



Melissa officinalis Fidelerinin Gelişimi ve Rizosfer Özelliklerine Bokashi Gübresi Dozlarının Etkisi

The Effect of Bokashi Fertilizer Doses on the Growth and Rhizosphere Characteristics of Melissa officinalis Seedlings

Çiğdem Küçük*, Göksal Sezen, Abdul Cenap Cevheri

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

Öz

Bokashi, faydalı mikroorganizmalar tarafından organik atıkların fermente edildiği organik bir gübredir. Bokashi, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirerek bitki büyümesini ve verimini artırmaktadır. Bu çalışmada, bokashi gübresinin farklı dozlarının (%0 (kontrol), %2, %4, %8, %16 ve %32) toprağa uygulanması ile melisa fidelerinin gelişimi ve rizosferdeki bazı mikrobiyolojik özellikler üzerine etkisini belirlemek amaçlanmıştır. Bokashi gübresi kullanılarak melisa fidelerinin bitki boyu, sürgün ve kök yaş ağırlıkları, kök uzunluğu, yaprakların klorofil içerikleri, kök bölgesi dehidrogenaz, üreaz, β -glukosidaz enzim aktiviteleri, toprak solunumu gibi bazı toprak biyolojik özellikleri incelenmiştir. Bokashi'nin artan dozları ile klorofil miktarı, fidelerin sürgün ve kök yaş ağırlıklarında istatistiksel olarak anlamlı artış gözlenmiştir. En yüksek kök uzunluğu, kök ve sürgün yaş ağırlıklarının yanı sıra rizosferin enzimatik aktivitesinde de en belirgin artış, Bokashi'nin %32'lik uygulama dozu ile elde edilmiştir. Toprağın toplam küf sayısı bokashinin %32'lik dozu ile artmıştır. Buna karşın en yüksek toplam bakteri sayısı ise %16'lık uygulama dozunda belirlenmiştir. Sonuç olarak Bokashinin %32'lik dozunun hem bitki gelişimi hem de toprağın biyolojik özellikleri üzerinde uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bokashi, organik gübre, *Melissa officinalis*, mikrobiyal aktivite, toprak enzimleri.

Abstract

Bokashi is an organic fertilizer in which beneficial microorganisms ferment organic waste. Bokashi improves plant growth and yields by improving the physical, chemical and biological properties of soil. In this study, it was aimed to determine the effect of different doses of bokashi fertilizer (0% (control), 2%, 4%, 8%, 16% and 32%) on the growth of lemon balm seedlings and some microbiological characteristics in the rhizosphere. Some soil biological characteristics of lemon balm seedlings, such as plant height, shoot and root wet weights, root length, chlorophyll content of leaves, root zone dehydrogenase, urease, β -glucosidase enzyme activities and soil respiration, were investigated using Bokashi fertilizer. Statistically significant increases were observed in chlorophyll content and shoot and root wet weights of seedlings with increasing doses of Bokashi. The highest root length, root and shoot wet weight were determined with 32% treatment dose. The highest root length, root and shoot wet weights, and the most significant increase in the enzymatic activity of the rhizosphere were obtained with the 32% application dose of Bokashi. The total mold count of the soil increased with the 32% dose of bokashi. On the other hand, the highest total bacterial count was determined at 16% application dose. As a result, it was determined that 32% dose of Bokashi was suitable for both plant growth and soil biological properties.

Keywords: Bokashi, organic fertilizer, *Melissa officinalis*, microbial activity, soil enzymes.

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: ckucuk@harran.edu.tr

Çiğdem Küçük orcid.org/0000-0001-5688-5440

Göksal Sezen orcid.org/0000-0001-9054-851X

Abdul Cenap Cevheri orcid.org/0000-0002-3759-4645



1. Giriş

Bitki atıkları, kompost, solucan gübresi veya organik atıkların toprağa uygulanması sonucu toprağın organik madde içeriğinin arttığı yapılan çalışmalarda açıklanmıştır (Hata vd. 2021, Zucco vd. 2015). Bokashi, bitkilere besin sağlayarak büyüme ve verimi artırmak (Karimuna vd. 2016, Anhar vd. 2018), toprak yapısını iyileştirmek (Hernandez vd. 2014, Barajas-Aceves 2016) ve topraktaki su tutma kapasitesini yükseltmek (Djajadi vd. 2011) amacıyla kullanılmaktadır. Bokashi; organik maddenin mikroorganizmalar ile fermentasyonu sonucu elde edilen, komposta benzer bir organik gübredir. Ayrıca, toprağa fungi, bakteri ve aktinomisetler dahil olmak üzere toprağın sağlığını iyileştirebilen farklı mikroorganizma türleri sağlar (Silva vd. 2014). Bu nedenle, bokashi'nin toprağa uygulanması organik madde içeriğini artırır ve özelliklerini iyileştirerek bitkilere besin sağlamaktadır (Murillo-Amador vd. 2015). Kompost uygulamalarında olduğu gibi bokashi kullanımı da sürdürülebilir tarım açısından önemlidir. Bitkilerin besin alımını destekleyerek toprak verimliliğini arttırmaktadır. Bu nedenle bokashi, kompost uygulamasına sürdürülebilir bir alternatif veya tamamlayıcı bir organik girdi olarak değerlendirilmektedir (Hata vd. 2021).

Bokashi kullanımı ile bitkilerin fosfor ve potasyum konsantrasyonunun arttığı, zencefilin (*Alpinia purpurata*) bitki boyu ve gövde çapının arttığı yapılan çalışmada tespit edilmiştir (Hernandez vd. 2014). Bokashi uygulaması, mısır ve soya fasulyesinde (Batubara 2015), mısır ve fıstıkta tohum ağırlığı ve verimini artırmış (Karimuna vd. 2016, Pangaribuan vd. 2011); kanola bitkisinde (*Brassica napus* L.) ise inorganik gübre ihtiyacını yaklaşık %50 oranında azaltmıştır (Kazemeini vd. 2010). Bokashi gübresi ayrıca bamya (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) tohumlarının büyümesini de desteklemiştir (Uka vd. 2013).

