



Bitki Gelişimini Teşvik Edici Bakterilerin Şam Çörek Otunda (*Nigella damascena* L.) Bazı Bitkisel Özellikler Üzerine Etkisi

Sevim AKÇURA^{1*}, Ramazan ÇAKMAKÇI¹

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Çanakkale

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): sevimakcura@yahoo.com

Özet

Bu araştırma, kontrol (bakteri ve gübresiz), kimyasal gübre, çiftlik gübresi, bir bitki büyüme düzenleyicisi (IAA), iki ticari mikrobiyal gübre (BMusaVita ve BMusaGreen) ve azot fikseri, fosfat çözücü, ACC deaminaze ve indol asetik asit üretici bakterilerden oluşturulan altı tekli, bir ikili, dört üçlü ve iki adet dördü bakteri formülasyonu aşılmasının Balıkesir Burhaniye’de tarla koşullarında *Nigella damascena* çörek otu türünde bitki boyu, dal sayısı, toplam kapsül sayısı, kapsüldeki tohum sayısı, kapsülde tohum ağırlığı, bitki tane verimi üzerine etkisinin test edilmesi amacıyla iki yıl süreyle yürütülmüştür. Denemeler toplamda 19 uygulama ile tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. BMusaVita, BMusaGreen, RC512 ve RC481 uygulamaları incelenen özelliklerin tamamında, her bir özelliğin genel ortalamasının üzerinde değerlere sahip olmuşlardır. Biplot analizinde kapsülde tohum sayısı ve kapsülde tohum ağırlığı bir grup oluştururken, bitki boyu, bitki tohum verimi, dal sayısı ve kapsül sayısı ikinci bir grup oluşturmuştur. İncelenen özelliklerin yer aldığı bölümlerde RC502, kimyasal gübre, RC481, BMusaGreen, BMusaVita ve RC481+RC210+RC32+RC502 uygulamaları köşegen olarak diğer uygulamalardan ayrılmıştır. En iyi uygulamayı belirlemek için oluşturulan biplot grafiğinde ideal uygulama bölgesine en yakın konumda RC481, BMusaGreen ve BMusaVita uygulamaları yer alırken, bu uygulamaları RC512, RC210, RC536+RC542+RC65+RC502 ve kimyasal gübre uygulamaları takip etmiştir. Bu uygulamalardan RC481 uygulamasının kimyasal gübreyle alternatif olarak çörek otu yetiştiriciliğinde biyolojik gübre olarak kullanılabilir potansiyelinin olduğu değerlendirilmiştir.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi

Geliş Tarihi :01.03.2023
Kabul Tarihi :05.04.2023

Anahtar Kelimeler

Çörek otu
Nigella damascena
bitki tohum verimi
bitkisel özellikler

The Effect of Plant Growth Promoting Bacteria on Some Plant Traits in Black Cumin (*Nigella damascena* L.)

Abstract

The objective of this study was to evaluate possible effects of control (without inoculation and any fertilizer application) chemical fertilizer, farmyard manure, one plant growth regulators (IAA), two commercial liquid bio-fertilizer (BMusaVita and BMusaGreen) and IAA-producing, ACC deaminase-containing, N₂-fixing, and P-solubilizing bacteria based bio-fertilizers in six single, one dual, four triple, and two quadruple combinations plant height, number of branches, total number of capsules, number of seeds in capsule, seed weight in capsule, plant grain yield of *Nigella damascena* black cumin genotype under field conditions of Burhaniye/Balıkesir, in two years. The experiments were arranged to completely randomized block design with nineteen treatments and three replicates. BMusaVita, BMusaGreen, RC512 and RC481 applications had values above the general average of each feature in all of the examined features. In the biplot analysis, the number of seeds in the capsule and the weight of the seeds in the capsule formed a group, while plant height, plant seed yield, number of branches and number of capsules formed a second group. RC502, chemical fertilizer, RC481, BMusaGreen, BMusaVita and RC481+RC210+RC32+RC502 applications are diagonally separated from other applications in the sections where the examined features are included. In the biplot created to determine the best practice, RC481, BMusaGreen and BMusaVita applications were located closest to the ideal application area, followed by RC512, RC210, RC536+RC542+RC65+RC502 and chemical fertilizer applications. From these applications, it can be evaluated that RC481 application has the potential to be used as a biological fertilizer in black seed cultivation as an alternative to chemical fertilizer.

Research Article

Article History

Received :01.03.2023
Accepted :05.04.2023

Keywords

Black cumin
Nigella damascena
plant seed yield
vegetative characteristics

1.Giriş

Nigella cinsi, *Ranunculaceae* (dügün çiçekliler) familyasına ait yaklaşık 22 türden oluşan tek yıllık bitkilerden içine alır (Helvacıoğlu ve ark., 2021). *Nigella* terimi, çoğu *Nigella* türünde tohumların yoğun siyah rengine bir gönderme olan Latince "niger"den gelir, en iyi bilinen *Nigella sativa* L. ve *Nigella damascena* L. (Margout ve ark., 2013; Salehi ve ark., 2021) türleridir. *Nigella damascena* türü *Nigella sativa* kadar üzerinde çalışılmış bir tür değildir (Kokoska, 2011). *Nigella damascena*'nın tohumları hafif aromatik bir tat taşır, kek ve bisküvileri süslemek için kullanılmaktadır (Niu ve ark., 2020). Günümüzde genellikle koyu mavi, mor kırmızı veya beyazımsı çiçeğe sahip türler süs bitkisi olarak ta tercih edilmektedir (Toma ve ark., 2015). *Nigella damascena* tohumlarının, analjezik, diüretik, ateş düşürücü, solucan düşürücü ve dezenfektan etkileri ile adet düzenleyici ve mukozal affeksiyonları düzenlemek için geleneksel tıpta kullanıldığı ifade edilmiştir (Fico ve ark., 2001). Ayrıca tohumunun aromatik özelliğinden dolayı ekmek ve peynir hazırlarken aromatik ajan olarak geniş bir kullanım alanı olduğu bildirilmiştir (Badalamenti ve ark., 2022). Günümüzde özellikle sürdürülebilir tarımda doğal dengeyi bozmadan, çevreye saygılı, su gibi değerli bir kaynağı koruyarak, sentetik tarım kimyasallarını kademeli olarak azaltarak, bitki gelişimini teşvik edici mikroorganizmaların biyolojik ve genetik potansiyelini kullanarak, geleneksel organik tarım tekniklerini benimseyerek verimli, sağlıklı ve kaliteli ürün yetiştirmek en önemli hedeflerdendir (Harish ve ark., 2009).

Sürdürülebilir tarım sistemlerinde kimyasal gübre kullanımını azaltmak ve kaliteli ürün üretmek için en önemli kullanılabilecek kaynak bitki gelişimini teşvik edici mikroorganizmalardır. Mikroorganizmalar, sürdürülebilir tarım

sistemi açısından oldukça önemlidir (Zandi ve Basu, 2016). Bu mikroorganizmalar biyogübre olarak kullanılabilirler, çözücü enzimler üretebilir, mineral çözücü ajanlar ve biyokontrol ajanları olarak işlev görebilirler ve biyolojik fungusit olarak kullanılabilirler (Singh ve ark., 2011). Bitki gelişmesini teşvik eden rizobakteriler (BGTB)'in, bitki köklerinin yüzeyinde faydalı bir şekilde yaşadığı (Woitke ve Schitzler, 2004) ve bitki büyümesini doğrudan veya dolaylı mekanizmalarla etkiledikleri ifade edilmiştir (Heidari ve Golpayegani, 2012). Bazı bakteri suşlarının, bitki hormon sentezini taklit ederek bitki fizyolojisini doğrudan düzenlediği, bazılarının ise toprakta mineral besin maddeleri ile azotun daha fazla kullanılabilir olmasını sağlayarak büyümeyi artırdığı bildirilmiştir (Yasmin ve ark., 2007). Bunlara ilave olarak bazı mikroorganizmaların arbusküler mikoriza ile simbiyotik ilişki oluşturarak bitki büyümesini teşvik ettiği tespit edilmiştir (Andrade ve ark., 1997).

