

Araştırma Makalesi

Humik Asit ve Mikrobiyal Gübre Uygulamalarının Toprak Biyokimyasal Özellikleri ve Agregat Stabilitesine Etkisi

Furkan Etem¹  Cafer Türkmen^{1*} 

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 17100, Çanakkale
*Sorumlu yazar: turkmencafer66@gmail.com

Geliş Tarihi: 06.09.2023

Kabul Tarihi: 29.11.2023

Öz

Çalışmamızda topraklara Bitki Gelişimini Teşvik Edici Bakteriler (PGPB)'den iki ticari (A ve B) ve bir yerli izolat karışımı (C) olmak üzere üç mikrobiyal gübre, yerli (TKİ-Humas) bir Humik Asitle (HA) veya tek başlarına uygulanmıştır. İnkübasyon şartlarında üç dönemde (60., 90. ve 120. günler) örneklenen topraklarda; toprak enzimlerinden üreaz (Ürz), katalaz (Kat), dehidrogenaz (Dhg), alkali fosfataz (Aft) ve beta-glikozidaz (B-Gli) enzim aktiviteleri ile topraklarda solunum (CO₂), mikroorganizma sayıları (MOS), amonyum (NH₄), nitrat (NO₃) ve agregat stabilitesi (Ast) analizleri yapılmıştır. Sonuçların HA ve Mikrobiyal Gübre Uygulamaları (MGU)'na bağımlı değişimleri örnekleme dönemlerine göre istatistiksel olarak incelenmiştir. HA uygulamasının 60. günde tek başına; Kat, B-Gli ve NH₄, özelliklerine etkisi önemsiz olmuşken; yalnız MGU uygulamalarıyla tüm toprak özelliklerinin değişimi önemli olmuştur. HAXMGU dikkate alındığında yine tüm özelliklerin değişimi önemli olmuştur. İkinci dönemde tek başına MGU'a göre Aft değişimleri önemsiz olmuşken; HAXMGU'nda yalnızca Kat. değişimleri önemsiz, diğer tüm özellikler önemli seviyelerde değişim göstermiştir. Üçüncü örneklemede ise HA uygulamasıyla CO₂, Aft ve B-Gli değişimleri önemsizken; diğer özellikler önemli seviyelerde değişmiştir. Bu dönemde MGU tek başına ve HAXMGU'nda yine tüm özelliklerin değişimi önemli olmuştur ($p<0.05$). Tüm sonuçlar ele alındığında; tüm örnekleme dönemlerinde HA ve MGU'nun tek başlarına veya interaksiyonlarının incelenen toprak özellikleri üzerine etkileri farklı seviyelerde olmuş ve bu etkiler olumlu veya olumsuz yönde olmuştur. Ancak bu tür uygulamaların genel anlamda toprak kalite ve toprak biyolojik özelliklerini iyileştirmeleri yönüyle teşvik edilmesi gerektiği belirtilebilir.

Anahtar Kelimeler: PGPB gübreler, Humik asit, Toprak enzimleri, Toprak kalitesi.

Effect of Humic Acid and Microbial Fertilizer Applications on Soil Biochemical Properties and Aggregate Stability

Abstract

In our study, three microbial fertilizers from plant growth promoting bacteria (PGPB), two commercial (A, B) and a native mixed isolate (C), were applied to the soils with a native (TKİ-Humas) humic acid (HA) or alone. In the soils sampled in three periods (60th, 90th and 120th days) in incubation conditions; urease (Ürz), catalase (Kat), dehydrogenase (Dhg), alkaline phosphatase (Aft) and beta-glucosidase (B-Gli) enzyme activities and respiration (CO₂), number of microorganisms (MOS), ammonium (NH₄), nitrate (NO₃) and aggregate stability (Ast) analyzes were performed. The dependent changes of the results on HA and Microbial Fertilizer Applications (MGU) were analyzed statistically according to the sampling periods. On the 60th day of HA application alone; While the effect on the properties of Kat, B-Gli and NH₄ was insignificant; Only the change of all soil properties with MGU applications was significant. Considering HAXMGU, the change of all features was important. In the second period, Aft changes were insignificant compared to MGU alone; In HAXMGU only Kat. changes were insignificant, all other characteristics showed significant changes. In the third sampling time, CO₂, Aft and B-Gli changes were insignificant with HA application; other properties changed at significant levels. In this period, the change of all properties was significant in MGU alone and in HAXMGU ($p<0.05$). Considering all the results; The effects of HA and MGU alone or their interactions on the investigated soil properties were at different levels in all sampling periods, and these effects were either positive or negative. However, it can be stated that such practices should be encouraged in terms of improving soil quality and soil biological properties in general.

Keywords: PGPB fertilizers, Humic acid, Soil enzymes, Soil quality.

Giriş

Günümüzde sürdürülebilir tarımın önemi anlaşıldıkça yaşanan sorunları gidermek, toprak özellikleri iyileştirmek ve ürün verimini sürdürülebilir şekilde arttırmak amacıyla çevre dostu ürünler ve bitki büyümesini teşvik edici çeşitli uygulamalar yapılmaya başlanmıştır. Bu kapsamda Bitki Büyümesini Teşvik Edici Bakteriler (BBTB) olarak adlandırılan (PGPB) bakteriler (Olanrewaju ve ark., 2017) ve Humik Asit (HA) uygulamaları giderek yaygınlaşmakta olan doğal biyolojik aktif maddelerin kullanıldığı yöntemler arasında en etkili olanlardır (Ekin, 2019). Biyolojik gübreler yani mikrobiyal gübreler Torun (2015) tarafından; “Tohumun kendisine, toprak veya bitki üzerine uygulandığı zaman rizosferde kolonize olan veya bitki hücrelerine iletilen atmosferik azotu fikse eden, toprak fosforunu ve diğer bitki için gerekli besin elementlerini alan ve bitkiye ileterek bitki gelişimini arttıran saf canlı veya karışık mikroorganizma karışımıdır” şeklinde tanımlanmıştır. Mikrobiyal gübreler T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı yönetmeliklerinde ise; “Bitki gelişimi için gerekli maddelerin sağlanmasında, bitki besin maddelerinin yarayışlılığının artırılmasında ve/veya toprağın düzeltilmesinde rol oynayan canlı mikroorganizmaları içeren ürünler” şeklinde belirtilmektedir (Anonim, 2018).

Bitkisel üretimde üç önemli faktörün (kimyasal gübre, organik madde ve mikroorganizmalar) tek bir formülde birleştirilmesiyle yeni teknolojik “biyo-organo-kimyasal” gübrelerin geliştirilmesi yani kimyasalların organik madde ve mikroorganizmalarla zenginleştirilmesi, tarımın gelecekte daha sürdürülebilir ve daha ekonomik yapılabilmesi için büyük umut verici bir yöntem olacağı belirtilmektedir (Goenadi ve ark., 2018; Fatimah ve ark., 2021; Adeleke ve Babalola, 2021). Bitki rizosferindeki bazı bakterilerin inorganik ve organik maddeleri bitki büyümesi için yarayışlı hale getirdiği bilinmektedir. Bunlardan *Bacillus* türü fosfat çözen bakterilerin uygulanmasıyla, bitkilere fosfor, potasyum, magnezyum, demir ve alüminyum iletiminin artarak bitki gelişimi üzerinde olumlu etkileri görüldüğü ifade edilmiştir (Çakmakçı, 2005; 2019a; Çakmakçı ve Erdoğan, 2005).

Humik asit suda güç çözünebilir elementlerden kalsiyum, demir, magnezyum gibi yüksek değerlikli iyonlar ile bileşikler oluşturur. Önemli bileşenleri humik ve fulvik asitler olan leonardit (ham linyit)’ten alkali ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen humik-fulvik asit bileşikleri toprağın ıslahı ve veriminin devamı için önemli organik materyallerdendir (Piccolo ve ark., 1997; Schulten ve Schnitzer, 1998). Bir çok araştırmacı humik asitin düşük oranda uygulandığında bitki gelişimi olumlu etkilediğini; ancak fazla miktarda uygulandığında olumsuz ya da nötr sonuçlar elde edildiğini (Chen ve Aviad, 1990; Padem ve Öcal, 1999; Çimrin ve ark., 2011) belirtmişlerdir. Türkmen ve Sungur (2014), artan humik asit dozlarının toprakta alınabilir mikroelement ekstraksiyonlarında artışlara neden olduğunu ve HA uygulamalarının doz ve örnekleme zamanına göre değişmekle beraber Fe, Cu, Zn ve Mn ekstraksiyonlarında kontrole göre farklılıklar sergilediğini bildirmişlerdir.

Bu çalışmada öncekilerden farklı olarak; son zamanlarda tarımda kullanım alanları ve çeşitleri giderek artan mikrobiyal gübrelerden, biri yerli izolat olmak üzere üçünün; tek başlarına ve karışık kültürleri topraklara uygulanmış ve kontrole göre toprakların biyokimyasal özelliklerindeki değişimler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu uygulamaların humik asit eşliğinde veya humik asit uygulanmadan yapılması ile toprak özelliklerindeki değişimler çalışmamızda ek olarak incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Deneme materyalleri

Çalışma Çanakale Onsekiz Mart Üniversitesi (ÇOMÜ) Ziraat Fakültesi Dardanos Yerleşkesi Araştırma ve Uygulama Merkezi topraklarında aşağıda açıklanan üç mikrobiyal gübrenin (A, B, C) humik asit (TKİ-HUMAS) eşliğinde ve humik asit uygulanmadan faktöriyel deneme düzeninde uygulaması yapılmış ve inkübatörde 27 °C ve tarla kapasitesinde 120 gün yürütülmüştür.

