

PAPER DETAILS

TITLE: Bitki Gelisimini Destekleyici Rizobakteriler ve Kimyasal Gübrelerin Domates Yetistirciligine Etkisi

AUTHORS: Cengiz Dönmez,Mesude Figen Dönmez,Isil Temel,Irfan Çoruh

PAGES: 416-428

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3067500>

ARAŞTIRMA MAKALESİ

RESEARCH ARTICLE

Bitki Gelişimini Destekleyici Rizobakteriler ve Kimyasal Gübrelerin Domates Yetiştiriciliğine Etkisi*

The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Chemical Fertilizers on Tomato Cultivation

Cengiz DÖNMEZ^{1*}, Mesude Figen DÖNMEZ², Işıl TEMEL³, İrfan ÇORUH⁴

Öz

Mevcut çalışmada, örtü altı domates yetiştiriciliğinde bitki gelişimini teşvik eden kök bakterileri ve kimyasal gübre uygulamalarının domatesin bazı verim ve kalite özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada yer alan bakteriler bakteri I (*Stenotrophomonas maltophilia* strain BY-44, *Bacillus licheniformis* strain HK-13 ve *Pseudomonas putida* strain NK-12) ve bakteri II (*Pseudomonas fluorescens* strain FC-42, *Bacillus subtilis* strain SK-26 ve *Rhizobium radiobacter* strain SK-63) uygulaması olmak üzere iki farklı grup olarak uygulanmıştır. Kimyasal gübre programına paralel olarak bitkilere azot içerikli (NPK) gübre verildiğinde bakteri uygulamaları için azot fikse edebilme özelliğine sahip NK-12 ve SK-26 strainleri, fosfor içerikli (NPK) ve saf gübreler verildiğinde fosfor çözebilme özellikleri pozitif olan BY-44 ve SK-63 strainleri, potasyum oranı yüksek NPK gübrelerin uygulandığı dönemde ise potasyumu çözebilen HK-13 ve FC-42 strainleri karıştırılmadan tek olarak inokule edilmiştir. Deneme, 2017 yılında Hasyurt'da (Finike-Antalya) bulunan plastik serada, tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuş ve 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çalışmada yer alan uygulamaların domateste salkım sayısı, birikimli meyve sayısı, meyve boyu, meyve çapı, meyve sertliği, ortalama meyve ağırlığı, erkenci verim, birikimli verim, meyve kuru ağırlığı, toplam suda çözünebilir kuru madde, meyve suyunun pH değeri ve titre edilebilir asit miktarına etkisi değerlendirilmiştir. Yapılan uygulamalar sonucunda bakteri I ve bakteri II uygulamalarının ortalama meyve ağırlığı, meyve çapı, toplam suda çözünebilir kuru madde, meyve suyunun pH değeri, meyve kuru ağırlığı ve meyve sertliği açısından kimyasal gübre uygulaması ile arasında istatistiki olarak önemli bir farklılık olmadığı belirlenmiştir. Bakteri II uygulamasının meyve boyuna etkisinin kimyasal gübre uygulaması ile aynı olduğu, titre edilebilir asit miktarına etkisinin de istatistiki olarak kimyasal gübre uygulamasıyla aynı grupta yer aldığı görülmüştür. Birikimli meyve sayısı, meyve boyu, erkenci verim ve birikimli verim parametrelerinde en yüksek değerlerin kimyasal gübre uygulamasından elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca uygulamalarda kullanılan bakteri stainlerinin IAA, siderofor, ACC-deaminaz ve katalaz gibi bitki gelişimini teşvik mekanizmaları araştırılmıştır. En yüksek IAA *Bacillus licheniformis* strain HK-13'de (61.24µg ml⁻¹), en yüksek siderofor üretimi *Pseudomonas putida* strain NK-12'de (36 mm) bulunmuştur. Strainlerin hepsinin ACC- deaminaz ve katalaz enzimine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bakteri I ve bakteri II uygulamalarının birçok parametrede kimyasal gübre uygulaması ile aynı veya yakın sonuç vermesi domates yetiştiriciliğinde bakteri uygulamalarına yer verilmesinin kimyasal gübre kullanımının azaltılmasında etkili olacağını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: PGPR, Biyogübre, Verim, Kalite, *Solanum lycopersicum*¹Cengiz Dönmez, Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Iğdır, Türkiye. E-mail: cengiz.dmz@hotmail.com  ORCID: 0009-0007-1966-6151²*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mesude Figen Dönmez, Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Iğdır, Türkiye. E-mail: sudefigen@hotmail.com  ORCID: 0000-0002-7992-8252³Işıl Temel, Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Iğdır, Türkiye. E-mail: isil.temel@hotmail.com  ORCID: 0000-0001-5968-3609⁴İrfan Çoruh, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Erzurum, Türkiye. E-mail: icoruh@atauni.edu.tr  ORCID: 0000-0002-6569-6163
Atıf: Dönmez, C., Dönmez, M. F., Temel, I., Çoruh, İ. (2024). Bitki gelişimini destekleyici rizobakteriler ve kimyasal gübrelerin domates yetiştiriciliğine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(2): 416-428.Citation: Dönmez, C., Dönmez, M. F., Temel, I., Çoruh, İ. (2024). The effect of plant growth promoting rhizobacteria and chemical fertilizers on tomato cultivation. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 21(2): 416-428.