Son yirmi yılda, mikroorganizmalar ile bitkiler arasındaki ilişkilerde elde edilen önemli kazanımlar sayesinde, biyogübre veya biyoinkulant terimi yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Biyogübrelerde bulunan mikroorganizmaların, bitkilerde verimliliği artırmak için çeşitli mekanizmalar kullandığı, bu mekanizmaların bazılarının, azot sabitleme, fosfat çözünmesi ve bitki büyümesini teşvik etme gibi özelliklerin en az birisinden veya tüm bu özelliklerin kombinasyonu sonucu ortaya çıktığı bildirilmiştir (Bhardwaj ve ark., 2014; Zandi ve Basu, 2016). Yukarıdaki açıklamalara ilave olarak biyogübreler biyolojik olarak atmosferik azotu sabitleyebilir, bitkilerin ihtiyaç duyduğu fosfat, çinko ve potasyum gibi besin maddelerini çözebilir ve ayrıca çeşitli hormonları da içeren bitki büyümesini teşvik eden maddeleri salgılayabilirler (Borkar, 2015; Kumar ve ark., 2018; Çakmakçı ve ark., 2010). Ayrıca, tohum

veya toprağa uygulandığında, biyogübreler çoğalabilir, besin döngüsüne katılabilir ve sürdürülebilir tarımda verimliliği artırabilirler (Singh ve ark., 2011; Itelima ve ark., 2018)

Mikrobiyal inokülanlar, kimyasal muadillerine kıyasla birçok avantaja sahiptirler (Çakmakçı, 2009). Çevre dostudurlar. Toprak sağlığı ve biyolojisi için gerekli olan yenilenebilir besin maddelerinin güvenilir kaynaklarıdır (Bhardwaj ve ark., 2014; Sun ve ark., 2020). Ayrıca, birçok tarımsal patojenlere karşı antagonistik aktivite sergiler ve abiyotik streslere karşı mücadele ederler (Ilangumaran ve Smith, 2017). Farklı mikrobiyal taksonlar, bitki besin elementlerinin toprakta alınabilirliğini ve bitkilerce alımını artırma, atmosferik azotu sabitleme ve biyokontrol ajanları olarak işlev görme yetenekleri dolayısıyla ticari biyogübre olarak kullanılmışlardır (Schütz ve ark., 2018).

Tüm dünyada çeşitli endüstriler arasında tarım endüstrisi, sadece hayatta kalma açısından önemli bir rol oynamakla kalmaz, aynı zamanda artan nüfusun ve ekonomik ihracatın taleplerini karşılamayı da sağlar. Yeşil devrimden sonra tarım endüstrisinde özellikle yetiştirilen ürünlerde verim artışları sayesinde önemli gelişmeler elde edilmiştir. Ancak bu durum çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Kimyasal gübreler toprak ve çevre sağlığına zarar verirken, biyogübreler doğal ürünlerdir ve ekosisteme tehdit oluşturmazlar. Bu nedenle, uzun vadeli toprak verimliliğini yönetmek ve verimliliği sürdürmek için doğal ürünler temelli gübreler, sürdürülebilir tarımın ayrılmaz ve hayati bir bileşeni olmaktadır. Son on yılda, küresel olarak sürdürülebilir tarım için agrokimyasalların yerine biyolojik inokülanların artan kullanımı nedeniyle kaçınılmaz bir devrim yaşanmıştır (Basu ve ark., 2021). Bitki gelişimini teşvik edici

bakterilerin kullanımı, doğru miktarlarda ve uygun türlerle yapıldığında, tarımsal verimliliği artırabilir ve kimyasal gübrelerin neden olduğu çevresel etkileri azaltabilir. Ancak, bu tür uygulamaların etkinliği, toprak tipi, bitki türü ve iklim gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Dolayısıyla, bu bakterilerin tarımda kullanımı konusunda bilimsel araştırmalara dayanarak uygulamaları yapmak önemlidir.

Bu çalışma, *Nigella damascena* L. türüne ait bir genotipte bazı bitkisel özellikler üzerine bitki büyüme düzenleyicisi indol asetik asit, hayvansal gübre, kimyasal gübre, ticari mikrobiyal gübre ve tekli ve kombinasyon halinde bitki gelişimini teşvik edici bakterilerin etkisinin belirlemesi amacıyla 2019-2020 ve 2020-2021 yetiştirme sezonlarında Kasım ve Temmuz ayları arasında Balıkesir-Burhaniye koşullarında yürütülmüştür. Araştırmada İndol-3 asetik asit, kimyasal, hayvansal ve ticari mikrobiyal gübre ve gübresiz kontrole kıyasla, farklı kaynaklardan izole edilmiş azot fikseri, fosfat çözücü ve ACC deaminaze ve indol asetik asit üretici bakterilerden oluşturulan altı tekli, bir ikili, dört üçlü ve iki adet dördü yeni orijinal bakteri formulasyonu aşılması test edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Deneme yeri, toprak ve iklim özellikleri

Araştırma Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Kırsal Hizmetler Daire Başkanlığına bağlı Çiftçi Eğitim Şube Müdürlüğü (BAÇEM)'nün Burhaniye ilçesindeki uygulama alanında yürütülmüştür. Deneme alanı, 39°52'N kuzey enlemi (latitude), ile 27°01'E doğu boylamında (longitude) olup denizden yüksekliği (altitude) 12,0 m'dir. Denemelerin yürütüldüğü tarlanın bazı toprak özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneme alanının 0-30 cm derinliğindeki bazı toprak özellikleri

Analiz*	Birim	Değer	Derece
Toprak tepkimesi (pH)	1:2,5 Toprak:saf su	7.4	Hafif alkali
Suda eriyebilir tuz (EC)	dS/m	0.223	Tuzsuz
Kireç	%	1.57	Çok az kireçli
Organik madde	%	0.7	Çok az
Bünye	%Kum	60.67	
	%Silt	24	Kumlu tın
	%Kil	15.3	
Toplam azot	%	0.006	Çok az
Alınabilir fosfor	ppm	5.27	Az
Alınabilir potasyum	ppm	20.72	Az
Alınabilir mangan	ppm	3.33	Yeterli
Alınabilir magnezyum	ppm	323.56	Yeterli
Alınabilir demir	ppm	8.38	Fazla
Alınabilir çinko	ppm	0.46	Yeterli
Alınabilir bakır	ppm	0.82	Yeterli

*Toprak analizleri Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nde yapılmıştır.

Tabloda görüldüğü gibi, deneme alanı pH'sı 7,4 olduğu için hafif alkali sınıftadır. Deneme tarlası tuz seviyesi düşük (<4 dS/m), organik madde içeriği çok az (%0,7) olan kumlu tın bünyeye sahip toprak yapısındadır. Deneme alanı toprağı fosfor, potasyum ve toplam azot içeriği yönünden

yetersiz iken, incelenen mikro elementlerin çoğunluğu yönünden yeterlidir (Tablo 1). Çalışmanın yürütüldüğü Balıkesir İli Burhaniye İlçesinin uzun yıllar (1938-2021) ve denemenin yürütüldüğü 2019-2020 ve 2020-2021 yetiştirme sezonlarına ait aylık bazı iklim verileri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmanın yürütüldüğü Balıkesir İli Burhaniye ilçesinin uzun yıllar (1938-2021), 2019-2020 ve 2020-2021 yetiştirme sezonlarına ait aylık bazı iklim verileri

	Uzun Yıllar (1938-2021)							
	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
OS (°C)	11.6	8.6	6.8	7.1	9.6	14.1	19.2	23.8
Yağış (mm)	95	124	113	106	82	67	45	29
Nem (%)	67	69	67	63	62	59	55	49
EDS (°C)	9	5	4	4	5	9	12	16
EYS (°C)	17	12	10	11	14	19	25	29
2019-2020 Yetiştirme Sezonu								
OS (°C)	15.8	10.3	7.2	9.3	11.8	14	19.9	23.6
Yağış (mm)	31	78.8	44.6	83.8	14.6	32.6	57.8	24.4
Nem (%)	77	74.8	67.8	69.6	67	56.5	60.1	58.3
EDS (°C)	10.8	6.5	3.3	4.6	6.7	8.2	13	17.2
EYS (°C)	21.9	15.1	14.5	15	14.8	20.2	27.4	30.2
2020-2021 Yetiştirme Sezonu								
OS (°C)	13.4	11.7	9.9	9.5	9.1	14.2	20.8	24.1
Yağış (mm)	0	65.8	182.2	63.2	93	50.4	14.6	26
Nem (%)	61.2	74.5	73.3	68.3	66.3	66.2	55.6	55.2
EDS (°C)	9.4	7.4	5.9	4.8	4.1	8.5	14	17.6
EYS (°C)	18.5	16.3	14.5	15	14.8	20.2	27.4	30.2