Çalışma toprağı ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dardanos Yerleşkesi deneme alanından alınarak gölgede kurutulmuş, tahta tokmakla ufalanmış ve 2 mm’lik elekten elenerek analizlere ve uygulamalara hazır hale getirilmiştir. Bu topraklardan temsilen ayrılan bir kısmında temel toprak analizleri yapılarak belirlenen özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Araştırma toprağının temel özellikleri
Table 1. Basic properties of research soil

Birimi	İncelenen Özellik	Değeri	Yöntem
(%)	Organik Madde	1,81	Kromik asitle yaş yakma sonrası (Jackson, 1958)
--	pH	8,01	1:2.5 (Toprak:Su) karışımında pH Metreyle (Richards, 1954)
(dS/m)	EC	0,42	1:2.5 (Toprak:Su) karışımında EC Metreyle (Richards, 1954)
(%)	CaCO ₃	11,86	Kalsimetre yardımıyla (Allison ve Moodie, 1965).
TIN	Bünye	(%51 Kum, %35 Tın, %14 Kil)	Hidrometre yardımıyla (Bouyoucos, 1951)
(%)	Toplam N	0,07	Sülfirik asitle yaş yakma sonrası (Bremner, 1965)
(mg kg ⁻¹)	Alınabilir P	9,158	AB-DTPA Ekstraktında ICP-OES cihazıyla (Soltanpour, 1991)
(mg kg ⁻¹)	Alınabilir K	96,37	AB-DTPA Ekstraktında ICP-OES cihazıyla (Soltanpour, 1991)
(%)	Tarla Kapasitesi	22,00	Basınçlı membran aletinde 1/3 atmosfer basınçla (Klute, 1986)

TKİ-Humas ise Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Kütahya işletmesi üretimi olan ticari bir markadır. TKİ-Humas; leonardit kullanılarak üretilen humik asit ve fulvik asit içeren doğal organik toprak düzenleyicisi bir ürün olup garanti edilen içerik bilgisinde; Organik Madde %5, Toplam Humik Asit + Fulvik Asit %12, Suda Çözünür K₂O %2 ve pH=11-13 olarak bildirilmiştir. Hububatgiller için dekara 2-6 litre uygulanması önerilmektedir. Çalışmamızda HA'in dekara beş litre dozu uygulanmıştır.

Ticari mikrobiyal gübrelere Hadropoly (A); *Arthobacter* spp., *Azotobacter* spp. (*Azotobacter vinelandii*, *Azotobacter chroococcum*), *Trichoderma viride*, *Penicillium bilaii*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* bakteri suşlarından oluşmaktadır. Bu üründen ışık geçirmeyen kapalı ambalajlı yeni parti (2020) ve litrelik bir paketi ticari temsilcisinden getirilerek denemelerde kullanılmıştır. Uygulama öncesi bu gübrenin bir ml'sinde en az 10⁷ adet canlı mikroorganizmanın bulunup bulunmadığı yayma plak yöntemiyle Plate Count Agar (PCA) besiyerinde kontrol edilmiş ve kuru toprak bazında 1 ml kg⁻¹ uygulanmıştır.

Bactoboost (B); *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* ve *Lactococcus* spp., izolatlarını içermektedir. Bu ürün de ışık geçirmeyen ambalajında yeni partisi (2020) getirilerek denemelerde kullanılmıştır. Uygulama öncesi bu ürünün bir ml'sinde garanti edilen 10⁶ adet canlı mikroorganizma bulunup bulunmadığı yayma plak yöntemiyle PCA besiyerinde kontrol edilmiş ve kuru toprak bazında 1 ml kg⁻¹ uygulanmıştır.

R-1 kodlu yerli mikrobiyal gübre formülasyonu (C); Bu araştırmada kullanılan mikrobiyal gübre formülasyonu sıvı taşıyıcılarda geliştirilen çoklu özelliklere sahip *Bacillus megaterium*, *Paenibacillus polymyxa* ve *Pseudomonas putida* izolatlarının eşit karışımından oluşan ve henüz ticari tescili olmayan özel bir mikrobiyal preparattır. Yeni geliştirilen formülde kullanılan bu bakteriler, ülkemizdeki çeşitli kültür ve yabancı bitkilerin kök rizosferinden izole edilen bitki gelişimini teşvik etme özelliğine sahip 2 bin bakteri izolatı içerisinde önceden yürütülen çalışmalar (Çakmakçı ve ark., 2006; 2007; 2008; 2009; 2010; Çakmakçı, 2019b) sonrası dikkatle seçilmiştir. Seçilen izolatlar Çoruh vadisi ve Fırtına deresi kökenli, buğday, kekik ve ahududu rizosfer topraklarından izole edilerek saklanan Prof. Dr. Ramazan ÇAKMAKÇI koleksiyonuna ait bakteriler olup kendilerinin izniyle kullanılmıştır. Bakteri izolatları klasik sistemler ve moleküler sistemlerden mikrobiyal tanılama sistemi kullanılarak tanılanmış olup "ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Mikroorganizma Kültür Koleksiyonu"nda muhafaza edilmektedir. Çalışmada kullanılan bu dondurulmuş bakteri izolatları önce Nutrient Agar (NA) besi ortamı içeren petrilere ekilerek 27 °C'de inkübasyona bırakılmış ve 24 saatlik taze kültürleri elde edilmiştir. Gelişen bu taze kültürlerin her birisinden ayrı ayrı steril öze ile alınarak 250 ml'lik Nutrient Broth (NB) içeren besi ortamına aktarılmış, yatay çalkalayıcı inkübatörde 150 rpm dk⁻¹ da 27 °C'de ayrı ayrı 24 saat geliştirilmiştir. Bu formülasyonlar optimum koşullarda çalkalamalı inkübatörde 72 saat süre ile NA ortamında inkübasyona bırakılarak bakterilerin çoğalması sağlanmıştır (Çakmakçı ve ark., 2014; 2017). Bu ortamdan alınan örneklerde

mililitredeki canlı bakteri sayımları yapılarak bakteri konsantrasyonunun 1×10^8 hücre ml^{-1} 'yi geçtiği süre belirlenmiş (48 saat) ve uygulamaya hazır hale gelen preparat, steril koşullarda yeterince ayrılarak sıcaklığı $5^\circ C$ olan ortamda muhafaza edilmiş ve kuru toprak bazında 1 ml kg^{-1} uygulanmıştır.

Denemenin kurulumu ve verilerin elde edilmesi

Deneme ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Mikrobiyoloji Laboratuvarında yürütülmüştür. Deneme dört uygulamanın (K, A, B, C) iki hümmik asit uygulanması (H^- ve H^+) durumundaki değişimleri irdelemek için dört tekerrürlü ve tesadüf parseller deneme düzeninde kurulmuş ve üç farklı dönemde (60, 90 ve 120. günler) örneklenerek zamanla toprak özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Bu şekilde toplam: $4 \times 2 \times 3 \times 4 = 96$ saksılık bir deneme oluşturulmuştur. Mikrobiyal gübreler ve hümmik asit çalışma başlangıcında tarla kapasitesinin %60'ına kadar nemlendirilen topraklara homojen olarak uygulanmıştır. İnkübasyon başlangıcından itibaren uygulamalardan sonra tarla kapasitesine getirilen toprak örneklerinin haftada bir nem değerleri gravimetrik olarak kontrol edilmiş ve toprakların tarla kapasitesinde tutulmaları sağlanmıştır.

Denemede önceden 2 mm lik elekten geçirilen ve hava kuru nemleri bilinen topraklardan her bir uygulama için eşit miktarlarda tartılarak ependorf tüplerine alınmıştır. Bu tüplerdeki topraklara MGU ve HA materyalleri deneme planına göre homojen olarak karıştırılmış ve kapakları açık vaziyette litrelik kavanozlara yerleştirilmiştir. Litrelik standart kavanozlar yarıgeçirgen (hava geçiren ancak nem kaybını engelleyen) gıda ambalajı plastik bir örtüyle (2020 ürünü Koroza markalı) kapatılarak $27^\circ C$ 'lik inkübatöre yerleştirilmiştir. İnkübasyonun 60. gününden itibaren her 30 günde bir ve toplamda üç örnekleme yapılarak toprak analizleri yapılmıştır.

Farklı inkübasyon dönemlerinde alınan toprak numunelerinde MOS; PCA besiyerinde Wollum (1982)'ye göre yayma plak yöntemiyle belirlenmiştir. Aft; Tabatabai (1982)'ye, β -Gli; Eivazi ve Tabatabai (1988)'ye, Üreaz; Hoffmann ve Teicher (1961)'e ve Dhg; Casida (1977)'ye göre substratlarla oluşturulan standartlar eşliğinde spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Katalaz enzimi (EC 1.11.1.6) ise Beck (1971)'e göre volumetrik olarak belirlenmiştir. Toprak solunumu (CO_2) mikrobiyal solunum ile açığa çıkan CO_2 'in kapalı sistemde alkali tuzak tekniği ile tutulması ve arta kalan alkalinin titrasyonu (Anderson ve Domsch, 1978) belirlenmiştir. Topraklarda Ast yüzdeleri Kemper ve Rosenau (1986)'nın bildirdiği ıslak eleme metoduna göre belirlenmiştir.

Başlangıçta deneme topraklarının alınabilir P ve K miktarları AB-DTPA çözeltilisine alınan elementlerin ICP-OES cihazı yardımıyla okunmasıyla (Soltanpour, 1991; Müftüoğlu ve ark., 2014), toplam azot miktarı ise Bremner (1965)'e göre yaş yakılarak belirlenmiştir. Uygulamalardan sonra farklı zamanlarda topraktan KCl ekstraksiyonuyla alınan NH_4 ve NO_3 konsantrasyonları kjeldahl cihazında magnezyum oksit ve devarda yardımıyla distile edildikten sonra kesin normalitesi bilinen zayıf bir H_2SO_4 asitle titre edilerek belirlenmiştir (Bremner 1969; Kacar, 2009; Müftüoğlu ve ark., 2014). Araştırma sonucunda elde edilen tüm veriler, faktöriyel deneme desenine göre bilgisayar tabanlı bir istatistik programı yardımıyla (JMP) Varyans Analizi (VA)'ne tabi tutulmuştur. Sonuçlar arasındaki önemli farklar ($\alpha=0.050$) Student-t testiyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Farklı mikrobiyal gübrelerin önerilen dozları HA eşliğinde veya HA yokluğunda uygulanmış; inkübasyonun 60., 90. ve 120. günlerinde toprak örnekleri alınmış ve analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar varyans analizine tabi tutulmuştur. Önemli farklılıklar görülen toprak biyolojik/biyokimyasal özellikleri ve agragat stabilitesi yüzdelilerindeki değişimler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Humik asit ve farklı mikroorganizma uygulamalarının 60., 90. ve 120. günlerdeki toprak biyolojik özellikleri, enzim aktiviteleri ve agregat stabilitesi özelliklerine etkileri
Table 2. Effects of humic acid and different microorganism applications on soil biological properties, enzyme activities and aggregate stability on the 60th, 90th and 120th days