Bokashi'nin yukarıda belirtilen faydalarına rağmen, gelişim süreci ve toprak verimliliği üzerindeki etkisi kapsamlı bir şekilde incelenen kompost kadar ilgi görmemiştir (Tiquia 2002, Maeda vd. 2011, Ryals vd. 2014). Etkili mikroorganizmalarla hazırlanmış bokashi'nin (EM bokashi) toprağa uygulandığı ve bitkinin bazı fizyolojik özellikleri ve ürün veriminin arttığı yapılan çalışmalarla belirlenmiştir (Xu vd. 2000, Mayer vd. 2010, Batubara 2015). Bununla birlikte, özellikle toprak özelliklerini nasıl etkilediği gibi bazı yönlerini değerlendirmek gereklidir. Tıbbi bitkiler yüzyıllardır dünya genelinde yararlı özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Tıbbi bitkiler arasında yaygın kullanım

alanına sahip olan *Melissa officinalis* L. (melisa), antitümör, antiviral, antialerjik, antiinflamatuvar gibi çeşitli biyolojik aktiviteleriyle öne çıkmaktadır (Mathews vd. 2024). Melisa veya halk arasında oğul otu olarak da bilinen *Melissa officinalis*'in faydalı özellikleri, bitkide bulunan terpenoidler, alkoller, rosmarinik asit ve fenolik antioksidanlar gibi biyoaktif bileşiklerle ilişkilendirilmiştir (Mathews vd. 2024). Melisa bitkisinin gelişimi sırasında topraktan fazla miktarda besin maddesi alması nedeniyle yetiştirilen toprağın besin maddesince zengin olması gerektiği belirtilmiştir (Anonim 2022). Ülkemiz zengin bitki örtüsüne sahip olduğundan tıbbi ve aromatik bitki ticaretinde önemli yere sahiptir. Tıbbi ve aromatik bitkilerden olan melisa bitkisi de bu bitkiler arasındadır (Dumanoglu ve Çakmak 2017). Melisa bitkisi gıda sanayinde, eczacılık, kozmetik ve peyzaj alanında kullanıldığından, üretiminin karlı olup olmadığına ortaya konması amacıyla yapılan fizibilite çalışmaları ile karlı bir yatırıma sahip olduğu açıklanmıştır (Anonim 2022). Tarım ve Orman Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan raporda, TÜİK verileri ile diğer kurumsal veriler değerlendirilmiş, melisa bitkisine ait üretim ve tüketim değerleri açıklanmıştır (Anonim 2022). Ülkemizde melisanın üretimi ile ilgili veriler 2012 yılından 2019 yılına kadar değerlendirmiş, 2019 yılında melisa üretiminin arttığı bildirilmiştir (Anonim 2022). Bu bağlamda, bitkisel üretimde kullanılan kimyasalların ve hayvansal atıkların çevreye olan zararını azaltmak için, Ülkemizde de ekonomik önemi ve kullanım alanı artan (Dumanoglu ve Çakmak 2017) melisa bitkisi fidelerinin temel gelişim özellikleri ile rizosferin biyolojik özellikleri üzerine bokashinin etkisini değerlendirmek amaçlanmıştır. Bu çalışmada; bokashinin toprağa farklı dozlarda (kontrol (%0), %2, %4, %8, %16 ve %32) uygulanmış, uygulamaların fide gelişimi üzerine ve toprağın bazı mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

2. Gereç ve Yöntemler

2.1. Gereç

Denemede kullanılan bokashi gübresi, ticari olarak temin edilmiş olup Biorfe markasına aittir. Bokashi gübresi olarak kullanılan bokashi kepeği, konsantre bokashi sıvısı emdirilerek uygun koşullarda kurutulup paketlenmiş, pH'ı 4 ve EC değeri 4426 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olan, ticari olarak satılan üründür. Melisa fideleri ise Uludağ Agro firmasından 1 viyolde 1 adet olacak şekilde 4-5 cm boyunda, 4 yapraklı fide şeklinde temin edilmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Bokashi'nin Melisa Fidelerine Uygulanması

Araştırma, tesadüf parselleri deneme desenine göre, sera koşullarında altı farklı uygulama ve üç tekrerrür ile yürütülmüştür. 2 kg'lık saksılar, nadasa bırakılan tarladan alınan toprak ile doldurulmuştur. Kullanılan toprağın pH'ı 8.2, organik madde (%) 1.21, EC 0.2 mmhos/cm, kireç (%) 2.37, 179.6 kg/da toplam K, 4.90 kg/da toplam P, azot içeriği ise %0.07 olup, killi bünyeye sahiptir. Bokashi gübrelerinin toprağa uygulanmasında; bokashi saksı toprağına yüzde 0 (kontrol), 2, 4, 8, 16 ve 32 oranında (w/w) karıştırmıştır. Tedarik edilen fideler, farklı dozlarda bokashi uygulanan saksılara ekilmiştir. Fidelerin gelişimleri dokuz hafta boyunca izlenmiş ve bu süre sonunda hasat edilmiştir.

2.2.2. Bitki Büyüme Ölçümleri

Bitki büyümesini belirlemede ölçülen parametreler ise; bitki boyu, kök uzunluğu, sürgün yaş ağırlığı, kök yaş ağırlığıdır. Her bir ölçüm, her bir uygulamanın üç tekrarının ortalaması olarak kaydedilmiştir.

2.2.2.1. Sürgün boyu (cm)

Hasat sırasında sürgün boyu; kök boğazından bitkinin en uç kısmına kadar cetvel ile ölçümü ile belirlenmiştir (Küçük ve Pek 2025).

2.2.2.2. Kök uzunluğu (cm)

Fide kökleri, topraktan ayrılmış ve kök uzunlukları cetvel ile ölçülerek kaydedilmiştir. (Küçük ve Pek 2025).