*Bu Çalışma Cengiz Dönmez'in Yüksek Lisans tezinden özetlenmiştir.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayınlanmıştır. Tekirdağ 2024

Abstract

In the current study, the effects of root bacteria and chemical fertilizer applications that promote plant growth in greenhouse tomato cultivation on some yield and quality characteristics of tomato were investigated. Bacteria in the study were applied as two different groups, bacteria I (*Stenotrophomonas maltophilia* strain BY-44, *Bacillus licheniformis* strain HK-13 and *Pseudomonas putida* strain NK-12) and bacteria II (*Pseudomonas fluorescens* strain FC-42, *Bacillus subtilis* strain SK-26 and *Rhizobium radiobacter* strain SK-63). Parallel to the chemical fertilizer program, NK-12 and SK-26 strains, which have the ability to fix nitrogen when nitrogen-containing (NPK) fertilizers were applied to the plants, and BY-44 and SK-26 strains, which have positive phosphorus dissolving properties when phosphorus-containing (NPK) and pure fertilizers were applied, HK-13 and FC-42 strains, which can dissolve potassium when NPK fertilizers with high potassium content were applied were inoculated individually, without mixing. The experiment was established in a plastic greenhouse located in Hasyurt (Finike-Antalya) in 2017, according to the randomized plots trial design and was conducted out with 3 replications. In the study the number of tomato cluster, cumulative fruits, fruit size, fruit diameter, fruit hardness, average fruit weight, early yield, cumulative yield, fruit dry weight, total water-soluble dry matter, pH value of fruit juice and titrable acid amount were evaluated. As a result of the applications, it was determined that there was no statistically significant difference between the applications of bacteria I and bacteria II with chemical fertilizer application in terms of average fruit weight, fruit diameter, total water-soluble dry matter, pH value of fruit juice, fruit dry weight and fruit hardness. It was found that the effect of bacteria II application on fruit length was the same as chemical fertilizer application. In addition, it was observed that the effect of bacteria II application on the amount of titratable acid was statistically in the same group as chemical fertilizer application. It was determined that the highest values in cumulative fruit number, fruit size, early yield and cumulative yield parameters were obtained from chemical fertilizer application. In addition, plant growth promoting mechanisms (IAA, siderophore, ACC-deaminase and catalase) of bacterial stains used in applications were investigated. The highest IAA was found in *Bacillus licheniformis* strain HK-13 (61.24µg ml⁻¹), the highest siderophore production was found in *Pseudomonas putida* strain NK-12 (36 mm). It has been determined that all of the strains have ACC-deaminase and catalase enzymes. The results showed that including bacterial applications in tomato cultivation would be effective in reducing the use of chemical fertilizers.