60. GÜN										
Özellik/Uygulama (Uyg.)	HA ⁻					HA ⁺				
	K	A	B	C	D	K	A	B	C	D
Mikro Organizma Sayısı (adet x 1000000) g kuru toprak ⁻¹	7.346 b*	5.994 cd	4.289 e	8.669 a	6.273 c	4.057 ef	5.968 cd	6.412 c	5.378 d	3.545 f
Solunum (µg CO ₂ g kuru toprak h ⁻¹)	18.69 e	21.59cd	22.74 c	20.72 d	21.15 cd	22.01cd	70.78 a	67.28 b	14.88 f	11.26 g
Üreaz (µg NH ₄ -N g kuru toprak h ⁻¹)	200.4 a	183.6 b	178.7 bc	173.5 bc	211.5 a	154.2 d	202.1 a	166.5 cd	214.0 a	170.6 bc
Katalaz (mg O ₂ 5g kuru toprak ^{-1 3b})	5.849 cde	5.965 cde	5.323 fg	6.491 ab	6.141 bcd	4.913 g	5.790 de	5.673 ef	6.900 a	6.260 bc
Aft (µg p-NP g kuru toprak ^{-1 24h})	156.2 cde	139.5 de	200.9 b	174.1 c	232.2 a	159.5 cd	134.1 e	152.5 cde	158.5 cd	201.1 b
B-Gli. (µg p-NP g kuru toprak ^{-1 24h})	50.11 b	31.39 f	33.57 e	37.14 d	41.59 c	31.35 f	37.88 d	33.08 ef	54.32 a	37.59 d
Dhg (µg TPFg kuru toprak ^{-1 24h})	14.09 ab	5.69 h	8.41 f	6.23 g	12.59 c	9.91 d	14.56 a	10.12 d	9.20 e	13.60 b
Suya dayanıklı agregat stabilitesi (%)	60.70 bc	67.15 a	63.93 ab	51.72 e	55.29 de	43.07 g	55.63 de	56.71 cd	64.79 a	47.15 f
NH ₄ ⁺ (µg g ⁻¹)	1.516 f	3.153 e	3.90 bc	3.56 d	3.79 bcd	0.38 g	4.02 ab	4.186 a	3.68 cd	3.85 bc
NO ₃ ⁻ (µg g ⁻¹)	1.546 e	4.727 b	5.227 a	4.261 cd	4.602 bc	0.739 f	4.375 bcd	4.545 bc	4.318 cd	4.148 d
90. GÜN										
Özellik/Uyg.	HA ⁻					HA ⁺				
	K	A	B	C	D	K	A	B	C	D
Mikro Organizma Sayısı (adet x 1000000) g kuru toprak ⁻¹	5.049 e	5.276 e	10.49 a	10.471 a	6.883 bc	7.419 b	5.828 de	5.373 de	6.218 de	6.964 h
Solunum (µg CO ₂ g kuru toprak h ⁻¹)	17.44 g	25.49 a	23.29 c	22.52 cd	24.34 b	21.28 e	22.04 de	19.93f	20.22 f	24.25 b
Üreaz (µg NH ₄ -N g kuru toprak h ⁻¹)	54.05 h	68.61 efg	89.94 bc	73.29 ef	62.11 gh	84.48 cd	96.44 ab	102.68 a	67.05 fg	77.72 de
Katalaz (mg O ₂ 5g kuru toprak ^{-1 3b})	4.68 öd	4.27 öd	5.22 öd	4.86 öd	3.97 öd	3.97 öd	4.03 öd	4.68 öd	4.21 öd	3.85 öd
Aft (µg p-NP g kuru toprak ^{-1 24h})	216.4 bc	180.7 e	155.3 f	184.7 e	211.9 cd	196.1 de	236.4 a	233.8 ab	209.0 cd	206.6 cd
B-Gli. (µg p-NP g kuru toprak ^{-1 24h})	29.18 e	30.57 de	25.71 g	27.35 f	33.50 c	48.83 a	34.77 c	37.36 b	31.09 d	37.18 b
Dhg (µg TPFg kuru toprak ^{-1 24h})	10.30 b	5.268 h	6.590 f	5.737 g	9.485 c	7.812 e	11.56 a	8.347 d	7.427e	9.787c
Suya dayanıklı agregat stabilitesi (%)	36.28 b	49.07 a	48.22 a	34.54 b	32.47 b	32.87 b	36.01 b	33.44 b	35.82 b	33.35 b
NH ₄ ⁺ (µg g ⁻¹)	1.970 b	2.790 a	1.630 cd	1.516 de	1.630 cd	1.346 e	1.516 de	2.823 a	1.403 de	1.857 bc
NO ₃ ⁻ (µg g ⁻¹)	4.273 b	4.000 bc	1.079 f	1.875 e	2.159 e	3.466 d	3.579 d	4.716 a	3.636cd	4.034 bc
120. GÜN										
Özellik/Uyg.	HA ⁻					HA ⁺				
	K	A	B	C	D	K	A	B	C	D
Mikro Organizma Sayısı (adet x 1000000) g kuru toprak ⁻¹	6.672 c	9.075 a	4.107 d	7.744 b	3.799 def	2.938 g	3.490 efg	3.295 fg	3.945 de	1.899 h
Solunum (µg CO ₂ g kuru toprak h ⁻¹)	9.065 bc	7.260 ef	7.260 ef	7.925 de	9.350 b	11.055 a	8.400 cd	7.925 de	8.020 d	6.880 f
Üreaz (µg NH ₄ -N g kuru toprak h ⁻¹)	120.7 a	107.4 b	121.4 a	90.02 c	129.8 a	92.60 c	110.7 b	94.53 c	96.46 c	91.74 c
Katalaz (mg O ₂ 5g kuru toprak ^{-1 3b})	4.225 öd	3.139 öd	4.346 öd	3.743 öd	3.380 öd	3.260 öd	3.139 öd	3.743 öd	3.260 öd	3.139 öd
Aft (µg p-NP g kuru toprak ^{-1 24h})	227.8 abc	167.1 g	234.9 ab	184.3 f	241.5 a	211.5 de	174.6 fg	217.9 cde	203.5 e	220.8 bcd
B-Gli. (µg p-NP g kuru toprak ^{-1 24h})	34.90 b	31.90 e	34.71 bc	27.38 f	33.06 d	36.14 a	28.12 f	34.99 b	27.51 f	33.77cd
Dhg (µg TPFg kuru toprak ^{-1 24h})	8.456 bc	5.046 g	5.615 f	5.197 fg	8.172 cd	6.818 e	9.341 a	7.838 d	6.668 e	8.806 b
Suya dayanıklı agregat stabilitesi (%)	41.78 d	58.09 a	56.12 ab	49.03 c	53.30 b	44.66 d	42.48 d	42.91 d	41.68 d	44.28 d
NH ₄ ⁺ (µg g ⁻¹)	1.546 e	4.727 b	5.227 a	4.261 cd	4.602 bc	0.739 f	4.375 bcd	4.545 bc	4.318 cd	4.148d
NO ₃ ⁻ (µg g ⁻¹)	3.978 d	2.557 g	4.659 b	5.057 a	3.125 f	4.318 c	3.523 e	3.864 d	3.069 f	2.557 g

* : Aynı harfle gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli değildir (p<0.05).

İncelenen özelliklerden MOS, Üre ve Dhg enzim aktiviteleri, suya dayanıklı Ast yüzdeleri ve ekstrakte edilebilen NO₃ özellikleri tüm dönemlerde HA, MGU ve HA x MGU interaksiyonunda (birlikte etkisinde) önemli değişimler göstermiştir. Ancak diğer toprak biyolojik özelliklerinden Kat⁺ın 60. gün HA uygulamasında ve 90. gün HA x MGU interaksiyonundaki değişimleri önemli olmamıştır.

Topraktaki Aft, B-Gli ve NH₄ özelliklerindeki değişimler de HA x MGU interaksiyonunda önemli olmuştur (Çizelge 2).

MOS 60. günde en yüksek 8668832 adet olarak C uygulamasında görülmüşken; 90. günde 10487013 adet ile B uygulamasında ve 10470779 adet ile C uygulamasında görülmüştür. Mikroorganizma sayıları 120. günde en çok 9074676 adet ile A uygulamasından elde edilmiştir. Her üç dönemdeki bu yüksek MOS değerleri HA uygulanmayan topraklardan elde edilmiştir. En düşük MOS ise her üç örnekleme döneminde de HA uygulanan şartlarda görülmüş ve sırasıyla 60. günde 3545455 adet ile D uygulamasında, 90. günde 6964286 ve 120. günde 1899351 adet ile yine D uygulamasında görülmüştür. Çalışmamızda MOS HA varlığında dönem farketmeksizin azalmıştır. Li ve ark. (2019) yaptıkları üç yıllık yerfistliği çalışmasında HA uygulamasının özellikle bakteri sayısını azalttığını, mantar sayılarını artırdığını ve bu mantarlardan bazılarının patojenik olduklarını bildirmiştir. Zhou ve ark. (2022)'nin kumlu bir toprakta bentonit ve HA uygulaması yaptıkları yedi yıllık bir çalışmalarında, 3-5. yıllar arasında uygulamaların mikrobiyal biyokütleyi ancak artırabildikleri ifade etmişlerdir. Çalışmamızla ilişkilendirilebilecek ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dardanos araştırma ve uygulama çiftliği topraklarının kullanıldığı bir başka inkübasyon çalışmasında (Uzunboy ve Türkmen, 2018), araştırmacılar MOS sayılarının g kuru toprak başına 5000000–15000000 adet elde edildiğini bildirmişlerdir. Aynı topraklardaki başka bir çalışmada ise (Parlak ve ark., 2017) mikroorganizma sayılarının toprak derinliğine bağlı olarak azaldığı bildirilmiştir. Araştırmacıların (Parlak ve ark., 2017) çalışmalarındaki 0-15 cm derinliklerdeki topraklarda MOS sayılarının çalışmamızdaki miktarlarla benzer oldukları görülmüştür.