2.2.2.3. Sürgün yaş ağırlığı (g/bitki)

Fideler hasat zamanı kök boğazından kesilmiş, musluk suyu ile yıkandıktan sonra kurutma kağıdı üzerinde nemi alınmıştır. Her bir uygulamaya ait sürgünlerin yaş ağırlıkları hassas terazi ile tartılarak belirlenmiştir (Küçük ve Pek 2025).

2.2.2.4. Kök yaş ağırlığı (g/bitki)

Fide kökleri topraktan su ile yumuşatılarak çıkarılmış, musluk suyu altında yıkandıktan sonra kurutma kağıdı ile fazla suyu emdirilmiştir. Her bir uygulamaya ait kök örnekleri hassas terazide tartılmıştır (Küçük ve Pek 2025).

2.2.3. Yaprakların Klorofil İçeriği

Hasat zamanı yaş bitki yaprakları (0.5 g) %80 aseton ile homojenize edilmiş, 15 dk 9.000×g'de santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası üst faz (süpernatant), 663 ve 645 nm dalga boylarında spektrofotometre (Shimadzu, Japonya) ile analiz

edilmiştir. Klorofil içerikleri Arnon (1949)'a göre hesaplanmıştır.

2.2.4. Rizosfer Enzim Analizleri

Rizosfer bölgesinden toprak örnekleri hasat sırasında alınmış, bekletilmeden hemen analizleri yapılmıştır.

2.2.4.1. Üreaz aktivite (EC 3.5.1.5)

Üreaz aktivitesi, Hoffmann ve Teicher (1961)'in önerdiği yöntemle göre toprağın üre ve sitrat tamponu ile inkübasyonunun ardından 578 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak belirlenmiştir.

2.2.4.2. β-glukosidaz enzim aktivitesi (EC 3.2.1.21)

Hasat zamanında köke yapışan toprak (rizosfer bölgesi) örneklerine toluen, MUB tamponu (pH 6), p-nitrofenil β-D-glukopiranosid eklenerek 60 dk boyunca 37°C'de inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrasında CaCl₂ ve THAM solüsyonu ilave edilmiş, ardından 10.000×g'de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Süpernatant 410 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçülmüş enzim miktarı hesaplanmıştır (Tabatabai 1982).

2.2.4.3. Dehidrogenaz aktivite

Rizosfer toprağının dehidrogenaz aktivitesi, inkübasyon zamanında trifenilformazana indirgenen bir substrat olarak 2,3,5-trifeniltetrazolium klorid kullanılarak kolorimetrik olarak Pepper vd. (1995)'e göre belirlenmiştir.

2.2.5. Toprak Solunumu (CO₂ içeriği)

Rizosfer toprak örneklerinde solunum Isermayer yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Her bir uygulamaya ait örnekler (50 g) hasat zamanı kök bölgesinden alınmış ve CO₂'nin 1 l'lik kavanozlarda alkali çözeltide 25 °C'de 24 sa inkübe edilmiş, 1 M HCl ile fenolftaleyn indikatörünün kullanımıyla titre edilerek Anderson (1982)'e göre ölçümleri yapılmıştır.

2.2.6. Rizosferdeki Mikroorganizma Sayısı

Her bir uygulamadan alınan rizosfer toprak örneklerinden dilüsyonlar hazırlanmıştır. Rizosferdeki toplam bakteri sayısı Nutrient Agar, toplam küf+maya sayısı ise Sabouraud agar besiyeri kullanılarak Pepper vd. (1995)'e göre belirlenmiştir.

2.2.7. İstatistik Analiz

Ölçüm ve analizlerden elde edilen tüm değerler JMP 11 kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. İncelenen gruplar arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları incelemek için Student's-t testi ile varyans analizi (ANOVA)

uygulanmıştır. Sonuçlar $p < 0.05$ olduğunda istatistiksel olarak anlamlıdır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Bokashi Dozlarının Melisa Bitkisinin Büyüme Özelliklerine Etkisi

Melisa officinalis fidelerinin bitki boyu, kök uzunluğu, sürgün ve kök yaş ağırlığı bokashi uygulamaları sonucunda istatistiksel olarak anlamlı şekilde artış göstermiştir ($p < 0.05$). Bitki yapılarının, bitkinin topraktan aldığı besin maddeleriyle ilgili olduğu açıklanmıştır (Quiroz ve Cespedes 2019). Çalışmamızda melisa fidelerinin bokashi uygulaması yapılmayan kontrole göre artan dozlardaki bokashi uygulamasının özellikle metabolik süreçte bitki için gerekli olan N, P ve K gibi besin maddelerini sağlayabildiğinden bitki gelişiminin artan bokashi dozlarıyla pozitif yönde etkilendiği gözlemlenmiştir. Bokashinin benzer bir etkisi ıspanakta da tespit edilmiştir (Quiroz ve Cespedes 2019). Araştırmacılar, Bokashi uygulamalarının bitkiye daha istikrarlı ve uzun süreli temin edilebilir azot sağladığından bitki büyümesini teşvik ettiğini saptamışlardır (Quiroz ve Cespedes 2019). Çalışmamızda bokashi uygulamasının melisa fidelerinin bitkinin vejetatif büyümesini iyileştirmede etkili olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1). Bokashi'nin domatesin vejetatif büyümesi için uygun olduğu, bokashi'nin besin içeriğinin bitkinin ihtiyaç duyduğu besinleri sağlayabildiği Xu vd. (2000) tarafından belirlenmiştir. Uygulamalar bitki boyunda etkili olmuş, bitki boyu 15-27 cm arasında değişmiş en düşük bitki boyu bokashi uygulaması yapılmayan melisa fidesinde ölçülmüştür. En yüksek bitki boyu ise %16 ve %32 bokashi uygulamasında elde edilmiştir (Tablo 1). Bokashi uygulaması ile mısır (*Zea mays*), soya fasulyesi (*Glycine max*) (Batubara 2015), domates (Anhar vd. 2018), soğan (*Allium cepa* L.), jalapeno