OS: Ortalama Sıcaklık, EDS: En Düşük Sıcaklık, EYS: En Yüksek Sıcaklık

Denemenin yürütüldüğü Burhaniye ilçesinde 2019-2020 ve 2020-2021 yetiştirme sezonlarında sırasıyla 367.6 ve 495.2 mm yağış kaydedilmiştir. Her iki

yetiştirme sezonunda kaydedilen yağış miktarı uzun yıllar ortalaması olan 661 mm'den düşük gerçekleşmiştir. Denemeler her iki yetiştirme sezonunda 4 Kasım'da

ekilmiştir. Ekim işleminin gerçekleştirildiği bu ayda birinci sezonda 31 mm, ikinci sezonda ise hiç yağış kaydedilmemiştir. İkinci yetiştirme sezonunda ekimden sonra homojen bir çıkış gerçekleşmesi için yağmurlama sulama ile yaklaşık olarak 30 mm su miktarı olacak şekilde sulama yapılmıştır. Kasım ayındaki ortalama sıcaklık yönünden değerlendirme yapılacak olursa, birinci yetiştirme sezonunda 15.8 °C, ikinci yetiştirme sezonunda ise 13.4 °C sıcaklık kaydedilmiştir. Bu değerler uzun yıllar ortalaması olan 11.6 °C'den yüksektir.

Her iki yetiştirme sezonunda Mart ayı hariç tüm aylarda düşen yağış miktarı uzun yıllar ortalamasına benzer gerçekleşmişken, Mart ayında birinci yetiştirme sezonunda 14.6 mm yağış kaydedilmiştir. İlave olarak 2020-2021 sezonunda Ocak ayında kaydedilen, yağış miktarı 182.2 mm ile uzun yıllar ortalamasından oldukça yüksek gerçekleşmiştir (Tablo 2).

2.2. Bitkisel materyal ve bakteri streinlerinin bazı özellikleri

Araştırmada kullanılan *Nigella damascena* türüne ait genotip Suriye'den temin edilmiş olan popülasyondan 2015 ve 2016 yıllarında ÇOMU Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nde teksel seleksiyon ile geliştirilmiştir. Bu genotip, rozet döneminde koyu yeşil renkli yatık gelişen yaprak formuna sahip, yan dal oluşturma eğiliminde ve mavi renkli çiçeklidir. Ana dallardakilere göre yan dallardaki meyveler daha geç olgunlaşmaktadır. Meyvelerin üzerinde antosiyanin vardır. Olgunluk döneminde kapsüllerde açılma olduğu için tohum dökme problemi vardır. Bir bitkide meyvelerin olgunlaşma zamanı eşit değildir. Seleksiyon çalışmalarında bitki boyu 35-85 cm arasında değişim göstermiştir.

Bu araştırmada tekli ve kombinasyon halinde kullanılan bakteri streinleri, ülkemizdeki çeşitli kültür ve yabancı

bitkilerin kök rizosferinden izole edilerek bitki gelişme özelliğine sahip özellikle Çoruh vadisi ve Kaçkar dağları kaynaklı 2 bin bakteri izolatu içerisinde önceden yürütülen çalışmalar dikkate alınarak seçilmiştir. Çalışmada izolat olarak, Artvin ili Yusufeli-Barhal vadisi ve Camili biyosfer rezerv alanı, Erzurum ili İspir-Aksu ve Çamlıkaya Çayı vadisi, Rize Fırtına Deresi vadisi deresi kaynaklı, çavdar, buğday, yabancı sarımsak, fındık, yabancı mersini (*Vaccinium myrtillus*), yabancı asma (*Vitis vinifera* ssp. *silvestris*), yabancı çilek (*Fragaria vesca* L.), kekik (*Origanum rotundifolium*, *O. acutitens*, *Satureja hortensis*) ve yabancı ahududu (*Rubus ideaus*) rizosfer topraklarından izole edilerek saklanan Prof. Dr. Ramazan Çakmakçı'nın koleksiyonuna ait bakteriler kullanılmıştır (Çakmakçı ve ark., 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2020; Çakmakçı, 2019).

2.3. Deneme deseni ve deneme konuları

Bu çalışmada Amonyum nitrat ve potasyum sülfat gübresi (8 kg da⁻¹ azot ve 4 kg da⁻¹ K₂O), çiftlik gübresi (ÇG: 3 ton da⁻¹), bir bitki büyüme düzenleyicisi (indol asetik asit, IAA), iki ticari mikrobiyal gübre (BMusaVita ve BMusaGreen) ve indol asetik asit üretici, azot bağlayıcı ve fosfat çözücü 6 adet tekli (*Pseudomonas fluorescens* RC512; *P.fluorescens* RC536, *P. fluorescens* RC481, *Bacillus licheniformis* RC502, *Bacillus megaterium* RC16, *Bacillus subtilis* RC210, bir adet ikili (*P. fluorescens* RC512 + *Bacillus subtilis* RC17), dört adet üçlü (*P. fluorescens* RC481 + *B. subtilis* RC210 + *B. megaterium* RC16; *P. fluorescens* RC536 + *B. subtilis* RC17 + *B. megaterium* RC32; *P.ns* RC536 + *B. subtilis* RC210 + *B. megaterium* RC16; *P. fluorescens* RC512 + *B. megaterium* RC07 + *Pantoea agglomerans* RC58) ve iki adet dördü (*P. fluorescens* RC481 + *B. subtilis* RC210 + *B. megaterium* RC32 + *B. licheniformis* RC502; *P. fluorescens* RC536 + *B. atrophaeus* RC542 + *Bacillus*

coagulans RC65 +*B. licheniformis* RC502) kombinasyon halinde bakteri uygulamalarının *Nigella damascena* türüne ait genotipte bazı bitkisel özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır.

Araştırma tesadüf bloklarına göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Deneme tarlası 57 parselden oluşmuş (19 uygulama x 3 tekerrür) ve denemeler 2019-2020 ve 2020-2021 yetiştirme sezonlarında 4 Kasım tarihinde ekilmiştir. Ekim işlemi markör ile açılan çizgilere el ile gerçekleştirilmiştir. Ekim sıklığı olarak 1.2 kg da⁻¹ tohum kullanılmıştır. Her parsel 20 cm aralıklı 4 sıradan oluşmuş, parsel boyu 3 m parsel alanı ise 2.4 m² olarak belirlenmiştir. Parseller ve bloklar arasında 1 m mesafe bırakılmıştır. Çiftlik gübresi uygulaması olan parsellere 3 ton da⁻¹ hesabı ile gübre verilmiştir. Çiftlik gübresi parselasyon işlemi yapıldıktan sonra, uygulama yapılan parsellerin yüzeyine serilmiş, daha sonra çapa ile toprağa karıştırılmıştır.

Hormon olarak IAA kullanılmış, bu hormonun 100 ppm dozu, bitkilerin üzerine her iki deneme sezonunda Şubat ayı içerisinde sprey şeklinde püskürtülmüştür. Püskürtme işleminde iki türde uygulama yapılan her parsel için 100 mL saf su kullanılmıştır. Hormon uygulanmayan parsellere aynı miktar su uygulanmıştır. Birinci yetiştirme sezonunda uygulama 18 Şubat 2020, ikinci yetiştirme sezonunda ise 20 Şubat 2021 tarihinde bitkiler rozet formunda iken gerçekleştirilmiştir.