Keywords: PGPR, Biofertilizer, Yield, Quality, *Solanum lycopersicum*

1. Giriş

İnsan sağlığının korunması ve beslenme açısından önemli bir yere sahip olan domates (*Solanum lycopersicum* L.), diğer sebzelere kıyasla daha kolay yetiştirilebilmesi ve iklim değişikliklerine dayanıklılığı ile en çok tercih edilen sebze türü olarak ilk sırada yer almaktadır (Anonim, 2007). Türkiye’de tarla ve örtü altı üretimi incelendiğinde, domatesin en fazla üretilen sebzelerin başında geldiği görülmektedir. Son dönemde örtü altı domates yetiştiriciliğinin yaygınlaşması ile birlikte hem domates üretim miktarı artmakta hem de üretim sezonu genişlemektedir. 2022 yılı verilerine göre Türkiye’de, domates üretiminin yapıldığı toplam plastik sera alanı 212.493 dekadır ve bu alanın 127.318 dekarı Antalya ilinde yer almaktadır. Konuya üretim açısından bakıldığında Türkiye’de plastik sera domates üretimi 3.466,581 ton’dur ve bu üretimin 2.057,085 tonu Antalya ilinden elde edilmektedir. Veriler plastik sera ekim alanı olarak Türkiye’nin domates üretiminde Antalya ilinin dikkate değer bir paya sahip olduğunu göstermektedir (TÜİK, 2022).

Tarımsal üretimde, bitki sağlığını ve toprak özelliklerini etkileyen en önemli sorunların başında bilinçsiz ve yoğun kimyasal gübre kullanımı gelmektedir. Son yıllarda bu sorunun üstesinden gelebilmek amacıyla bitki gelişimini teşvik eden kök bakterileri (Plant Growth Promoting Rhizobacteria= PGPR)’nin kullanımı alternatif bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. PGPR’lar bitkinin kök aktivitesini artırarak bitkiler tarafından besin elementi alınımını arttırmakta, havanın serbest azotunu toprağa bağlayarak bitkiye sunmakta, toprak yapısının iyileştirilmesinde düzenleyici olarak rol almakta, ürettikleri fosfataz, fitaz ve C-P liyaz enzimleri ile toprakta bitkiye yararlı formda bulunan fosfatı kullanılabilir forma dönüştürmekte ve potasyumu çözebilme özellikleri sayesinde toprak verimliliğini arttırmaktadır (Mason D’Croz ve ark., 2019; Yilihamu ve ark., 2020; Babalola ve ark., 2021). Ayrıca bitki gelişimini teşvik de rol oynayan bitkisel hormonları üretmekte, ACC-deaminaz enzim aktivitesi yoluyla etilen sentezine engel olmakta, ağır metallerin bitkiler tarafından alınmasını kısıtlamakta, ürettikleri polisakkaritlerle toprakta agregatlaşmayı arttırmakta, artan bitki enzim aktivitesi ile abiyotik stres koşullarına (radyasyon, yüksek sıcaklık, metal toksisitesi, kuraklık, tuzluluk vb.) karşı bitkilerin dayanıklılığını arttırmaktadırlar (Lugtenberg ve Kamilova 2009; Venkadesaperumal ve ark., 2014; Numan ve ark., 2018). Ayrıca PGPR’lar fitopatogen fungusların çim tüpü ve spor oluşumunu inhibe etmekte, antimikrobiyal bileşikler (pyrrolnitrin, kanosamin, butirolacton, oligomisin A, oomycin A, 7 pyoluteorin, mycobacillin, subtilin, pantocin, viscosinamid ve iturin A) veya fungal hücre duvarını parçalayan litik enzimler (kitinaz, sellulaz ve glukonaz gibi) üreterek hastalık çıkışını azaltmakta veya engellemektedir (Karthika ve ark., 2020; Santoyo ve ark., 2021). Bunların yanında siderofor üretimi ile bitkinin demir alınımını arttırmakta, hidrojen siyanid (HCN) üretimi ile toprak kaynaklı patojenlerin gelişimini engellemekte ve bitkilerin savunma sistemini uyarmaktadır. Bu mekanizmalar bitkilerin farklı gelişim dönemlerinde birbirinden bağımsız olarak veya aynı anda aktif olabilmektedir (Van Loon, 2007; Beneduzi ve ark., 2012; Berger ve ark., 2017).