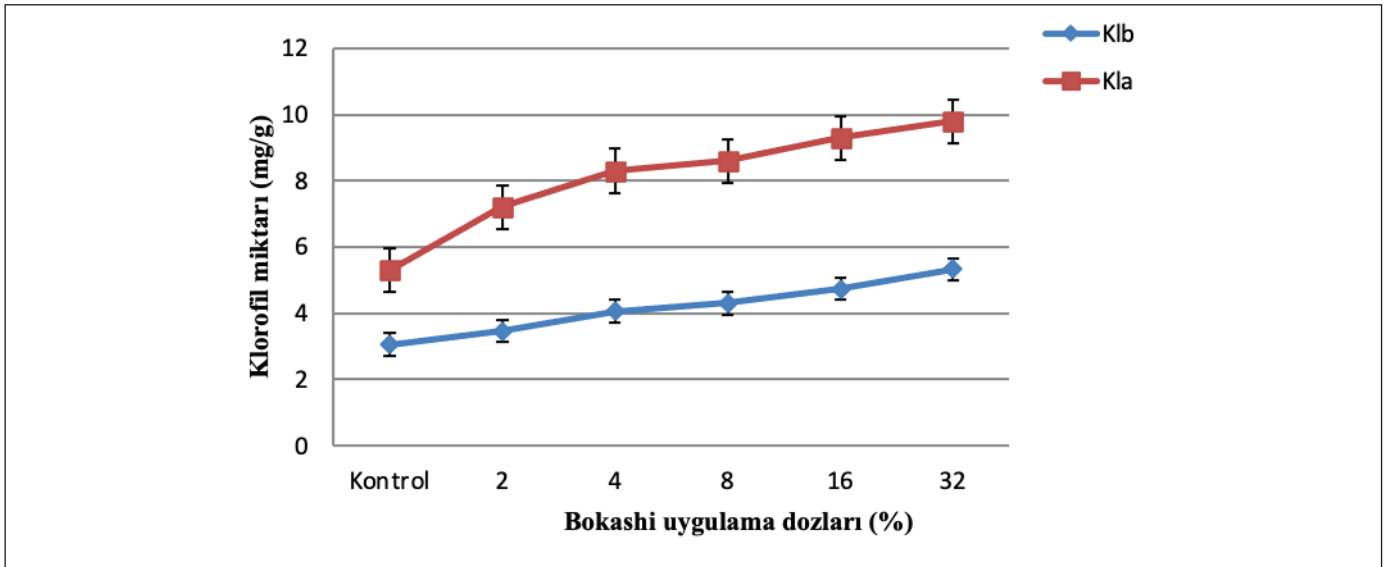
biberinin (*Capsicum annuum* L.) bitki boyunun arttığı rapor edilmiştir (Alvarez-Solis vd. 2016). Uygulama dozları sürgün yaş ağırlığını da etkilemiştir. En düşük ortalama sürgün yaş ağırlığı 1.66 g/bitki ile kontrolde, en yüksek sürgün yaş ağırlığı ise %32 bokashi uygulamasında 3.55 g olarak alınmıştır. Bunu sırası ile %16 ve %8 bokashi uygulaması izlemiştir. En yüksek kök uzunluğu %32 bokashi uygulamasında belirlenmiş, bunu sırası ile %16 ve %8 bokashi uygulaması izlemiştir. Uygulamalar fide kök yaş ağırlığı üzerinde de etkili bulunmuştur. Bokashi'nin %32, %16 ve %8'lik uygulamaları kök uzunluğunu kontrole göre istatistiki olarak önemli ölçüde artırmıştır ($p < 0.05$). Yapılan bir araştırmada da bokashinin (9 g/bitki) toprağa uygulanması ile roka ve turpta kök biyokütlesi ve hacmini artırarak verime olumlu katkı sağladığı açıklanmıştır (Hata vd. 2019).

Uygulamaların melisa fide yapraklarında klorofil içeriklerine etkileri de farklılık göstermiştir. En yüksek klorofil a ve b içeriği %32 bokashi uygulamasında belirlenirken, klorofil a ve b'nin en düşük miktarı kontrolde belirlenmiştir (Şekil 1). Bu bulgular, Santos ve ark. (2020)'nın klorofil artışları üzerine yaptığı çalışma ile de örtüşmektedir. Toprağa uygulanan bokashi uygulamasının bitkinin kök aktivitesini teşvik ederek, rizosferin mikroorganizma sayısı ile bitkinin makro (azot, fosfor ve potasyum) ve mikro (demir, mangan, çinko vb) besin içeriğinin arttığı bildirilmiştir (Abed El-Hamied 2014). Topraktaki yüksek miktardaki mikro besin içeriği varlığının, bitkilerin toplam klorofil miktarını artırdığı, bitkide daha fazla karbonhidrat biriktiği böylece bitkinin gelişimine katkı sağladığı açıklanmıştır (Erdal vd. 2024). *Kalanchoe blossfeldiana* üzerinde yapılan çalışmada da, bokashi uygulamasının fotosentez oranını artırdığı bildirilmiştir (Phooi vd. 2022).

Çizelge 1. Melisa fidelerinin 9 haftalık yetiştirilme dönemindeki bitki boyu (cm), sürgün yaş ağırlığı (g/bitki), kök yaş ağırlığı (g/bitki), kök uzunluğu (cm) üzerindeki Bokashi'nin farklı dozlarının etkisi.

Bokashi dozu (%)	Bitki boyu (cm)	Sürgün yaş ağırlığı (g/bitki)	Kök uzunluğu (cm)	Kök yaş ağırlığı (g/bitki)
Kontrol	15 c*	1.66 c	4.7 d	0.23 c
2	19.3 b	1.95 c	6 d	0.40 b
4	26 a	2.22 bc	6.7 d	0.40 b
8	26.8 a	2.83 abc	11.3 c	0.60 a
16	27 a	3.26 ab	15 b	0.59 a
32	27 a	3.55 a	19.7 a	0.67 a
LSD ($p < 0.05$)	3.2	1.2	2.8	0.1

*Farklı harfler birbirinden farklı olan değerleri göstermektedir.



