

Ticari Vermikompostun Farklı Uygulama Dozlarının Arpada (*Hordeum vulgare* L.) Fide Gelişimi ve Rizosferin Biyolojik Özelliklerine Etkisi

Meral ÖDEMİŞ¹, Çiğdem KÜÇÜK¹

¹ Biyoloji Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye

✉: ckucuk@harran.edu.tr  [0000-00001-8750-8154](https://orcid.org/0000-00001-8750-8154)  [0000-0001-5688-5440](https://orcid.org/0000-0001-5688-5440)

Geliş (Received): 23.07.2025

Düzeltilme (Revision): 20.10.2025

Kabul (Accepted): 24.10.2025

ÖZ

Bu çalışmada, arpa (*Hordeum vulgare* L.) fideleri ve rizosferin biyolojik özelliklerine topraklara farklı dozlarda uygulanan vermicompostun etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Topraklara vermicompostun beş farklı dozu (kontrol (0), %2.5, %5, %7.5 ve %10) uygulanmış, deneme saksılarda yürütülmüştür. Hasat sonunda arpa bitkilerinin biyomas ve kök uzunluğu, biyomas ve kök ağırlıkları, yaprak su içeriği, klorofil miktarı ile rizosfer toprağının bazı biyolojik özellikleri incelenmiştir. Arpa fide boyu, kök uzunluğu, yaprak su içeriği, biyomas yaş ve kuru ağırlığı üzerine %10 vermicompost dozu etkili bulunurken, klorofil miktarı, kök yaş ve kuru ağırlığı üzerine %7.5 uygulama dozu etkili olmuştur. Uygulama dozları, kontrolle karşılaştırıldığında yaprakların Fe, Mg, K ve P içeriklerini artırmıştır. En yüksek Mn ve Zn içeriği ise %7.5 doz ile alınmıştır. Vermikompostun %7.5'lik dozu rizosferin CO₂ miktarını artırmış, %10'luk uygulama ise enzim aktiviteleri üzerinde etkili olmuştur. Sera koşullarında saksı denemeleri ile yapılan sonuçlarımızı doğrulamak, vermicompostun bitki ve toprak sağlığı açısından biyogübre olarak kullanılabileceğini göstermek için tarla denemelerine de ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: Enzimatik aktivite, Fide gelişimi, Rizosfer, Uygulama dozu, Vermikompost

Effects of Different Application Doses of Commercial Vermicompost on Seedling Development and Rhizosphere Biological Properties in Barley (*Hordeum vulgare* L.)

ABSTRACT

This study aimed to determine the effect of vermicompost applied to soils at different doses on the biological properties of barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings and rhizosphere. Five different doses of vermicompost (control (0), 2.5%, 5%, 7.5% and 10%) were applied to the soil and the experiment was conducted in pots. At the end of harvest, biomass and root length, biomass and root weights, leaf water content, chlorophyll amount and some biological properties of rhizosphere soil of barley plants were examined. While 10% vermicompost dose was found to be effective on barley seedling height, root length, leaf water content, biomass fresh and dry weight, 7.5% application dose was effective on chlorophyll amount, root fresh and dry weight. The application doses increased the Fe, Mg, K, and P contents of the leaves compared to the control. The highest Mn and Zn contents were obtained with the 7.5% dose. The 7.5% vermicompost dose increased the CO₂ content in the rhizosphere, and the 10% application had an effect on enzyme activity. Field trials are also needed to confirm our results from pot experiments under greenhouse conditions and to demonstrate that vermicompost can be used as a biofertilizer for plant and soil health.

Keywords: Enzymatic activity, Seedling development, Rhizosphere, Application dose, Vermicompost

GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusunun gıda gereksinimini karşılamak ve bitkisel üretimi artırmak için aşırı ve bilinçsizce kimyasal gübre kullanılmakta, kullanılan kimyasallar da çevrede birikerek besin zinciri ile canlıların sağlığını olumsuz etkilemektedir [1]. Kimyasal gübre kullanımı bitkisel verimliliği artırmasına karşılık, toprakların kirlenmesine ve suların ötrofikasyonuna da yol açmıştır [2]. Araştırmacılar,

kimyasal gübrelerin kullanımının azaltılması amacıyla çevre ile dost uygulamalara yönelmiştir [3]. Çevre ile dost, atık yönetimi ve sürdürülebilir bir yaklaşım olan uygulamalardan biri de vermicomposttur [4]. Vermikompost; solucanlar ve mezofilik mikroorganizmaların birlikte organik atıkları gübreye dönüştürme işlemi olarak tanımlanmıştır [5]. Vermikompostun organik atık yönetiminden başka içerdiği çeşitli besin maddeleri ile bitki gelişimini teşvik ettiği bildirilmiştir [6]. Steffen ve ark. [7] tarafından

yapılan çalışmada, domates verimi üzerine inorganik gübre ve vermikompost uygulamaları karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar, vermikompostun artan dozlarının domateslerde erken çiçeklenme ve meyve gelişimi üzerinde etkili olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmada vermikompostun biyomas kuru ağırlığını %52 artırmaya karşın inorganik gübre uygulaması ile biyomas kuru ağırlığının %35 arttığı; bitki başına meyve sayısının vermikompost ile 6 kat, inorganik gübre ile 4 kat arttığı tespit edilmiştir [7]. Araştırmacılar vermikompost gibi organik gübrelerin çevre kirliliği oluşturmaması ve maliyetinin inorganik gübreye göre daha ucuz olmasından dolayı tercih edilebileceğini bildirmişlerdir [7]. Arancon ve ark. [8] vermikompostun etkisini marul ve domates bitkileri kullanarak test etmiş, vermikompostun %25 ve %50'lik dozlarının marul verimini, %50'lik dozunun domates verimini önemli ölçüde artırdığını belirlemişlerdir. Vermikompostun içerdiği besin maddeleri ile içeriğindeki oksin, gibberellin, sitokinin ve humik asit konsantrasyonları, bitki verimini [9], toprakların mikrobiyal çeşitliliğini ve popülasyonunu önemli ölçüde artırmıştır [10-12].

