $r = 0.91$), Mehlich-3'ün H3A'dan çok daha fazla element ekstrakte ettiği rapor edilmiştir. Yazarlar, bu yüksek korelasyona rağmen hata payının (RMSE) yüksek olması nedeniyle Mehlich-3 kalibrasyonlarının doğrudan H3A-4 değerlerine aktarılmasının mümkün olmadığını, H3A-4 için ayrı kalibrasyon gerektiğini vurgulamaktadır (Rutter ve Ruiz Diaz, 2020). Bu literatür sonuçları, bu çalışmada

Na, K, Mg, Ca için elde edilen çok yüksek uyumu desteklemekte ve H3A'nın rutin yöntemlere kimyasal olarak paralel çalıştığını göstermektedir.

Çizelge 5'teki H3A-4 ve DTPA ile belirlenen Mn değerleri arasında orta düzeyde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($r = 0.461$; $p < 0.05$). H3A-4-DTPA Fe sonuçları arasında orta düzeyde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki vardır ($r = 0.433$; $p < 0.05$). Mn ve Fe için H3A-DTPA sonuçlarının orta düzeyde pozitif ve anlamlı ilişki göstermesi, H3A-4 yönteminin bu elementlerde kısmen benzer fraksiyonları çözebildiğini düşündürmektedir. Çeltik tarımında su altında oluşan redüksiyon koşulları Fe ve Mn oksitlerinin indirgenerek daha çözünür formlara dönüşmesine neden olmakta ve bu durum toprak çözeltisindeki Fe ve Mn düzeylerini artırabilmektedir (Ponnamperuma, 1972; Sahrawat, 2004). Ayrıca H3A-4 ekstraktının düşük pH'lı organik asit temelli yapısı nedeniyle Fe ve Mn gibi elementlerin ekstraksiyonunda etkili olabildiği bildirilmektedir (Haney ve ark., 2006).

Çizelge 5. H3A-4 ekstraksiyon yöntemi ile rutin ekstraksiyon yöntemleri arasındaki korelasyon sonuçları.

Element	Yöntem Çifti	r (Spearman)	p-değeri	n	İlişki Düzeyi
P	H3A-4 – Olsen	0.324	0.030	45	Zayıf, pozitif, anlamlı
K	H3A-4 – NH_4OAc	0.940	<0.001	46	Çok güçlü, pozitif, anlamlı
Ca	H3A-4 – NH_4OAc	0.732	<0.001	46	Güçlü, pozitif, anlamlı
Mg	H3A-4 – NH_4OAc	0.895	<0.001	46	Çok güçlü, pozitif, anlamlı
B	H3A-4 – Sıcak su	0.697	<0.001	46	Güçlü, pozitif, anlamlı
Mn	H3A-4 – DTPA	0.461	0.002	44	Orta, pozitif, anlamlı
Fe	H3A-4 – DTPA	0.433	0.003	46	Orta, pozitif, anlamlı
Zn	H3A-4 – DTPA	0.208	0.170	45	Zayıf, pozitif, anlamsız
Cu	H3A-4 – DTPA	-0.119	0.447	43	Çok zayıf, negatif, anlamsız

Zn için H3A ve DTPA yöntemleri arasında zayıf düzeyde pozitif bir ilişki vardır ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ($r = 0.208$; $p > 0.05$). Bu durum yöntemlerin Zn açısından farklı fraksiyonları çözebileceğini düşündürmektedir. Topraktaki Zn elementinin farklı kimyasal bağlanma formları vardır. H3A bu formların bazılarını çözerken, DTPA diğerlerini çözüyor olabilir.

H3A-4 ve DTPA ile belirlenen Cu değerleri arasında çok zayıf düzeyde negatif bir ilişki vardır ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüştür ($r = -0.119$, $p > 0.05$). Bu durum iki yöntemin Cu ekstraksiyonunda uyum göstermediğini işaret etmektedir.

Mn ve Fe için H3A-DTPA sonuçlarının orta düzeyde pozitif ve anlamlı bir ilişki göstermesi, H3A-4'ün bu elementlerde kısmen benzer fraksiyonları çözebildiğini düşündürmektedir. Çeltik tarımında redüksiyon koşullarında çözünür Fe artması ve H3A-4'ün düşük pH'ı nedeniyle iyi bir demir ekstrakte edici olduğu söylenebilir. Ancak Zn ve Cu için anlamlı bir ilişki bulunmaması, DTPA'nın güçlü şelatlayıcı yapısı nedeniyle H3A'dan farklı metal komplekslerini çözmesiyle açıklanabilir. Bu durum, H3A-4 yönteminin Zn ve Cu için DTPA'ya kıyasla zayıf korelasyon göstermesinin bir metodolojik yetersizlikten ziyade, sentetik şelatör içermeyen formülasyonunun doğal bir sonucu olduğunu düşündürmektedir.

Bor için H3A-4 ve sıcak su ekstraksiyon yöntemi arasında güçlü düzeyde pozitif ve anlamlı bir ilişki elde edilmiştir ($r = 0.697$; $p < 0.05$). Literatürde, topraktaki bor elementinin farklı fraksiyonlarının organik madde içeriği ve çözünür tuzlarla, özellikle elektriksel iletkenlik (EC) ile ilişkili olduğu bildirilmektedir. Yakın tarihli bir çalışmada, suda çözünür ve değişebilir bor fraksiyonlarının hem EC, hem de organik madde miktarı ile pozitif ilişki gösterdiği, toplam alınabilir bor içeriğinin de bu iki toprak özelliğiyle anlamlı düzeyde ilişkili olduğu ortaya konulmuştur (Albarwari ve Mehmedany, 2025). Bu durum, borun toprakta büyük ölçüde çözünür tuzlar ve organik maddeyle ilişkili havuzlarda bulunduğunu göstermektedir. H3A ekstraktörünün zayıf organik asit içeriği, bitki kök salgılarını taklit eden bir çözme mekanizması sunmakta olup (Haney vd., 2010), bu yönüyle organik madde ve çözünür tuzlarla ilişkili bor fraksiyonlarının ekstraksiyonunda sıcak su yöntemine benzer bir davranış sergileyebilmesi mümkündür. Bu çalışmada H3A-4 ile rutin ekstraksiyon yöntemleri arasında elde edilen korelasyon sonuçları, literatürde farklı bölgelerde yürütülen araştırmalarla birlikte değerlendirildiğinde, yöntemlerin özellikle makro elementlerde yüksek uyum gösterdiği, mikro elementlerde ise toprak kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişkenlik sergilediği görülmektedir. Ayrıca, H3A-4 ekstraksiyon yönteminin Trakya Bölgesi çeltik topraklarında uygulanabilirliğini değerlendiren ilk kapsamlı araştırmalardan biri olup, yöntemin özellikle değişebilir baz katyonlarının belirlenmesinde yüksek potansiyel taşıdığını ortaya koymuştur.

Sonuç

Çalışma, Trakya Bölgesi çeltik tarım arazilerindeki topraklarda H3A-4 ekstraksiyon yönteminin uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. Özellikle Fe ve Mn gibi redüksiyon koşullarından etkilenen elementlerde, H3A-4 yönteminin oksidasyonsuz ortam koşullarında artan çözünürlüğe duyarlılık gösterdiği belirlenmiştir. Araştırma sonuçları, kök salgılarını taklit eden H3A-4 ekstraksiyon yönteminin, çeltik topraklarında bazı bitki besin elementlerinin alınabilirliğini başarılı bir şekilde yansıtabildiğini göstermiştir.

Elde edilen bulgular, H3A-4 ekstraksiyon yönteminin çeltik tarımı yapılan topraklarda bazı bitki besin elementlerinin yararlılığını değerlendirmede önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. H3A-4 yöntemi, K ve Mg için geleneksel ekstraksiyon yöntemleriyle çok güçlü, Ca ve B için güçlü ve anlamlı pozitif ilişkiler ortaya koymuştur. Ayrıca, Fe ve Mn için orta düzeyde, P için ise zayıf ancak istatistiksel olarak anlamlı pozitif ilişkiler belirlenmiştir. Buna karşılık, Zn ve Cu için yöntemler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Bu sonuçlar, H3A-4 yönteminin özellikle bazı makro besin elementleri ile B'nin belirlenmesinde umut verici olduğunu, ancak Zn ve Cu açısından güvenilir tarımsal yorumların yapılabilmesi için toprak-bitki besin ilişkilerini gösterecek ek doğrulama çalışmalarına ihtiyaç bulunduğunu göstermektedir.

Bu çalışma, Trakya Bölgesi'nde çeltik tarımı yapılan topraklarda H3A-4 çoklu ekstraksiyon yönteminin uygulanabilirliğini değerlendiren ilk kapsamlı araştırmalardan biri olup, yöntemin sulak alan koşullarındaki performansına ilişkin yeni bilgiler sunmaktadır. Sonuçlar, H3A-4 yönteminin gübreleme programlarının planlanması, toprak verimliliğinin değerlendirilmesi ve sürdürülebilir besin elementi yönetimi uygulamalarında alternatif bir yaklaşım olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, mevcut çalışma yöntemler arası karşılaştırmaya dayandığından, H3A-4 ekstraksiyonunun tarımsal yorumlama ve gübre öneri sistemlerinde kullanılabilirliğinin ortaya konulabilmesi için bitki analizleri, verim parametreleri ve gübreleme denemeleri ile desteklenen ileri araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Teşekkür

Bu makalenin yazarları; TÜBİTAK-TAGEM 1003 Programında yer alan “Toprak İyileştirme ve Çeltik Üretiminde Verimi Artırmak Amacıyla Çeltik Saman Atığı ile Beraber Uygulanacak Biyogübre Üretimi” Projesi nedeniyle bu Projenin yürütücü ve araştırmacılarına ve projeyi destekleyen TÜBİTAK ve TAGEM'E teşekkür ederiz. Ayrıca, Yazarlar, finansal destekleri için Kırklareli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (KLÜBAP-289 (Ç. Tipi YL)) teşekkür eder. Ayrıca, bu araştırmanın bir kısmı Kırklareli Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi (İTÜAM) olanakları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Albarwari ZIS, Mehmedany LAM, 2025. Relationship between available and soluble boron with some soil properties. *Euphrates Journal of Agricultural Science*, 17(3), 1234–1257.
- Anonim 1991a. Kırklareli İli Arazi Varlığı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları. İl Rapor No: 39. Ankara.
- Anonim 1991b. Edirne İli Arazi Varlığı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları. İl Rapor No: 22. Ankara.
- Anonim 1993. Tekirdağ İli Arazi Varlığı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları. İl Rapor No: 59. Ankara.
- Berger KC, Truog, E. 1939. Boron determination in soils and plants. *J. Ind. Eng. Chem.* 1939, 11–10, 540–545.
- Boyras D, Cangir C, 2009. Classification and management of typical soils in the Yıldız Forest ecosystem. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 6(1), 65–77.
- Crittenden SJ, Molina O, Sager S, Cavers C, Xing Z, St Luce, M, Lawley Y, 2024. Comparison of conventional methods with Haney H3A version 4 for available phosphorus and potassium in southern Manitoba soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 104(4), 504–508. <https://doi.org/10.1139/cjss-2024-0060>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, & Intergovernmental Technical Panel on Soils. (2015). Status of the world's soil resources: Main report. FAO. Rome, Italy.
- Gürbüz MA, Kardeş TA, Çebi U, 2016. Fosforun belirlenmesinde çoklu ekstraksiyon yöntemlerinin buğday bitkisinde kullanılabilirliğinin toprak ve bitki analizleri ile değerlendirilmesi. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 31(3), 229-233.
- Gürbüz MA, Kayalı E, Bahar E, Öz TA, 2018. Trakya yöresi tarım topraklarının bitki besin maddesi ve potansiyel toksik element kapsamının belirlenmesi, veri tabanının oluşturulması ve haritalanması (Proje Sonuç Raporu, Proje No: TAGEM/TSKAD/13/A/A13/P07/01-06). Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Kırklareli