Şekil 1. Farklı Bokashi uygulama dozlarının melisa fide yapraklarında klorofil miktarına etkileri.

Bokashi uygulaması, tropikal bir ağaç türü olan *Alibertia edulis*'in yapraklarının klorofil a ve b içeriğinin artmasını sağlamıştır (Santos vd. 2020). Bokashi uygulaması toprakların besin içeriğini özellikle magnezyum içeriğini etkileyebilmiştir (Santos vd. 2020). Bokashi ile iyileştirilmiş toprakta yüksek konsantrasyonda kalsiyum ve magnezyum tespit edilmiş, domates bitkisinin fotosentez ve meyve veriminde artış tespit edilmiştir (Xu vd. 2000). Kimyasal gübrelere karşılaştırıldığında, bokashi uygulaması fıstık ağacının fotosentez oranını artırmıştır (Pei-Sheng ve Hui-Lian 2002). Çalışmamızda elde edilen bulgular, bokashi uygulamasının klorofil a ve b içerikleri üzerinde pozitif yönde etkili olduğunu göstermiştir. En düşük klorofil seviyeleri kontrol grubunda belirlenirken, artan bokashi dozlarıyla birlikte yapraklardaki klorofil a ve b miktarlarında istatistiksel olarak anlamlı artışlar kaydedilmiştir. Bu sonuçlar, daha önce farklı bitki türlerinde rapor edilen bulgularla (Santos vd. 2020; Xu vd. 2000; Pei-Sheng ve Hui-Lian 2002) uyumlu olup, bokashi uygulamasının fotosentez kapasitesi üzerinde olumlu etkiler sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Bokashi uygulaması içerdiği organik maddeler sayesinde toprağın humus içeriğini artırabilir (Hata vd. 2021). Humus, hidrofilik bir bileşik olması nedeniyle toprakta su emilimini ve suyun depolanmasını iyileştirmekte, bu sayede buharlaşma kayıplarını azaltmaktadır. Topraktaki organik madde miktarındaki artış, su tutma kapasitesini olumlu yönde etkileyerek toprakta meydana gelen buharlaşma oranını düşürmektedir. (Djajadi vd. 2011). Böylece toprakta depolanan su hacmi artmakta ve dolaylı olarak bitki dokularındaki su içeriği de yükselmektedir. Bokashi gübresinin ayrıca kök uzunluğu ve kök ağırlığını

artırarak bitki kök gelişimini teşvik ettiği belirlenmiştir (Xu vd. 2000). Organik madde, N, P, K ve diğer mikro elementlerin kaynağı olarak toprak yapısını iyileştirmek için bir granülör görevi göstermektedir. Bu sayede iyileştirilen toprak yapısı, daha sağlıklı bir kök gelişimi ile sonuçlanmakta ve bitkilerin daha geniş bir toprak hacminden besin maddesi almasını kolaylaştırmaktadır. Bu durum fotosentez sürecini optimum düzeyde desteklemektedir (Shaheen vd. 2007). Efthimiadou vd. (2010) tarafından bildirilen inek gübresi-nin tatlı mısırdaki fotosentez oranının inorganik gübrelere karşılaştırıldığında artırabileceği sonucu ile organik gübre olan bokashi uygulaması ile fotosentez pigmentlerinin artışı tutarlıdır. Fotosentez hızının artması, besin rezervlerinin artmasıyla sonuçlanan biyokütle üretiminin yükselmesine katkı sağlamaktadır (Liu vd. 2017, Munyahali vd. 2017). Bokashi uygulaması toplam N, P ve K besin içeriğini artırma eğiliminde olduğundan, inorganik gübrelere kullanımı-nı tavsiye edilen dozların altına düşürecektir. Artan dozların, özellikle toprakların organik maddenin emilimini artırabileceğini göstermiştir. Böylece, mikroorganizmalar tarafından mineralizasyon yoluyla açığa çıkan besin elementlerinin tutulması artacaktır. Bu durum, bitki köklerinin, bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için ihtiyaç duyulan besinleri kolaylıkla almasına, bitkinin gelişimine yardımcı olacaktır.

3.2. Bokashi Uygulamasının Toprağın Biyolojik Özelliklerine Etkisi

Bokashi uygulaması topraktaki mikroorganizma sayısını etkilemiştir ($p < 0.05$) (Çizelge 2). Çalışmamızda bokashi-nin artan dozları, kontrol grubuna kıyasla topraktaki top-

lam fungi sayısını artırmıştır. Bununla birlikte, bokashinin %32'lik uygulama dozunda ise topraktaki toplam bakteri sayısında düşüş belirlenmiştir. Bu azalış, topraklardaki fungal popülasyondaki hızla artış nedeniyle bakteri popülasyonunu baskılamasından kaynaklanabilir. Bokashi gübresi gibi organik gübrelerin topraklara uygulanması ile topraklardaki azot fikse eden bakteriler ve fosfat çözücü bakteriler gibi yararlı mikroorganizmaların popülasyonunun arttığı, toprağa eklenen organik gübrenin toprak organizmaları için besin ve enerji kaynağı görevi gördüğü yapılan çalışmalarda açıklanmıştır (Zhang vd. 2017). Organik gübreler toprak organizmalarının çeşitliliğini ve popülasyonunu artırarak, artan mikrobiyal aktiviteyle karakterize edilen toprak verimliliğini artırarak toprağın biyolojik özelliklerini değiştirmede rol oynar (Lasmini vd. 2018, Zhang vd. 2017). Elde edilen bulgular, mikroorganizma yoğunluğundaki artışın bokashi uygulamasına bağlı olduğunu gösteren literatürle uyumludur. Kontrole göre artan dozlarda bokashi uygulaması, rizosferin üreaz, dehidrogenaz, glukosidaz enzim aktiviteleri ile CO₂ içeriğini artırmıştır (Çizelge 2). Toprakta mikrobiyal aktivitenin artması bitki büyümesi ve verimin artması için önemli roller oynayabilir. Bokashi; mikroorganizma sayısında, mikrobiyal karbon biyokütlesinde, bazal toprak solunumunda önemli bir artışa neden olan mikrobiyal aktiviteyi uyarmıştır (Quiroz ve Cespedes 2019). Bazı heterotrofik ve fototrofik prokaryotlar, alg ve funginin oksin, gibberellin ve sitokinin gibi fitohormonları sentezleyebildiği (Quiroz ve Cespedes 2019) ve bu mikroorganizmaların, Bokashi nedeniyle kolonize olmaları durumunda bitkiler için büyüme hızlandırıcıları olarak hareket edebileceği bilinmektedir (Liu vd. 2017).