Topraklara uygulanan vermikompost, toprakların agregat yapısını dolayısıyla toprakta besin maddeleri ve suyun hareketini düzenlemektedir [11]. Vermikompostun toprakların yararlı mikroorganizmaları ve çeşitliliğini desteleyerek, mikrobiyal aktivitesini artırdığı, mikroorganizmaların enzim ve hormon üreterek, bitki patojenleri ve nematodları kontrol ederek bitki gelişimini teşvik ettiği bildirilmiştir [13]. Toprak sağlığının bitkisel üretimde önemli olduğu Guo ve ark. [14], Lv ve ark. [11] tarafından yapılan çalışmalarla açıklanmıştır. Toprak enzimleri; organik madde ayrışması ve besin döngüsünü kolaylaştırarak, toprak sağlığının önemli bir göstergesi olarak kabul edilmektedir [15,16]. Vermikompost uygulamasının toprakların enzim aktivitesini artırdığı, artan enzimatik aktivitenin ise topraklardaki mikrobiyal faaliyetlerin artmasından kaynaklandığı rapor edilmiştir [17]. Karbon ve azot döngüsü ve organik madde ile ilişkili olan dehidrogenaz aktivite vermikompost uygulamaları ile artmıştır [18]. Guo ve ark. [14] tarafından yapılan bir çalışmada topraklara %80 vermikompost uygulanarak, toprağın invertaz, alkalın fosfataz, üreaz enzim aktivitelerini önemli ölçüde artırdığı saptanmıştır. β -glukosidaz enzim aktivitesi toprakların verimliliğine ve karbon döngüsüne katkı sağlamakta, toprak sağlığının göstergesi olarak değerlendirilmektedir [19]. Benzer olarak üreaz aktivitenin azot döngüsü ile ilişkili toprak enzimlerinden olduğu Tao ve ark. [20] tarafından yapılan bir çalışmada rapor edilmiştir. Sudkolai ve Nourbakhsh [21] tarafından yapılan çalışmada, topraklara vermikompost uygulanması ile üreaz enzim aktivitesini uyaran toprak mikroorganizmalarının kolonizasyonunun da arttığı rapor edilmiştir. Dünyada hububat üretimi bakımından buğday ve mısırdan sonra gelen arpa, ülkemizde ise buğdaydan sonra ikinci sırada gelmektedir [22]. Ülkemizde ekim ve üretim bakımından buğdaydan sonra ikinci sırada gelen arpa üretimi en fazla sırasıyla;

Batı Anadolu, Orta Anadolu, Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yapılmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ise Şanlıurfa; arpa üretimi bakımından ilk sırada bulunmaktadır [23]. Bitkisel üretimden daha fazla verim alabilmek için kullanılan kimyasal gübreler çevre kirliliğine neden olduğundan, sürdürülebilir yeni tarımsal metodların kullanımını gündeme getirmiştir. Vermikompost etkili organik gübreler ve biyokontrol ajanları olarak kullanılabilirliği gibi, gıda güvenliğinden ötürü vermeden gıda kalitesini artırabilmiştir [24]. Vermikompost, içerdiği bitki besin maddeleri, mikroorganizmalar, büyüme düzenleyicileri vs. gibi bileşenler ile toprak verimliliğini ve bitkisel üretimi artırmaktadır. Bu nedenle doğal gübre olan vermikompost çevresel sürdürülebilirlik açısından da önemli faydalar sağlamaktadır. Bu bağlamda hayvan yemi hammaddesi olarak ve bira üretiminde kullanılan arpa [23] üretiminde, kimyasal gübrelerin olumsuz etkilerinin azaltılması amacıyla, çalışmada kimyasal gübre yerine kullanılan ticari vermikompostun farklı dozlarının arpa bitkisinin temel gelişme özellikleri ve rizosfer toprağının bazı biyolojik özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Kullanılan materyal ve denemenin kurulumu

Denemede ticari olarak satın alınan arpa (*Hordeum vulgare* L. "Akhisar 98") ve katı formdaki ticari olarak satılan vermikompost (EcosolFarm) kullanılmıştır. Elekten (2 mm çaplı) elenen topraklar, 2 kg'lık saksılara doldurulmuş, farklı dozlarda (kontrol (%0), %2.5, %5, %7.5 ve %10) ekim öncesi toprak ile karıştırılmıştır. Saksı denemesinde kullanılan toprak, nadasa bırakılan tarladan alınmıştır. Kullanılan toprağın pH'ı 8.01, EC 0.87 dS/m, organik madde %1.38, N içeriği %0.05, CaCO_3 %20.9, P 4.68 kg/da, K içeriği 118.2 kg/da'dır. Kullanılan toprağın tekstürü killi bünyeye sahiptir. Deneme; tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak sera koşullarında kurulmuştur. Farklı dozlarda vermikompost uygulanan topraklara yüzeyden 1 cm derinlikte arpa tohumları 10 adet olacak şekilde ekilmiş, çimlenme sonrası 2'e seyreltilmiştir. Bitkiler haftada 50 ml çeşme su ile sulanmış ve çimlenmeden 90 gün sonra hasat edilmiştir.

Temel bitki büyüme özellikleri

Hasat zamanı her bir uygulamadaki fidelerin yeşil aksamı kök boğazından kesilmiş, biyomas ağırlıkları terazide tartılarak belirlenmiştir. Kökler ise çeşme suyu ile yıkandıktan sonra filtre kağıtları üzerinde fazla suları alınmış, tartılarak yaş ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra ayrı ayrı kese kağıtlarına yerleştirilen biyomas ve kökler etüvde 70°C'de 48 saat kurutulmuş, terazide tartılmış ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Hasat zamanı arpa fidelerinin toprak yüzeyinden yaprağın en uç kısmına kadar cetvel ile ölçülmesi ile bitki boyu, kök boğazından kökün en uç kısmının ölçülmesi ile kök uzunluğu belirlenmiştir [25].

Yaprak Su İçeriği (%)

Arpa fidelerinden alınan yaprağın yaş ağırlığı belirlendikten sonra saf su içerisinde 4 saat bekletilmiş ve ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra 70°C'de 24 saat bekletilen yaprakların kuru ağırlıkları kaydedilmiştir. Yaprakların bağıl su içerikleri Smart ve Bingham [26]'e göre hesaplanmıştır.