- Gürbüz MA, Kayalı, E, Bahar E, Öz TA, & Kurşun, İ, 2019. Trakya topraklarının veri tabanının oluşturulması ve bazı toprak özellikleri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 7(1), 28-36.. <https://doi.org/10.33409/tbbbd.595133>
- Haney RL, Haney EB, Hossner LR, Arnold JG, 2006. Development of a new soil extractant for simultaneous phosphorus ammonium and nitrate analysis. *Commun Soil Sci Plant Anal* 37:1511-1523. <https://doi.org/10.1080/00103620600709977>
- Haney RL, Haney EB, Hossner LR, Arnold JG, 2010. Modifications to the new soil extractant H3A-1: a multinutrient extractant. *Commun Soil Sci Plant Anal* 7:1513-1523. <https://doi.org/10.1080/00103624.2010.482173>
- Haney RL, Haney EB, Smith DR, Harme RD, White MJ, 2018. The soil health tool—theory and initial broad-scale application. *Appl Soil Ecology* 15:162-168. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.07.035>
- Havlin JL, Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD, 2014. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*.
- Hekimoğlu B, Altindeğer M, 2019. Çeltik sektör raporu: Sorunları ve çözüm önerileri. T.C. Samsun Valiliği İl Tarım ve Orman Müdürlüğü.
- Hu X, Machmuller MB, Blecker SW, Buchanan CM, Aksland IB, Firth AG, Ippolito JA, 2025. Comparing the Soil Management Assessment Framework to the Haney Soil Health Test Across Managed Agroecosystems. *Agronomy*, 15(3), 643. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030643>
- İkiel C, Ustaoglu B, Koç, DE. 2020. Erosion susceptibility analysis in the Thrace Peninsula. *Journal of Geomorphological Researches*, 4, 1-14.
- Jackson ML, 1973. *Soil Chemical Analysis: Advanced Course* (2nd ed.). Madison, WI, USA.
- Lindsay WL, Norvell WA, 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421-428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
- Mallarino, AP ve JD Jones, 2018. Correlation of the weak organic acids test of a soil health tool with crop yield response to phosphorus fertilization. s. 14-20. 48. Kuzey-Orta Tarım-Sanayi Toprak Verimliliği Konferansı Bildirileri. 14-15 Kasım 2018. Cilt 34. Des Moines, IA. Uluslararası Bitki Besleme Enstitüsü, Peachtree Corners, GA
- Nelson RE, 1982. Carbonate and gypsum. In:Page, A. L. et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. ASA-SSSA*.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean LA, 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (USDA Circular No. 939). U.S. Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Page AL, Miller RH, Keeney DR, 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. ASA-SSSA, Madison.
- Ponnamperuma, FN, 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in agronomy*, 24, 29-96.
- Richards LA, 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agriculture Handbook No. 60. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
- Rutter EB, Ruiz Diaz DA, 2020. Relationships between Haney H3A and conventional soil tests for phosphorus and potassium in Kansas soils. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 6(9). <https://doi.org/10.4148/2378-5977.7979>
- Sahrawat KÁ, 2005. Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. *Journal of plant nutrition*, 27(8), 1471-1504.
- Walkley A, Black IA, 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

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



Farklı sıcaklıklarda üretilen çeltik kavuzu biyokömürünün kurak koşullarda toprak özellikleri ve marul bitkisi verimine etkileri

Salih DEMİRKAYA*, Samiullah ZAHİD, Onur Yasin KAZKONDU,
Dursun Çağrı AHISKALIOĞLU, Coşkun GÜLSER

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

Öz

Bu çalışmanın amacı, artan su stresi koşulları altında farklı piroliz sıcaklıklarında (350°C ve 550°C) üretilen çeltik kavuzu biyokömürünün marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisinin verimi ve fizyolojik parametreleri ile toprak özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır. Sera koşullarında, tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre kurulan çalışmada; üç farklı sulama rejimi (%50, %75 ve %100), iki farklı biyokömür tipi (B350 ve B550) ve üç farklı biyokömür dozu (%0, %1 ve %2) test edilmiştir. Elde edilen bulgular, artan sulama suyu seviyelerinin ve biyokömür dozlarının marulun taze ve kuru biyokütle verimi ile su kullanım randımanını istatistiksel olarak ileri düzeyde ($p<0.01$) artırdığını göstermektedir. Biyokömürün üretim sıcaklığının verim parametreleri üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı bir ana etkisi bulunmamasına rağmen, %2 oranındaki biyokömür uygulaması kontrol grubuna kıyasla taze verimde %24, kuru verimde ise %30'luk bir artış sağlamıştır. Toprak özellikleri açısından değerlendirildiğinde, %2'lik biyokömür dozu toprağın değişebilir potasyum ve alınabilir fosfor konsantrasyonlarını sırasıyla %24 ve %18 oranında artırmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada, çeltik kavuzu biyokömürünün üretim sıcaklığından bağımsız olarak %2 oranında toprağa uygulanmasının, kuraklık baskısı altındaki tarımsal sistemlerde su kullanım randımanını optimize etmek, bitki verimini korumak ve toprak verimliliğini sürdürülebilir bir şekilde artırmak için etkili, ekonomik ve çevre dostu bir strateji olduğu vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyokömür, çeltik kavuzu, kuraklık stresi, marul, toprak düzenleyici

Effects of rice husk biochar produced at different temperatures on soil properties and lettuce yield under drought conditions

Abstract

This study aims to evaluate the effects of rice husk biochar produced at different pyrolysis temperatures (350°C and 550°C) under increasing water stress conditions on the yield and physiological parameters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) as well as on soil properties. Conducted under greenhouse conditions using a factorial experimental design in randomized blocks, the study tested three different irrigation regimes (50%, 75%, and 100%), two different biochar types (B350 and B550), and three different biochar application rates (0%, 1%, and 2%). The findings indicate that increasing irrigation water levels and biochar application rates significantly ($p<0.01$) increased the fresh and dry biomass yields of lettuce as well as its water use efficiency. Although the production temperature of biochar had no statistically significant main effect on yield parameters, the application of 2% biochar resulted in a 24% increase in fresh yield and a 30% increase in dry yield compared to the control group. In terms of soil properties, a 2% biochar application increased the soil's exchangeable potassium and available phosphorus concentrations by 24% and 18%, respectively. In conclusion, applying 2% rice hull biochar to the soil—regardless of production temperature—is an effective, economical, and environmentally friendly method for optimizing water use efficiency, maintaining crop yield, and sustainably increasing soil fertility in agricultural systems under drought stress.

Keywords: Biochar, rice husk, drought stress, lettuce, soil conditioner.

© 2026 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (531) 697 1047
E-posta : salih.demirkaya@omu.edu.tr

Makale Türü: ARAŞTIRMA MAKALESİ

Geliş Tarihi : 15 Mayıs 2026 e-ISSN : 2146-8141
Kabul Tarihi : 23 Haziran 2026 DOI : 10.33409/tbbbd.1951076

Giriş

Dünya genelinde tarımsal üretimi tehdit eden en önemli çevresel sorunların başında iklim değişikliği ve buna bağlı gelişen toprak bozulumu gelmektedir (Fahad vd., 2017; Gudko ve ark. 2025). Artan kuraklık gibi abiyotik stres faktörleri, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek bitki büyümesini ve tarımsal verimi ciddi şekilde sınırlandırmaktadır (Seleiman vd., 2021; Shoumik ve ark. 2025; Gülser ve Gülser, 2025). Topraklara bitkisel atık ve kompost kökenli organik materyal ilavesinin toprakların organik madde içeriğini, su tutma kapasitesini ve besin elementlerini önemli düzeyde artırdığı bilinmektedir (Candemir ve Gülser 2007; Demir ve Gülser 2008; Gülser ve ark. 2010; Candemir ve Gülser 2011; Gülser ve ark. 2015; Demir ve Gülser 2015; Demir ve Gülser 2021; Yavuzkılıç ve Gülser, 2024; Rahman ve ark., 2024). Bu bağlamda, toprağın su tutma kapasitesini artıracak, gözenekliliğini ve verimliliğini koruyacak sürdürülebilir, doğa temelli toprak düzenleyicilerin kullanımı büyük önem taşımaktadır (Lehmann ve Joseph, 2015).

Marul (*Lactuca sativa* L.), dünya çapında en çok tüketilen ve ekonomik değeri yüksek olan yapraklı sebzelerden biridir (Upadhyay vd., 2014). İnsan sağlığı için önemli olan A, K ve B6 vitaminleri, beta-karoten, fenolik bileşikler ile kalsiyum, fosfor ve potasyum gibi çeşitli mineraller açısından oldukça zengin bir besin profiline sahiptir (Jabborova vd., 2021). Ancak marul bitkisi, kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik stres koşullarına karşı oldukça duyarlı olup, başarılı bir yetiştiricilik için yeterli su ve besin maddesi tedarikine ihtiyaç duymaktadır (Fedeli vd., 2024). Çevresel stres koşulları altında marul bitkisinin fotosentez süreci zarar görmekte, yaprak ve kök büyümesi yavaşlamakta, sonuç olarak bitki verimi ve nihai ürün kalitesi önemli ölçüde düşmektedir (Liu vd., 2022).

Son yıllarda, tarımsal toprakların iyileştirilmesinde organik atık uygulamaları (ve bitkilerdeki stresin hafifletilmesinde çevre dostu ve uygun maliyetli bir yöntem olan "biyokömür" kullanımı literatürde geniş çapta dikkat çekmektedir. Biyokömür, organik biyokütlelerin oksijensiz ortamda termal bozunmaya (piroliz) uğratılmasıyla elde edilen, karbon açısından zengin ve gözenekli bir materyaldir. Toprağa ilave edilen biyokömür; toprağın su tutma kapasitesini, havalanmasını ve katyon değişim kapasitesini artırarak toprağın fiziksel ile kimyasal özelliklerini doğrudan iyileştirir (Demirkaya ve ark. 2025; Demirkaya ve Gülser, 2025; Mawalla ve Gülser, 2025). Aynı zamanda topraktaki mikrobiyal popülasyonu, toprak solunumunu ve enzim aktivitelerini teşvik ederek bitkiler için besin maddesi yarıyışlılığını artırmaktadır (Trupiano vd., 2017). Marul üzerinde yapılan çalışmalarda, biyokömür uygulamasının bitki boyunu, yaprak sayısını, kök gelişimini, taze ve kuru biyokütleyi önemli ölçüde artırdığı bulunmuştur (Jabborova vd., 2021). Ayrıca, klorofil içeriği ve antioksidan kapasitesi gibi fizyolojik özellikleri iyileştirerek olumsuz çevresel faktörlerin bitki üzerindeki baskısını hafiflettiği kanıtlanmıştır (Fedeli vd., 2024).

Biyokömürün toprak ve bitki üzerindeki etkinliği; kullanılan hammaddenin türüne, uygulanan piroliz süresine ve üretim sıcaklığına bağlı olarak büyük değişiklikler göstermektedir (Tomczyk vd., 2020). Pirinç ve çeltik endüstrisinin yaygın bir yan ürünü olan çeltik kavuzu, düşük maliyetli ve sürdürülebilir bir biyokömür hammadde kaynağıdır. Özellikle 350°C ve 550°C gibi farklı piroliz sıcaklıklarında üretilen biyokömürlerin yüzey alanı, gözenek yapısı ve besin tutma kapasiteleri birbirinden farklılaşmaktadır (Zhao vd., 2013). Yapılan araştırmalar, çeltik kavuzu biyokömürünün toprak özelliklerini iyileştirdiğini ve sebzelerde bitki biyokütlesi ile verimini artırdığını göstermektedir (Carter vd., 2013).

Sulama suyunun yetersiz olduğu kurak koşullar altında, çeltik kavuzu biyokömürünün bitki gelişimi ve toprak su-besin dinamikleri üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar hala sınırlıdır. Ayrıca, üretim aşamasındaki 350°C ve 550°C gibi farklı piroliz sıcaklıklarının elde edilen çeltik kavuzu biyokömürünün kalitesi ve kuraklık stresi altındaki bitkilere sağladığı yararlar üzerindeki rolü kapsamlı bir şekilde araştırılmayı beklemektedir. Bu bağlamda, bu çalışmanın amacı; kurak koşullar altında, farklı sıcaklıklarda üretilen çeltik kavuzu biyokömürünün toprak özelliklerine ve marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisinin büyüme, fizyolojik gelişim ve verim parametrelerine olan etkilerini değerlendirmektir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, 08.12.2025-26.02.2026 tarihleri arasında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü serasında saksı denemesi olarak yürütülmüştür. Çalışmada test bitkisi olarak 'Aveleda' kıvrıkcık marul çeşidi (*Lactuca sativa* L.) fideleri kullanılmıştır. Denemede kullanılan toprak materyali Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bafra Deneme İstasyonu'ndan temin edilmiştir. Hava kurusu hale getirildikten sonra 2 mm'lik elekten geçirilerek kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılmak üzere, çeltik kavuzu atıklarından oksijensiz koşullarda yavaş piroliz yöntemiyle iki farklı biyokömür üretilmiştir. Piroliz işlemi, 5°C dk⁻¹ ısıtma hızıyla 350°C ve 550°C son sıcaklıklarına ulaşılacak şekilde gerçekleştirilmiş ve biyokömürler bu sıcaklıklarda 2 saat süreyle bekletilerek elde edilmiştir. Denemede kullanılan toprak örneğinin bazı fizikokimyasal özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Denemede kullanılan toprak örneğinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kum (%)	43,74	OM (%)	1,91
Kil (%)	37,07	Toplam N (%)	0,08
Silt (%)	19,19	Değişebilir K (mek 100g ⁻¹)	0,90
pH (1:1)	8,14	Bitkiye yararışlı P (mg kg ⁻¹)	24,4
EC (dS m ⁻¹)	0,54	Tarla Kapasitesi (%)	30,5
Kireç (%)	16,95	Solma Noktası (%)	19,7

Çalışma tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak toplamda 45 saksıdan oluşmaktadır. Söz konusu çalışmada faktörler olarak sulama seviyesi (bitki yararışlı suyun %100, %75 ve %50), biyokömür uygulama dozu (%0, %1 ve %2) ve biyokömür üretim sıcaklığı (350°C ve 550°C) incelenmiştir. Her bir saksıya gerekli biyokömürle karıştırıldıktan sonra 1 kg fırın kurusu ağırlığına eşdeğer olarak topraklar tartılarak konulmuştur. Bitkilerin vejetasyon süresi boyunca ihtiyaç duyacağı azot miktarını karşılamak amacıyla, başlangıçta tüm saksılara temel gübreleme olarak dekara 10 kg saf azot (10 kg N/da) hesabıyla üre (%46 N) gübresi solüsyon şeklinde uygulanmıştır. Deneme süresince saksılar 2 günde bir düzenli olarak tartılmış ve eksilen su miktarı hesaplanarak bitkiye yararışlı suyun %50, %75 ve %100’ü oranlarında sulama yapılmıştır.