Toprak solunumu (CO₂)'nun en yüksek değerleri; 60. günde gram kuru toprak başına 70.775 µg h⁻¹ ile humik asitli koşullarda A uygulamasında, 90. günde 25.493 µg h⁻¹ ile humik asitsiz koşullarda A uygulamasında ve 120. günde 11.055 µg CO₂ h⁻¹ ile humik asitli koşullarda K uygulamasında görülmüştür. En düşük solunum değerleri ise; 60. günde 11.255 µg CO₂ h⁻¹ ile humik asitli koşullarda D uygulamasında görülmüş olup, 90. günde bu değer 17.443 µg CO₂ h⁻¹ ile humik asitsiz koşullarda K uygulamasında görülmüştür. 120. Günde ise 6.880 µg CO₂ h⁻¹ ile en düşük solunum değerleri humik asitli koşullarda D uygulamasında görülmüştür (Çizelge 2). Toprak solunumu mikroorganizma faaliyetlerinin bir sonucu olup toprak tipi, toprak nemi, toprak organik maddesi ve toprak sıcaklığı gibi birçok faktöre göre değişir (Anderson ve Domsch, 1973; Orchard ve Cook, 1983; Lloyd ve Taylor 1994; Luo ve Zhou, 2010; Qin ve ark. 2019). Ergün (2017), fındık biyoçarı uygulamasının toprakta CO₂ değerlerini etkileyebildiğini ve günlük ortalama 11.77 mg CO₂ 100 g⁻¹ CO₂ üretildiğini belirtmiştir. Ordu ilindeki fındık bahçelerinde yapılan çalışmada (Ay ve Kızılkaya, 2021) alınan toprakların CO₂ üretimlerinin 0.04-0.23 ml CO₂ 100g⁻¹ saat⁻¹ arasında değiştiği belirtilmiştir. Toprakların CO₂ üretimleriyle ilgili araştırmacıların gün-saat, gram-mikrogram, gram başına veya 100 gram başına CO₂ üretimi gibi farklı ifadeler ve yorumlama metot farkları da en az toprak şartları kadar tartışmayı zorlaştırmaktadır.

Üreaz (EC 3.5.1.5) üreyi sübstrat olarak kullanarak amonyak ve karbondioksit dönüştüren ve kofaktörü Ni⁺² olan bir enzimdir (Alef ve Nannipieri, 1995). Üreaz enzim aktivitesi doğada g toprakta 0.14 ile 14.3 µmol NH₃-N h⁻¹ arasında değişmekle beraber (Nannipieri ve ark., 2002; Kandeler ve ark., 2011) toprakların pH, kireç, tuz, organik madde, yağışlar ve toplam azot miktarı gibi; genel toprak özelliklerine göre değişebildiği ifade edilmektedir (Kızılkaya ve ark., 1998; Zornoza ve ark., 2006; Kandeler ve ark., 2011). Çalışmamızdaki üreaz enzimi değişimleri örnekleme zamanı HA ve MGU ele alınarak incelendiğinde 60. günde en yüksek değerler HA⁻ koşullarda gram kuru toprak bazında 200.35 µg NH₃-N h⁻¹ ile A uygulaması ve 211.45 µg NH₃-N h⁻¹ ile B uygulamasında ölçülmüştür. HA⁺ koşullarında ise bu değerler 202.05 µg NH₃-N h⁻¹ ile A uygulamasında ve 214.02 µg NH₃-N h⁻¹ ile C uygulamasında görülmüştür. En düşük üreaz enzim aktiviteleri ise 60. günde HA⁻ koşullarında 54.05 µg NH₃-N h⁻¹ ile yine K uygulamasında görülmüştür (Çizelge 2). Toprakta üreaz enzim aktivitelerinin farklı uygulamalara, farklı topraklara ve zamana göre farklı seviyelerde elde edildiği görülmektedir (Li ve ark., 2019; Hou ve ark., 2021; Wang ve ark., 2022). Zhou ve ark. (2022), kumlu bir toprakta bentonit ve HA uygulaması yaptıkları çalışmalarında uygulamaların 3-5. yılları arasında üreaz enzim aktivitesini artırdığını ifade etmişlerdir. Türkmen ve ark. (2013) Çanakkale Biga şartlarında yaptıkları mera çalışmasında, uygulamalar arasında ve derinlik bazında önemli farklar olduğunu ve üreaz miktarlarının 30-43 mg NH₃-N 100 g⁻¹ toprak h⁻¹ seviyelerinde değiştiğini bildirmişlerdir. Buğday bitkisi altındaki topraklardan farklı zamanlarda ve derinliklerde alınan örneklerinde üreaz enzim aktivitesi analizleri de yapılmış ve buğdayın sapa kalkma döneminde en yüksek enzim değerlerine

ulaşarak toprakta derinlik artıkça üreaz enzim aktivitesinin azaldığı ifade edilmiştir (Erdel, 2021). Topraklarda üreaz enzim aktiviteleri değişken seviyelerde bulunmakta ve bu değişkenlik toprakların temel özellikleri yanında yapılan uygulamalardan da kaynaklanmaktadır. Çalışmamızla ilişkilendirilebilecek ve tartışabileceğimiz aynı topraklar (ÇOMÜ Ziraat Fakültesi dardanos araştırma ve uygulama çiftliği toprakları) üzerinde üreaz enzim aktivitelerinin yapıldığı bir çalışmada (Parlak ve ark., 2017) farklı bitki deseni altındaki topraklarda enzim aktivitelerinin bitki desenine ve toprak derinliklerine göre değişmekle birlikte yaklaşık 30-60 mg NH₃-N 100 g⁻¹ kuru toprak h⁻¹ değerleri arasında değiştiği bildirilmiştir.

Enzimlerin topraklarda en büyük kaynağı mikroorganizmalar (Karaca ve ark., 2011) olup katalaz stabilitesi oldukça yüksek (Alef ve Nannipieri, 1995) enzimlerdendir. Çalışmamızda katalaz enzim aktivitesi incelendiğinde 60 ve 120. günlerdeki MGU x HA interaksiyonlarının önemli olduğu, sadece 90. gündeki interaksiyonun önemsiz olduğu görülmektedir. Veriler ele alındığında en yüksek katalaz aktivitesi 60. günde HA eşliğindeki D uygulamasında (6.901 mg O₂ 5g kuru toprak 3dk⁻¹) görülmüş; sırasıyla 90. günde HA uygulanmayan B uygulamasında (5.220 mg) ve 120. günde yine HA yokluğunda B uygulaması yapılan topraklardan (4.346 mg) elde edilmiştir. En düşük katalaz enzim aktiviteleri 60. günde HA⁺ şartlarında kontrol uygulamasında (4.913 mg O₂ 5g kuru toprak 3dk⁻¹) elde edilmişken; 90. günde HA⁺ durumunda D uygulamasında (3.85 mg) görülmüştür. Katalaz enziminde HA⁺ veya HA⁻ farketmeksizin 120. gün değerlerinde hiçbir uygulama arasında istatistiksel fark olmamıştır. Ancak bu örnekleme döneminde en düşük katalaz aktivitesi değerleri HA⁺ şartlarında 3.139 mg O₂ değerinde; HA⁻ şartlarında A uygulamasında aynı değerde ölçülmüştür (Çizelge 2). Katalaz enzim aktivitesi mikrobiyal aktiviteye dolayısıyla da toprak sıcaklığı, oksijen, toprak nemi ve besin maddeleri gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir (Kandeler, 2015). Katalaz enzim aktivitesinin toprak işleme ile değiştiği (Erdel, 2021), topraklardaki organik madde seviyesi ile yakından ilişkili olduğu (Durmuş ve ark., 2011) ve toprakların N, P, K gübreleri ile katalaz aktivitesinin arttığı (Durmuş ve ark., 2011; Kandeler, 2015) tarafından ifade edilmiştir. Konya şartlarında tuzlu topraklarda yapılan bir çalışmada (Yıldırım, 2010) katalaz enzim aktivitelerinin genel olarak 1.13-7.33 mg O₂ 5g⁻¹ kuru toprak 3dk⁻¹ arasında değiştiği ifade edilmiştir. Zhou ve ark. (2022), kumlu toprakta bentonit ve HA uygulaması yaptıkları çalışmada 3-5. yıllar arasında uygulamaların katalaz enzim aktivitesini artırdığını ifade etmişlerdir. Erdel (2021), yaptığı çalışmada buğday bitkisi altındaki topraklardan farklı zamanlarda ve derinliklerde aldığı örneklerde katalaz enzim aktivitesi analizlerini yapmış ve katalaz enzimindeki değişimlerin bitki gelişim periyodu boyunca önemsiz derecede değişimler gösterdiğini, ancak toprak derinliğinin artmasıyla katalaz aktivitesinin düştüğünü bildirmiştir. Türkmen ve ark. (2013) Biga (Çanakkale) şartlarında yaptıkları mera çalışmasında, uygulamalar arasında ve derinlik bazında inceledikleri enzim aktivitelerinde önemli farklar olduğunu ve katalaz enzim aktivitesi sonuçlarının 3.72 -7.42 mg O₂ 5 g toprak 3 dk⁻¹ seviyelerinde değiştiğini, Anamur ve Türkmen (2021) ise Bayramiç (Çanakkale) şartlarında yaptıkları çalışmada 0-30 cm derinlikteki topraklarda HA uygulamalarının katalaz enzim aktivitesine olumsuz etkileri olduğunu ve katalaz enzim aktivitelerinin HA dozları arttıkça azaldığını bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı gibi topraklarda katalaz enzim aktiviteleri değişken seviyelerde bulunmakta ve bu değişkenlik toprakların temel özellikleri yanında yapılan uygulamalardan da kaynaklanmaktadır. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dardanos araştırma ve uygulama çiftliği toprakları üzerinde katalaz enzim aktivitelerinin de incelendiği bir çalışmada (Parlak ve ark., 2017) farklı bitki örtüsü altındaki topraklarda ve farklı derinliklerde katalaz enzim aktivitelerinin değişken olduğunu bildirmişlerdir. Bu topraklarda daha önce HA ve MGU yapılarak topraktaki enzim aktivitesi özelliklerinin incelendiği başka bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Alkali fosfataz enzimi (EC 3.1.3.1), organik fosforun hidrolizini katalizlediği (Nannipieri, 1994) için tarımsal üretim açısından çok önemli bir enzimdir. Çalışmamızda HA ve MG uygulamalarının organik karakterli olması ve denemede kullanılan toprak özellikleri Aft enzim aktivitesi analizinin yapılmasını gerektirmiştir. Alkali fosfataz enzim aktiviteleri kuru toprak bazında inkübasyonun 60. günde en yüksek değerler HA⁻ koşullarda 232.2 µg p-NP g toprak⁻¹ 24 h⁻¹ ile D uygulamasında iken, 90 günde HA⁺ koşullarda 236.37 µg p-NP g toprak⁻¹ 24 h⁻¹ ile A uygulamasında olmuştur. İkinci örnekleme (120. gün) döneminde en yüksek Aft aktivitesinin humik asitsiz koşullarda 241.45 µg p-NP g toprak⁻¹ 24 h⁻¹ ile D uygulamasında olduğu görülmüştür. İlk örnekleme döneminde en düşük Aft değeri HA⁺ koşullarda 134.10 µg p-NP g toprak⁻¹ 24 h⁻¹ ile A uygulamasında elde edilmişken, 90. günde HA⁻ koşullarda 155.27 µg p-NP g toprak⁻¹ 24 h⁻¹ değeriyle B uygulamasında