2.4. Bakteri süspansiyon ve formülasyonlarının hazırlanması ve uygulanması

Çalışmada kullanılmış dondurulmuş bakteri izolatları Nutrient Agar (NA) besi ortamı içeren petrilere ekilerek, 27 °C'de inkübasyona bırakılmış ve 24 saatlik taze kültürleri elde edilmiştir. Bakteri inokulumun hazırlanmasında Nutrient Broth (NB) besiyeri kullanılmıştır. Daha önce NA ortamında geliştirilen 24 sa'lik

taze kültürlerin her birisinden ayrı ayrı öze ile alınarak 250 ml'lik Nutrient Broth (NB) içeren besi ortamına aktararak yatay çalkalayıcı inkübatörde (150 rpm dk⁻¹) ayrı ayrı 24 saat geliştirilen bu kültürlerin biyolog türbidimetre ile absorbansları ölçülerek ve absorbansları steril su ile eşitlenmiştir (Çakmakçı ve ark., 2013). Karışım saf su ile seyreltilerek bakteri yoğunluğu 10⁸ hücre ml⁻¹ olacak şekilde turbidimetre ile ayarlanmıştır. Bakteri solüsyonu hazırlanırken, ihtiyaca göre her bakteri izolatından yapılacak ekim sayısı artırılmıştır. Mikrobiyal gübreler sıvı taşıyıcı prosesine göre hazırlanmış, birden çok bakterinin kullanıldığı karışık formüllerin hazırlanmasında bakteri solüsyonu her bir bakterinin eşit miktar ve sayıda karışımından oluşturulmuştur (Çakmakçı ve ark., 2014, 2017).

Tarla uygulamalarından önce 15 adet bakteri, bakteri kombinasyonu ve ticari mikrobiyal gübrelerin her birisi için 100 mL olarak hazırlanmış olan süspansiyonlar daha sonra her bir bakteri uygulaması için içeriği belli olan doğal kaynak suyundan (4.6 L), pancar melası (300 mL) ve pancar şekerinden (30 g) oluşacak toplam hacim 5.0 L olacak son sıvı besin ortamına aktarılmış ve her bakteri uygulamasına ait parselin her biri için 200 mL bakteri süspansiyonu gelecek şekilde bölünmüştür. Daha sonra her bir sıra için tartılmış olan tohumlar ekilerek, ekilen her bir tohum sırasının üzeri kapatılmadan, her sıraya ölçülerek ayarlanan 50 mL bakteri süspansiyonu hassas bir şekilde tohumların üzerine gelecek şekilde uygulanarak, aşılınmış tohumların üzeri yaklaşık 3-4 cm toprak ile kapatılmıştır.

2.5. Bakım ve hasat işlemleri

Yabancı ot mücadelesi, yabancı otların çıkış durumuna bağlı olarak el ve çapa ile yapılmıştır. İhtiyaç durumuna bağlı olarak denemelerde 3 kez yağmurlama sulama şeklinde ikinci yetiştirme sezonunda ilave olarak ekimden hemen sonra çıkış için

sulama yapılmıştır. Kimyasal ilaç uygulaması yapılmamıştır.

Her iki yetiştirme sezonunda bitkilerin hasat olgunluğuna ulaştığı dönemde hasat el ile yapılmıştır. Tane dökme sorunu olan deneme materyali genotipte, tohum kaybını en aza indirmek için ilk oluşan meyvelerde kahverengi şeritlerin belirginleştiği ve kapsüller el ile sallandığı zaman tohumların dökülmeye başladığı dönem hasat dönemi olarak belirlenmiş ve bitkiler sabah erken saatlerde hasat edilmiştir. Denemenin hasadı birinci yetiştirme sezonunda 30 Haziran, ikinci yetiştirme sezonunda ise 26 Haziran da gerçekleştirilmiştir. Hasat esnasında öncelikle bitki ölçümleri için her parselden parseli temsil edecek şekilde 10'ar adet bitki alınmıştır. Daha sonra parsellerin başından ve sonundan 0.5 m'lik kısım ile kenarlardaki birer sıra kenar tesiri olarak orak ile biçilmiştir. Parsellerin geriye kalan ortadaki ikişer sırası orak ile biçilerek, tohum kaybını engellemek için çuvallara koyularak, tarlada 5 gün kurutulmuştur. Kuruyan bitkiler daha sonra parsel harman makinasında harman yapılmıştır. Araştırma da bitki boyu (cm), dal sayısı (adet bitki⁻¹), toplam kapsül sayısı (adet bitki⁻¹), kapsüldeki tohum sayısı (adet kapsül⁻¹), kapsülde tohum ağırlığı (g), bitki tane verimi (g) özellikleri incelenmiştir (Baytöre, 2011; Faravani ve ark., 2012; Kılıç ve Arabacı, 2016; Thilakarathna ve ark., 2018).

2.6. İstatistiksel analizler

Denemelerde ölçülen her özellik için iki yıl birleştirilmiş olarak SAS 9.0 istatistik analiz programı kullanılarak tesadüf blokları deneme desenine göre varyans analizi yapılmıştır (Anonim, 1999). Varyans analizleri sonucunda istatistiksel olarak önemli olan tüm özelliklerde uygulamaların karşılaştırılmasında LSD testi kullanılmıştır. Her özelliğin ortalamasına göre uygulamaları görsel karşılaştırmak amacıyla SAS JMP Programında çizgi

grafikler oluşturulmuştur (Anonim, 2014). İncelenen özelliklerin tamamının uygulamalara göre değişimlerini görsel olarak değerlendirmek ve özelliklere göre görsel olarak en iyi uygulamaları tespit etmek amacıyla GGE-Biplot programını kullanarak uygulama x özellik biplot grafikleri oluşturulmuştur (Yan, 2014).

3. Bulgular ve Tartışma

Deneme yılları ortalamasında bitki boyunda, en düşük değer 42.30 cm, en yüksek değer 52.0 cm olmuş, genel ortalama ise 46.64 cm olarak belirlenmiştir. Kontrol (gübresiz) uygulaması ile karşılaştırıldığında BMusaVita, RC481, RC512, RC512+RC07+RC58, BMusaGreen, RC481+RC210+RC16 ve RC210 uygulamaları yüksek bitki boyuna sahip olurken, diğer uygulamalar kontrol den daha düşük bitki boyuna sahip olmuştur. Özellikle BMusaVita, RC48 ve RC512 uygulamaları en yüksek bitki boyu ile diğerlerinden ayrılmıştır (Tablo 4). Bitki boyunun bitkisel özellik olarak incelendiği *Nigella damascena* türü hakkında ülkemizde az sayıda araştırma yürütülmüştür. *Nigella damascena* türünün bitki boyunu Ertuğrul (1986) 48-55 cm, Özel ve ark. (2002) 23.39-34.72 cm, Kalçın (2003) 28.82-48.00 cm, Aysabar ve Gedik (2022) 56.90 cm olarak belirlemişlerdir. Yukarıdaki bitki boyu değerlerinin bazıları bu çalışmada tespit edilen değerler ile benzerdir.

Deneme yılları ortalamasında bitkide dal sayısı 4.5 adet bitki⁻¹ ile 8 adet bitki⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Kontrol uygulamasının dal sayısı ortalaması 5.60 adet bitki⁻¹ olurken, RC502 uygulaması 5.30 adet bitki⁻¹, RC16 uygulaması 5.20 adet bitki⁻¹ ve RC536+RC210+RC16 uygulaması ise 4.50 adet bitki⁻¹ ile en düşük üç dal sayısına sahip olmuştur. Diğer uygulamaların tamamı kontrol uygulamasından daha yüksek dal sayısına sahip olmuşlardır. RC481, BMusaGreen ve RC512+RC07+RC58 uygulamaları

sırasıyla 8.00, 7.80 ve 7.60 adet bitki⁻¹ değerleriyle ilk üç sırada yer almıştır (Tablo 4). Çalışmamızda deneme yılları ortalaması olarak belirlediğimiz dal sayısı değerleri 4.5-8.0 adet bitki⁻¹ arasında değişim göstermiş olup bu değerler, Keser ve Gedik

(2021)'in bildirdiği 4.53-7.33 adet bitki⁻¹ ve Aysabar ve Gedik (2022)'in belirlediği (6.24 adet bitki⁻¹) değerlere benzer olurken, Ulusu ve Şahin (2021)'nin sera koşullarında elde ettiği (2.33-5.60 adet bitki⁻¹) değerlerden yüksek bulunmuştur.