Toprak ve Bitki Analiz Yöntemleri

Toprak bünyesinin belirlenmesi hidrometre yöntemi ile (Bouyoucos, 1962), toprak reaksiyonu (pH) ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 1:1 (w/v) oranındaki toprak-su süspansiyonunda pH metre ve EC metre kullanılarak (Jackson, 1958), organik madde içeriği Walkley-Black yaş yakma yöntemine göre (Nelson ve Sommers, 1982), kireç içeriği Scheibler kalsimetresi ile (Loeppert ve Suarez, 1996) belirlenmiştir. Topraktaki değişebilir katyonlar (K, Ca, Mg, Na) 1 N amonyum asetat (pH = 7.00) ekstraksiyon yöntemine (Thomas, 1982) göre, bitkiye yararışlı fosfor ise 0.5 N sodyum bikarbonat (pH = 8.50) ekstraksiyon yöntemiyle (Olsen ve ark., 1954) belirlenmiştir. Biyokömürün pH ve EC değerleri 1:10 (w/v) oranındaki biyokömür-su süspansiyonunda pH ve EC metre yardımıyla belirlenmiştir. Ayrıca biyokömürün toplam N, değişebilir K ve bitkiye yararışlı P içeriğinde toprak örneğinde kullanılan metotlar kullanılarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinde tarla kapasitesi (0.33 atm) ve solma noktası (15 atm) değerleri basınçlı table yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Klute, 1986). Deneme sonunda, bitkilerde fotosentetik pigment içerikleri taze bitki örneklerinde gerçekleştirilmiştir. 0.2 gram taze yaprak örneği kuvars kum, magnezyum oksit ve %80’lik aseton ile porselen havanda ezilmiş ve süzük elde edilmiştir (Arnon, 1949).

$$\text{Klorofil-a, mg / g TM} = [(12.70 \cdot A_{663}) - (2.69 \cdot A_{645})] \cdot V / (1000 \cdot w)$$

$$\text{Klorofil-b, mg / g TM} = [(22.90 \cdot A_{645}) - (4.68 \cdot A_{663})] \cdot V / (1000 \cdot w)$$

$$\text{Toplam klorofil, mg / g TM} = [(20.2 \cdot A_{645}) + (8.02 \cdot A_{663})] \cdot V / (1000 \cdot w)$$

$$\text{Karotenoid, mg / g TM} = (A_{480} \cdot V) / (250 \cdot w)$$

Burada; A₆₆₃ = 663 nm’deki absorbans okuma değeri, A₆₄₅ = 645 nm’deki absorbans okuma değeri, A₄₈₀ = 480 nm’deki absorbans okuma değeri, V= 25 mL, w = Yaprak ağırlığı (g) ifade etmektedir.

Hasat olgunluğuna erişen marul bitkileri, toprak seviyesinden kesilerek hasat edilmiş, taze biyokütle ağırlıkları hassas terazi ile kaydedilmiş; ardından örnekler 65°C’de sabit ağırlığa ulaşana dek kurutularak kuru madde verimleri saptanmıştır. Kurutulup öğütülen bitki materyallerinde toplam azot (N) içeriği, standart Kjeldahl yöntemine (Kacar ve İnal, 2008) göre belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen tüm deneysel verilerin istatistiksel değerlendirmesi SPSS paket programı kullanılarak yapılmıştır. Uygulamaların ana etkileri ve aralarındaki interaksiyonlar varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiş; istatistiksel olarak anlamlı bulunan ortalamalar arası farklılıklar LSD (Least Significant Difference) testi ile gruplandırılarak değerlendirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Biyokömür Özellikleri

Araştırmada kullanılan ve farklı piroliz sıcaklıklarında (350°C ve 550°C) üretilen çeltik kavuzu biyokömürlerine (B350 ve B550) ait temel kimyasal özellikler Çizelge 2'de verilmiştir. Piroliz sıcaklığındaki artışın, biyokömürün pH değerinin yanı sıra değişebilir K ve bitkiye yarayışlı P içeriklerinde belirgin bir artışa neden olduğu saptanmıştır. Piroliz sıcaklığının artışıyla birlikte biyokömürün organik madde ve azot miktarında azalmıştır.

Çizelge 2. Çeltik kavuzundan üretilen biyokömürlerinin bazı kimyasal özellikleri

	B350	B550
pH	6,72	9,05
EC (dS m ⁻¹)	0,29	0,31
OC (%)	65.1	59.2
Toplam N (%)	0.30	0.27
Değişebilir K (mg kg ⁻¹)	2950.0	3855.4
Bitkiye yarayışlı P (mg kg ⁻¹)	225.2	987.5

Uygulanan farklı sulama seviyeleri ve biyokömür dozlarının bitkinin taze/kuru biyokütle verimi ile su kullanım randımanı (SKR) üzerindeki etkileri Çizelge 3'te özetlenmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, sulama ve biyokömür dozu ana etkileri her üç verim parametresi üzerinde istatistiksel olarak ileri düzeyde anlamlı (p<0.01) bulunurken; biyokömür piroliz sıcaklığının ve faktörler arası interaksiyonların etkileri istatistiksel açıdan önemsiz (p>0.05) bulunmuştur. Taze ve kuru biyokütle verimleri, artan sulama suyu seviyesi ve biyokömür dozu ile paralel olarak artış göstermiştir. Şiddetli su kısıtı uygulanan (%50) koşullara kıyasla, tam sulama (%100) koşullarında bitki taze ve kuru ağırlıklarında sırasıyla %31 ve %27 oranında artış kaydedilmiştir. Benzer şekilde, en yüksek biyokömür dozunun (%2) uygulanması, biyoköürsüz kontrole (%0) göre taze verimi %24, kuru verimi ise %30 oranında artırmıştır. Mawalla ve Gülser (2025), tarımsal atıklardan elde edilen biyokömür uygulamalarının farklı bünyeli topraklarda buğday bitkisinin verimi ve su kullanma randımanını artırdığını bildirmiştir.

Çizelge 3. Sulama suyu seviyesi, biyokömür tipi ve uygulama dozunun bitki taze ve kuru verimi ile su kullanım randımanına etkisi

	Taze verim, g/saksı	Kuru verim, g/saksı	Su Kullanım Randımanı, mg/ml
Sulama (S), %			
50	27,43 ± 0,89 c	3,12 ± 0,17 b	25,02 ± 0,48 b
75	32,75 ± 0,79 b	3,67 ± 0,19 ab	25,79 ± 0,48 b
100	35,86 ± 0,92 a	3,97 ± 0,20 a	28,87 ± 9,48 a
Biyoçar (B)			
B350	31,79 ± 0,96	3,48 ± 0,15	26,50 ± 0,54
B550	32,23 ± 1,00	3,69 ± 0,18	26,61 ± 0,52
Doz (D), %			
0	27,91 ± 0,98 b	3,01 ± 0,12 b	25,13 ± 0,77 b
1	33,60 ± 1,05 a	3,85 ± 0,23 a	27,21 ± 0,56 a
2	34,53 ± 0,91 a	3,91 ± 0,18 a	27,33 ± 0,43 a
Önemlilik Düzeyi			
S	**	**	**
B	öd	öd	öd
D	**	**	**
SxB	öd	öd	öd
SxD	öd	öd	öd
BxD	öd	öd	öd
SxBxD	öd	öd	öd

S: Sulama, B: Biyokömür, D: Uygulama dozu, öd: İstatistiksel olarak önemli değil, *: %5 düzeyinde önemli, **: %1 düzeyinde önemli. Faktörlere ait ortalamalar arasındaki farklılıklar farklı harflerle gösterilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklılıkların analizinde Tukey HSD (%5 önem düzeyinde) kullanılmıştır.

Deneme sonunda toprakların pH, EC ve OM içeriklerinde meydana gelen değişimler Çizelge 4'te verilmiştir. Artan biyokömür dozunun, toprak pH'sında yaklaşık 0.5 birimlik istatistiksel olarak anlamlı bir düşüşe yol açtığı belirlenmiştir. Toprak EC değerlerinin ise hem sulama suyu seviyesindeki hem de biyokömür uygulama dozundaki artışa bağlı olarak %7 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Toprak organik madde içeriği üzerinde ana faktörlerin bireysel etkileri istatistiksel açıdan önemsiz bulunurken, yalnızca sulama suyu seviyesi x uygulama dozu interaksyonunun önemli olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4. Farklı uygulamaların hasat sonrası toprak pH, EC ve organik madde içeriklerine etkisi

	pH, 1:1 (w:v)	EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$	OM, %
Sulama (S), %			
50	8,10 $\pm$ 0,02	566,84 $\pm$ 12,21 a	2,30 $\pm$ 0,04
75	8,07 $\pm$ 0,01	528,06 $\pm$ 7,13 b	2,30 $\pm$ 0,05
100	8,09 $\pm$ 0,03	527,32 $\pm$ 5,42 b	2,39 $\pm$ 0,04
Biyoçar (B)			
B350	8,08 $\pm$ 0,01	536,52 $\pm$ 8,36	2,37 $\pm$ 0,04
B550	8,10 $\pm$ 0,01	544,96 $\pm$ 7,41	2,30 $\pm$ 0,04
Doz (D), %			
0	8,11 $\pm$ 0,01 a	565,29 $\pm$ 11,15 a	2,27 $\pm$ 0,03
1	8,09 $\pm$ 0,01 a	533,87 $\pm$ 6,50 b	2,33 $\pm$ 0,06
2	8,06 $\pm$ 0,01 b	523,06 $\pm$ 8,14 b	2,40 $\pm$ 0,04
Önemlilik Düzeyi			
S	öd	**	öd
B	öd	öd	öd
D	**	**	öd
SxB	öd	öd	öd
SxD	**	**	**
BxD	öd	öd	öd
SxBxD	öd	öd	öd

S: Sulama, B: Biyokömür, D: Uygulama dozu, öd: İstatistiksel olarak önemli değil, *: %5 düzeyinde önemli, **: %1 düzeyinde önemli. Faktörlere ait ortalamalar arasındaki farklılıklar farklı harflerle gösterilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklılıkların analizinde Tukey HSD (%5 önem düzeyinde) kullanılmıştır.

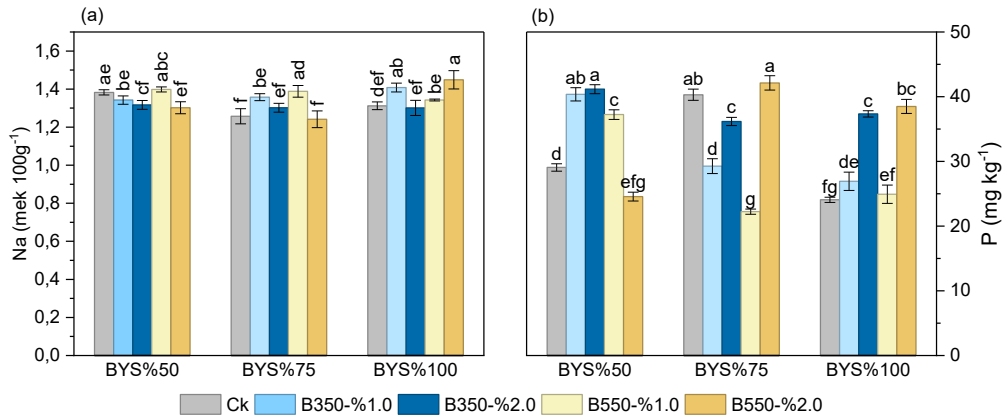
Deneme faktörlerinin hasat sonrası toprak makro besin elementi (Na, K, Ca, Mg, P) konsantrasyonları üzerindeki etkileri Çizelge 5'te detaylandırılmıştır. Sulama suyu seviyesinin etkisi değişebilir Ca hariç diğer elementler üzerinde önemli olmuştur. Biyoçar tipi yalnızca değişebilir K ve Ca üzerinde etkili olurken, uygulama dozu ise değişebilir K, Ca ve bitkiye yarıyışlı P üzerinde etkili olmuştur. Artan biyokömür uygulaması, kontrol grubuna kıyasla toprağın değişebilir K konsantrasyonunu %24, yarıyışlı P konsantrasyonunu ise %18 oranında artırarak toprağın besin elementi elverişliliğini iyileştirmiştir. Değişebilir Na ve Ca içeriklerinin ise uygulanan biyokömür dozlarına bağlı değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Sulama suyu seviyesi, biyoçar tipi ve uygulama dozu interaksyonu değişebilir Na ve bitkiye yarıyışlı P üzerinde etkili bulunmuştur (Şekil 1).