görülmüştür. Son örneklemelelerde (120. gün) HA⁻ koşullarda 167.13 µg p-NP g toprak⁻¹ 24 h⁻¹ ile A uygulamasında Aft aktivitesi olduğu görülmüştür (Çizelge 2). Yapılan çalışmalara göz attığımızda; Sun ve ark. (2020), 70 günlük inkübasyon çalışmasına göre uyguladıkları HA'in farklı fraksiyonlarının özellikle asit ve alkali fosfataz aktivitelerini arttırdığını bildirmişlerdir. Okur ve ark. (2007)'nin yaptıkları çalışmada alkali fosfataz aktivitelerinin 306.23 - 475.11 µg p-NP g⁻¹ h⁻¹ arasında değiştiği belirtilmiştir. Urfada mısır yetiştirilen topraklarda yapılan bir başka çalışmada (Küçük ve Cevheri, 2018) alkali fosfataz enziminin 7.04-82.04 µg p-NP g kuru toprak⁻¹ arasında değiştiği bildirilmiştir. Kravkaz Kuşçu (2019) alkali fosfatazın toprağın biyolojik özelliklerine göre olumlu veya olumsuz yönde etkilenebileceğini ve ksenobiyotikler (yapay kirleticiler) gibi antropojenik etkilerin alkali fosfataz enzim aktivitesini olumsuz yönde etkilediğini bildirmiştir. Erdel (2021) buğday bitkisi altındaki topraklardan farklı zamanlarda ve derinliklerde aldığı örneklerde alkali fosfataz enzim aktivitesinin buğdayın sapa kalkma döneminde en yüksek değerlerine ulaştığını bildirmiştir. Yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere toprakta alkali fosfataz enzim aktiviteleri çok değişken olan toprak özellikleri yanında toprağa uygulanan materyallere göre de farklı aktiviteler sergilemektedir. Çalışmamızda elde edilen alkali fosfataz enzim aktivitesi değerleri önceki çalışmalara benzer aralıklarda elde edilmiş ancak ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dardanos araştırma ve uygulama çiftliği toprakları üzerinde alkali fosfataz enzim aktivitelerinin HA ve MGU uygulamaları yapılarak incelendiği benzer başka bir çalışmaya rastlanmamıştır.

β-Glikozidaz enzimi (EC 3.2.1.21) karbon döngüsünde çok önemli rolü olan ve karasal ekosistendeki organik bileşiklerden en çoğu olan selülozun parçalanmasında yer alan anahtar roldeki bir enzimdir (Steger ve ark., 2010). β-Gli enzimi toprakta maltoz ve sellobiyozun hidrolizinde katalizör olarak görev yapar. Bu yönüyle β-Gli enzimi toprakların organik madde içeriğindeki değişikliklerin güvenilir bir göstergesi (Bell ve ark., 2010; Kandeler, 2015) olarak kullanılabilir. Çalışmamızda HA kullanılması ve bunun farklı MGU eşliğinde yapılması β-Gli enzimini izlememiz gereğini ortaya koymuştur. Bu nedenle çalışmamızdaki her üç dönemde de yapılan β-Gli analiz sonuçları incelenerek tartışılmıştır. İlk örnekleme döneminde (60. gün) en yüksek β-Gli enzimi HA⁺ koşullarda gram kuru toprak başına 54.32 µg p-NP 24 h⁻¹ ile C uygulamasında görülmüşken; 90. günde HA⁺ koşullarda 48.83 µg p-NP 24 h⁻¹ değeri ile K uygulamasında olmuş ve 120. günde yine HA⁺ koşullarda 36.140 µg p-NP 24 h⁻¹ ile yine K uygulamasında görülmüştür. İlk örneklemede (60. gün) en düşük değer ise HA⁻ koşullarda 31.390 µg p-NP 24 h⁻¹ ile A uygulamasında görülmüşken, 90. günde HA⁻ koşullarda 25.705 µg p-NP 24 h⁻¹ ile B uygulamasında ve 120. günde ise yine HA⁻ koşullarda 27.377 µg p-NP 24 h⁻¹ ile C uygulamasında görülmüştür (Çizelge 2). Çalışmamızdaki β-Gli aktivite değerleri, önceki çalışmalardan farklı konular, farklı topraklar ve farklı uygulamalardan elde edilmesine rağmen benzer aralıklarda elde edilmiştir (Kızılkaya ve ark., 1998; Laic ve ark., 2002; Turgay ve ark., 2004; Tamer ve Karaca, 2006; Karaca ve ark., 2006; Günal ve ark., 2018; Tamer ve Namlı, 2018). Çalışmamızın yapıldığı topraklarda β-Gli enzim aktivitelerinin incelendiği tartışabilecek başka bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Dehidrogenaz enzim (EC 1.1.1) aktivitesinin herhangi bir ekosistemdeki toplam mikrobiyal aktivitenin bir ölçüsü olarak kullanılabilmesi belirtilmektedir (Casida, 1977). Çalışmamızda HA ve MGU sonrası diğer toprak biyolojik aktiviteleri yanında Dhg enzim aktivitesi analizi de mikrobiyal aktivitenin bir ölçütü olarak yapılmıştır. Çalışmamızda en yüksek Dhg enzim aktivite değerleri HA⁺ koşullarda gram kuru toprak başına 14.555 µg TPF 24 h⁻¹ ile 60. günde, 11.56 µg TPF 24 h⁻¹ ile 90. Günde ve 9.341 µg TPF 24 h⁻¹ ile 120. günde HA⁺ koşullarda A uygulamasında görülmüştür. Elde edilen en düşük Dhg enzim aktiviteleri ise g kuru toprak başına HA⁻ koşullarında 5.687 µg TPF 24 h⁻¹ ile 60. gün, 5.268 µg TPF 24 h⁻¹ ile 90. gün ve 5.046 µg TPF 24 h⁻¹ ile 120. günde yine A uygulaması yapılan topraklardan elde edilmiştir (Çizelge 2). Dehidrogenaz enzimiyle ilgili ülkemizdeki bazı çalışmalarda farklı konular, topraklar ve bulgulardan bahsedilmektedir. Çalışmamızda elde edilen dehidrogenaz enzim aktivitesi değerleri genel olarak önceki çalışmalara benzer aralıklarda elde edilmiştir (Okur ve ark., 2007; Kızılkaya, 2008; Durmuş ve Kızılkaya, 2016; Kızılkaya ve ark., 2019; Özdemir ve ark., 2018). Çalışma topraklarımızda dehidrogenaz enzim aktiviteleri genel olarak HA uygulanmasıyla olumlu etkilenmiş bu durum Okur ve ark. (2007)'nin leonardit, HA ve Biofarm uyguladığı çalışma sonuçlarıyla uyusmaktadır.

Toprakta özellikle suya dayanıklı agregatların yüksekliği toprakta verimliliğin korunması (erozyona dayanma) ve sürdürülebilir tarımın sağlanması ile ilgili çok önemli bir fiziksel toprak özelliğidir (Brevik ve ark., 2015). Toprak partiküllerinin kararlı mikro-agregatlar oluşturmak için

organik kolloid, inorganik kolloid ve organik-inorganik kompleksler ile çimentolandığını; bunu sağlamada ise mikroorganizmaların, ürün artıkları, polisakaritler, bitki kökleri ve köklere bağlanan mikorizal hifler gibi geçici çimentolayıcıların etkisinin büyük olduğu ve agregatları bu tür yapıların oluşturduğu ifade edilmiştir (Gao ve ark., 2021). Çalışmamızda 60. günde en yüksek suya dayanıklı Ast değerleri HA^- koşullarda %67.15 ile A uygulamasında ve HA^+ koşullarında %64.79 ile C uygulamasında görülmüştür. En yüksek değerler 90. günde yine HA^- koşullarda %49.07 ile A yine uygulamasında ve %48.22 değeriyle de B uygulamasında görülmüştür. HA^- yokluğunda 120. günde %58.09 ile A uygulaması suya dayanıklı agregat yüzdesi verdiği görülmüştür. Toprakta agregat stabilitesi'nin düşük değerleri ele alınınca 60. günde HA^+ koşullarda %43.07 ile K uygulamasında görülmüştür. Bu değerler 90. günde HA^+ koşullarda %34.47 ile D uygulamasında görülmüştür. HA^+ koşullarda 90. gündeki düşük değerler ise %32.87 ile K uygulamalarında görülmüştür. HA^- koşullarda 120. gündeki düşük değer %41.68 ile C uygulamasında görülmüştür (Çizelge 2). Toprakta Ast ile ilgili birçok çalışmaya göre; toprağın temel özellikleri ve yapı taşlarına göre agregat dayanıklılığının değiştiği ifade edilmektedir (Andrews ve Carroll, 2001; Yılmaz ve ark., 2005; Huang ve Xu, 2010; Brevik ve ark., 2015; Gao ve ark., 2021). Çalışmamızda elde edilen Ast değerleri genel olarak önceki çalışmalara (Canbolat, 1992; Haynes ve Beare, 1997; Albiach ve ark., 2001; Yılmaz ve ark., 2005-2008; İç ve Gülser, 2008; Turgut ve Aksakal, 2010; Sarı ve Öztaş, 2017; Göçük ve Demir, 2021; Gümüş, 2019; Kızılkaya ve ark., 2019) benzer aralıklarda elde edilmiştir.