Yaprakların klorofil içeriği

Taze yaprak örneği (2 g) distile su ile yıkandıktan sonra aseton (%80) ile homojenize edilmiştir. İçerik 6.000 x g'de 5 dakika santrifüj edilmiş, süpernatantın absorbansı 663 ve 646 nm dalga boyunda spektrofotometre kullanılarak belirlenmiştir. Klorofil a ve b konsantrasyonları (mg/g) ise Rathore ve Kumar [27]'a göre hesaplanmıştır.

Yaprakların bazı makro ve mikro besin element miktarının belirlenmesi

Makro ve mikro besin elementleri Harran Üniversitesi Merkez Laboratuvarında belirlenmiştir. Hasat sonrası bitki örnekleri (1 g) kurutulup öğütülmüş, nitrik asit-perklorik asit eklenerek yaş yakma yapılmış, indüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES; PerkinElmer Optima 5300 DV) ile element miktarı belirlenmiştir [28].

Rizosfer bölgesinin bazı mikrobiyolojik özellikleri

Rizosfer bölgesinden alınan örneklerin mikrobiyal toprak solunumu (CO₂ oluşumu), dehidrogenaz aktivite, alkalın fosfataz, üreaz ve β -glukosidaz enzim aktiviteleri incelenmiştir. Toprak örneklerinde CO₂ oluşumu Isermayer yöntemi ile belirlenmiştir [29].

Dehidrogenaz aktivite

Toprak örneklerinin her birine ayrı ayrı 2,3,5 trifeniltetrazolium klorid (%3) eklenmiş, 1 gün 25°C'de inkübasyon sonunda içeriklere metanol eklenerek, filtre kağıdından süzölmüştür. Filtratların absorbansı 485 nm dalga boyundaki spektrofotometrede belirlenmiştir [30].

Alkalın fosfataz enzim aktivitesi

Hasat sırasında toplanan rizosfer toprak örnekleri üzerine toluen, tampon (pH 11), p-nitrofenilfosfat eklenmiş, 60 dakika 37°C 'de inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda p-nitrofenol 400 nm dalga boyundaki spektrofotometrede ölçölmüştür [30].

Üreaz aktivite

Rizosfer toprak örneklerine toluen ve üre çözeltisi (%10) eklenmiştir. 15 dakika sonunda sitrat tamponu ilave edilmiş, 37°C'de 3 saat inkübasyon sonunda filtre

kağıdından süzölmüştür. Süzöklere sodyum fenolat ve sodyum hipoklorit eklenmiş, 25^o C'de 20 dakika sonunda, mavi rengin absorbansı 630 nm dalga boyu spektrofotometrede ölçölmüştür [32].

β -glukosidaz aktivitesi

Örneklere (1 g) toluen, tampon (pH 6) ve p-nitrofenil- β -D-glukozit eklenmiştir. 37°C'de 60 dak. sonunda içeriklere kalsiyum klorür ve tris eklenerek santrifüj edilmiştir. Süpernatant 410 nm'de spektrofotometrede okunmuştur [13].

İstatistik analiz

Sonuçlar JMP11(Statistical Graphics Corporation, 1991) istatistik programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, her bir ölçümün üç ortalaması (n=3)±SE olarak verilmiştir. Uygulamalar arasındaki farklılıklar ve oluşan gruplar Tukey testine göre p <0.05 önem düzeyinde belirlenmiştir.

SONUÇLAR

Farklı dozlarda uygulanan vermikompostun bitki gelişimine etkileri

Farklı dozlarda topraklara uygulanan vermikompostun arpa fidelerinin bitki boyu üzerinde etkileri Tablo 1'de verilmiştir. Uygulamanın farklı dozlarının arpa bitki boyu üzerindeki etkileri farklılık göstermekle birlikte, en yüksek bitki boyu vermikompostun %10'luk dozunda ölçölmüştür. Bunu sırası ile %7.5 ve %5 uygulama dozları izlemiştir. En düşük bitki boyu, vermikompost uygulaması yapılmayan kontrolde belirlenmiştir (Tablo 1). Vermikompost uygulamaları kök uzunluğu üzerinde farklılık göstermiş (Tablo 1), bu farklılık istatistik olarak anlamlı bulunmuştur (p<0.05). Uygulamaların kök uzunluğuna etkisi incelendiğinde; %10'luk uygulama dozunda en yüksek kök uzunluğu saptanmış, kontrole göre kök uzunluğu % 86 oranında artış göstermiştir. Biyomas yaş ağırlıkları 9.1-18.0 g/bitki arasında, kuru ağırlık ise 2.0-3.4 g/bitki arasında değişmiştir. En yüksek biyomas yaş ve kuru ağırlığı vermikompostun %10 uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 1). Kontrole göre artış yaş ağırlıkta % 97.8 ve kuru ağırlık ise % 70 olarak tespit edilmiştir.

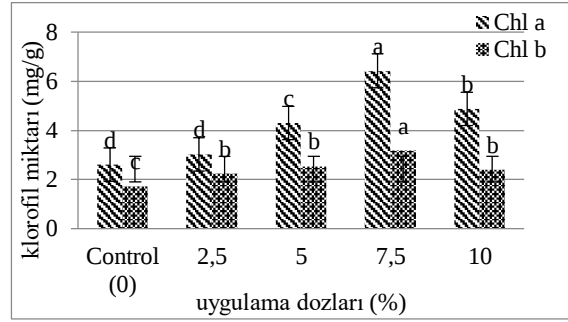
Tablo 1. Vermikompostun farklı dozlarının bitki temel özelliklerine etkileri

Özellikle r	Uygulama dozu (%)				
	0	2.5	5	7.5	10
Bitki Boy (cm)	11± 0.1 ^{e*}	14± 0.02 ^d	17± 0.03 ^c	20± 0.01 ^b	24 ±0.01 ^a

Kök uzunluğu (cm)	9.3±0.05 ^e	13.6±0.05 ^d	14.5±0.01 ^c	16.7±0.01 ^b	17.3±0.02 ^a
Biyomas yaş aksam ağırlığı (g/bitki)	9.1±0.02 ^e	10±0.01 ^d	14±0.04 ^c	17±0.01 ^b	18±0.05 ^a
Biyomas kuru aksam ağırlığı (g/bitki)	2.0±0.01 ^e	2.6±0.01 ^d	2.8±0.02 ^c	3.2±0.05 ^b	3.4±0.02 ^a
Kök yaş ağırlığı (g/bitki)	0.9±0.02 ^e	1.5±0.04 ^d	1.8±0.06 ^c	2.7±0.01 ^a	2.3±0.02 ^b
Kök kuru ağırlığı (g/bitki)	0.2±0.03 ^d	0.3±0.05 ^c	0.4±0.03 ^c	0.7±0.01 ^a	0.6±0.03 ^b
Yaprak su içeriği (%)	19.5±0.01 ^e	35.7±0.02 ^d	42.4±0.01 ^c	48.4±0.01 ^b	51.5±0.04 ^a

*Farklı harf ile gösterilen ortalamalar istatistiki olarak farklıdır (p <0.05).