Uygulamaların marul bitkisinin toplam N içeriği ile fotosentetik pigment konsantrasyonları üzerindeki etkileri Çizelge 6'da verilmiştir. Sulama seviyesi, biyokömür tipi, uygulama dozu ve bu faktörlerin interaksyonlarının, incelenen bitki fizyolojik ve kimyasal parametreleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar yarattığı saptanmıştır. Bitkinin N kapsamının, sulama suyu ve biyokömür uygulama dozundaki artışa paralel olarak azaldığı ve B550 uygulamasının B350 uygulamasından daha etkili olduğu belirlenmiştir. Klorofil miktarları incelendiğinde klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofilin %75 sulama suyu seviyesinde ve B350 uygulamasında en yüksek olduğu belirlenmiştir. Uygulama dozunun etkisi ise klorofil-a ve toplam klorofil için %1 daha etkili olurken, klorofil-b

Çizelge 5. Uygulamaların hasat sonrası toprak makro besin elementleri üzerine etkisi

	Na, mek 100g ⁻¹	K, mek 100g ⁻¹	Ca, mek 100g ⁻¹	Mg, mek 100g ⁻¹	P, mg kg ⁻¹
Sulama (S), %					
50	1,35 ± 0,01 a	0,92 ± 0,03 a	33,49 ± 0,25	5,87 ± 0,17 b	33,58 ± 1,55 b
75	1,30 ± 0,02 b	0,83 ± 0,02 b	33,14 ± 0,15	6,45 ± 0,56 a	35,06 ± 1,75 a
100	1,35 ± 0,02 a	0,85 ± 0,02 b	33,57 ± 0,26	5,84 ± 0,21 b	29,31 ± 1,53 c
Biyoçar (B)					
B350	1,33 ± 0,01	0,89 ± 0,02 a	33,63 ± 0,16 a	5,98 ± 0,42 a	33,85 ± 1,23 a
B550	1,34 ± 0,02	0,85 ± 0,02 b	33,17 ± 0,19 b	6,12 ± 0,16 b	31,45 ± 1,50 b
Doz (D), %					
0	1,32 ± 0,02 b	0,78 ± 0,01 c	33,97 ± 0,23 a	6,11 ± 0,20	31,14 ± 1,66 b
1	1,37 ± 0,01 a	0,85 ± 0,01 b	32,98 ± 0,17 b	6,21 ± 0,58	30,16 ± 1,62 b
2	1,32 ± 0,02 b	0,97 ± 0,02 a	33,25 ± 0,21 b	5,84 ± 0,22	36,64 ± 1,43 a
Önemlilik Düzeyi					
S	**	**	öd	*	**
B	öd	**	*	öd	**
D	**	**	**	öd	**
SxB	öd	öd	*	öd	**
SxD	**	**	öd	öd	**
BxD	öd	**	öd	öd	**
SxBxD	**	öd	öd	öd	**

S: Sulama, B: Biyokömür, D: Uygulama dozu, öd: İstatistiksel olarak önemli değil, *: %5 düzeyinde önemli, **: %1 düzeyinde önemli. Faktörlere ait ortalamalar arasındaki farklılıklar farklı harflerle gösterilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklılıkların analizinde Tukey HSD (%5 önem düzeyinde) kullanılmıştır.



Şekil 1. Sulama suyu seviyesi ve uygulamaların toprakta a) değişebilir Na ve b) bitkiye yararlı P üzerine etkisi

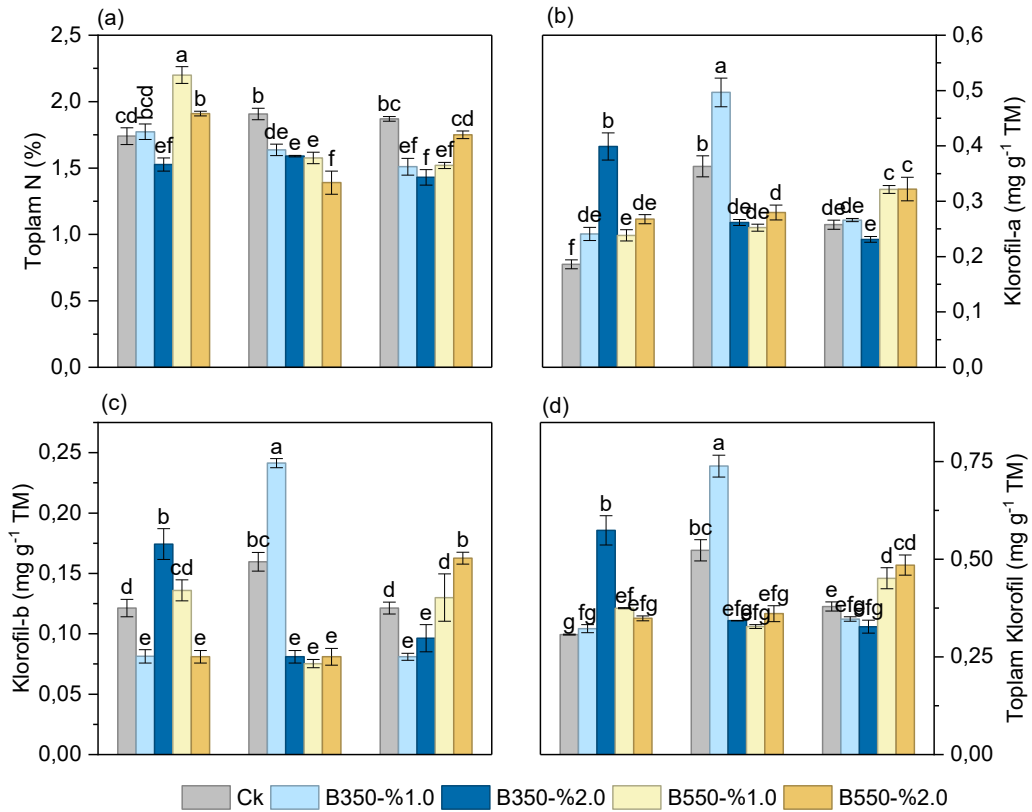
Sulama suyu seviyesi, biyokömür tipi ve uygulama dozu interaksiyonunun bitki N kapsamı ve fotosentetik pigmentler üzerine etkisi Şekil 2'de verilmiştir. En yüksek bitki N (%2.20) içeriği %50 sulama suyu koşullarında B550 biyoçar uygulamasının %1 dozunda elde edilmiştir. En yüksek klorofil-a (0.497 mg g TM⁻¹), klorofil-b (0.241 mg g TM⁻¹) ve toplam klorofil (0.697 mg g TM⁻¹) miktarları ise %75 sulama suyu koşullarında B350 uygulamasının %1 dozunda elde edilmiştir.

Çalışma sonunda toprak ve bitki özellikleri arasındaki ilişkiler korelasyon matrisinde ortaya konulmuştur (Şekil 3). Taze verim ile bitki N içeriği ($r^2 = -0.5^{**}$), toprak pH'sı ($r^2 = -0.29^*$), toprak EC'si ($r^2 = -0.56^{**}$) arasında önemli negatif ilişkiler belirlenirken, kuru verim ($r^2 = 0.66$), ve su kullanım randımanıyla ($r^2 = 0.82$) önemli pozitif ilişkiler belirlenmiştir.

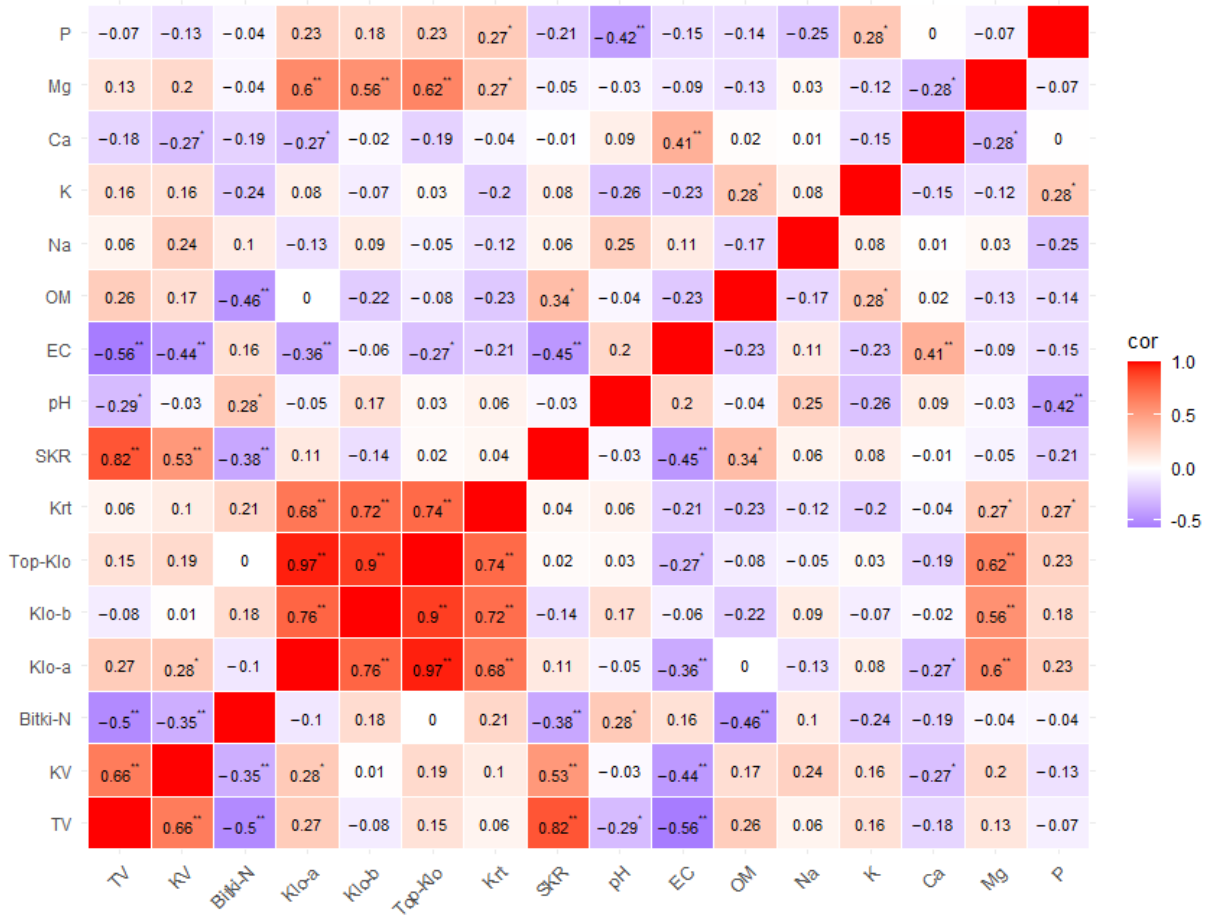
Çizelge 6. Uygulamaların marul bitkisinin azot ve fotosentetik pigmentler üzerine etkisi

	Bitki N, %	Klorofil-a, mg g TM ⁻¹	Klorofil-b, mg g TM ⁻¹	Toplam Klorofil, mg g TM ⁻¹
Sulama (S), %				
50	1,82 ± 0,05 a	0,25 ± 0,02 c	0,12 ± 0,01 b	0,37 ± 0,02 b
75	1,66 ± 0,05 b	0,34 ± 0,02 a	0,13 ± 0,01 a	0,47 ± 0,04 a
100	1,66 ± 0,05 b	0,28 ± 0,01 b	0,12 ± 0,01 b	0,39 ± 0,01 b
Biyoçar (B)				
B350	1,66 ± 0,03 b	0,30 ± 0,02 a	0,129 ± 0,01 a	0,43 ± 0,03 a
B550	1,76 ± 0,05 a	0,28 ± 0,01 b	0,119 ± 0,01 b	0,40 ± 0,01 b
Doz (D), %				
0%	1,83 ± 0,02 a	0,27 ± 0,02 b	0,13 ± 0,01 a	0,40 ± 0,02
1%	1,70 ± 0,06 b	0,30 ± 0,02 a	0,12 ± 0,01 ab	0,43 ± 0,04
2%	1,60 ± 0,05 c	0,29 ± 0,01 a	0,11 ± 0,01 b	0,41 ± 0,02
Önemlilik Düzeyi				
S	**	**	**	**
B	**	**	*	**
D	**	**	**	öd
SxB	**	**	**	**
SxD	**	**	**	**
BxD	**	**	öd	**
SxBxD	**	**	**	**

S: Sulama, B: Biyokömür, D: Uygulama dozu, TM: Taze madde, öd: İstatistiksel olarak önemli değil, *: %5 düzeyinde önemli, **: %1 düzeyinde önemli. Faktörlere ait ortalamalar arasındaki farklılıklar farklı harflerle gösterilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklılıkların analizinde Tukey HSD (%5 önem düzeyinde) kullanılmıştır.