Azot doğada canlılar için karbon, oksijen ve hidrojenen sonra en çok gerekli olan (Galloway ve ark., 2008) ve atmosferde en çok bulunan elementtir. Azot atmosferden sonra en çok karasal ekosistemde bulunmakta ve toplam azot fiksasyonunun yarısından antropojenik olaylar sorumluyken, diğer yarısından doğal mikroorganizmalar sorumludur (Fowler ve ark., 2013). Toprağa fikse olan azotun bitkiler tarafından alınabilmeleri açısından amonyum ve nitrat bileşikleri halinde bulunmalıdır (Kacar, 2009; Zhang ve ark., 2020-2021). Çalışmamızda topraklardan ekstrakte edilen NH_4 değişimleri örnekleme dönemlerine göre incelenmiş ve ilk örneklemede (60. gün) en yüksek değerler HA^+ koşullarında sırasıyla $4.020 \mu g g^{-1}$ ve $4.186 \mu g g^{-1}$ değerleri ile A ve B uygulamalarında görülmüştür. 90. günde HA^- koşullarda $2.789 \mu g g^{-1}$ ile A uygulamasında ve HA^+ koşullarda $2.823 \mu g g^{-1}$ ile B uygulamasında görülmüştür. 120. günde ise $4.727 \mu g g^{-1}$ değeri ile A uygulamasında olduğu görülmüştür. En düşük NH_4 miktarları 60. günde hem HA^- koşullarda sırasıyla $0.380 \mu g g^{-1}$ ile kontrol uygulamasında görülmüşken, 90. günde HA^+ koşullarda $1.346 \mu g g^{-1}$ ile K uygulamasında olmuştur. Amonyum miktarları 120. günde HA^+ koşulda $0.739 \mu g g^{-1}$ değeri ile yine K uygulamasında görülmüştür. Nitrat bakımından ise çalışmamızdaki en yüksek ve en düşük değerler ele alındığında 60. günde en yüksek değer HA^- koşullarda $5.227 \mu g g^{-1}$ ile B uygulamasında iken, 90. günde HA^+ koşullarda $4.716 \mu g g^{-1}$ ile B uygulamasında görülmüştür. Bu değer 120. günde ise HA^- koşullarda $5.057 \mu g g^{-1}$ ile C uygulamasında görülmüştür. En düşük değerler 60. günde HA^+ koşullarda $0.739 \mu g g^{-1}$ ile K uygulamasında iken, 90. günde HA^- koşullarda $1.079 \mu g g^{-1}$ ile B uygulamasında olmuş ve 120. günde ise HA^- koşullarda $2.557 \mu g g^{-1}$ ile A uygulaması ve HA^+ koşullarda $2.5568 \mu g g^{-1}$ ile D uygulamasında görülmüştür (Çizelge 2). Topraklarda azot çok dinamik bir element olup, toplam ve ekstrakte edilebilir amonyum ve nitrat değerleri toprağın birçok özelliğine göre değişmekte (Maynard ve ark., 1993; Bellitürk ve ark., 2007; Kacar, 2009; Günel ve ark., 2017; Erdil ve ark., 2018; Aydın ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2021) ve çalışmamızda elde edilen değerlerle kısmen örtüşmektedir. Çalışmamızda elde edilen değerlerle bildirilen değerlerin benzeşme durumunun nedeni olarak; çalışmamızın diğer çalışmaların farklı topraklarda, farklı ekstraksiyon metotlarıyla elde edilmeleri ve toprağa yapılan farklı uygulamalar olduğu düşünülmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada; son yıllarda tarımsal üretimde kullanımı giderek artan BGTB'lerden üç mikrobiyal preparat yerli bir humik asit eşliğinde veya humik asit verilmeden topraklara uygulanmıştır. Bu topraklardan kontrollü inkübasyon şartlarında 60., 90. ve 120. günlerde örnekler alınarak; Üre, Kat, Dhg, Aft ve B-Gli enzim aktiviteleri belirlenmiştir. Her üç dönemde alınan bu topraklarda aynı zamanda mikrobiyal solunum, mezofil aerobik mikroorganizma sayıları, amonyum, nitrat ve suya dayanıklı agregat stabilitesi analizleri yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarının humik asit ve mikrobiyal gübre uygulamalarına bağımlı değişkenlikleri her üç örnekleme döneminde de istatistiksel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; her üç örnekleme döneminde HA ve

MGU'nun tek başlarına veya birlikte uygulandıklarında incelenen toprak özellikleri üzerine etkileri farklı derecelerde görülmüştür.

HA uygulamasının tek başına; Kat, B-Gli ve NH₄, özelliklerine etkisi 60. günde önemsiz olmuşken; yalnız MGU uygulamalarıyla incelenen tüm toprak özelliklerinin değişimi önemli olmuştur. HAXMGU interaksiyonu dikkate alındığında yine tüm özelliklerin değişimi önemli olmuştur. İkinci dönemde tek başına MGU'ya göre Aft değişimleri önemsiz olmuşken; HAXMGU'nda yalnızca Kat. değişimleri önemsiz, diğer tüm özellikler önemli olmuştur. Üçüncü örneklemede ise HA uygulamasıyla CO₂, Aft ve B-Gli değişimleri önemsizken; diğer özellikler önemli olmuştur. Bu dönemde MGU tek başına ve HAXMGU'nda yine tüm özelliklerin değişimi önemli olmuştur. Tüm sonuçlar ele alındığında; her üç örnekleme döneminde HA ve MGU'nun tek başlarına veya birlikte uygulanmalarının incelenen toprak özellikleri üzerine farklı seviyelerde ve olumlu veya olumsuz yönde olmuştur. Bu tür uygulamaların genel anlamda toprak biyolojik özelliklerini ve toprak kalite özelliklerini iyileştirmeleri yönüyle teşvik edilmesi gerektiği belirtilebilir.

Günümüz koşullarında ülkemiz topraklarındaki organik madde miktarının düşük olması sürdürülebilir toprak verimliliği açısından büyük önem arz etmektedir. Sürdürülebilirliğin sağlanması için HA ve benzeri organik maddelerin topraklara verilmesi toprağın organik kısmının ve dolayısıyla da mikrobiyal biyokütlesinin artırılmasını teşvik edilebilir. Ancak topraklara katılacak organik madde kaynaklarının son yıllarda kullanımı giderek artan mikrobiyal gübrelere birlikte uygulanmaları, organik maddelerin mikrobiyal gübrelere etkileri ve farklı bitkilerin verim özelliklerine etkilerinin detaylı bilinmesi gerekmektedir. Bunun için çalışmamıza benzer bilimsel çalışmaların artırılarak önce inkübasyon, sonra sera, sonra da tarla denemeleriyle desteklenmesi gerekmektedir.

Ayrıca çeşitli organik ve mikrobiyal materyaller kullanılarak farklı bakış açılarıyla kurgulanmış verim artıran çalışmaların ticari gübrelere birlikte kullanım olanakları ekonomik açıdan sorgulanmalıdır. Sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından gerek ülkemizde gerekse dünyada bu tür çalışmalar artırılmalı ve çeşitli mikroorganizmalar insanlığın hizmetine sunulmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2020-3429 Proje numarasıyla desteklenen Furkan ETEM'in Yüksek Lisans tez çalışması verilerinin bir kısmından üretilmiştir. İlgili kuruma desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar

- Adeleke, B.S., Babalola, O., 2021. Roles of Plant Endosphere Microbes in Agriculture-A Review. *Journal of Plant Growth Regulation*. 1-18.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F., Ingelmo, F., 2001. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil. *Bioresource technology*. 76(2): 125-129.
- Alef, K., Nannipieri, P., 1995. Enzyme activities. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*, 311-373. Academic Press, London, UK.
- Allison, L.E., Moodie, C.D., 1965. Carbonate. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. 9: 1379-1396.
- Anamur, F., Türkmen, C., 2019. Sıvı Humik Asit Uygulamalarının Bayramiç Beyazı Nektarin Çeşidinin (*Prunus persica* var. *nucipersica*) Beslenmesi ve Bazı Toprak Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*. 8(4): 1035-1047.
- Anderson, J.P.E., Domsch, K.H., 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil biology and biochemistry*. 10(3): 215-221.
- Anderson, J.P.E., Domsch, K.H., 1973. Quantification of bacterial and fungal contributions to soil respiration. *Archiv für Mikrobiologie*. 93(2): 113-127.
- Andrews, S.S., Carroll, C.R., 2001. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications*. 11(6): 1573-1585.
- Anonim, 2018. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı "Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik. 23 Şubat 2018 tarih ve 30341 sayılı T.C. Resmi Gazete.
- Ay, A., Kızılkaya, R., 2021. Ordu ve Giresun illerindeki fındık bahçelerinin toprak özellikleri ile biyolojik özellikleri arasındaki ilişkiler. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*. 9(1): 71-78.