Artan vermicompost dozları arpa fidelerinin biyomas yaş ve kuru ağırlıklarını artırmıştır. Uygulamaların arpa kök kuru ağırlığı üzerine etkilerinde de farklılık belirlenmiştir. Bu farklılık istatistiki anlamda önemlidir (p<0.05). Vermikompostun %7.5'lik dozu kök yaş ağırlığını artırırken, en düşük kuru ağırlık ise kontrolde (% 0) belirlenmiştir (Tablo 1). Kontrolle karşılaştırıldığında, vermicompostun %7.5'lik uygulama dozu kök yaş ağırlığını %200 oranında artırmıştır. Kök kuru ağırlıkları 0.2-0.7 g/bitki arasında belirlenmiştir. En yüksek yaprak su içeriği %10'luk uygulama dozunda belirlenmiştir. Uygulama dozlarının azalması ile yaprak su içeriği azalmıştır. Farklı oranlarda uygulanan vermicompostun yapraklardaki klorofil içeriği üzerine etkileri Şekil 1'de verilmiştir. Vermikompost dozlarının etkileri farklılık göstermiştir. Bu farklılık istatistiki olarak anlamlıdır (p<0.05). Kontrolle karşılaştırıldığında; en yüksek klorofil a ve klorofil b içeriği vermicompostun %7.5 uygulama dozunda belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Vermikompostun farklı dozlarının klorofil içeriği üzerine etkileri

Benzer olarak bitki yapraklarının bazı besin maddesi içeriklerinin de uygulama dozlarından etkilendiği belirlenmiştir (Tablo 2). Uygulama dozlarının artışıyla bağlı olarak mineral içerikleri artmıştır. Vermikompost uygulamaları kontrolle karşılaştırıldığında; uygulamalar, yaprakların Zn, Fe, Mg, K ve P içeriğini önemli ölçüde artırmıştır (p<0.05).

Tablo 2. Uygulama dozlarının arpa yapraklarının bazı element içeriğine etkileri

Bitki besin elementleri	Vermikompost (%)				
	0	2.5	5	7.5	10
Zn (mg/g)	0.189d*	0.24c	0.264b	0.383a	0.373a
Mn(mg/g)	0.142e	0.24d	0.262c	0.314a	0.278b
Fe (mg/g)	312e	358.3d	532.3c	577.7b	770a
Mg (%)	7.83e	10.2d	13.6c	15.6b	18.6a
K (%)	112.7e	220.3d	257.2c	340.1b	350.7a
P (%)	0.59e	7.68d	12.51c	15.10b	16.01a

*Farklı harf ile gösterilen ortalamalar istatistiki olarak farklıdır (p <0.05).

Yaprakların Zn ve Mn içeriği; kontrolle karşılaştırıldığında artan dozlar ile artış göstermekle birlikte en yüksek değer %7.5 uygulama dozunda belirlenmiştir. Bu artış, %7.5 uygulamasından sonra düşmüştür (Tablo 2). İncelenen bitki besin elementlerinin içerikleri ile artan vermicompost dozları arasında önemli ilişki bulunmuştur. Yapılan regresyon analiz sonucuna göre Zn içeriği ile vermicompost uygulama dozları (p<0.01, r²: 0.99) ve Mn ile vermicompost uygulama dozları arasında (p<0.01, r²:0.89) önemli ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Buna göre artan vermicompost dozları ile Zn ve Mn içeriğinde artış olmuş, belirli dozdan sonra bu artışta azalma incelenmiştir. Uygulama dozları ile sırasıyla Fe (r²:0.95), Mg (r²:0.99), K (r²:0.93) ve P (r²: 0.90) arasında olumlu ve önemli ilişkiler saptanmış, artan vermicompost dozları Fe, Mg, K ve P içeriğini artırmıştır (Tablo 2).

Vermikompostun rizosfer bölgesinde mikrobiyal aktivite üzerine etkileri

Vermikompostun farklı dozlarının etkisi rizosfer enzim aktiviteleri üzerinde de önemli bulunmuştur (p<0.05). Uygulama dozları arasında farklılık belirlenmiş, %10'luk uygulama dozu enzim aktivitelerini diğer

uygulamalara göre daha fazla etkilemiş, en yüksek değeri vermiştir (Tablo 4). Rizosfer toprağın CO₂ içeriği üzerine dozların etkileri incelendiğinde en düşük değer % 10 uygulama dozunda belirlenirken, en yüksek değer %7.5 uygulama dozunda tespit edilmiştir. Toprağın CO₂ içeriği vermikompostun %7.5 uygulama dozu kontrolle karşılaştırıldığında %69.7; %5'lik doz ise %54.7 artırmıştır.

Tablo 4. Farklı dozlardaki vermikompostun rizosferin bazı mikrobiyolojik özelliklerine etkisi

Mikrobiyolojik özellikler	Vermikompost (%)				
	0	2.5	5	7.5	10
Dehidrogenaz (µpTPF/g soil)	1.3e*	5.2 d	7. 8c	9.7 b	11.3a
Alkalın fosfataz (µpNP/g soil)	7.2e	12.8d	18.8c	20.9b	30.5a
Üreaz (mg N/100 g soil)	1.4e	4.3d	8.4c	12.6b	14.1a
β-glukosidaz (mg-p-nitrofenol/g soil)	12.3e	23.5d	32.9c	40.5b	56.7a
CO₂ içeriği (mg/g toprak)	4.2d	5.3c	6.5b	7.1a	3.9d

*Farklı harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistik olarak önemli fark vardır (p <0.05).