Şekil 2. Sulama suyu seviyesi ve uygulamaların bitki a) toplam N, b) klorofil-a, c) klorofil-b ve d) toplam klorofil miktarlarına etkisi



Şekil 3. Bitki ve toprak parametreleri arasındaki Pearson korelasyon matrisi (TV: taze verim, KV: kuru verim, Klo-a: klorofil-a, Klo-b: klorofil-b, Top-Klo: toplam klorofil, Krt: karotenoid, SKR: su kullanım randımanı, EC: elektriksel iletkenlik, OM: organik madde. *: %5, **: %1 düzeyinde önemliliği ifade eder)

Çalışmada kullanılan çeltik kavuzu biyokömürlerinin piroliz sıcaklığındaki artış pH değerini yükseltirken, değişebilir K ve bitkiye yarıyışlı P içeriklerinde belirgin bir artışa neden olmuştur (Çizelge 4). Bu durum, yüksek piroliz sıcaklıklarında asidik fonksiyonel grupların parçalanması, uçucu maddelerin uzaklaşması ve kül (alkali metal) oranının konsantre olmasıyla açıklanabilir (Zhang vd., 2015; Hossain vd., 2020). Yüksek sıcaklıklarda P'nin buharlaşma sıcaklığının yüksek olması, biyokömür bünyesinde kristalize olarak birikmesini sağlarken; alkali metallerin (özellikle K) serbest kalarak çözünür formlara dönüşmesini teşvik eder (Ahmad vd., 2014; Cantrell vd., 2012).

Biyokömürün yüksek gözenekli yapısı ve geniş yüzey alanı, toprakta su tutma kapasitesini artırarak bitkilerin su stresine karşı toleransını yükseltmektedir (Ding vd., 2016; Ali vd., 2017). Ayrıca artan biyokömür dozu ile su kullanım randımanında görülen iyileşme, biyokömürün bitki kök bölgesindeki nemi koruyarak transpirasyon kayıplarını minimize etmesiyle ilişkili olabilir (Batoool vd., 2015). Bu sonuçlar, biyokömürün toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirerek verimi artırdığını bildiren Jeffery vd. (2011) ve Biederman & Harpole (2013) tarafından yapılan geniş çaplı meta-analiz sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Literatürde genellikle alkali karakterli biyokömür uygulamalarının toprak pH'sını artırdığı rapor edilse de (Lehmann vd., 2011), bu çalışmada artan biyokömür dozu ile toprak pH'sında yaklaşık 0.5 birimlik bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum, bitkilerin biyokömür uygulamasıyla artan kök biyokütlesi neticesinde rizosfere salgıladıkları düşük moleküler ağırlıklı organik asitler ve artan mikrobiyal solunum ile açıklanabilir (Laird vd., 2010; Hussain vd., 2017). Diğer taraftan, artan sulama suyu ve biyokömür dozunun toprak elektriksel iletkenliğini %7 oranında düşürmesi önemli bir bulgudur. Biyokömürün yüksek katyon değişim kapasitesi ve gözenekli yapısı, topraktaki serbest tuz iyonlarını adsorbe ederek rizosferdeki tuzluluk baskısını azaltmaktadır (Agegnehu vd., 2016; Haider vd., 2017).

Hasat sonrası toprak analizleri, artan biyokömür uygulamasının toprağın değişebilir K konsantrasyonunu %24, yarıyışlı P konsantrasyonunu ise %18 oranında artırdığını göstermiştir (Çizelge 5). Çeltik kavuzu biyokömürü, yapısı gereği Si, P ve K bakımından oldukça zengindir (Kamali vd., 2022). Özellikle B550 gibi yüksek sıcaklıkta üretilen biyokömürlerin, toprağa doğrudan besin elementi sağlamanın yanı sıra (Glaser

vd., 2002), fosforun toprakta fiksasyona uğramasını engelleyen organik anyonlar üreterek P yarayışlılığını artırdığı bilinmektedir (Gul vd., 2015; Albuquerque vd., 2014). S x B x D interaksyonunun Na ve P üzerinde anlamlı çıkması, topraktaki besin elementi dinamiklerinin sadece biyokömürün yapısına değil, sulama suyu seviyesinin toprak çözeltisindeki iyonların çözünme-çökelme reaksiyonlarına da bağlı olduğunu göstermektedir. Artan biyokömür dozu ve sulama seviyesiyle birlikte marul bitkisinin toplam N içeriğinin azalması, artan su varlığı ve biyokömürün teşvik ettiği hızlı biyokütle üretiminin yarattığı seyrelme etkisi ile açıklanabilir (Major vd., 2010; Zeeshan vd., 2020). Ayrıca, yüksek C/N oranına sahip biyokömürlerin toprakta N immobilizasyonuna neden olabileceği de literatürde yaygın bir mekanizmadır (Clough vd., 2013; Zhao vd., 2014).

Fotosentetik pigmentler (klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil) açısından en ideal koşullar, hafif su stresi (%75 sulama) ve düşük sıcaklık biyokömürü (B350, %1 doz) kombinasyonunda elde edilmiştir (Şekil 2, Çizelge 6). B350'nin daha düşük pH'a ve daha yüksek kül içeriğine sahip olması, rizosferde mikro besin elementlerinin (özellikle klorofil sentezinin merkezinde yer alan Mg ve Fe) bitki tarafından daha kolay alınmasını sağlamış olabilir (Gunes vd., 2014). Aksine, B550 uygulamasında yüksek pH, demir gibi elzem mikro elementlerin yarayışlılığını sınırlandırarak pigment sentezini baskılamış olabilir (Demirkaya ve Gülser, 2023).

Sonuç

Bu çalışmada, farklı sıcaklıklarda üretilen çeltik kavuzu biyokömürünün marul bitkisinde kuraklık stresini hafifletme ve toprak özelliklerini iyileştirme potansiyeli incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, çeltik kavuzu biyokömürünün üretim sıcaklığından (350°C veya 550°C) ziyade, toprağa uygulanma dozunun (%1 ve %2) bitki verimi ve toprak besin elementi dinamikleri üzerinde daha belirleyici olduğu saptanmıştır. Özellikle %2 oranında uygulanan biyokömür, şiddetli su stresi altında dahi bitkinin su kullanım randımanını korumasını sağlamış hem kısıntılı hem de tam sulama koşullarında marul bitkisinin verimini artırmıştır. Buna ek olarak, %2 biyokömür dozu toprağın alınabilir P ile K içeriğini zenginleştirmiştir.

Sonuç olarak; küresel iklim değişikliğine bağlı olarak su kısıtı riski taşıyan tarım alanlarında, çeltik kavuzu gibi atık materyallerin biyokömüre dönüştürülerek toprağa %2 dozunda uygulanması, sürdürülebilir tarım, su tasarrufu ve gübre etkinliğinin artırılması açısından pratik, ekonomik ve çevre dostu bir tarımsal strateji olarak önerilmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, bu sonuçların uzun dönemli arazi koşullarında test edilmesi literatüre ek katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından BAP11-2026-6632 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Projeye sağladıkları finansal destekten dolayı ilgili kuruma teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Agegehu G, Bass AM, Nelson PN, Bird MI. 2016. Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment* 543: 295-306.
- Ahmad M, Rajapaksha AU, Lim JE, Zhang M, Bolan N, Mohan D, Ok YS. 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere* 99: 19-30.
- Albuquerque JA, Salazar P, Barrón V, Torrent J, del Campillo MC, Villar R. 2014. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development* 34(2): 475-484.
- Ali S, Rizwan M, Qayyum MF, Ok YS, Ibrahim M, Riaz M, Hannan F. 2017. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research* 24(14): 12700-12712.
- Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24(1): 1-15.
- Batool A, Taj S, Rashid A, Khalid A, Qadeer S, Saleem AR, Ghafoor A. 2015. Potential of soil amendments (biochar and gypsum) in increasing water use efficiency of *Abelmoschus esculentus* L. Moench. *Frontiers in Plant Science* 6: 733.
- Biederman LA, Harpole WS. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy* 5(2): 202-214.

- Bouyoucos GJ. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal* 54(5): 464-465.
- 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 J. Chem.*, 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. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 42 (1):13-28.
- Cantrell KB, Hunt PG, Uchimiya M, Novak JM, Ro KS. 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource Technology* 107: 419-428.
- Carter S, Shackley S, Sohi S, Suy TB, Haefele S. 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy* 3(2): 404-418.
- Clough TJ, Condon LM, Kammann C, Müller C. 2013. A review of biochar and soil nitrogen dynamics. *Agronomy* 3(2): 275-293.
- Demir Z, Gülser C. 2008. Changes in OC, NO₃-N, EC values and soil respiration along a soil depth due to surface application of organic wastes. *Asian J. Chem.*, 20(3):2011-2021.
- Demir Z, Gülser C. 2015. Effects of rice husk compost application on soil quality parameters in greenhouse conditions. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(3):185-190.
- 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*, pp.1-18.
- Demirkaya S, Ay A, Gülser C, Kızılkaya R. 2025. Enhancing clay soil productivity with fresh and aged biochar: A two-year field study on soil quality and wheat yield. *Sustainability* 17(2): 642.
- Demirkaya S, Gülser C. 2023. Asitleştirilmiş biyoçar uygulamalarının kaba bünyeli bir toprakta DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element içeriğine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 11(1): 47-53.
- 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*.
- Ding Y, Liu Y, Liu S, Li Z, Tan X, Huang X, Zheng B. 2016. Biochar to improve soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 36(2): 36.
- Fahad S, Bajwa AA, Nazir U, Anjum SA, Farooq A, Zohaib A, Huang J. 2017. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science* 8: 1147.
- Fedeli R, Vannini A, Djatouf N, Celletti S, Loppi S. 2024. Can lettuce plants grow in saline soils supplemented with biochar? *Heliyon* 10(5): e26526.
- Glaser B, Lehmann J, Zech W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. *Biology and Fertility of Soils* 35(4): 219-230.
- Gudko V, Tanwar S, Minkina T, Sushkova S, Usatov A, Azarin K, Safronenkova I, Melnik Y, Voloshchuk V, Gülser C, Kızılkaya R. 2025. Analysis of drought dynamics using SPI and SARIMA models: A case study of the Rostov Region, Russia. *Eurasian Journal of Soil Science*, 14(3), pp.208-218.
- Gul S, Whalen JK, Thomas BW, Sachdeva V, Deng H. 2015. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 206: 46-59.
- Gunes A, Inal A, Taskin MB, Sahin O, Kaya EC, Atakol A. 2014. Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral nutrition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. *Soil Use and Management* 30(2): 182-188.
- Gülser C, Demir Z, İç S. 2010. Changes in some soil properties at different incubation periods after tobacco waste application. *Journal of Environmental Biology*, 31:671-674.
- Gülser C, Gülser F. 2025. The influence of climate change on soil physical properties. In “The foundation of life and economy: the importance of agricultural production” (Ed: Çınar S, Bayyığıt İ.). Iksad Publishing House. p.3-22.
- Gülser C, Kızılkaya R, Aşkın T, Ekberli İ. 2015. Changes in Soil Quality by Compost and Hazelnut Husk Applications in a Hazelnut Orchard. *Compost Science and Utilization*, 23:3, 135-141.
- Haider G, Steffens D, Moser G, Müller C, Kammann CE. 2017. Biochar reduced nitrate leaching and improved soil moisture content without yield improvements in a four-year field study. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 237: 80-94.
- Hossain MZ, Bahar MM, Sarkar B, Donne SW, Ok YS, Bolan N. 2020. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. *Biochar* 2(4): 379-420.