- Aydın, H.R., Kural, F., Arın, A., Yaylacı, C., Coşkan, A., 2018. Leonardit uygulamasının nitrifikasyon ve nitrat amonifikasyonu üzerindeki etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı, 429-434, 2018.
- Beck, T.H., 1971. Die Messung Katalasen Aktivitaet Boden Z. Pflanzenernaehai Sodek. 130: 68–81.
- Bell, T.H., Klironomos, J.N., Henry, H.A.L., 2010. Seasonal responses of extracellular enzyme activity and microbial biomass to warming and nitrogen addition. *Soil Biol Biochem.* 74:820–828.
- Bellitürk, K., Danışman, F., Yılmaz, F., 2007. Üre uygulamasının topraklarda amonyum ve nitrat oluşumuna etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi.* 22(1): 64-72.
- Bouyoucos, G.J., 1951. A Recalibration of Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Agronomy Journal. 43:434-438.
- Bremner, J.M., 1965. İnorganic forms of nitrogen In: C.A. Black et al(ed). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Agronomy* 9:1179-1237. Am. Soc. of Agron., Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Brevik, E.C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J.N., Six, J., Van Oost, K., 2015. The interdisciplinary nature of SOIL. *Soil.* 1(1): 117-129.
- Canbolat, M.Y., 1992. Toprağa organik materyal ilavesinin toprağın organik maddesi, agregat stabilitesi ve geçirgenliği üzerine etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi.* 23(2): 113-123.
- Casida, Jr.L.E., 1977. Microbial metabolic activity in soil as measured by dehydrogenase determinations. *Applied and Environmental Microbiology.* 34(6): 630-636.
- Chen, Y., Aviad, T., 1990. Effect of Humic Substances on Plant Growth. In *Humic Substances in Soil and Crop Science; Selected Readings American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.* Madison, pp. 161-189.
- Çakmakçı, R., 2005. Bitki Gelişiminde Fosfat Çözücü Bakterilerin Önemi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences.* 19(35): 93-108.
- Çakmakçı, R., 2019a. A Review of Biological Fertilizers Current use, New Approaches, and Future Perspectives. *International Journal of Innovative Studies in Sciences and Engineering Technology.* 5(7).
- Çakmakçı, R., 2019b. The Variability of the Predominant Culturable Plant Growth-Promoting Rhizobacterial Diversity in the Acidic Tea Rhizosphere Soils in the Eastern Black Sea Region. *Alinteri J. of Agriculture Sciences.* 34(2): 175-181.
- Çakmakçı, R., Erdoğan, U., 2005. *Organik Tarım. Atatürk Üniversitesi İspir Hamza Polat Meslek Yüksek Okulu Ders Yayınları, (2).*
- Çakmakçı, R., Kotan, R., Atasever, A., Erat, M., Türkyılmaz, K., Sekban, R., Haznedar, A., 2017. Çayda besin alımı, gelişme, enzim aktivitesi ve verimim artırılması için farklı bitki büyümesini teşvik edici bakterilerin birlikte aşılmasının etkinliği. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi.* 26 (1): 86–91.
- Çakmakçı, R., Dönmez, F., Aydın, A., Şahin, F., 2006. Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. *Soil Biology & Biochemistry.* 38 (6): 1482-1487.
- Çakmakçı, R., Dönmez, M.F., Ertürk, Y., Erat, M., Haznedar, A., Sekban, R., 2010. Diversity and metabolic potential of culturable bacteria from the rhizosphere of Turkish tea grown in acidic soils. *Plant and Soil.* 332: 299–318.
- Çakmakçı, R., Erat, M., Erdoğan, Ü., Dönmez, M.F., 2007. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria on growth and enzyme activities in wheat and spinach plants. *J. of Pl. Nutr. and Soil Sci.* 170: 288–295.
- Çakmakçı, R., Erat, M., Oral, B., Erdoğan, Ü., Şahin, F., 2009. Enzyme activities and growth promotion of spinach by indole-3-acetic acid-producing rhizobacteria. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology.* 84: 375–380.
- Çakmakçı, R., Erdoğan, Ü., Kotan, R., Oral, B., Dönmez, F., 2008. Çoruh vadisinde yabani ahududu rizosfer topraklarında heterotrof azot fikseri bakteri çeşitliliği 4. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi, 8-10 Ekim 2008 Konya, 706-717.
- Çakmakçı, R., Ertürk, Y., Atasever, A., Kotan, R., Erat, M., Varmazyari, A., Türkyılmaz, K., Haznedar, A., Sekban, R., 2014. Development of plant growth-promoting bacterial based bioformulations using solid and liquid carriers and evaluation of their influence on growth parameters of tea. 9th International Soil Science Congress on the Soul of the Soil and Civilization, 14-16 October 2014, Side, Book of Proceedings, 801-808.
- Çakmakçı, R., Kantar, F., Şahin, F., 2001. Effect of N₂-fixing Bacterial Inoculations on Yield of Sugar Beet and Barley, *Journal of Plant Nutrition and Soil Sci.* 164: 527-531.
- Çimrin, K., 2011. Arıtma Çamuru ve Humik Asit Uygulamalarının Mısır (*Zea mays* L.) Bitkisinin Gelişimi, Besin Elementi ve Ağır Metal İçerikleri ile Bazı Toprak özellikleri üzerine Etkileri. *Journal of Agricultural Sciences.* 17 (3): 204-216.

- Durmuş, M., Kızılkaya, R., 2016. Kombu çayı (Kombucha) ve kombu çayı üretim artışı karışık mikroorganizma kültürünün buğday bitkisinin verimi ile toprakların dehidrogenaz ve katalaz aktivitesi üzerine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*. 4(2): 75-82.
- Durmuş, M., Erkoçak, A., Kızılkaya, R., Dengiz, O., 2011. Alüviyal Araziler Üzerinde Oluşan Farklı Toprakların Katalaz Enzim Aktivitelerindeki Değişimin Belirlenmesi. Prof. Dr. Nuri Munsuz Ulusal Toprak ve Su Sempozyumu, 2011. Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, (pp 153–159).
- Eivazi, F., Tabatabai, M.A., 1988. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Bio. and Bioch.* 20(5): 601-606.
- Ekin, Z., 2019. Integrated Use of Humic Acid and Plant Growth Promoting Rhizobacteria to Ensure Higher Potato Productivity in Sustainable Agriculture. *Sustainability*. 11(12): 3417.
- Erdel, E., 2021. Farklı Toprak İşleme Sistemlerinde Yetiştirilen Buğday Bitkisinin Farklı Gelişim Dönemlerinde Toprakların Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*. 11(4): 3243-3253.
- Erdil, A., Horuz, A., Korkmaz, A., Akınoğlu, G., 2018. Topraklarda amonyum fiksasyonu ve etkileri. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*. 1(1): 17-28.
- Ergün, Y.A., 2017. Biyokömür ve ahır gübresi uygulamalarının topraktaki bazı enzim aktivitelerine, CO₂ üretimine, besin elementi içeriğine ve domates bitkisinin gelişimine etkisi. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ordu.
- Fatimah, N., Dar, S.A., Ashraf, S., Rashid, S., Mukhtar, Y., Mir, S.H., 2021. Biofertilizers for Sustainable Agriculture-An Overview. *Journal homepage: http://www.ijcmas.com*, 10(06).
- Fowler, D., Coyle, M., Skiba, U., Sutton, M.A., Cape, J.N., Reis, S., Voss, M., 2013. The global nitrogen cycle in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 368(1621): 20130164.
- Galloway, J.N., Townsend, A.R., Erisman, J.W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J.R., Sutton, M.A., 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science*. 320(5878): 889-892.
- Gao, Y., Song, X., Liu, K., Li, T., Zheng, W., Wang, Y., Miao, T., 2021. Mixture of controlled-release and conventional urea fertilizer application changed soil aggregate stability, humic acid molecular composition, and maize nitrogen uptake. *Science of The Total Environment*. 789: 147778.
- Goenadi, D.H., Mustafa, A.B., Santi, L.P., 2018. Bioorgano-chemical fertilizers: a new prospecting technology for improving fertilizer use efficiency (FUE). *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 183: 012011,
- Göçük, M., Demir, Y., 2021. Biyokömür ve poliakrilamid'in donma ve çözünme döngüsünde toprakların agregat stabilitesi ve su tutma kapasitesi özellikleri üzerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*. 17(2): 286-301.
- Gümüş, İ., 2019. Kabuk bağlama problemi bulunan bir toprağın ıslahına sıvı hümik asit uygulamasının etkisinin inkübasyon çalışmasında belirlenmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*. 7(1): 43-50.
- Günel, E., Erdem, H., Demirbaş, A., 2018. Effects of three biochar types on activity of β -glucosidase enzyme in two agricultural soils of different textures. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 64(14): 1963-1974.
- Günel, E., Erdem, H., Kaplan, A., 2017. Biyokömür İlavasının Toprakta Nitrat ve Amonyum Yıkınmasına Etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*. 21(1): 77-83.
- Haynes, R. J., Beare, M.H., 1997. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. *Soil Biol. and Bioch.* 29(11-12): 1647-1653.
- Hoffmann, Gg., Teicher, K., 1961. Ein Kolorimetrisches Verfahren zur Bestimmung der Urease Aktivitat in Böden. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde*. 91 (140): 55–63.
- Hou, Y., Zeng, W., Hou, M., Wang, Z., Luo, Y., Lei, G., Huang, J., 2021. Responses of the Soil Microbial Community to Salinity Stress in Maize Fields. *Biology*. 10(11): 1114.
- Huang, C.Y., Xu, J., 2010. *Soil science*. Agriculture Press, Chnia.
- İç, S., Gülser, C., 2008. Tütün atığının farklı bünyeli toprakların bazı kimyasal ve fiziksel özelliklerine etkisi. *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*. 23(2):104-109.
- Jackson, M.L., 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Kacar, B., 2009. *Toprak analizleri* (p. 467s). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Kandeler, E., 2015. *Physiological and biochemical methods for studying soil biota and their functions*. Soil microbiology, ecology and biochemistry, 187–222. Elsevier Inc, San Diego, CA, USA.
- Kandeler, E., Poll, C., Frankenberger Jr, W.T., Ali Tabatabai, M., 2011. Nitrogen cycle enzymes. *Methods of soil enzymology*. 9: 211-245.
- Karaca, A., Çetin, S.C., Turgay, O.C., Kızılkaya, R., 2011. Soil enzymes as indication of soil quality. *Soil enzymology*. 119–148. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, D.
- Karaca, A., Turgay, O.C., Tamer, N., 2006. Effects of a humic deposit (gyttja) on soil chemical and microbiological properties and heavy metal availability. *Biology and Fertility of Soils*. 42(6): 585-592.
- Kemper, W.D., Rosenau R.C., 1986. Aggregate stability and size distribution. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5, 425-442.