Yetiştiricilikte kullanılan fosfor içerikli gübrelerin kaynağı olan fosfat kayası, çiftlik gübreleri ve tarımda kullanılan ilaçların bir kısmı önemli oranda toksik ağır metal içerebilmektedir. Endüstriyel ürünlerden elde edilen organik ve inorganik gübrelerde de ağır metal riski bulunmaktadır. Daha çok As, Cr, Cd, Hg, Ni ve Pb içeren bu gübrelerin toprağa verilmesi ile toksik metaller kökler aracılığıyla bitkiye alınarak ürüne kadar taşınmaktadır. Bu tür gübrelerin kullanımı sadece toprak verimliliği ve ekosistem üzerinde değil, aynı zamanda besin zinciri yoluyla insan ve hayvan sağlığı üzerinde de önemli tehlikeler oluşturmaktadır (Ajilogba ve ark., 2013; Khalid ve ark., 2017; Verla ve ark., 2019; Kotan ve Tozlu, 2021). Aynı zamanda tarım ürünlerinde bulunan kalıntı, bu ürünlerin ihracatını da olumsuz yönde etkilemektedir (Gallo ve ark., 2020). Bitki beslemenin önemli unsurlarından biri olan PGPR’ların, tarımsal üretimde kullanılmaları ile en büyük girdi payına sahip olan kimyasal gübre tüketiminin azaltılabildiği, bitkisel ürünlerin miktar ve kalitesine olumlu katkılar sağladığı yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Niranjiyan ve ark., 2006; Saharan ve Nehra, 2011; Porcel ve ark., 2014; Cordero ve ark., 2018). Bu nedenle mevcut çalışmada, kimyasal gübre ve PGPR strainlerinin domates bitkisinde bazı verim ve kalite parametrelerine etkisinin sera üretim şartlarında karşılaştırılması ve kullanılan strainlerin bitki gelişimini teşvik mekanizmalarının (IAA ve siderofor üretimi, ACC-deaminaz ve katalaz aktivitesi) belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. 2.1. Çalışmada kullanılan bitki materyali, kimyasal gübreler ve bakteri strainleri

Antalya ilinde hakim çeşit olması sebebiyle Yüksel Tohum’dan temin edilen Gülpembe F1 domates çeşidi bitki materyali olarak kullanılmıştır. İlkbahar ve sonbahar dikimine uygun olup hasata hızlı gelen bir çeşittir. Meyveleri

parlak pembe renkli, az dilimli, sert ve raf ömrü uzundur. Boğum arası kısadır ve salkımda 4-5 adet meyve bulunmaktadır. Tat ve aroması çok iyidir. Domates mozaik tobamo virüsüne, *Verticillium dahliae*, *Verticillium albo-atrum* ve *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*' ye dayanıklı bir çeşittir. Gübre olarak, Toros Tarım San. ve Tic. A.Ş. firmasından temin edilen wsf NPK gübreler (Toros Map 12.61.0, Toros MKP 0.52.34, Torosol 18.18.18, Torosol 15.30.15, Torosol 16.8.24, Torosol 20.10.20, organomineral gübre, Çinko ve Bor) ve Kuşbaba Tarım'dan temin edilen hümkik-fulvik asit içerikli organik madde kullanılmıştır. Iğdır Üniversitesi, Fitopatoloji Laboratuvarı kültür koleksiyonunda bulunan ve azot fikse edebilme, fosfor ve potasyum çözme özellikleri tespit edilmiş olan altı bakteri straini kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan strainlerin yağ asit metil ester analizine ait tanı sonuçları ve strainlere ait bazı özellikleri *Tablo 1*'de verilmiştir.

Tablo 1. Bakteri strainlerinin FAME Analiz Sonucu ve bazı özellikleri

Table 1. FAME analysis result and some properties of bacterial strains

SN*	FAME Analiz Sonucu	Benzerlik indeksi (%)	N	P	K
HK-13	<i>Bacillus licheniformis</i>	66	K ⁺	-	+
NK-12	<i>Pseudomonas putida</i>	53	K ⁺	+	-
BY-44	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	83	+	K ⁺	+
SK-63	<i>Rhizobium radiobacter</i>	59	+	K ⁺	-
SK-26	<i>Bacillus subtilis</i>	66	K ⁺	+	-
FC-42	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	78	+	+	K ⁺