Toprakta %25, %50 ve %66 oranlarında kompost, solucan gübresi ve bokashi uygulandığında kahve (*Coffea arabica* L.

cv. 'Bourbon') ağacının gelişimi ve topraktaki mikorizal kolonizasyon ile asit ve alkali fosfataz, üreaz aktivitesi değerlendirilmiştir (Gomez-Velasco vd. 2014). Araştırmacılar %25 ve daha yüksek oranda bokashinin (%50 veya %66) kahve ağacının gelişiminde olumlu etkisini belirlemişler, sürgün yaş ağırlığının, organik gübre kullanılmayan kontrol bitkilerine kıyasla 5 kat, %50 uygulandığında 8 kat ve %66 uygulandığında 10 kat arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca yüksek dozlardaki uygulamalar; kökün mikorizal kolonizasyonunu, toprağın asit ve alkalik fosfataz ile üreaz aktivitesini artırmıştır. Bokashi düşük maliyetli bir fertigasyon ürünü olduğundan ve hazırlanması nispeten kolay olduğundan, daha yüksek verim elde edilip edilemeyeceğini öğrenmek için %10'dan daha yüksek konsantrasyonlarda araştırılmasının daha uygun olacağı Hata vd. (2021) tarafından bildirilmiştir. Ayrıca, araştırmacılar bokashi uygulamalarının domates hastalıkları ve zararlıları üzerindeki etkilerini değerlendirmişler, bokashinin %10'luk doz uygulamasının hem hastalık şiddetini azalttığını hem de domates verimini artırdığını tespit etmişlerdir. Aynı zamanda artan dozlarda hastalık şiddetini tetikleyebileceğini de belirtmişlerdir (Alyokhin vd. 2020; Hata vd. 2021).

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmamız bokashi uygulamasının *Melissa officinalis* L. fiderlerinin vejetatif gelişimi ile rizosfer bölgesindeki biyolojik aktivite üzerine olumlu etkilerini ortaya koymuştur. Özellikle %16 ve %32 bokashi dozları, bitki boyu, kök uzunluğu, klorofil içeriği, kök yaş ağırlığı ve toprak enzim aktivitelerinde anlamlı artış sağlamıştır. Ayrıca, bokashi uygulaması toplam mikroorganizma sayısını artırırken, bazı dozlarda bakteri-fungi dengesi üzerinde etkili olduğu tespit edilmiş-

Çizelge 2. Bokashi uygulama dozlarının toprak enzim aktiviteleri ve mikroorganizma sayısı üzerindeki etkileri.

Uygulama dozu (%)	Üreaz (mg/100 g toprak)	Dehidrogenaz (µgTPF/g toprak)	β-glukosidaz (µg-p nitrofenol/g toprak)	CO ₂ üretimi (mg CO ₂ -C/50g toprak)	Küf+maya (x10 ⁴ cfu/g toprak)	Toplam bakteri (x10 ⁶ cfu/g toprak)
Kontrol	0.82 f	7.76 f	0.59 f	2.9 f	0.71 f	1.12 e
2	1.27 e	19.2 e	5.9 e	9.8 e	1.53 e	3.60 bc
4	1.59 d	26.8 d	10.8 d	13.1 d	2.23 d	3.10 c
8	2.80 d	38.9 c	13.4 c	14.1 c	5.03 c	4.17 b
16	4.14 b	48.2 b	17.07 b	15.8 b	6.27 b	6.27 a
32	6.07 a	67.6 a	25.6 a	17.3 a	8.33 a	2.33 d
LSD (p<0.05)	4.9	6.2	0.7	0.9	0.4	0.7

Farklı harfler birbirinden farklı olan değerleri göstermektedir.

tir. Bu sonuçlar, bokashi'nin sürdürülebilir tarım uygulamaları kapsamında ekolojik gübre alternatifi olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Aşırı sentetik gübre kullanımının ekosistem sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri göz önünde bulundurulduğunda, bokashi gibi organik gübrelerin kullanımı, çevre dostu üretim sistemleri açısından önem arz etmektedir. Bokashi uygulamasının uzun vadeli toprak sağlığına etkileri ile diğer tıbbi aromatik bitkiler üzerindeki potansiyel faydalarının da değerlendirilmesi önerilmektedir.

Yazar katkısı: Çiğdem Küçük, Göksal Sezen, Abdul Cenap Cevheri: çalışmayı planlamış ve tasarlamıştır, Çiğdem Küçük, Göksal Sezen, Abdul Cenap Cevheri: Çalışma hakkında verileri toplamış ve analiz etmiştir, Çiğdem Küçük, Göksal Sezen, Abdul Cenap Cevheri: Çalışmanın analizlerini yaparak makaleyi yazmıştır.

Etik kurul onayı: Bu çalışma için etik kurul onayı alınmasına gerek yoktur.