TARTIŞMA

Gübreler, yenilemeyen enerji ve madde kaynaklarından elde edildiğinden gübre temininde önemli sorunlar yaşanmaktadır [33]. Sürdürülebilir tarımsal üretimin gelişmesi ve bitkisel üretimin artırılabilmesi için besin uyarıcıların kullanımlarının gerekli olduğu bildirilmiştir [1]. Vermikompost; solucanlar ve mikroorganizmalar arasındaki etkileşimler sonucunda atıkların biyooksidasyonunu içeren hızlandırılmış bir sürecin ürünü olup, bitki için faydalı ve çevre dostu olan bir besin kaynağıdır [1]. Bu çalışmada, vermikompost uygulamaları arpa bitkisinin fide gelişimini önemli ölçüde artırmıştır. Biyomas ağırlığı, bitki boyu, kök uzunluğu vermikompostun %10'luk dozunda, kök ağırlığı ise %7.5 uygulama dozunda artmıştır (Tablo 1). Vermikompostun uygulama dozlarının tamamı bitki parametrelerini kontrole göre artırmıştır. Artan dozlar ile bitki parametrelerindeki artış; vermikompostun yüksek miktarda besin maddeleri, humik asit içermesinden kaynaklanabilir [34]. Atiyeh ve ark. [34] tarafından yapılan çalışmada, topraklara ekim ile birlikte uygulanan vermikompostun çimlenme, bitki boyu ve gelişimini önemli ölçüde artırdığı bildirilmiştir. Vermikompost uygulamalarının bitkilerde hem verimi hem de ürün kalitesi üzerinde olumlu ve önemli etkilere sahip olduğu rapor edilmiştir [8,35]. Bitki gelişimi üzerine farklı etkiler gösteren vermikompost

uygulamalarında görülen farklılık; vermikompostun üretiminde kullanılan atık materyale bağlı olarak, kompostlama süreçlerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır [11,18,33]. Vermikompost uygulamaları bitki gelişimini teşvik ederek daha sağlıklı kök yapısı oluşturduğundan, topraktan su ve besin maddelerinin alımının artması ile kontrole göre bitki gelişimi daha iyi olmuştur. Ayrıca bitki gelişimini desteklediği gibi vermikompost uygulamaları, topraktaki mikrobiyal faaliyetin artmasına da neden olmuş; bu durum içerdiği mikroorganizmaların gelişimini teşvik eden bileşiklere bağlanmıştır [35]. Çalışmada artan dozların bitki üzerindeki etkisi, kontrolle karşılaştırıldığında; sürgün ve kök uzunluğu ile ağırlıklarının artmasının, vermikompostun bitki gelişimini teşvik ettiğini göstermektedir. Sonuçlarımız Arancon ve ark. [8], Zuo ve ark. [36]'nın bulguları tarafından da desteklenmektedir.

Yapılan çalışmalarda vermikompost uygulamalarının toprak verimliliği üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle bitki verimi, bitki stres toleransı artmıştır [37,38]. Ayrıca bitkilerin ihtiyacı olan makro ve mikro besin elementlerini sağlayarak klorofil içeriğini artırdığı bildirilmiştir [39]. Ekimle birlikte topraklara uygulanan vermikompost; arpa yapraklarının klorofil miktarını, fosfor, çinko, magnezyum, demir ve potasyum içeriğini artırmıştır (Tablo 2). Benzer şekilde, klorofil miktarı; kontrol bitkileri ile kıyaslandığında, vermikompostun kullanılan tüm dozlarında artmıştır. Vermikompost uygulanmış topraklarda bitkilerde görülen dikkate değer büyüme, vermikompostun içeriğindeki organik ve inorganik besinler arasındaki denge, bitkilerin büyümesine yardımcı olmuştur. Vermikompostun toprağa uygulanması ile hem topraktaki bitki besin maddelerinin hem de mikrobiyal aktivitenin artışına yol açmış, böylece bitkinin gelişimi uyarılmış olabilir. Farklı bitkilerin yapraklarındaki klorofil miktarı, yetiştirme ortamına, uygulama dozlarına, gübreleme veya stres faktörleri gibi çeşitli faktörlere göre farklılık gösterebilir. Bu çalışmada, farklı vermikompost dozlarının arpa bitkisinde etkileri incelenmiş, dozların klorofil miktarına etkilerinde belirlenen farklılık ise uygulama dozundan kaynaklanmaktadır. Uygulama dozları kontrolle karşılaştırıldığında; yaprakların klorofil içeriğinin, dozların artışı ile arttığı belirlenmiştir. En yüksek artış; %7.5 uygulama dozunda belirlenmiş, klorofil a ve b içeriği sırasıyla; % 146.1 ve %82.3 oranında artmıştır. Sonuçlarımız vermikompost uygulamalarının bitkinin fotosentetik pigmentlerini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Fotosentez miktarının bitkinin gelişimini belirlemede önemli olduğu, klorofil biyosentezindeki fotosentetik pigment içeriklerindeki artışın, uygulamaların bitkideki etkisinin göstergesi olduğu açıklanmıştır [39]. Uygulamalar, yaprakların klorofil içeriğini artırmış, bu da fotosentetik kapasiteyi artırarak bitkinin gelişimini desteklemiştir. Ayrıca vermikompost, toprak için önemli ve karbon açısından zengin bir organik madde kaynağı olarak; toprak yapısı, gözeneklilik, havalanma, drenaj ve su tutma kapasitesini düzenlemekte, bitki büyümesi ve