Tablo 4. İncelen özelliklerin deneme yılları üzerinden uygulamalara göre ortalamaları ve LSD testi sonuçları

Uygulamalar	BB (cm)	DS (adet)	KS (adet)	KTS (adet)	KTA (g)	BTV (g)
Kontrol	47.3	5.6	9.6	65.4	0.16	1.69
Kimyasal gübre	46.0	5.7	9.9	87.1	0.19	2.15
Çiftlik gübresi	43.3	5.6	11.0	69.1	0.16	2.08
IAA	42.3	5.8	13.1	77.3	0.17	2.06
BMusaVita	52.0	7.4	15.3	75.3	0.18	2.28
BMusaGreen	47.8	7.8	15.0	76.8	0.19	2.23
RC512	50.4	6.6	12.7	80.7	0.18	2.10
RC536	44.7	6.2	10.7	78.1	0.19	1.97
RC481	50.8	8.0	12.6	90.5	0.20	2.08
RC502	47.1	5.3	10.1	85.9	0.19	1.82
RC16	44.7	5.2	10.6	78.0	0.18	1.88
RC210	47.7	7.3	10.5	74.1	0.18	1.95
RC512+RC17	46.5	6.8	14.1	71.4	0.16	2.01
RC481+RC210+RC16	47.8	5.8	10.2	72.8	0.18	1.96
RC536+RC17+RC32	44.1	5.8	9.7	72.6	0.18	1.94
RC536+RC210+RC16	44.8	4.5	7.0	64.5	0.14	1.62
RC512+RC07+RC58	48.9	7.6	14.4	57.1	0.13	2.10
RC481+RC210+RC32+RC502	43.7	6.4	14.3	66.3	0.15	2.15
RC536+RC542+RC65+RC502	46.3	6.7	11.7	73.5	0.17	2.03
Ortalama	46.6	6.32	11.71	74.55	0.17	2.01
LSD	1.41	0.75	1.23	3.89	0.012	0.17
Önemlilik	**	**	**	**	**	**

LSD: P<0.01 önem düzeyinde en düşük önemli fark, **: P<0.01, BB: Bitki boyu (cm), DS: Dal sayısı (adet/bitki), KS: Kapsül sayısı (adet/bitki), KTS: Kapsülde tane sayısı (adet), KTA: Kapsülde tane ağırlığı (g), BTV: Bitki tohum verimi (g/bitki)

Bitkide kapsül sayısı 15.30 adet bitki⁻¹ ile 7.0 adet bitki⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Kontrol uygulaması ile karşılaştırıldığında RC536+RC210+RC16 uygulaması hariç, uygulamaların tamamında kontrol den daha yüksek değerler tespit edilmiştir. BMusaVita, BMusaGreen ve RC512+RC07+RC58 uygulamaları 15.30, 15.00 ve 14.40 adet bitki⁻¹ ile en yüksek üç değere sahip olmuştur (Tablo 4). Bitkide kapsül sayısı doğrudan ya da dolaylı olarak çörek otunda bitki tane verimini etkileyen özelliklerdendir. Çalışmamızda deneme yılları ortalaması olarak belirlediğimiz bitkide kapsül sayısı değerleri 7.0-15.30 adet bitki⁻¹ arasında değişim göstermiş olup

bu değerler, Aysabar ve Gedik (2022)'in belirlediği (18.68 adet bitki⁻¹) değere benzer olmuştur.

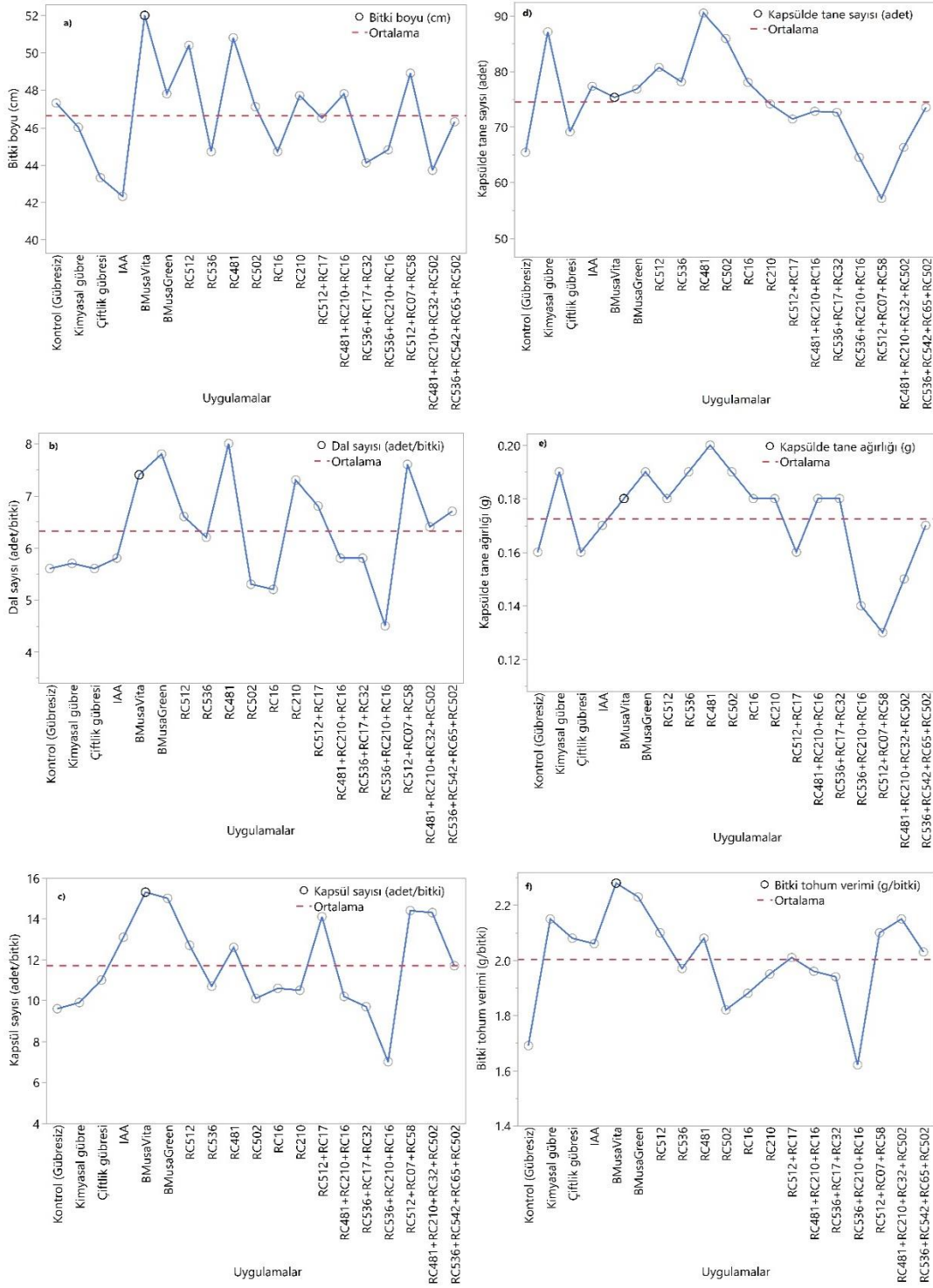
Kapsülde tane sayısı ortalaması 74.55 adet kapsül⁻¹ olurken en düşük değer 57.10 adet, en yüksek değer ise 90.50 adet olarak gerçekleşmiştir. RC536+RC210+RC16 ve RC512+RC07+RC58 uygulamaları hariç diğer uygulamaların tamamı kontrol uygulamasından daha yüksek kapsülde tane sayısına sahip olmuştur. Bu özellik yönünden RC481, kimyasal gübre ve RC502 uygulamaları sırasıyla 90.50, 87.10 ve 85.90 adet kapsül⁻¹ ile ilk üç sırada yer almıştır (Tablo 4). Bu çalışmada elde edilen kapsülde tohum sayısı yıllar ortalaması olarak 57.10-90.50 adet arasında değişmiş

olup, bu değerler Tonçer ve Kızıl (2004), Yımam ve ark. (2015), Mengistu ve ark. (2021) ve Day ve ark. (2023)'nin bildirdiği değerlere benzer bulunmuştur.