- Hussain M, Farooq M, Nawaz A, Al-Sadi AM, Solaiman ZM, Siddique KH. 2017. Biochar for crop production: potential benefits and risks. *Journal of Soils and Sediments* 17(3): 685-716.
- Jabborova D, Kadirova D, Narimanov A, Wirth S. 2021. Beneficial effects of biochar application on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, root morphological traits and physiological properties. *Annals of Phytomedicine* 10(2): 93-100.
- Jackson ML. 1958. Soil chemical analysis. Prentice-Hall.
- Jeffery S, Verheijen FG, van der Velde M, Bastos AC. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 144(1): 175-187.
- Kacar B, İnal A. 2008. Bitki Analizleri. Nobel Yayın Dağıtım, 2. Baskı, Ankara.
- Kamali M, Sweygers N, Al-Salem S, Appels L, Aminabhavi TM, Dewil R. 2022. Biochar for soil applications- sustainability aspects, challenges and future prospects. *Chemical Engineering Journal* 428: 131189.
- Klute A. 1986. Water Retention: Laboratory Methods. In: Klute A (Ed), *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods* (2nd ed.). ASA-SSSA, Madison, WI, pp. 635-662.
- Laird DA, Fleming P, Davis DD, Horton R, Wang B, Karlen DL. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158(3-4): 443-449.
- Lehmann J, Joseph S (Ed). 2015. Biochar for environmental management: Science, technology and implementation.
- Liu Q, Huang L, Chen Z, Wen Z, Ma L, Xu S, Wu Y, Liu Y, Feng Y. 2022. Biochar and its combination with inorganic or organic amendment on growth, uptake and accumulation of cadmium on lettuce. *Journal of Cleaner Production* 370: 133610.
- Loeppert RH, Suarez DL. 1996. Carbonate and gypsum. In: Bigham JM (Ed), *Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods*. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, pp. 437-474.
- Major J, Rondon M, Molina D, Riha SJ, Lehmann J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil* 333(1): 117-128.
- Mawalla DE, Gülser C. 2025. The Influence of Biochars Derived from Different Agricultural Wastes on Water Use Efficiency and Wheat Yield in Two Contrasting Textural Soils. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 26(5), pp.150-156.
- Nelson DW, Sommers LE. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds), *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties* (2. bs.). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, pp. 539-579.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean LA. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (USDA Genelgesi No. 939). U.S. Government Printing Office.
- Rahman MM, Maqbool N, Ay A, Gülser C, Kizilkaya R. 2024. Role of hazelnut husk compost and phosphate solubilizing bacteria in improving productivity and quality parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.) and their effects on some soil biological properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55(13), pp.2042-2058.
- Routledge. Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Masiello CA, Hockaday WC, Crowley D. 2011. Biochar effects on soil biota-a review. *Soil Biology and Biochemistry* 43(9): 1812-1836.
- Seleiman MF, Al-Suhaibani N, Ali N, Akmal M, Alotaibi M, Refay Y, Battaglia ML. 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants* 10(2): 259.
- Shoumik BAA, Khan MZ, Gülser C. 2025. Climate Sensitivity of Soil Organic Carbon and Nutrient Stocks Under Different Land Uses in Europe. *European Journal of Soil Science*, 76(4), p.e70156.
- Thomas GW. 1982. Exchangeable cations. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds), *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties* (2. bs.). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, pp. 159-165.
- Tomczyk A, Sokołowska Z, Boguta P. 2020. Biochar physicochemical properties: synergy between biomass margin and pyrolysis conditions. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 19(1): 211-269.
- Trupiano D, Cocozza C, Baronti S, Amendola C, Vaccari FP, Lustrato G, Di Lonardo S, Fantasma F, Tognetti R, Scippa GS. 2017. The effects of biochar and its combination with compost on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, soil properties, and soil microbial activity and abundance. *International Journal of Agronomy* 2017: 3158207.
- Upadhyay KP, George D, Swift RS, Galea V. 2014. The influence of biochar on growth of lettuce and potato. *Journal of Integrative Agriculture* 13(3): 541-546.
- Yavuzkılıç Y, Gülser C. 2024. Fındık atık kompostunun fındıkta verim ve yaprak makro besin elementi içeriğine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 12(1), pp.59-66.

- Zeeshan M, Ahmad W, Hussain F, Ahmad W, Numan M, Shah M, Ahmad I. 2020. Phytostimulatory effect of biochar on growth and physiological attributes of crop plants under environmental stresses. *International Journal of Environmental Science and Technology* 17(5): 2963-2980.
- Zhang J, Liu J, Liu R. 2015. Effects of pyrolysis temperature and heating time on biochar obtained from the pyrolysis of straw and lignosulfonate. *Bioresource Technology* 176: 288-291.
- Zhao L, Cao X, Mašek O, Zimmerman A. 2013. Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures. *Journal of Hazardous Materials* 256: 1-9.



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

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



Kuzey Irak Duhok'ta elma ağaçlarının (*Malus domestica*) beslenme durumu[†]

Bekas Yousif HUSSEIN¹, Füsun GÜLSER^{2*}

¹Duhok Polytechnic Üniversitesi, Technical College of Administration, Duhok, IRAK

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van, TÜRKİYE

Öz

Bu araştırma Irak'ın kuzeyindeki Duhok ilinde elma bahçelerinde bir saha çalışması olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma Duhok ilinin dört farklı köyünde (Bagira, Babire, Dillia ve Kanimassi), her bir köyde seçilen üç elma bahçesi olmak üzere on iki adet bahçede yürütülmüştür. Her bir örnekleme noktasının koordinatlarını belirlemek için GPS sistemi kullanılmıştır. Elma ağaçlarının beslenme durumunu belirlemek amacıyla, her bir bahçeden seçilen beş adet elma ağacından yaprak örnekleri alınmış ve toplamda 60 elma ağacından alınan yaprak örneklerinde bitki besin element (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn ve Zn) içerikleri belirlenmiştir. Farklı lokasyonlardan alınan yaprak örneklerinin N ve Fe içerikleri sırası ile %1.9 – 2.1 ve 129 – 135 mgkg⁻¹ aralığında ve yeterli düzeyde bulunmuştur. Yaprak örneklerinde K, Zn ve Cu içerikleri sırası ile % 1.1 - 1.2, 12.3 - 17.1 mgkg⁻¹ ve 2.1 - 3.5 mgkg⁻¹ aralığında bulunmuş ve noksan olarak değerlendirilmiştir. En yüksek P içerikleri Kanimassi'de %0.3-0.4 aralığında belirlenirken Dilia 2 ve Bagera 3 bahçelerindeki %0.2 P içerikleri yeterli seviyede bulunmuştur. Yaprak Mg içerikleri Babire 2 hariç bütün örnekleme noktalarında yeterli düzeyde belirlenirken, Ca içerikleri sadece Kanimassi 2' den alınan yaprak örneklerinde yeterli olarak belirlenmiştir. Mn içerikleri Bagera dışındaki köylere ait örneklerde yeterli düzeyde bulunmuştur. Genel olarak farklı lokasyonlardan alınan yaprak örneklerinde K, Ca, Zn ve Cu element noksanlığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elma ağacı, yaprak, makro besin elementi, mikro besin elementi.

Nutritional status of apple trees (*Malus domestica*) in Duhok, Northern Iraq

Abstract

This research was conducted as a field study in apple orchards in Duhok province in northern Iraq. The study was carried out in twelve orchards, three apple orchards selected in each of four different villages (Bagira, Babire, Dillia, and Kanimassi) in Duhok province. A GPS system was used to determine the coordinates of each sampling point. To determine the nutritional status of apple trees, leaf samples were taken from five apple trees selected from each orchard, and the plant nutrient element contents (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, and Zn) were determined in leaf samples taken from a total of 60 apple trees. The N and Fe contents of leaf samples taken from different locations were found as adequate, ranging from 1.9% to 2.1% and 129 mgkg⁻¹ to 135 mgkg⁻¹, respectively. The K, Zn, and Cu contents in the leaf samples were found as deficient, ranging from 1.1% to 1.2%, 12.3 mgkg⁻¹ to 17.1 mgkg⁻¹, and 2.1 mgkg⁻¹ to 3.5 mgkg⁻¹, respectively. The highest P content was determined in Kanimassi at 0.3-0.4%, while the 0.2% P content in Dilia 2 and Bagera 3 gardens was found to be at a sufficient level. Mg content was determined as at sufficient levels in plant leaves at all sampling points except Babire 2, while Ca content was determined as sufficient only in leaf samples taken from Kanimassi 2. Mn content was found as at sufficient levels in samples from villages other than Bagera. In general, deficiencies in the elements K, Ca, Zn, and Cu were detected in leaf samples taken from different locations.

Keywords: Apple tree, leaf, macronutrient, micronutrient.

© 2026 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Rosaceae familyasının bir üyesi olan elma, yüksek adaptasyon yeteneğinden dolayı ılıman bölgelerde en yaygın olarak yetiştirilen meyve ağaçlarından biridir. Elma meyveleri, besin değerleri bakımından insan sağlığıyla doğrudan ilişkilendirilmiştir (El-Boray, 2015). Elma ağaçlarında (*Malus domestica*), güçlü büyüme,

[†] Bu çalışma Bekas Yousif HUSSEIN'in Yüksek Lisans tez çalışmasından üretilmiş, herhangi bir kurum tarafından desteklenmemiştir.

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 444 5065 / 61
E-posta : fgulser@yyu.edu.tr

Makale Türü: ARAŞTIRMA MAKALESİ

Geliş Tarihi : 8 Haziran 2026 e-ISSN : 2146-8141
Kabul Tarihi : 23 Haziran 2026 DOI : 10.33409/tbbdd.1960792

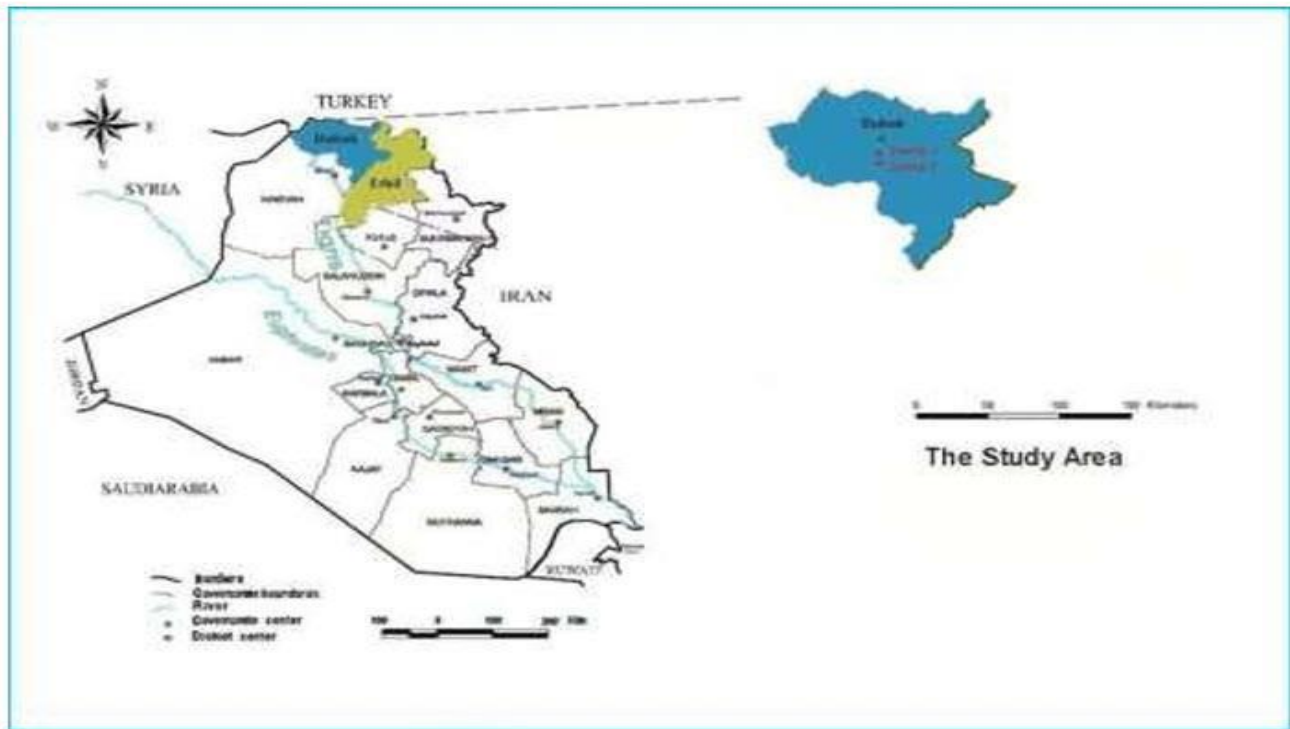
verim ve meyve kalitesinin sürdürülebilirliği için makro besin ve mikro besin elementlerinin dengeli bir şekilde sağlanması gereklidir.