gelişmesini teşvik etmektedir [1,38]. Hassan ve ark. [40] tarafından yapılan bir araştırmada; farklı oranlarda uygulanan vermikompostun muz ağacı yapraklarının klorofil a içeriğini artırdığını, %75 vermikompost ve turbo yosunu karışımı ile bitkinin N, P, K içeriğinde ise önemli artış sağlandığını bildirmişlerdir. Vermikompost uygulanmış toprakların besin maddesi içeriklerinin arttığı, bu topraklarda yetiştirilen bitkilerin topraktaki besin maddelerinden yararlanarak gelişimlerinin de hızla arttığı tespit edilmiştir [3]. Vermikompostlanmış topraktaki karbon içeriğinin besin maddelerini toprağa yavaşça saldırdığı ve böylece bitkilerin mevcut besin maddelerini emmesine yardımcı olduğu belirlenmiştir [10]. Çalışmamızda da bitki yapraklarındaki element içeriklerinin artan uygulama dozu ile artış göstermesi, vermikompostun toprağa kazandırdığı besin maddelerinden kaynaklanabilir [3,10]. Vermikompostun farklı dozlarının etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için arpa bitkilerinin rizosferdeki toprak solunumu, dehidrogenaz, alkalın fosfataz, üreaz, β -glukosidaz gibi mikrobiyolojik aktiviteleride incelenmiş ve sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Bu çalışmada, vermikompost dozları toprağın CO₂ içeriği, dehidrogenaz, alkalın fosfataz, β -glukosidaz ve üreaz enzim aktivitelerini; kontrol ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde artırmıştır ($p < 0.05$). Dozlar kendi aralarında karşılaştırıldığında ise en yüksek değerler %10'luk dozda belirlenmiştir. Bunu sırası ile %7.5, %5 ve %2.5 uygulama dozları izlemiştir. Kontrolle karşılaştırıldığında β -glukosidaz aktivite; vermikompostun %10'luk dozu 360.9, %7.5'lik dozu %229.2 ve %5'lik uygulama dozu ise %167.4 oranında artırmıştır. Topraklara eklenen vermikompostun topraktaki mikroorganizmalar için enerji ve karbon kaynağı olarak kullanılmasından dolayı toprağın enzim aktivitelerini artmış olabilir [19]. Toprakların vermikompost ile karıştırılması toprağın besin maddesi içeriğini artırmış ve topraktaki mikrobiyal faaliyetin artması ile enzim aktivitelerinde artış belirlenmiştir. Organik katkı maddelerinin topraklardaki mikrobiyal aktiviteyi artırarak, toprak enzim aktivitelerinin indüklendiği bildirilmiştir [41]. Çalışmada enzim aktivitelerinin artışı, vermikompostun toprağa uygulanması ile rizosferde artan mikrobiyal aktiviteden kaynaklanabilir. Topraktaki verimliliği etkileyen önemli faktörlerden biri toprakların organik madde içeriği ve mikroorganizmaların aktiviteleridir. Vermikompostun yüksek oranlarda organik madde içeriğine sahip olduğu, toprak yapısını zenginleştirdiği, içerdiği yüksek oranlardaki organik karbon ve yararlı bitki besinleri içerdiği bildirilmiştir [42]. Vermikompostun topraktaki mikroorganizmalar için karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılması ile mikrobiyal popülasyon artmış, dolayısıyla topraktaki CO₂ miktarında da artış olmuştur [19]. Ayrıca topraktaki solunumun sadece mikroorganizmaların bireysel aktivitesinden değil aynı zamanda topluluk yapısından da etkilendiği Zhou ve ark. [36] tarafından bildirilmiştir. Yang ve ark. [12], solucan gübresinin topraktaki mikroorganizmalar üzerine etkilerini değerlendirmiş ve toprakta mantar

popülasyonunu teşvik ederek toprak bakterilerinin popülasyonunun azalmasına neden olduğunu rapor etmişlerdir. Topraklara uygulanan organik maddelerin toprağın fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliklerini artırdığı bilinmektedir. Topraklara uygulanan vermikompost, toprakların enzimatik aktivitesini büyük ölçüde değiştirebilir. Toprak enzimleri, toprakların verimliliğinin önemli göstergesi olarak kabul edilmekte olup, ana kaynağı ise topraktaki mikroorganizmalar ve bitki köklerinin salgılarıdır [43]. Farklı dozlarda uygulanan vermikompost ile rizosferin dehidrogenaz, β -glukosidaz, alkalın fosfataz ve üreaz aktiviteleri önemli ölçüde artmıştır (Tablo 3). Dehidrogenaz aktivite kontrolle karşılaştırıldığında; %10'luk uygulama dozunda en yüksek bulunmuş, bunu sırasıyla %7.5 ve %5'lik dozlar izlemiştir. Benzer sonuçlar üreaz ve alkalın fosfataz aktiviteleri için de belirlenmiştir. β -glukosidaz enzim aktivitesi değerleri 12.3-56.7 mg p-nitrofenol/g toprak arasında değişiklik göstermiştir. Uygulamaların artan dozları aktiviteyi artırmış, en yüksek aktivite %10 uygulama dozunda incelenmiştir. Artan dozlarda, enzim aktivitelerin artması, %10'luk uygulama dozunun topraktaki mikrobiyal aktiviteyi daha fazla teşvik ettiğinden kaynaklanabilir. Sonuçlarımız yapılan çalışmalarla benzerlik göstermiştir [11,18]. Wang ve ark. [38] tarafından yapılan bir araştırmada solucan gübresinin toprağın fosfataz aktivitesini artırdığı rapor edilmiştir. Solucan gübresinin; solucan bağırsağı salgısındaki yüksek mikrobiyal aktivite nedeniyle asit ve alkali fosfataza sahip olduğundan [11], vermikompost topraklardaki yerel mikroorganizmaların gelişimini teşvik etmiş ve mikroorganizmalar için uygun ortam hazırlayarak fosfataz salgısını artırmıştır [36]. Bu nedenle, çalışmada artan uygulama dozları alkalın fosfataz aktiviteyi artırmıştır. İncelenen aktivitelerdeki artışın, topraklara uygulanan vermikompostun topraklara organik madde kazandırdığı, dolayısıyla toprakların fizikokimyasal özelliklerinin iyileştirilmesinden ve mikrobiyal kolonizasyon için uygun bir ortam sağlanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [38]. Topraklara eklenen organik maddeler, topraklarda canlılar için uygun bir ortam yaratarak, mikroorganizmaların çoğalmasını hızlandırabilir, bu da toprakta enzim aktivitesinde artışlara yol açabilir [44]. Arancon ve ark. [16]; çilek yetiştirilen topraklara uygulanan vermikompostun toprak dehidrogenaz aktivitesini artırdığını belirlemişlerdir. Raza ve ark. [45] tarafından yapılan bir araştırmada; vermikompostun, bitkinin azot metabolizması üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir. Aktivitelerdeki artışın artan dozlar ile topraklara organik madde içeriğinin artmasına, bu da rizosferdeki mikroorganizmalar için erişilebilir besin maddelerinin artmasını sağlamıştır [12]. Albiach ve ark. [15], toprakların üreaz, esteraz, arilsülfataz gibi toprak enzim aktivitelerinin vermikompost uygulamaları ile önemli ölçüde arttığını belirlemişlerdir.