Kapsülde tane ağırlığı ortalaması 0.17 g olarak tespit edilmiştir. Kapsülde tane ağırlığı değerleri 0.13 g ile 0.20 g arasında değişim göstermiştir. RC481+RC210+RC32+RC502, RC536+RC210+RC16 ve RC512+RC07+RC58 uygulaması kontrol uygulamasından daha düşük kapsülde tane ağırlığına sahip olurken, geriye kalan uygulamaların tamamı kontrol uygulamasından yüksek kapsülde tane ağırlığına sahip olmuştur. En yüksek kapsülde tane ağırlıkları ise RC48, kimyasal gübre, RC502, RC536 ve BMusaGreen uygulamalarından elde edilmiştir. Bu uygulamalardan RC481 0.20 g ile ilk sırada yer alırken, geriye kalan dört uygulama 0.19 g kapsülde tane ağırlığına sahip olmuştur (Tablo 4). Bu çalışmada kapsülde tohum ağırlığı 0.13 g-0.20 g arasında, değişim göstermiştir. Çalışmamıza benzer şekilde bir çalışmada çörek otunda ortalama kapsülde tohum ağırlığının 0.193-0.271 g arasında değişim gösterdiğini belirlenmişken (Day ve ark., 2023), Khan ve ark. (2023) ise ortalama 0.19 g olarak tespit etmiştir. Özdemirel ve Kaçar

(2020)'ın bildirmiş olduğu 0.178-0.251 g değerleri ise tespit ettiğimiz kapsülde tane ağırlığı değerlerinden daha yüksek olmuştur.

Bitki tohum verimi değerleri genel ortalaması 2.01 g olarak tespit edilmiştir. Bitki tohum verimi değişim aralığı ise 1.62 g ile 2.28 g arasında gerçekleşmiştir. Üçlü RC536+RC210+RC16 hariç uygulamaların tamamı kontrol uygulamasından daha yüksek bitki tohum verimine sahip olmuştur. En yüksek bitki tohum verimine; BMusaVita, BMusaGreen, kimyasal gübre ve dörtlü bakteriler RC481+RC210+RC32+RC502 uygulamaları ile sırasıyla 2.28, 2.23, 2.15 ve 2.15 g olarak ulaşılmıştır (Tablo 4). Çalışmamızda bitki tohum verimi değişim aralığı 1.62-2.28 g bitki⁻¹ olarak gerçekleşmiştir. Bitki tohum verimi literatürde yaygın incelenen bir özellik değildir. Ancak yakın zamanda çörek otunda bitki tane veriminin ele alındığı Mengistu ve ark. (2021) tarafından yürütülmüş araştırmada, tek bitki tane verimlerinin 2.29-2.68 g bitki⁻¹ arasında değiştiği bildirilmiştir. Söz konusu değişim aralığının alt sınırı bizim bulgularımızdan yüksek olsa da üst sınırı bulgularımıza yakındır.



Şekil 1. Uygulamalara bağlı olarak incelenen özelliklerin değişimleri

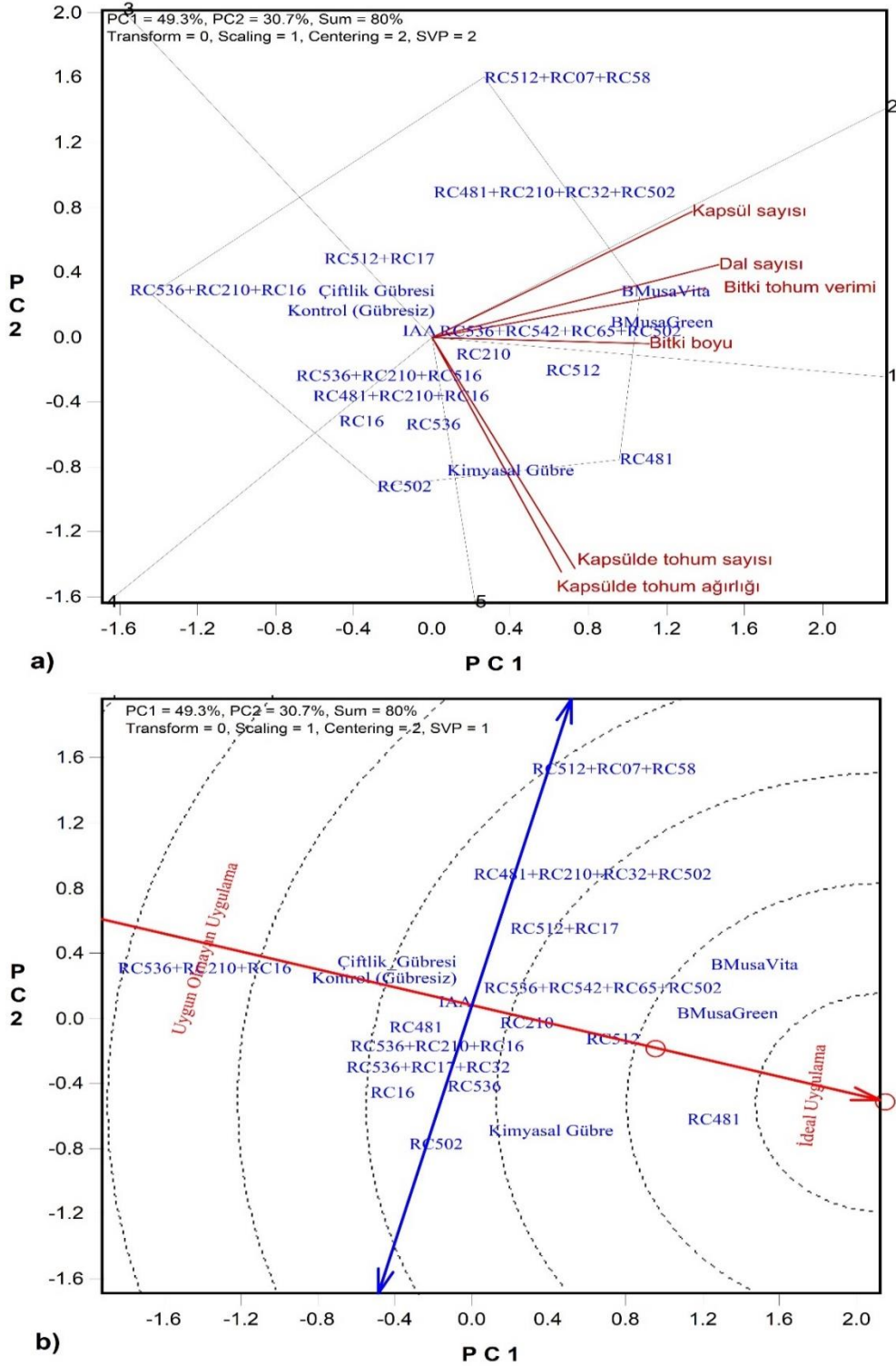
Bu çalışmada uygulamalara bağlı olarak incelenen özelliklerin tamamı kontrol uygulaması ile karşılaştırıldığında, uygulamalara bağlı olarak olumlu ya da

olumsuz yönde değişim göstermiştir (Şekil 1). BMusaVita, BMusaGreen, RC512 ve RC481 uygulamaları incelenen özelliklerin tamamında, her bir özelliğin genel

ortalamasının üzerinde değerlere sahip olmuşlardır. Kontrol uygulaması bitki boyu hariç incelenen tüm özelliklerde ortalamanın altında yer almıştır. Kimyasal gübre kapsülde tane sayısı, kapsülde tane ağırlığı ve bitki tohum veriminde ortalamanın üzerinde yer alırken, bitki boyu ve dal sayısında ortalamanın altında yer almıştır. Çiftlik gübresi bitki tohum veriminde genel ortalamanın üzerinde iken, diğer özelliklerde genel ortalamanın altında yer almıştır (Şekil 1). IAA uygulamasında kapsülde tohum sayısı, kapsül sayısı ve bitki tohum verimi artarken, bitki boyu ve kapsülde tohum ağırlığı genel ortalamanın altında yer almıştır. Ticari biyolojik gübre formülasyonları olan BMusaVita ve BMusaGreen uygulamaları incelenen tüm özelliklerde genel ortalamanın üzerinde bulunmuştur (Şekil 1). Tek bakteri içeren formülasyonlardan RC36 bakteri uygulaması kapsülde tane sayısı ve kapsülde tane ağırlığında, RC502 uygulaması bitki boyu, kapsülde tane sayısı ve kapsülde tane ağırlığında, RC16 uygulaması kapsülde tane sayısı ve kapsülde tane ağırlığında, RC210 bitki boyu, dal sayısı ve kapsülde tane ağırlığında genel ortalamanın üzerinde yer almıştır.