*SN: Strain no, FAME; Fatıy asit metil ester, N: Azot fikse etme özelliği, P: Fosfor çözme özelliği, K: Potasyum çözme özelliği, +: Pozitif, -: Negatif, K+: Kuvvetli pozitif

2.2. Deneme planı ve PGPR grupları

Deneme, Antalya'nın Finike ilçesine bağlı Hasyurt mahallesinde yer alan plastik serada tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Çalışma bakteri uygulaması I (*Stenotrophomonas maltophilia* strain BY-44, *Bacillus licheniformis* strain HK-13 ve *Pseudomonas putida* strain NK-12), bakteri uygulaması II (*Pseudomonas fluorescens* strain FC-42, *Bacillus subtilis* strain SK-26 ve *Rhizobium radiobacter* strain SK-63), kimyasal gübre ve negatif kontrol olmak üzere 4 uygulamadan oluşmuştur. Her parselde 15 domates fidesi olacak şekilde toplam 180 fide ile çalışma yürütülmüştür.

2. 3. Bakteri solüsyonlarının hazırlanması

Nutrient Agar besisi ortamında geliştirilen bakteriler, içerisinde Nutrient Broth (NB) bulunan steril erlenmayerlere aktarılmıştır. Kontamine edilen sıvı besisi ortamları 140 rpm' de 28°C'ye ayarlı çalkalayıcıda 1 gece inkübasyona bırakılmıştır. Hazırlanan inokulumun konsantrasyonu turbitimetre ile 10⁸ CFU ml⁻¹ olarak ayarlanmıştır.

2. 4. Bitkilere kimyasal gübrelerin uygulanması

Dikimden sonraki 7-10 günlük sürede 3 günde bir damlama sulama sisteminden 15-20 dk süreyle sulama yapılmıştır. Bitkide hızlı kök oluşumunu sağlamak için Genta firmasına ait Spinter+Plus (6-30-0) yaprak gübresinden 400 g sulama suyu ile verilmiş ve bu uygulama 2 kez tekrarlanmıştır. MAP (12.61.0) uygulaması dönüme 1.5 kg olacak şekilde 20 gün süreyle 7 günde bir ortalama 25-30 dk damlama sulama sistemi ile verilmiştir. Bir gübrelemede MKP (0.52.34) dönüme 2 kg olarak uygulanmıştır. MAP içerisine NPK (18.18.18) eklenerek bir hafta ara ile 4 kez damlama sulamadan verilmiştir. 3 sulamada bir magnezyum nitrat 1.5 kg da⁻¹ olarak damlama sulama sistemi ile uygulanmıştır. Bitki 4. veya 5. meyve salkımına geldiğinde NPK (18.18.18) ve NPK (16.08.24) uygulaması 3'e 1 oranında yapılmıştır. Bu uygulama içerisine de magnezyum sülfat 2 sulamada bir olarak 2 kg damlama sulama sistemi ile verilmiştir. Bitkide 6. meyve salkımında tepe körlemesi yapılmış ve hasat döneminin sonuna kadar NPK (16.08.24) verilmesine devam edilmiştir. MAP uygulaması yapılmaya başladıktan sonra 3 sulamada bir dönüm başına kalsiyum nitrat 2.5 kg ve yarım litre nitrik asit uygulanmıştır. Bu aşamada dönüm başına hümkik-fulvik asit içeren ürünlerden 2 litre damlama sulama sistemine ait tanka eklenmiştir.

2.5. Domates bitkilerine bakterilerin inokulasyonu

Kimyasal gübre programına paralel olarak bakteri uygulaması yapılmıştır ve bakteri strainlerinden hazırlanan solüsyonlar bitkilerin toprağına ($100 \text{ ml bitki}^{-1}$) uygulanmıştır (Şekil 1). Bitkilere azot içerikli gübre verildiğinde bakteri uygulamaları için azot fikse edebilme özelliğine sahip NK-12 ve SK-26 strainleri, fosfor içerikli ve saf gübreler verildiğinde fosfor çözebilme özellikleri pozitif olan BY-44 ve SK-63 strainleri, potasyum oranı yüksek NPK gübrelerin uygulandığı dönemde ise potasyumu çözebilen HK-13 ve FC-42 strainleri karıştırılmadan tek olarak inokule edilmiştir.