5. Kaynaklar

- Abed El-Hamied, SA. 2014.** Effect of multi-ingredient of Bokashi on productivity of mandarin trees and soil properties under saline water irrigation. *IOSR J. Agric. Vet. Sci.*, 7: 79–87. Doi:10.9790/2380-071127987
- Alvarez-Solis, JD., Mendoza-Nunez, JA., Leon-Martinez, NS., Castellanos-Albores J., Gutierrez-Miceli, FA. 2016.** Effect of bokashi and vermicompost leachate on yield and quality of pepper (*Capsicum annuum*) and onion (*Allium cepa*) under monoculture and intercropping cultures. *Cienc. e Investig. Agrar.*, 43:243–252. Doi:10.4067/S0718-16202016000200007
- Alyokhin, A., Nault, B., Brown, B. 2020.** Soil conservation practices for insect pest management in highly disturbed agroecosystems—a review. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 168:7–27. Doi:10.1111/eea.12863
- Anderson, JPE. 1982.** Soil respiration. In: methods of soil analysis, part 2, chemical and microbiological properties (Ed. A.L. Page). ASA-SSSA, Madison, Wiscinsin. pp. 831–871.
- Anhar, A., Junialdi, R., Zein, A., Advinda, L., Leilani, I. 2018.** Growth and tomato nutrition content with Bandotan (*Ageratum Conyzoides* L) bokashi applied. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.* 335:1–9. Doi: 10.1088/1757-899X/335/1/012017
- Anonim, 2022.** Melisa tarımı ve endüstrisi. Fizibilite raporu. Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı s.58 <https://baka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/melisa-tarimi-ve-endustrisi-fizibilite-raporu.pdf>
- Arnon, D.T. 1949.** Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.*, 24:1–15. Doi:10.1104/pp.24.1.1
- Batubara, S. 2015.** Growth response and yield of maize and soybean in intercropping to the urban waste compost and rock phosphate. *Int. J. Sci. Res.*, 6:2319–7064.
- Barajas-Aceves, M. 2016.** Organic waste as fertilizier in semiarid soils and restoration in mine sites. Marcelo L. Larramendy and Sonia Soloneski [eds.], *Organic fertilizers—from basic concepts to applied outcomes*. InTech., 243–271 p. Doi: 10.5772/62665
- Djajadi, J., Heliyanto, B., Hidayah, N. 2011.** Changes of physical properties of sandy soil and growth of physic nut (*Jatropha curcas* L.) due to addition of clay and organic matter. *Agrivita*, 33:245–250. Doi:10.17503/agrivita.v33i3.75
- Dumanoğlu, E., Çakmak, B. 2017.** Oğulotu (*Melissa officinalis* L.) tohumunun kaplanması ve pelletlenmesinin tohum kalitesi üzerine etkileri. *Tarım Mak. Bil. Dergisi*, 13:87–92.
- Efthimiadou, A., Bilalis, D., Karkanis, A., Froud-Williams, B. 2010.** Combined organic/inorganic fertilization enhance soil quality and increased yield, photosynthesis, and sustainability of sweet maize crop. *Aust. J Crop Sci.*, 4:722– 729.
- Erdal, İ., Yaylacı, C., Türkan, Ş.A., Merji, R. 2024.** Sığır Gübresi ve Sığır Gübresi Kaynaklı Bokashi Kompostlarının Marulun Gelişimi ve Yaprak SPAD Değerlerine Etkisi. *Isparta. Üniv. Ziraat Fak. Der.*, 19:85–93. Doi:10.54975/sduzfd.1591463
- Gomez-Velasco, DA., Alvarez-Solis, JD., Ruiz-Valdiviezo, VM., Abud-Archilla, M., Montes-Molina, JA., Dendooven, L., Gutierrez-Miceli, FA. 2014.** Enzymatic activities in soil cultivated with coffee (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon') and amended with organic material. *Comm. Soil Sci Plant Anal.*, 45:2529–2538 Doi:10.1080/00103624.2014.932375
- Hata, FT., Ventura, MU., de Freitas Fregonezi, GA., de Lima, RF. 2021.** Bokashi, boiled manure and penergetic applications increased agronomic production variables and may enhance powdery mildew severity of organic tomato plants. *Horticulturae*, 7(2):27. Doi:10.3390/horticulturae7020027
- Hata, FT., Ventura, MU., Sousa, V., Fregonezi, GAF. 2019.** Low-cost organic fertilizations and bioactivator for arugula-radish intercropping. *Emirates Journal of Food & Agri.*, 31: 773–778. Doi:10.9755/ejfa.2019.v31.i10.2018
- Hernandez, MIS., Gómez-Álvarez, R., Rivera-Cruz, M., del Cruz, R., Álvarez-Solis, JD., Pat-Fernández, JM., Ortiz-García, CF. 2014.** The influence of organic fertilizers on the chemical properties of soil and the production of *Alpinia purpurata*. *Cienc e Investig Agrar.* 41:215–224 Doi:10.4067/S0718-16202014000200008
- Hoffmann, G., Teicher, K. 1961.** Colorimetric method for the determination of the urease activity in soil. *Zeit. Pflanzenernachr. Dung. Bodenkunde.* 95:55–63.
- Karimuna, L., Rahni, NM., Boer, D. 2016.** The use of bokashi to enhance agricultural productivity of marginal soils in Southeast Sulawesi, Indonesia. *J. Trop Crop Sci.*, 3: 1–6 Doi: 10.29244/jtcs.3.1.1–6