Tekli bakteri içeren uygulamalar genel olarak değerlendirildiğinde, her uygulama kapsül özelliklerinden en az birisini olumlu yönde etkilemiştir. Araştırmamızdaki ikili bakteri kombinasyonu olan RC512+RC17 aşılmasında dal sayısı, kapsül sayısı ve bitki tohum verimi genel ortalamanın üzerinde yer almıştır (Şekil 1).

Kullanılan üçlü formülasyonlardan RC481+RC210+RC16 uygulamasında, bitki boyu ve kapsülde tane ağırlığı; RC536+RC17+RC32 uygulamasında kapsülde tane ağırlığı; RC512+RC07+RC58 aşılmasında bitki boyu, dal sayısı, kapsül sayısı ve bitki tohum verimi genel ortalamanın üzerinde yer alırken; RC536+RC210+RC16 aşılmasında ise tüm özellikler genel ortalamanın altında yer almıştır. İki adet dördü formülasyondan RC481+RC210+RC32+RC502 uygulaması dal sayısı, kapsül sayısı ve bitki tohum veriminde ortalamanın üzerinde, RC536+RC542+RC65+RC502 uygulaması ise dal sayısı ve bitki tohum veriminde genel ortalamanın üzerinde yer almıştır (Şekil 1).



Şekil 2. Uygulama x Özellik interaksiyonu biplot grafikleri (a: Poligon, b: İdeal Uygulama)

İncelenen özelliklerin uygulamalara göre değişimlerini görsel olarak değerlendirmek amacıyla hazırlanan uygulama x özellik biplot grafikleri Şekil 2a ve b de verilmiştir.

Şekil 2a'da görüldüğü gibi, kapsülde tohum sayısı ve kapsülde tohum ağırlığı bir grup oluştururken, bitki boyu, bitki tohum verimi, dal sayısı ve kapsül sayısı ikinci bir

grup oluşturmuştur. İncelenen özelliklerin yer aldığı bölümlerde RC502, kimyasal gübre, RC481, BMusaGreen, BMusaVita ve RC481+RC210+RC32+RC502 uygulamaları köşegen olarak diğer uygulamalardan ayrılmıştır (Şekil 2a). İncelenen tüm özelliklere göre en iyi uygulamanın hangisi ya da hangileri olduğuna karar vermek amacıyla oluşturulan biplot Şekil 2b de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ideal uygulama bölgesine en yakın konumda RC481, BMusaGreen ve BMusaVita uygulamaları yer alırken, bu uygulamaları RC512, RC210, RC536+RC542+RC65+RC502 ve kimyasal gübre uygulamaları takip etmiştir (Şekil 2b).

4. Sonuç

Bitki gelişimini teşvik edici bakteriler, tarımsal uygulamalarda faydalı mikroorganizmalar olarak kullanılan biyolojik gübrelerdir. Bu bakteriler, bitkilerin büyümesini artırmak, hastalıklara karşı direncini güçlendirmek ve toprak verimliliğini iyileştirmek amacıyla kullanılırlar. Tarımda bu bakterilerin kullanımını, çevre dostu bir yaklaşım sunar ve kimyasal gübrelerin kullanımını azaltabilir, böylece sürdürülebilir tarım uygulamalarını destekler. Bu bağlamda RC481, BMusaGreen ve BMusaVita uygulamaları tüm özellikler yönünden en iyi uygulamalar olurken, bu uygulamaları RC512, RC210, RC536+RC542+RC65+RC502 ve kimyasal gübre uygulamaları takip etmiştir. Yukarıda sözü edilen uygulamaların ilk grubu özellikle kimyasal gübre uygulamasına göre incelenen özelliklerin çoğunluğunda ön sıralarda yer almışlardır. Bu uygulamalardan RC481 bakteri aşılması başta olmak üzere, test edilen ticari formüllerin ve diğer etkin tekli ve çoklu bakteri uygulamalarının çörek otu yetiştiriciliğinde biyolojik gübre olarak kullanılabilecek potansiyelinin olduğu söylenebilir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Finansman

Araştırmayı maddi olarak destekleyen Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (Proje no: FDK-2021-3672) teşekkür ederiz.

Açıklama

Bu makale birinci yazarın Doktora tezinin bir bölümünden özetlenmiştir.

Kaynaklar

- Andrade, G., Mihara, K.L., Linderman, R.G., Bethlenfalvay, G.J., 1997. Bacteria from rhizosphere and hyphosphere soils of different arbuscular-mycorrhizal fungi. *Plant Soil*, 192: 71–79.
- Anonim, 1999. SAS/STAT Yazılımı, 9.00. SAS Inst. Cary, N.C, USA.
- Anonim, 2014. SAS JMP Yazılımı, 11. versiyonu SAS Inst. Cary, N.C, USA.
- Aysabar, Z., Gedik, O., 2022. Kahramanmaraş koşullarında çörek otu (*Nigella* sp.) genotiplerinde farklı sıra arası mesafelerin verim ve kaliteye etkilerinin Belirlenmesi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(1): 81-90.
- Badalamenti, N., Modica, A., Bazan, G., Marino, P., Bruno, M., 2022. The ethnobotany, phytochemistry, and biological properties of *Nigella damascena*—A review. *Phytochemistry*, 198: 113165.

- Basu, A., Prasad, P., Das, S.N., Kalam, S., Sayyed, R.Z., Reddy, M.S., El Enshasy, H., 2021. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability*, 13(3):1140-1160.
- Baytöre, F., 2011. Bazı Çörek otu (*Nigella sativa* L.) Populasyonlarının Verim ve Verim Kriterlerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Bhardwaj, D., Ansari, M.W., Sahoo, R.K., Tuteja, N., 2014. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, 13: 1-10.
- Borkar, S.G., 2015. Microbes as Bio-Fertilizers and Their Production Technology (1st ed). WPI Publishing: New York, NY, USA.
- Çakmakçı, R., 2019. The variability of the predominant culturable Plant Growth-Promoting Rhizobacterial diversity in the acidic tea rhizosphere soils in the Eastern Black Sea Region. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 34(2): 175-181.
- 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., 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. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170: 288–295.
- 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, Kongre Bildiriler Kitabı*, 8-10 Ekim, Konya, s. 706-717.
- 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. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 84(4): 375-380.
- 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., Ertürk, Y., Sekban, R., Haznedar, A., Varmazyari, A., 2013. The effect of single and mixed cultures of plant growth promoting bacteria and mineral fertilizers on tea (*Camellia sinensis*) growth, yield and nutrient uptake. *1st Central Asia Congress on Modern Agricultural Techniques and Plant Nutrition*. 01-03 October, 2013, *Soil Water Journal, Secial Issue for Agricasia*, 2(1): 653-662.
- 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, Conference Proceedings Book*, 14-16 October, Side, pp.801-808.