Figure 1. Application of bacterial solutions to plant roots

Şekil 1. Bakteri solüsyonlarının bitki köklerine uygulanması

2. 6. Çalışmada incelenen parametreler

Çalışmada bitkilerin yetiştirme periyodu boyunca gerekli olan bütün kültürel işlemler yapılmış, yetiştirme süresi sonunda bitkiler verim ve meyve özellikleri bakımından değerlendirilmiştir. Çalışmada yer alan uygulamaların; salkım sayısına (adet bitki^{-1}), erkenci verime, birikimli verime (gr parsel^{-1}), birikimli meyve sayısına (adet parsel^{-1}), ortalama meyve ağırlığına, meyve boyuna, meyve çapına, meyve sertliğine (delinme direnci), toplam suda çözünebilir kuru madde miktarına, meyve suyunun pH değerine ve titre edilebilir asit miktarına etkisi araştırılmıştır.

2.7. Çalışmada kullanılan strainlerin PGPR özelliklerinin belirlenmesi

2.7.1. Strainlerin indol asetik asit (IAA) üretimi

Bakteri strainlerinin IAA üretimi hazırlanan spesifik besi ortamında belirlenmiştir (Asghar ve ark., 2002). İçerisinde 20 ml NB besi ortamı bulunan 250 ml 'lik erlenmayerler steril edilmiş ve her bir erlenmayer içerisine $0.2 \mu\text{m}$ por çaplı filtreden geçirilen $\%0.5$ ' lik 5 ml tryptophane (L-TRP) ilave edilmiştir. Ardından bakteri kolonileri (1 öze) ilave edildikten sonra 24°C 'ye ayarlı çalkalayıcıda 120 rpm 'de 48 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyondan sonra süspansiyonlar falkon tüplere konularak 6000 rpm 'de 10 dk. boyunca santrifüj edilmiştir. Filtre kâğıdından (Whatman, No:2) süzülerek elde edilen filtrat 10.000 rpm ' de 5 dk santrifüje tabi tutulmuştur. Santrifüj işleminden sonra süpernatanttan 3 ml alınarak steril tüp içerisine aktarılmış ve üzerine 2 ml Salkowski ayracı ($2 \text{ ml } 0.5 \text{ M FeCl}_3 + 98 \text{ ml } \%35 \text{ HClO}_4$) eklendikten sonra pembe renk oluşumu için 30 dk bekletilmiştir. Spektrofotometrede 535 nm 'de okuması örneklerin absorbans değerleri kaydedilmiştir. Farklı ppm dozlarında ($0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 \text{ ppm}$) IAA standart solüsyonları hazırlanmış ve 535 nm 'de okunan absorbans değerleri kullanılarak JMP istatistik programında regresyon analizi yapılarak standart doğru grafiğı (Şekil 2) çizilmiş ve standart doğru denklemi ($y=17.23+48.37x$) bulunmuştur. Örneklere ait değerler bu denklemde x yerine yazılarak bakterilerin ürettiğı IAA miktarları $\mu\text{g/ml}$ olarak hesaplanmıştır.

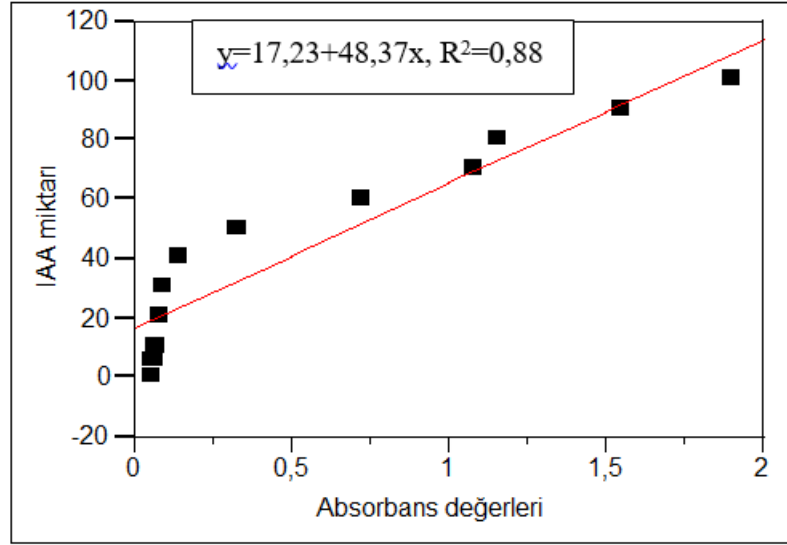


Figure 2. Standard graphic of IAA solutions prepared at different doses ($p < 0.001$)