SONUÇ

Bu çalışmada farklı dozlarda uygulanan ticari vermicompostun; arpa fidelerinin bitki boyu, kök uzunluğu, biyomas ve kök ağırlıkları, yaprak su içeriği ile klorofil içeriklerinin yanı sıra rizosferin bazı biyolojik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Kontrollü koşullarda yapılan saksı denemesinde; sonuçlar %7.5 ve %10 vermicompost dozlarının diğer uygulama dozlarına göre daha etkili olduğunu göstermiş, arpa fidelerinin klorofil içeriği ve kök ağırlıklarına %7.5 uygulama dozunun, biyomas ağırlığı, yaprak su içeriği üzerine ise %10 uygulama dozunun etkili olduğu saptanmıştır. Kontrolle karşılaştırıldığında uygulama dozlarının; arpa fidelerinin büyümesi ve rizosfer toprağının mikrobiyolojik aktivitesini iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Uygulamaların artan dozları enzim aktivitelerini ve rizosferin CO₂ içeriğini artırmıştır. Ancak, sera koşullarında saksı denemeleri ile yapılan sonuçlarımızı doğrulamak için tarla denemelerine de ihtiyaç vardır. Yapılacak çalışmalar, sürdürülebilir üretim sistemleri altında arpa verimini artırmak için organik gübrelerin farklı toprak tiplerinde toprak mikrobiyal süreçleri ve besin döngüsü üzerindeki etkilerini açıklığa kavuşturmak üzere tasarlanmalıdır. Vermikompostun kullanımı ile amaç inorganik gübre kullanımını azaltırken, toprağın kalitesini, arpa verimi ve kalitesini en üst düzeye çıkarmaktır. Bu nedenle, vermicompost, bitkisel üretimin artırılmasına katkı sağlayabileceği gibi, sürdürülebilir tarım için kullanımı da yaygınlaştırılabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Alvarez J.M., Pasian C., Lal R., Lopez R., Fernandez M. Vermicompost and biochar substrates can reduce nutrients leachates on containerized ornamental plant production. *Horticultura Brasileira*, 37 (1):47–53, 2019.
- [2] Yatoo A.M., Rasool S., Ali S., Majid S., Rehman M.U., Ali M., Eachkoti R., Rasool S., Rashid S.M., Farooq S. Vermicomposting: An eco-friendly approach for recycling/management of organic wastes. In *Bioremediation and Biotechnology*; Springer: Cham, Switzerland, pp. 167–187, 2020.
- [3] Rekha G.S., Kaleena P.K., Elumalai D. Skikumaran P.M., Maheswari V.N. Effects of vermicompost and plant growth enhancers on the exo-morphological features of *Capsicum annum* (Linn.) Hepper. *Int J Recycl Org Waste Agricult.*, 7: 83–88, 2018.
- [4] Datta S., Singh J., Singh S., Singh J. 2016. Earthworms, pesticides and sustainable agriculture: A review. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 23:8227–8243, 2016.
- [5] Bidabadi S.S. Waste management using vermicompost derived liquids in sustainable horticulture. *Trends Hortic.*, 1, 175, 2018.
- [6] Liao Z, Fan J, Lai Z, Bai Z, Wang H, Cheng M, Zhang F, Li Z. Chapter three– response network and regulatory measures of plant-soil-rhizosphere environment to drought stress, editor(s): Donald L. Sparks, *advances in Agronomy*. Acad Press 180:93–196, 2023.
- [7] Steffen G.P.K., Maldaner J., de Moraes R.M., Saldanha C.W., Missio E.L., Steffen R.B., Osorio Filho B.D. The vermicompost anticipates flowering and increases tomato productivity. *Agrocienc. Urug.*, 23:e54, 2019.
- [8] Arancon N.Q., Owens J.D., Converse C. The effects of vermicompost tea on the growth and yield of lettuce and tomato in a non-circulating hydroponics system. *J. Plant Nutr.* 42:2447–2458, 2019.
- [9] Ravindran B., Wong J.W., Selvam A., Sekaran G. Influence of microbial diversity and plant growth hormones in compost and vermicompost from fermented tannery waste. *Bioresour. Technol.*, 217:200–204, 2016.
- [10] Atiyeh R.M., Subler S., Edwards C.A., Bachman G., Metzger J.D., Shuster W. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*, 44:579–590, 2000.
- [11] Lv M., Li J., Zhang W., Zhou B., Dai J., Zhang C. Microbial activity was greater in soils added with herb residue vermicompost than chemical fertilizer. *Soil Ecol. Lett.*, 2:209-219, 2020.
- [12] Yang H., Li Z., Deng M., Sheng Z., Zhang Y., Hu F., Wu X., Xu Z. Effects of the combined application of different fertilizers and urea on nitrogen transformation enzyme activities in tea-garden soil from Chongqing. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, 26:1107–1114, 2020.
- [13] Mukherjee A., Gaurav A.K., Patel A.K., Singh S., Chouhan G.K., Lepcha A. Unlocking the potential plant growth-promoting properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed endophytes bio-inoculants for improving soil health and crop production. *Land Degradation & Development*, 32:4362–4374, 2021.
- [14] Guo L., Qiao J., Zhou D., Qin D., Huo J. Effect of vermicompost on fruit quality, growth, and rhizosphere soil enzyme activities of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.). *J Soil Sci Plant Nutr.*, 23:3797–3805, 2023.
- [15] Albiach R., Canet R., Pomares F., Ingelmo F. Microbial biomass content and enzymatic activities after application of organic amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technology*, 75:43-48, 2000.
- [16] Arancon N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P. Influences of vermicomposts on field strawberries: part 2. effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresour. Technol.*, 97:831-840, 2006
- [17] Saini I., Aggarwal A., Kaushik P. Influence of Biostimulants on Important Traits of *Zinnia elegans* Jacq. under Open Field Conditions. *International Journal of Agronomy*, 1:1-8, 2019.
- [18] Pramanik P., Ghosh G.K., Ghosal P.K., Banik P. Changes in organic- C, N, P and K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants. *Bioresource Technology*, 98:2485–2494, 2007.
- [19] Partey S.T., Zougmore R.B., Thevathasan N.V., Preziosi R.F. Effects of plant residue decomposition on soil N availability, microbial biomass and β -glucosidase activity during soil fertility improvement in Ghana. *Pedosphere*, 29: 608–618, 2019.
- [20] Tao R., Li J., Guan Y., Liang Y., Hu B., Lv J., Chu G. Effects of urease and nitrification inhibitors on the soil mineral nitrogen dynamics and nitrous oxide (N₂O) emissions on calcareous soil. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25: 9155–9164, 2018.
- [21] Sudkolai S.T., Nourbakhsh F. Urease activity as an index for assessing the maturity of cow manure and wheat residue vermicomposts. *Waste Manage*, 64:63–66, 2017.
- [22] Oral E., Kendal E., Doğan Y. Adıyaman ve Şanlıurfa-Hilvan Şartlarında Yazlık Arpa Genotiplerinde Verim ve Bazı Kalite Kriterlerinin Araştırılması. *Journal of Agricultural Faculty of Uludağ University*, 31(2): 23-36, 2017.
- [23] Eğilmez S. Ürün raporu Arpa 2024. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü TEPGE. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge>, 2024.
- [24] Ovege I., Balaji Bhaskar MS. Effects of Vermicompost on Soil and Plant Health and Promoting Sustainable Agriculture. *Soil Systems*, 7(4):101, 2023.