- Çakmakçı, R., Kotan, R., Atasever, A., Erat, M., Türkyılmaz, K., Sekban, R., Haznedar, 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., Mosber, G., Milton, A.H., Alatürk, F., Ali, B., 2020. The effect of auxin and auxin-producing bacteria on the growth, essential oil yield, and composition in medicinal and aromatic plants. *Current Microbiology*, 77(4): 564–577.
- Day, S., Abay, G., Özgen, Y., Önel, B., 2023. Effect of sulphur treatments on growth parameters and oil yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Gesunde Pflanzen*, 75: 1355-1360.
- Ertuğrul, Y., 1986. Çörek otunda (*N. damascena* L.) farklı ekim zamanlarının verim ve kaliteye etkisi üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Faravani, M., Koorepaz, S., Gholami, B.A., Zare, Y., 2012. Biological effects of fertilizer treatments on growth, yield and yield components of black cumin. *Herba Polonica*, 58(4): 15-28.
- Fico, G., Braca, A., Tomè, F., Morelli, I.A., 2001. New phenolic compound from *Nigella damascena* seeds. *Fitoterapia*, 72: 462–463.
- Harish, S., Kavino, M., Kumar, N., Balasubramanian, P., Samiyappan, R., 2009. Induction of defense-related proteins by mixtures of plant growth promoting endophytic bacteria against Banana bunchy top virus. *Biological Control*, 51(1): 16-25.
- Heidari, M., Golpayegani, A., 2012. Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11(1): 57-61.
- Helvacıoğlu, S., Charehsaz, M., Güzelmeriç, E., Oçkun, M.A., Ayran, I., Kırmızıbekmez, H., Kan, Y., Aydın, A., Yeşilada, E., 2021. Protective effect of *Nigella sativa* and *Nigella damascena* fixed oils against aflatoxin induced mutagenicity in the classical and modified ames test. *Chemistry & Biodiversity* 18: e2000936.
- Itelima, J.U., Bang, W.J., Onyimba, I.A., Sila, M.D., Egbere, O.J., 2018. Bio-fertilizers as key player in enhancing soil fertility and crop productivity: A review. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science*, 6(3): 73-83.
- İlangumaran, G., Smith, D.L., 2017. Plant growth promoting rhizobacteria in amelioration of salinity stress: a systems biology perspective. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1768-1782.
- Kalçın, F.T., 2003. İki çörek otu türünde (*Nigella sativa* L., *Nigella damascena* L.) ekim sıklıklarının verim ve verim öğelerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Keser, E., Gedik, O., 2021. Kahramanmaraş ekolojik koşullarında kışlık ve yazlık ekilen çörek otu (*Nigella* sp.) genotiplerinin tarımsal ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(1): 73-81.
- Khan, A., Khan, A.A., Irfan, M., 2023. Effects of different concentrations of nickel (Ni) on the vegetative and reproductive growth parameters of *Nigella sativa* L". *Gesunde Pflanzen*, 75: 677-686.

- Kılıç, C., Arabacı, O., 2016. Çörek otu (*Nigella sativa* L.)'nda farklı ekim zamanı ve tohumluk miktarının verim ve kaliteye etkisi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(2): 49-56.
- Kokoska, L., 2011. Chemistry and biological activity of *Nigella* Genus: The antimicrobial and anti-inflammatory effects of seed extracts, essential oils and compounds of six *Nigella* species; LAP LAMBERT Academic Publishing: Berlin, Germany.
- Kumar, S.M., Reddy, C.G., Phogat, M., Korav, S., 2018. Role of bio-fertilizers towards sustainable agricultural development: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(6): 1915-1921.
- Margout, D., Kelly, M.T., Meunier, S., Auinger, D., Pelissier, Y., Larroque, M., 2013. Morphological, microscopic and chemical comparison between *Nigella sativa* L. cv (black cumin) and *Nigella damascena* L. cv. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(1): 165-171.
- Mengistu, F.G., Wegayehu, G., Ali, D.F.A., Fufa, D.T.N., 2021. The influence of seed rate and inter-row spacing on seed yield and yield attributes of black cumin in Arsi Highlands, Ethiopia. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 11(1): 33-39.
- Niu, Y., Zhou, L., Meng, L., Chen, S., Ma, C., Liu, Z., Kang, W., 2020. Recent progress on chemical constituents and pharmacological effects of the genus *Nigella*. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 1-15.
- Özdemirel, F., Kaçar, O., 2020. Bursa ekolojik koşullarında yetiştirilen farklı kökenli çörek otu (*Nigella sativa* L.) genotiplerinin tarımsal özelliklerinin ve sabit yağ oranlarının belirlenmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35(1): 13-31.
- Özel, A., Demirbilek, T., Güler, İ., 2002. Harran Ovası kuru koşullarında farklı ekim zamanlarının çörek otu türleri (*Nigella spp.*)'nin verim ve bazı tarımsal karakterlerine etkisi. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(3-4): 81-90.
- Salehi, B., Quispe, C., Imran, M., Ul-Haq, I., Živković, J., Abu-Reidah, I. M., Sharifi-Rad, J., 2021. *Nigella* plants—Traditional uses, bioactive phytoconstituents, preclinical and clinical studies. *Frontiers in Pharmacology*, 12: 625386 1-26.
- Schütz, L., Gattinger, A., Meier, M., Müller, A., Boller, T., Mäder, P., Mathimaran, N., 2018. Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization—A global meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 8: 2204 1-13.
- Singh, J.S., Pandey, V.C., Singh, D.P., 2011. Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(3-4): 339-353.
- Sun, B., Bai, Z., Bao, L., Xue, L., Zhang, S., Wei, Y., Zhuang, X., 2020. *Bacillus subtilis* biofertilizer mitigating agricultural ammonia emission and shifting soil nitrogen cycling microbiomes. *Environment International*, 144: 105989.
- Thilakarathna, R.C.N., Madhusankha, G.D.M.P., Navaratne, S.B., 2018. Morphological characteristics of black cumin (*Nigella sativa*) seeds". *Chemistry Research Journal*, 3(3): 40-45.

- Toma, C.C., Olah, N.K., Vlase, L., Mogoşan, C., Mocan, A. (2015). Comparative studies on polyphenolic composition, antioxidant and diuretic effects of *Nigella sativa* L. (black cumin) and *Nigella damascena* L. (lady-in-a-mist) seeds. *Molecules*, 20(6): 9560-9574.
- Tonçer, O., Kızıl, S., 2004. Effect of seed rate on agronomic and technologic characters of *Nigella sativa* L. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6(3): 529-532.
- Ulus, F., Şahin, A., 2021. Investigation on the effects of different concentrations of some fertilizers on yield, quality and essential and fixed oil composition of *Nigella damascena*. *Romanian Biotechnological Letters*, 26(3): 2722-2735.
- Woitke, M., Schitzler, W.H., 2004. Biotic stress relief on plants in hydroponic systems. In *International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics*, Conference Proceedings Book, 14-19 November, Almeria, Spain, pp. 557-565.
- Yan, W., 2014. *Crop Variety Trials: Data Management and Analysis*. John Wiley & Sons.
- Yasmin, F., Othman, R., Saad, M.S., Sijam, K., 2007. Screening for beneficial properties of rhizobacteria isolated from sweetpotato rhizosphere. *Biotechnology*, 6: 49–52.
- Yimam, E., Nebiyu, A., Mohammed, A., Getachew, M., 2015. Effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on growth, yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.) at Konta District, South West Ethiopia. *Journal of Agronomy*, 14(3): 112-120.
- Zandi, P., Basu, S.K., 2016. Organic Farming for Sustainable Agriculture. In: D. Nandwani (Ed), *Role of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) as Biofertilizers in Stabilizing Agricultural Ecosystems*. Springer Cham, Switzerland, pp. 71–87.

Atıf Şekli

Akçura, S., Çakmakçı, R., 2023. Bitki Gelişimini Teşvik Edici Bakterilerin Şam Çörek Otunda (*Nigella damascena* L.) Bazı Bitkisel Özellikler Üzerine Etkisi. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(3): 472-488.
DOI: <https://doi.org/10.18016/10.5281/zenodo.8303783>.

To Cite

Akçura, S., Çakmakçı, R., 2023. The Effect of Plant Growth Promoting Bacteria on Some Plant Traits in Black Cumin (*Nigella damascena* L.). *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 7(3): 472-488.
DOI: <https://doi.org/10.18016/10.5281/zenodo.8303783>.