Birçok araştırmada, elma ağaçlarında güçlü ve dengeli bir büyüme ile yüksek verimin sağlanmasında azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve bor (B) temel besin elementleri olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, demir (Fe), çinko (Zn), mangan (Mn), bakır (Cu) ve molibden (Mo) gibi mikro besin elementleri; enzim aktivitesi, fotosentez ve genel ağaç sağlığının korunmasında kritik işlevlere sahiptir. Her bir besin elementinin ağacın büyümesi ve gelişiminde kendine özgü işlevi vardır. Optimum ağaç gelişimi, verim ve meyve kalitesi için, her bir besin elementinin yeterli miktarda temin edilmesi ile birlikte besin elementleri arasındaki dengenin sağlanması gerekmektedir (Marschner, 1995). Besin yönetimi, potansiyel verim ve ürün kalitesi üzerindeki etkisinden dolayı maliyet paylaşımında önemli bir rol oynar (Bhat vd., 2017). Mineral besin durumu hakkında bilgi edinmek ağaçların gübre gereksinimlerinin belirlenmesine yardımcı olur. Bu amaçla yapılan bitki besin elementleri analizleri olası besin elementi noksanlıklarını ve toksisitelerini belirlemek ve ayrıca gübre uygulamalarının ne kadar etkili olduğunu tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir.

Bitki, belirli koşullar altında toprağın besin elementi tedarikinin en iyi göstergesidir ve yaprak, bitkinin beslenmesinin merkezi olduğundan, yaprak analizinin temelini oluşturur (Milošević vd., 2015). Yaprak analizleri, beslenme durumunu teşhis etmek, yaprak ve toprak gübrelemesini yönlendirmek ve farklı büyüme aşamalarındaki besin gereksinimlerini tahmin etmek için kullanılır (Świetlik, 2002, Veberič vd., 2005. Nagy vd., 2012, Savita vd., 2016). Elma ağaçlarının yaprak besin bileşimi, meyve bahçesi besin yönetiminin temel bir bileşenidir. Irak'ın kuzeyindeki Duhok şehrinde elma ağaçlarının beslenme durumu hakkında daha önce bir araştırma yapılmamıştır. Bu çalışmada Kuzey Irak, Duhok'ta yaygın olarak yetiştirilen elma ağaçlarının beslenme durumunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Bu saha çalışması, 2018-2019 büyüme mevsimi boyunca Irak'ın kuzeyindeki Duhok vilayetinin dört farklı kırsal bölgesindeki elma bahçelerinde gerçekleştirilmiştir. Örnek almak için Irak'ın kuzeyindeki Duhok vilayetinin dört farklı köyünde üç farklı elma bahçesi seçilmiştir. Her örnekleme noktasının GPS koordinatları kaydedilmiştir. Duhok vilayeti, 42,988° Doğu boylamı ile 36,867 Kuzey enleminde yer almakta olup, deniz seviyesinden yüksekliği 445 m ile 1215 m arasında değişmektedir (Şekil 1). Irak'ın kuzeyi yarı kurak iklim (Akdeniz tipi iklim) ile karakterize edilir. Çalışma döneminde Duhok Meteoroloji Müdürlüğü'nden elde edilen toplam yağış değeri 193,1 mm'dir (DMD, 2008).



Şekil 1. Çalışma alanı (Duhok, Irak).

Araştırma Duhok ilinin dört farklı köyünde (Bagira, Babire, Dillia ve Kanimassi), her bir köyde seçilen üç elma bahçesi olmak üzere on iki adet bahçede yürütülmüştür. Elma ağaçlarının beslenme durumunu belirlemek amacı ile her bir elma bahçesindeki beş adet ağaçtan yaprak örnekleri alınarak toplam altmış takım yaprak örneğinde bitki besin elementi (N, P, K, Ca, Mg, K, Fe, Cu, Mn, Zn) içerikleri belirlenmiştir. Yaprak örnekleri 2019 mart ayında, çiçeklenme öncesi dönemde, her bir ağacın omuz yüksekliğinde dört yönünden toplam 20 adet yaprak olacak şekilde toplanmıştır. Besin elementi içerikleri Kacar ve İnal (2008) tarafından bildirilen yöntemlere göre kurutulmuş ve öğütülmüş yaprak örneklerinde analiz edilmiştir. Fe, Mn, Zn, Cu, K, Ca ve Mg içerikleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi (Thermo ICE 3000 series) kullanılarak belirlenmiştir. N ve P içerikleri sırasıyla Kjeldahl yöntemi ve spektrofotometrik yöntem kullanılarak analiz edilmiştir. Verilerin istatistiksel analizleri için MINITAB 16 programı kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Kuzey Irak Duhok ilinin Bagira, Babire, Dillia ve Kanimassi köylerinin farklı lokasyonlarındaki 12 elma bahçesinden alınan yaprak örneklerinin makro ve mikro besin elementi içeriklerine ait istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Farklı lokasyonlardaki elma bahçelerinden alınan yaprak örneklerinin makro ve mikro besin elementi içeriklerinin istatistiksel analiz sonuçlarına ait F değerleri.

	sd	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Fe	Mn	Cu
Lokasyon	11	17.3**	110.1**	51.24**	23.82	8.89**	177.8**	10.32***	843.9***	27.9***

F değeri **: %1, ***%0.1 düzeyinde önemlidir.

Araştırma sonunda elde edilen bulguların istatistiksel analizleri sonucunda lokasyon farklılıklarının elma ağaçlarının besin elementi içerikleri üzerinde %1 önem seviyesinde değişim meydana getirdiği belirlenmiştir. Farklı lokasyonlardan alınan yaprak örneklerinin besin elementi içerikleri ve ortalamalara ait Duncan farklılaştırma grupları Çizelge 2’de verilmiştir.

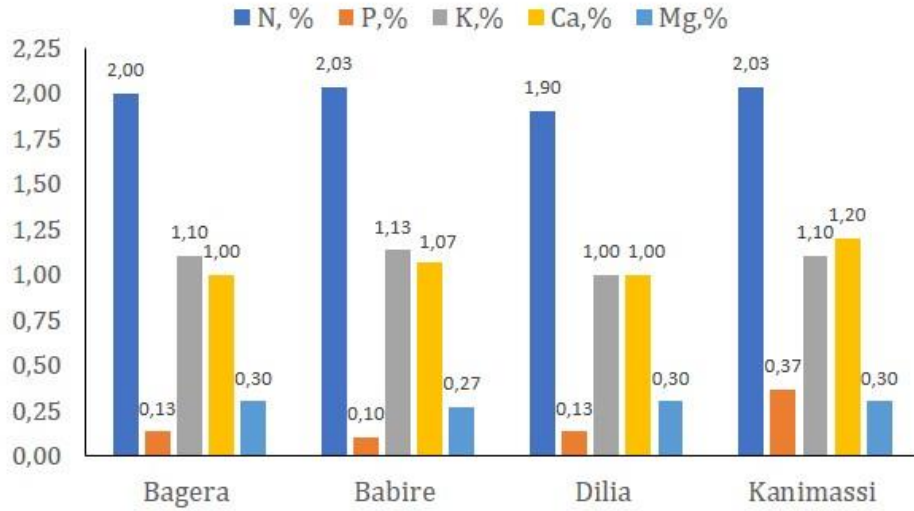
Çizelge 2. Yaprak örneklerinin N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn ve Cu içerikleri.

Lokasyon	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Zn mg kg ⁻¹	Fe mg kg ⁻¹	Mn mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹
Bagera 1	2.0bcd	0.1b	1.1def	1.0bc	0.3ab	12.9cdef	134.0ab	23.4d	3.2a
Bagera 2	2.0bc	0.1b	1.1cde	1.0c	0.3a	13.1cde	135.0ab	24.0d	3.5a
Bagera 3	2.0bc	0.2b	1.1cd	1.0c	0.3ab	13.0cde	134.5ab	23.9d	3.5a
Babire 1	2.0ab	0.1b	1.1bc	1.0bc	0.3bc	12.4ef	130.0bc	36.2a	2.0b
Babire 2	2.0ab	0.1b	1.2a	1.1bc	0.2c	12.3f	138.0a	37.1a	2.3b
Babire 3	2.1a	0.1b	1.1b	1.1b	0.3ab	12.6def	129.1c	36.9a	2.1b
Dilia 1	1.9d	0.1b	1.0g	1.0bc	0.3ab	13.0cde	132.0abc	25.3c	2.1b
Dilia 2	1.9cd	0.2b	1.0efg	1.0bc	0.3a	13.0c	130.0bc	25.4c	2.3b
Dilia 3	1.9cd	0.1b	1.0fg	1.0bc	0.3ab	13.2cd	134.0ab	26.1c	2.2b
Kanimassi 1	2.0b	0.3a	1.1b	1.2a	0.3ab	16.4b	128.0c	28.3b	2.3b
Kanimassi 2	2.0ab	0.4a	1.1b	1.2a	0.3ab	17.1a	129.0c	28.4b	2.3b
Kanimassi 3	2.1a	0.4a	1.1b	1.2a	0.3a	16.9ab	130.0bc	28.3b	2.1b

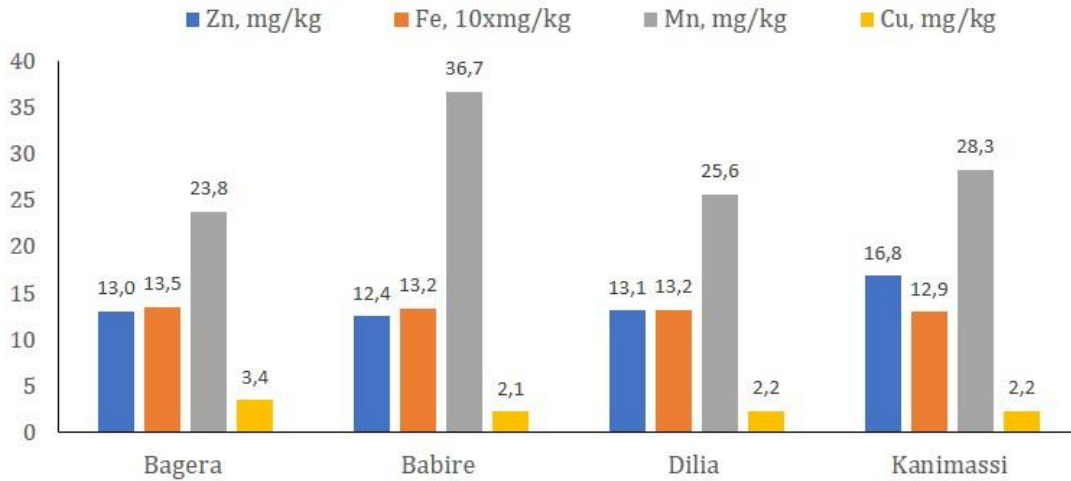
Farklı harfle gösterilen ortalamalar anlamlı derecede farklıdır (p< 0.01).

Elma ağaçları için bildirilen (Jones vd., 1991) sınır değerleri dikkate alındığında, farklı lokasyonlardan alınan yaprak örneklerinin N ve Fe içerikleri sırası ile %1.9 – 2.1 ve 129– 135 mgkg⁻¹ aralığında ve yeterli düzeyde bulunmuştur. Yaprak örneklerinde K, Zn ve Cu içerikleri sırası ile % 1.1 -1.2 , 12.3 - 17.1 mgkg⁻¹ ve 2.1 - 3.5 mgkg⁻¹ aralığında bulunmuş ve noksan olarak değerlendirilmiştir. En yüksek P içerikleri Kanimassi’de % 0.3 - 0.4 aralığında belirlenmiş ve P içerikleri % 0.2 olarak belirlenen Dilia 2 ve Bagera 3 ‘le birlikte yeterli olarak değerlendirilmiştir. Mg içerikleri Babire 2 hariç bütün örneklem noktalarındaki bitki yapraklarında yeterli düzeyde belirlenirken, Ca içerikleri sadece Kanimassi 2’ den alınan yaprak örneklerinde yeterli olarak

belirlenmiştir. Mn içerikleri Bagera dışındaki köylere ait örneklerde yeterli düzeyde bulunmuştur (Çizelge 2, Şekil 2 ve 3).



Şekil 2. Farklı lokasyonlardaki elma bahçelerine ait yaprak örneklerinin ortalama N, P, K, Ca ve Mg içerikleri.



Şekil 3. Farklı lokasyonlardaki elma bahçelerine ait yaprak örneklerinin ortalama Zn, Fe, Mn ve Cu içerikleri.