- [25] Doğan S., Demirel K., Çamoğlu G., Nar H., Akçal A. Farklı sulama seviyelerinin ceylan gözünün bitkisel özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi. ÇOMÜ Lapseki Meslek Yüksekokulu Uygulamalı Araştırmalar Dergisi, 1:1-15, 2020.
- [26] Smart R.E., Bingham G.E. Rapid estimates of relative water content. Plant physiology, 53:258- 260, 1974.
- [27] Rathore S., Kumar, R. Agronomic interventions affect the growth, yield, and essential oil composition of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) in the western himalaya. Industrial Crops and Products, 171:113873, 2021.
- [28] Jones Jr J.B., Case V.W. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples, pp.389427. In: R.L. Westerman (Ed.), Soil Testing and Plant Analysis. SSSA BookSeries 3. Soil Science Society of America, Madison, WI., 1990.
- [29] Anderson J.P.E. Soil respiration. In: methods of soil analysis, part 2, chemical and microbiological properties (Ed. A.L. Page). ASA-SSSA, Madison, Winsconsin. pp. 831-871, 1982.
- [30] Pepper I.L., Gerba C.P., Brendecke J.W. Environmental microbiology: a laboratory manual. Academic Press Inc. New York, USA, 1995.
- [31] Tabatabai M.A., Bremner J.M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biology and Biochemistry, 1: 301-307, 1969.
- [32] Küçük Ç., Şinşek N. The effects of different agricultural wastes on some microbiological properties of soil. International on Mathematic, Engineering and Natural Sciences, 15:451-460, 2020.
- [33] Zu Y., Zhang J., Zhao R., Dai H., Zhang Z. Application of vermicompost improves strawberry growth and quality through increased photosynthesis rate, free radical scavenging and soil enzymatic activity. Scientia Horticulturae, 233: 132-140, 2018.
- [34] Atiyeh R.M., Arancon N.Q., Edwards C.A., Metzger J.D. The influence of humic acid derived from earthworms processed organicwastes on the plant growth. Bioresour Technol., 84(1):7–14, 2002.
- [35] Teke Ş, Coşkan A, Aktaş H. The Effects of Vermicompost on Yield and Quality Parameters in Tomato. Turkish Journal of Science and Engineering, 1(1): 23-27, 2019
- [36] Zuo Y., Zhang J., Zhao R., Dai H., Zhang Z. Application of vermicompost improves strawberry growth and quality through increased photosynthesis rate, free radical scavenging and soil enzymatic activity. Scientia Horticulturae, 233: 132–140, 2018.
- [37] Zeighami Nejad, K., Ghasemi, M., Shamili M., Damizadeh G.R. Effect of mycorrhiza and vermicompost on drought tolerance of lime seedlings (*Citrus aurantifolia* cv. Mexican Lime). International Journal of Fruit Science, 20 (3):646–57, 2020.
- [38] Wang, F., Wang X., Song N. Biochar and vermicompost improve the soil properties and the yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in plastic shed soil continuously cropped for different years. Agriculture, Ecosystems & Environment 315:107425, 2021.
- [39] Kyzy A.M., Yıldırım G.H., Yılmaz N. Effects of vermicompost applications on chlorophyll content and flag leaf area in rice (*Oryza sativa* L.). Cogent Food & Agriculture, 9:1-21, 2023.
- [40] Hassan S.A.M., Taha R.A., Zaied N.S.M., Essa E.M., El-Rheem A.K.M. Effect of vermicompost on vegetative growth and nutrient status of acclimatized Grand Naine banana plants. Heliyon. 8: e10914, 2022.
- [41] Amadou A., Song A., Tang Z.X., Li Y., Wang E.Z., Lu Y.O., Liu X.D., Yi K., Zhang B., Fan F. The Effects of Organic and Mineral Fertilization on Soil Enzyme Activities and Bacterial Community in the Below- and Above-Ground Parts of Wheat. Agronomy, 10:1452, 2020.
- [42] Dignac M.F., Derrien D., Barre P. Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. Agron Sust Dev., 37:14, 2017.
- [43] Bandick A.K., Dick R.P. Field management effects on soil enzyme activities. Soil Biol. Biochem., 31: 1471-1479, 1999.
- [44] Li S.Q., Ling L., Li S.X. Review on the factors affecting soil microbial biomass nitrogen. Soil Environ., 9 (2):158-162, 2000.
- [45] Raza S.T., Wu J., Rene E.R., Ali Z., Chen Z. Reuse of agricultural wastes, manure, and biochar as an organic amendment: a review on its implications for vermicomposting technology. Journal of Cleaner Production, 360:13220, 2022.