



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

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



Bazı toprak fiziksel parametrelerinin toprak solunumu ve mikrobiyal biyokütle karbonuna etkisi

Dudu CENGİZ*, **Pelin ALABOZ**

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

Öz

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

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

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

Abstract

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

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

© 2025 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

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

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

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

Giriş

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

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

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

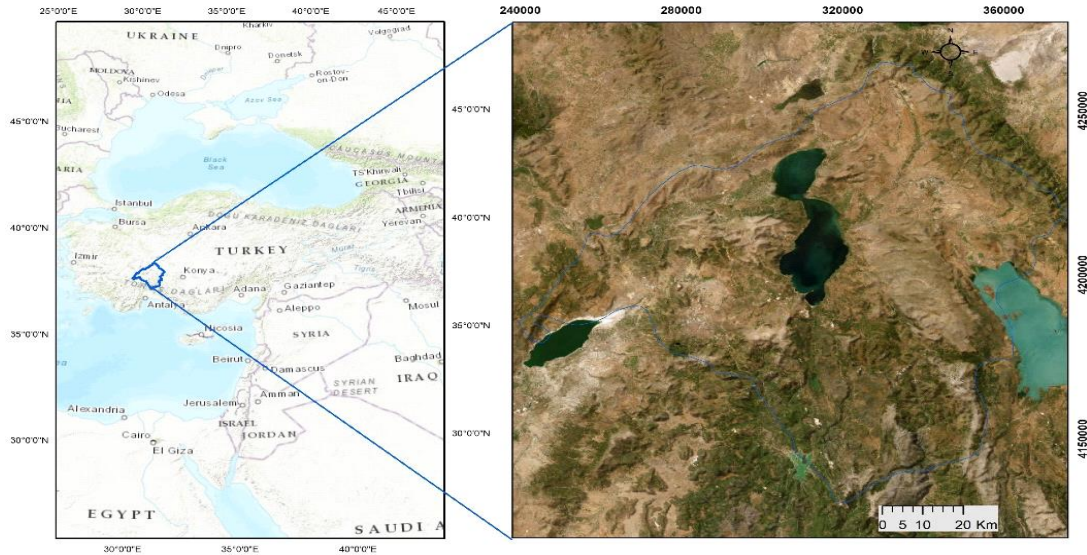
Bu çalışmada; farklı arazi kullanımı altında (kuru-sulu tarım) toprakların biyolojik aktiviteleri (CO₂ ve MBC) farklı derinlik için belirlenmiştir. Ayrıca toprak derinliğindeki değişime bağlı toprak sıkışması, nemi ve sıcaklığı tespit edilerek fiziksel ve biyolojik özellikler arasındaki ilişkiler ortaya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

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

Materyal ve Yöntem

Çalışma alanı ve toprak örnekleme

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



Şekil 1. Çalışma alanı

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

Toprak analizleri

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

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

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

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

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

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

Bulgular ve Tartışma

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

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

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

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

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

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

Tablo 2. Farklı derinliklere bağlı bazı toprak fiziksel özellikleri

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

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

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

Tablo 3. Toprak özelliklerinin korelasyon matrisleri

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

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

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

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

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

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

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

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

Sonuç

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

Teşekkür

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

Kaynaklar

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

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