- Kızılkaya, R., 2008. Dehydrogenase activity in *Lumbricus terrestris* casts and surrounding soil affected by addition of different organic wastes and Zn. *Bioresource Technology*. 99: 946-953.
- Kızılkaya, R., Arcak, S., Horuz, A., Karaca, A., 1998. Çeltik tarımı yapılan toprakların enzim aktiviteleri üzerine toprak özelliklerinin etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 4(3): 797-804.
- Kızılkaya, R., Volkan, D., Dengiz, O., Abdurrahman, A.Y., 2019. Ilgaz dağlarında farklı periglasyal şekiller üzerinde oluşmuş topraklara ait özelliklerin dehidrogenaz enzim aktivitesine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*. 7(2): 121-127.
- Klute, A., 1986. *Water Retention: Laboratory Methods*. *Methods of Soil Analysis Part 1*. 2nd Ed. Agronomy 9. Am. Soc. Argon., 635-660, Madison, USA.
- Kravkaz Kuşçu, İ.S., 2019. Changing of Soil Properties and Urease – Catalase Enzyme Activity Depending on Plant Type and Shading. *Environmental Monitoring and Assessment*. 191(8): 177–185.
- Küçük, Ç., Cevheri, C., 2018. Şanlıurfa’da Mısır Tarımı Yapılan Tarlalardan Alınan Toprak Örneklerinde Bazı Mikrobiyal Özellikler. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*. 2(1): 28–40.
- Laic, C.M., Liu, K.L., Jeng, G.L., Helen, W., 2002. Effects of Fertilization Management on Soil Enzyme Activities Related to the C, N, P and S Cycles in Soils. *Symposium No. 12, S, 1382, Thailand*.
- Li, Y., Fang, F., Wei, J., Wu, X., Cui, R., Li, G., Tan, D., 2019. Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: a three-year experiment. *Scientific rep*. 9(1):1-9.
- Liu, K.L., Lai, C.M., Helen, W., 2002. Soil Enzyme Activities as Indicators Agricultural Soil Quality. *Symposium No. 32, S, 1386, Thailand*.
- Lloyd, J., Taylor, J.A., 1994. On the temperature dependence of soil respiration. *Functional ecology*. 315-323.
- Luo, Y., Zhou, X., 2010. *Soil respiration and the environment*. Elsevier Academic Press, San Diego, CA.
- Maynard, D.G., Kalra, Y.P., Crumbaugh, J.A., 1993. Nitrate and exchangeable ammonium nitrogen. *Soil sampling and methods of analysis*. 1: 25-38.
- Müftüoğlu, N.M., Türkmen, C., Çıkkılı, Y., 2014. *Toprak ve bitkide verimlilik analizleri*. Nobel Akademik Yayıncılık, ANKARA.
- Nannipieri, P., 1994. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. In: Pankhurst CE, Doube BM, Gupta VVSR, Grace PR (eds) *Soil biota: management in sustainable farming systems*. CSIRO, Adelaide, Australia, pp 238–244.
- Nannipieri, P., Kandeler, E., Ruggiero, P., 2002. Enzyme activities and microbiological and biochemical processes in soil. *Enzymes in the environment: Activity, ecology and applications*. 1–33. Marcel Dekker Inc., USA.
- Okur, N., Kayıkçıoğlu, H.H., Gülhan, T., Tüzel, Y., 2007. Organik tarımda kullanılan bazı organik gübrelerin topraktaki mikrobiyal aktivite üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 44(2): 65-80.
- Olanrewaju, O.S., Glick, B.R., Babalola, O.O., 2017. Mechanisms Of Action Of Plant Growth Promoting Bacteria. *World Journal Of Microbiology And Biotechnology*. 33(11): 1-16.
- Orchard, V.A., Cook, F.J., 1983. Relationship between soil respiration and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry*. 15(4). 447-453.
- Özdemir, N., Gülser, C., Kızılkaya, R., Kop Durmuş, Ö.T., Ekberli, İ., 2018. Farklı pH Değerlerine Sahip Topraklarda Düzenleyici Uygulamalarının Dehidrogenaz Enzim Aktivitesi Üzerine Etkileri. *Atatürk Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*. 49(1): 21-27.
- Padem, H., Öcal, A., 1999. Effect of humic acid applications on yield and some characteristics of processing tomato. *Acta Horticulturae*. 487:159-164.
- Parlak, M., Turkmen, C., Ozaslan Parlak, A., Akcura, M., Ozkan, N., 2017. Effects of Some Legumes on Physical and Biological Soil Characteristics. 2nd International Balkan Agriculture Congress, Tekirdağ – Turkey.
- Piccolo, A., Pietramellara, G., Mbagwu, J.S.C., 1997. Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. *Geoderma*. 75(3-4): 267-277.
- Qin, K., Dong, X., Jifon, J., Leskovar, D.I., 2019. Rhizosphere microbial biomass is affected by soil type, organic and water inputs in a bell pepper system. *Applied Soil Ecology*. 138: 80-87.
- Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. United States Department of Agriculture Handbook. 60:94.
- Sarı, S., Öztaş, T., 2017. Polivinilalkol (PVA) Uygulamasının Strüktürel Stabilité Ölçütleri ve Yüzeý Akış Kayıpları Üzerine Etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 48(1): 17-24.
- Schulten, H.R., Schnitzer, M., 1998. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. *Biology Fertility of Soil*. 26:1-15.
- Soltanpour, P.N., 1991. Determination of nutrient availability and elemental toxicity by AB-DTPA soil test and ICPS. In *Advances in soil science* (pp. 165-190). Springer, New York, NY.

- Steger, P.W., Messina, G.A., Bianchi, G., Olsina, R.A., Raba, J., 2010. Determination of β -glucosidase activity in soils with a bioanalytical sensor modified with multiwalled carbon nanotubes, *Analytical and Bioanalytical Chem.* 397: 1347–1353.
- Tabatabai, M.A., 1982. Soil Enzymes. In: *Methods of soil analysis part 2. Chemical and Microbiological Properties- Second Edition (Agronomy)*, pp, 903-943, Madison, Wisconsin USA.
- Tamer, N., Karaca, A., 2006. Gıda ve Linyit Uygulamalarının Toprakta Bazı Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkileri. *Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences.* 20(38): 14-22.
- Tamer, N., Namlı, A., 2018. Organik ve Organomineral Gübrelerin Toprağın Enzim Aktivitesi İle Buğday Verimi Üzerine Etkileri. *Organomineral Gübre Çalıştayı Bildiri Kitabı*, s81-96, Editör: Prof. Dr. Engin Kınacı, I. Basım, Mayıs 2018, İstanbul, ISBN: 978-975-7169-89-5.
- Torun, S., 2015. Fosfor çözücü bakteri içeren mikrobiyal gübre uygulamalarının toprağın bazı biyolojik özellikleri ile domates bitkisinin gelişimi ve besin maddesi alımı üzerine etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Türkiye.
- Turgay, O.C., Karaca, A., Unver, S., Tamer, N., 2011. Effects of coal-derived humic substance on some soil properties and bread wheat yield. *Communications in soil science and plant analysis.* 42(9): 1050-1070.
- Turgay, O.C., Tamer, N., Türkmen, C., Karaca, A., 2004. Gıda ve Ham Linyit Materyallerinin Toprağın Biyolojik Özelliklerine Etkisini Değerlendirmede Toprak Mikrobiyal Biyokütlesi. 3. Ulusal Gübre Kongresi Bildiri Kitabı, 1. Cilt, S; 827-836, Tokat.
- Turgut, B., Aksakal, E.L., 2010. Fiğ samanı ve ahır gübresi uygulamalarının toprak aşınım parametreleri üzerine etkileri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi.* 11(1): 1-10.
- Türkmen, C., Sungur, A., 2014. Influence of Humic Acid on Availability of Zn, Cu, Mn, Fe in Soils. *Asian Journal of Chemistry.* 26(13): 3977.
- Türkmen, C., Müftüoğlu, N.M., Kavdır, Y., 2013. Change of some soil quality characteristics under different pasture reclamation methods of rangelands. *Tarım Bilimleri Dergisi, -J. Agric. Sci.* 19: 245-255.
- Uzunboy, N., Türkmen, C., 2018. Kentsel Arıtma Çamurunun Biyobozunur Plastiğin Kütle Kaybına Etkisi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi.* 6: 275-280.
- Wang, Q., Zhou, Q., Huang, L., Fu, Y., Hou, D., Feng, Y., Yang, X., 2022. Cadmium phytoextraction through *Brassica juncea* L. under different consortia of plant growth-promoting bacteria from different ecological niches. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 237: 113541.
- Wollum, A.G., 1982. Cultural Methods for Soil Microorganisms. In: A.L. Page et al (Eds), *Methods of Soil Analysis 2 nd Edition, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, SSSA Book Series (9), Madison WI, USA, pp.781-802.
- Yıldırım, E., 2010. Tuzlu topraklarda katalaz enziminin aktivitesi ve kinetiği. Yüksek Lisans Tezi (Master's thesis), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Konya.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z., Öktüren, F., 2005. Toprakta agregat oluşumu ve stabilitesi. *Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences.* 19(36): 78-86.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z. ve Öktüren, F. (2008). Farklı Organik Materyal Uygulamalarının Toprak Agregatları Üzerine Etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi.* 21(2): 213–222.
- Zhang, S., Chen, S., Fenton, O., Li, Y., Chen, Q., 2021. Enhanced topsoil P leaching in a short term flooded calcareous soil with combined straw and ammonium nitrogen incorporation. *Geoderma.* 402: 115322.
- Zhang, X., Ward, B.B., Sigman, D.M., 2020. Global nitrogen cycle: critical enzymes, organisms, and processes for nitrogen budgets and dynamics. *Chemical Reviews.* 120(12): 5308-5351.
- Zhou, L., Xu, S., Carlos, M.M., Neil, B.M., Zhao, B., Liu, J., Hao, G., 2022. Bentonite-humic acid improves soil organic carbon, microbial biomass, enzyme activities and grain quality in a sandy soil cropped to maize (*Zea mays* L.) in a semi-arid region. *J. Integr. Agric.* 2022(21): 208–221.
- Zornoza, R., Guerrero, C., Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., García-Orenes, F., Mataix-Beneyto, J., 2006. Assessing Air-Drying and Rewetting PreTreatment Effect on Some Soil Enzyme Activities Under Mediterranean Conditions. *Soil Biology and Biochemistry.* 38(8): 2125–2134.