- Kazemeini, SA., Hamzehzarghani, H., Edalat, M. 2010.** The impact of nitrogen and organic matter on winter canola seed yield and yield components. *Aust J Crop Sci.* 4: 335- 342
- Küçük, Ç., Pek, S. 2025.** Vermikompost ve sıvı deniz yosunu ekstraktı uygulamalarının arpa (*Hordeum vulgare* L.) rizosferinde mikrobiyal solunum ve β -glukosidaz aktiviteye etkisi. *Manas J. of Agri. Vet. Life Sci.* 14 (2):125-133. Doi:10.53518/mjavl.1463512
- Lasmini, SA., Nasir, B., Hayati, N., Edy, N. 2018.** Improvement of soil quality using bokashi composting and NPK fertilizer to increase shallot yield on dry land. *Australian Journal of Crop Science.* 12:1743-1749. Doi: 10.21475/ajcs.18.12.11.p1435
- Liu, X., van Groenigen, K., Dijkstra, P., Hungate, B. 2017.** Increased plant uptake of native soil nitrogen following fertilizer addition – not a priming effect? *Appl Soil Ecol.* 114: 105–110. Doi: 10.1016/j.apsoil.2017.03.011
- Maeda, K., Hanajima, D., Toyoda, S., Yoshida, N., Morioka, R., Osada, T. 2011.** Microbiology of nitrogen cycle in animal manure compost. *Minireview Microbial Biotechnol* 6:700–709. Doi: 10.1111/j.1751-7915.2010.00236.x
- Mathews, IM., Eastwood, J., Lamport, DJ., Cozannet, RL., Fanca-Berthon, P., Williams, CM. 2024.** Clinical Efficacy and Tolerability of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.) in Psychological Well-Being: A Review. *Nutrients*, 16: 3545. Doi:10.3390/nu16203545
- Mayer, J., Scheid, S., Widmer, F., Fließbach, A., Oberholzer, HR. 2010.** How effective are 'effective microorganisms® (EM)'? Results from a field study in temperate climate. *Appl Soil Ecol.*, 46:230–239. Doi:10.1016/j.apsoil.2010.08.007
- Munyahali, W., Pypers, P., Swennen, R., Walangululu, J., Vanlauwe, B., Merckx, R. 2017.** Responses of cassava growth and yield to leaf harvesting frequency and NPK fertilizer in South Kivu, Democratic Republic of Congo. *Field Crops Res.*, 214:194–201. Doi:10.1016/j.fcr.2017.09.018
- Murillo-Amador, B., Morales-Prado, LE., Troyo-Diéguez, E., Córdoba-Matson, MV., HernándezMontiel, LG., RuedaPuentes, EO., Nieto-Garibay, A. 2015.** Changing environmental conditions and applying organic fertilizers in *Origanum vulgare* L. *Front Plant Sci.* 6:549. Doi:10.3389/fpls.2015.00549
- Pangaribuan, D., Pratiwi, H., Lismawanti, OL. 2011.** Pengurangan pemakaian pupuk anorganik dengan penambahan bokashi serasah tanaman pada budidaya tanaman tomat (the reduction of inorganic fertilizers using the addition of plant bokashi in the tomato cultivation. *J Agron Ind.* 39: 173– 179. Doi: 10.24831/jai.v39i3.14960
- Pei-Sheng, Y., Hui-Lian, X. 2002.** Influence of EM bokashi on nodulation, physiological characters and yield of peanut in nature farming fields. *J. Sustain. Agric.*, 19:105–112. Doi:10.1300/J064v19n04_10
- Pepper, IL., Gerba, CP., Brendecke, JW. 1995.** Environmental microbiology: a laboratory manual. Academic Press Inc. New York, USA
- Phooi, CL., Azman, EA., Ismail, R. 2022.** Role of organic manure bokashi improving plant growth and nutrition: A Review. *Sarhad J. of Agri.*, 38:1160-1546. Doi:10.17582/journal.sja/2022/38.4.1478.1484
- Quiroz, M., Cespedes, C. 2019.** Bokashi as an Amendment and Source of Nitrogen in Sustainable Agricultural Systems: a Review. *J Soil Sci Plant Nutr* 19:237–248. Doi:10.1007/s42729-019-0009-9
- Ryals, R., Kaiser, M., Torn, MS., Berhe, AA., Silver, WL. 2014.** Impacts of organic matter amendments on carbon and nitrogen dynamics in grassland soils. *Soil Biol Biochem* 68:52–61. Doi: 10.1016/j.soilbio.2013.09.011
- Santos, CC., Veira, MC., Zarate, NAH., Carnevali, TO., Gonçalves, WV. 2020.** Organic Residues and Bokashi Influence in the Growth of *Alibertia edulis*. *Floresta e Ambiente* 27(1): e20171034 Doi:10.1590/2179-8087.103417
- Shaheen, A., Fatma, M., Rizk, A., Singer, SM. 2007.** Growing onion plants without chemical fertilization. *Res J Agr Biol Sci.* 3:95-104.
- Silva, MA., Santos, CM., Vitorino, HS., Rhein, AF. 2014.** Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 30:173-181
- Tabatabai, MA. 1982.** Soil Enzymes. In: Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R., Eds., *Methods of Soil Analysis*, ASA, SSSA, Publisher, Madison, WI, 903-947.
- Tiquia, SM. 2002.** Microbial transformation of nitrogen during composting. In: Insam H, Riddech N, Klammer S (eds) *Microbiology of composting*. Springer, New York (NY), pp 237–246
- Uka, UN., Chukwuka, KS., Iwuagwu, M. 2013.** Relative effect of organic and inorganic fertilizers on the growth of Okra *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. *J Agri Sci.*, 58 :159- 166. Doi: 10.2298/JAS1303159U
- Xu, HL., Wang, R., Mridha, MAU. 2000.** Effects of organic fertilizers and a microbial inoculant on leaf photosynthesis and fruit yield and quality of tomato plants. *J. Crop Prod.*, 3:173– 182. Doi:10.1300/J144v03n01_15
- Zhang, K., Chen, L., Li, Y., Brookes, P., Xu, J., Luo, Y. 2017.** The effects of combinations of biochar, lime, and organic fertilizer on nitrification and nitrifiers. *Biol Fertil Soils*, 53: 77-87. Doi: 10.1007/s00374-016-1154-0
- Zucco, MA., Walters, SA., Chong, SK., Klubek, BP., Masabni, JG. 2015.** Effect of soil type and vermicompost applications on tomato growth. *Int J Recyc Org Waste Agric.*, 4:135–141 Doi: 10.1007/s40093-015-0093-3