Kanimassi'de diğer köylerdeki bahçelere göre genellikle ortalama yaprak besin elementi içerikleri daha yüksek düzeylerde bulunmuştur (Şekil 2 ve 3). Deneme alanında toprak özellikleri bakımından köyler arasında istatistiksel anlamda önemli farklılıklar bulunduğu, Kanimassi'de araştırmanın yürütüldüğü diğer köylerden farklı olarak toprakların tınlı bünyeli, daha yüksek organik madde ve daha düşük pH, tuz ve kireç içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir (Hussein and Gülser, 2023). Olumsuz toprak koşullarının bitki besin elementlerinin yarıyışlılığını ve bitki besin elementi alımını sınırlandırdığı bilinmektedir (Marschner, 1995). Farklı köylerde yaprakların besin elementi içeriklerindeki farklılıklar, toprak özelliklerindeki farklılıklar ile ilişkilendirilmiştir. Genel olarak farklı lokasyonlardan alınan yaprak örneklerinde K, Ca, Zn ve Cu noksanlığı belirlenmiştir. Gülser ve ark. (2020) Kuzey Irak'ın Duhok İli farklı lokasyonlarında yaptıkları çalışmada toprak örneklerine ait pH değerlerinin 8,25-8,60 arasında, kireç içeriklerinin %17,25 ile %21,15 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Genel olarak kireç içeriği ve pH değeri yüksek topraklarda yarıyışlı P ve mikro besin elementlerinin noksanlığına rastlanılmaktadır. Potasyum elma da dahil olmak üzere meyve bitkileri için temel besin maddelerinden biridir. Potasyum fotosentezin düzenlenmesi (Tränker vd., 2018), stoma aktivitesi ve terlemenin (transpirasyon) ozmotik kurallarla düzenlenmesi (Talbot and Zeiger, 1996, Cochrane and Cochrane, 2009), büyüme ve gelişme (Jung vd., 2009), abiyotik streslere (Wang vd., 2013, Araujo vd., 2015, Jia vd., 2018). ve biyotik streslere (Perrenoud, 1990, Gülser vd., 2014, Peng vd., 2016) verilen tepkiler de dahil olmak üzere bitki organizmasının hayati fonksiyonlarında doğrudan işlev görmektedir. Elma ağacının K

ihtiyacı, büyüme mevsimi boyunca değişiklik gösterir ve meyve gelişimi ve olgunlaşması sırasında en yüksek seviyeye ulaşır. Bitkinin potasyum durumu, ozmotik ve metabolik süreçleri etkilediği için genellikle meyve kalitesiyle ilişkilendirilir. Potasyum (K), ozmoregülasyon, karbonhidratların taşınması ile meyve büyüklüğü ve kalitesinin belirlenmesinde kritik bir role sahiptir. Ayrıca, iklim koşulları ile ürün tarafından kaldırılan potasyum miktarı arasındaki etkileşimler, fenolojik gelişim süreci boyunca bitkinin K gereksinimini belirlemektedir. (Veberič, 2005, Кузин and Solovchenko, 2021). Bitki külündeki K içeriği %50'ye kadar çıkabildiğinden, elma ağaçlarının en iyi performansı göstermesi için K gübrelemesi önerileri ile ilgili araştırmalar yaygınlaşmaktadır (Kuzin ve Solovchenko, 2021). Potasyum ve kalsiyum arasındaki antagonizm dolayısı ile, potasyum kaynaklı kalsiyum alımının baskılanmasını ve bunun sonucunda meyvelerde ortaya çıkabilecek olan hasat sonrası depolama bozukluklarını önlemek için K gübrelemesi Ca ile dengelenmelidir (Leonel ve Reis, 2012, Кузин ve Solovchenko, 2021). Kalsiyum bitkilerde hücre duvarı ve hücre zarı fonksiyonunu etkileyen önemli bir makro besin elementidir. Yapraktan uygulanan kalsiyumun yaprak ve meyvede Ca içeriği ile hasat sonrası meyve kalitesini artırdığı, potansiyel olarak acı çürüklüğü riskini azalttığı ve meyve dokusunu etkilediği bildirilmiştir (Yu vd., 2018, Amado vd., 2019, Hong-fu vd., 2025). Aşırı azot veya asitleştirici girdilerin elma ağaçlarında çinko ve bakır eksikliğine neden olduğu bildirilmiştir. Mikro besin maddesi eksikliklerini gidermek için toprak ve yaprak gübrelemesi, anaç seçimi ve modifikasyonları önerilmiştir (Gülser ve Karaçal, 2015, Matsuoka, 2020, Milošević ve Milošević, 2019; Jakhro vd., 2025). Araştırma sonucunda elma ağaçlarında noksan olduğu belirlenen bu besin elementlerinin noksanlığının giderilmesi için yapılacak olan olan gübreleme programları yanında toprak özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik uygulamalar da yararlı olabilecektir. Toprak organik maddesinin artırılmasına yönelik biyokömür, kompost vb, organik girdilerin toprak reaksiyonu, toprak organik karbon düzeyi ve mikrobiyal aktivitesi, toprak hacim ağırlığı gibi bazı biyolojik fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerine etki ederek toprak kalitesini iyileştirdiği ve elma ağaçlarının bitki besin besin elementi alımını artırdığı bildirilmiştir (Khorram vd, 2018; Jakhro vd, 2025).

Sonuç

Bu araştırmada farklı lokasyonlardaki elma bahçelerinden alınan yaprak örneklerinde genel olarak K, Ca, Zn ve Cu noksanlığı belirlenmiştir. Bu besin elementlerinin noksanlıklarını gidermek için yapılması gereken gübreleme programları besin elementleri arasındaki interaksiyonlar dikkate alınarak hazırlanmalıdır. Tekstür, pH, kireç içeriği vb. toprak özelliklerinden kaynaklanan bitki besin elementi yarayışlılığının sınırlandığı durumlarda kısa vadeli ve hızlı çözümler için yaprak gübrelemesi önerilebilir. Ancak Zn gibi bazı besin elementleri yapraktan uygulandığında yeni büyüme noktalarına veya meyve dokularına sınırlı taşınma gösterir. Bu nedenle, tüm ağacın beslenmesi için toprak gübrelemesiyle entegre edilmesi gerekir. Ayrıca, kompost, biyokömür, örtü bitkileri, ahır gübresi vb. toprak organik maddesini ve organik karbon düzeyini, mikrobiyal aktiviteyi artıran uygulamalar toprak kalitesinin iyileşmesine ve sürdürülebilirliğine olanak sağlayacaktır. Toprak sağlığını destekleyen bu uygulamalar, uzun vadede besin elementlerinin yarayışlılığına ve bitki tarafından alınımına olumlu etki yapacaktır. Kuzey Irak, Duhok'ta yaygın olarak bulunan elma bahçelerinde, elma ağaçlarının beslenme durumu ilgili bir çalışma gerçekleştirilmemiş olduğundan bu araştırmanın sonuçları bilinçli gübreleme programlarına olanak sağlaması bakımından yararlı olacaktır. Ayrıca bu çalışma bu yörede meyvecilik alanında yapılacak bilimsel çalışmalara aydınlatıcı bir araştırma niteliği taşımaktadır.

Kaynaklar

- Amado J, Pérez-Cutillas P, Cejudo LCA, Alarcón JJ. 2019. A study of the nutritional diagnosis on apple crops using multispectral indices in a semi-arid environment (Chihuahua, Mexico). *Esp. Tiempo Forma Ser. VI Geogr.* 12:17.
- Araujo L, Bispo WS, Rios VS, Fernandes SA, Rodrigues FA. 2015. Induction of the phenylpropanoid pathway by acibenzolar-S-methyl and K phosphite increases mango resistance to *Ceratocystis fimbriata* infection. *Plant Dis.* 99:447-459.
- Bhat ZA, Padder SA, Ganaie AQ, Dar NA, Rehman HU, Wani MY. 2017. Correlation of available nutrients with physico-chemical properties and nutrient content of grape orchards of Kashmir. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 6(2):181-185.
- Cochrane TT, Cochrane TA. 2009. The vital role of K in the osmotic mechanism of stomata aperture modulation and its links with K deficiency. *Plant Signal. Behav.* 4:240-243.
- DMD 2008. Meteorology of Duhok City. Duhok Meteorological Directorate, Duhok Province, Iraq.

- El-Boray MSS, Mostafa MFM, Abd El-Galel MM, Soma IAI. 2015. Effect of humic acid, fulvic acid with some nutrients at different time of application on yield and fruit quality of Anna apple trees. *J. Plant Prod.* 6(3):307-321.
- Gülser E, Tüfenkçi Ş, Demir S. 2014. Domateste potasyum, salisilik asit ve humik asit uygulamalarının fide çıkışı ve *Fusarium solgunluğuna* (*Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*) etkileri. *YYÜ Tarım Bil. Derg.* 24(1):16-22.
- Gülser F, Karaçal İ. 2015. Organik ve inorganik yapılı demir ve çinko bileşiklerinin elma ağaçlarında meyve kalitesine etkilerinin karşılaştırılması. *Toprak Bil. Bitki Besleme Derg.* 3(2):64-68.
- Gülser F, Salem S, Gülser C. 2020. Changes in some soil properties of wheat fields under conventional and reduced tillage systems in Northern Iraq. *Eurasian Journal of Soil Science*, 9(4), pp.314-320.
- Hong-fu X, Li S, Ma W, Lu S, Bian Z, Liang G, Chen B. 2025. Spraying foliar fertilizer affect the physiological function of leaf and improve the quality of 'Snick' apple. *Plants* 14(18):2926.
- Hussein BY, Gülser F. 2023. Determination of soil properties of apple orchard in Duhok Province, Northern Iraq. *EJONS Int. J. Math. Eng. Nat. Sci.* 7(4):672-678.
- Jakhro MI, Habib M, Zhai B, Li Z. 2025. Advancing apple orchard management through soil organic carbon: A systems-based review. *Soil Use Manag.* 41(1).
- Jia Q, Zheng C, Sun S, Amjad H, Liang K, Lin W. 2018. The role of plant cation/proton antiporter gene family in salt tolerance. *Biol. Plant.* 62:617-629.
- Jung J, Shin R, Schlachtmann DP. 2009. Ethylene mediates response and tolerance to K deprivation in *Arabidopsis*. *Plant Cell.* 21:607-621.
- Kacar B, İnal A. 2008. Bitki Analizleri. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Khorram MS, Zhang G, Fatemi A, Kiefer R, Maddah K, Baqar M, Zakaria MP, Li G. 2018. Impact of biochar and compost amendment on soil quality, growth and yield of a replanted apple orchard in a 4-year field study. *J. Sci. Food Agric.* 99(4):1862-1869.
- Kuzin AI, Solovchenko A. 2021. Essential role of potassium in apple and its implications for management of orchard fertilization. *Plants* 10(12):2624.
- Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed. Academic Press, London.
- Matsuoka K. 2020. Methods for nutrient diagnosis of fruit trees early in the growing season by using simultaneous multi-element analysis. *Hortic. J.* 89(3):197-207.
- Milošević T, Milošević N. 2015. Apple fruit quality, yield and leaf macronutrients content as affected by fertilizer treatment. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 15(1):76-83.
- Milošević T, Milošević N. 2019. Tree vigor, yield, fruit quality, and antioxidant capacity of apple (*Malus × domestica* Borkh.) influenced by different fertilization regimes: Preliminary results. *Turk. J. Agric. For.* 43(1):48-57.
- Minitab® 2014. Minitab 16 English (30-Day Trial) for Windows. Minitab Inc., State College, PA, USA.
- Nagy PT, Ambrus A, Nyéki J, Soltész M, Szabó Z. 2012. Effect of foliar spraying with algae suspension on leaf and fruit quality parameters of apple varieties. *Int. J. Hortic. Sci.* 18(1).
- Peng HX, Wei XY, Xiao YX, Sun Y, Biggs AR, Gleason ML, Shang SP, Zhu MQ, Guo YZ, Sun GY. 2016. Management of valsa canker on apple with adjustments to K nutrition. *Plant Dis.* 100:884-889.
- Perrenoud S. 1990. Potassium and Plant Health. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- Savita S, Rangappa K, Ngangom B, Devi MT, Mishra G, Rawat D, Srivastava PC. 2016. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) approach on nutritional diagnosis in fruit crops: A review. *J. Appl. Nat. Sci.* 8(4):2337-2345.
- Świetlik D. 2002. Zinc nutrition of fruit crops. *HortTechnology* 12(1):45-50.
- Talbot LD, Zeiger E. 1996. Central roles for K and sucrose in guard-cell osmoregulation. *Plant Physiol.* 111:1051-1057.
- Tränker M, Tavakol A, Jáklí B. 2018. Functioning of K and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiol. Plant.* 163:414-431.
- Veberič R, Vodnik D, Štampar F. 2005. Influence of foliar-applied phosphorus and potassium on photosynthesis and transpiration of 'Golden Delicious' apple leaves (*Malus domestica* Borkh.). *Acta Agric. Slov.* 85(1).
- Wang M, Zheng Q, Shen Q, Guo S. 2013. The critical role of K in plant stress response. *Int. J. Mol. Sci.* 14:7370-7390.
- Yu XM, Wang J, Nie P, Xue X, Wang G, An M. 2018. Control efficacy of Ca-containing foliar fertilizers on bitter pit in bagged 'Fuji' apple and effects on the Ca and N contents of apple fruits and leaves. *J. Sci. Food Agric.* 98(14):5435-5443.

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 görülmemelidir, 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.



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 karşılaşsanız 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 çalışmaları 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.