Şekil 2. Farklı dozlarda hazırlanan IAA solüsyonlarının standart grafiği ($p < 0.001$)

2.7.2. Strainlerin siderofor üretimi

Strainlerin siderofor üretimi Crom Azurol S (CAS) agar besi ortamında test edilmiştir. Besi ortamı aşağıda belirtilen şekilde hazırlanmıştır:

CAS solüsyonu; a (0.06 g CAS 50 ml sdH₂O), b (0.0027 g FeCl₃6H₂O 10 ml HCl) ve c (0.073 g HDTMA 40 ml saf su) çözeltileri ayrı ayrı hazırlanıp birleştirilerek otoklavlanmıştır. Mineral tuz solüsyonu; pH~ 12 olan salt stok solüsyonu (15 g KH₂PO₄, 25 g NaCl, 50 g NH₄Cl, 500 ml saf su) ve %20 glukoz stok solüsyonu (20 g glukoz, 100 ml saf su) ayrı ayrı hazırlanmıştır. Casamino asit solüsyonu; 4 g casamino asit, 36 ml saf su ve 1.08 g %3' lük 8-hydroxyquinoline 36 ml kloroform karıştırılarak hazırlanmıştır ve 24 saat bekletildikten sonra 0.22 µl' lik filtreden geçirilerek besi ortamına katılmıştır. D solüsyonu; 750 ml saf suya 100 ml salt stok solüsyonundan ilave edilmiş, pH 6' ya ayarlandıktan sonra 32.24 g Pipes (piperazine-N,N'-bis2-ethanesulfonic acid) yavaş yavaş eklenmiştir. pH 6.8'e ayarlandıktan sonra 15 gram agar ilave edilerek ortam otoklavlanmıştır. Steril kabin içerisinde D solüsyonuna 30 ml steril casamino asit solüsyonu ve 10 ml steril %20' lik glukoz solüsyonundan eklendikten sonra 100 ml olan A solüsyonu yavaşça köpük oluşumuna izin vermeden ortama eklenmiştir. Hazırlanan besi ortamı dikkatli bir şekilde petrilere dökülerek soğutulmuştur. Bakteri strainleri çizgi ekimle 4 ayrı noktaya inokule edilmiş ve 27°C' de 5 gün inkübasyona bırakılmıştır. Bakteri gelişiminin etrafında portakal renkli alanın oluşması siderofor üretimi pozitif olarak değerlendirilmiş ve bu alanın çapı ölçülerek kaydedilmiştir (Louden ve ark., 2011).

2.7.3. ACC-deaminaz testi

Bakteri strainlerinin bitkilerde oluşan zararlı etilen üretimini baskılayan 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase (ACC-deaminaz) enzimini üretebilme yetenekleri Penrose ve Glick (2003)' in belirttiği yöntemle göre DF besi ortamı kullanılarak değerlendirilmiştir. Strainlerin çizgi ekim metodu ile ekimleri yapılmış ve ardından petrilere 27°C' ye ayarlı inkübatörde 48-72 saat bekletilerek koloni gelişimleri gözlemlenmiştir. Gelişim gösteren strainler ACC-deaminaz pozitif olarak belirlenmiştir.

2.7.4. Katalaz testi

Katalaz enziminin varlığını belirlemek amacıyla bakteri strainleri NA besi ortamında geliştirilmiş ve gelişen kültürlerden bir öze alınarak lam üzerine konulmuş ve 1 damla H₂O₂ damlatılmıştır. Koloni yüzeyinde kabarcık oluşumu pozitif olarak değerlendirilmiştir (Klement ve ark., 1990).

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen verilere SPSS (17.0) paket programı kullanılarak varyans analizi uygulanmış ve ortalamalar arasındaki farklılıklar %5 hata payı ile yapılan LSD testiyle belirlenmiştir (SPSS, 2010).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Çalışmada incelenen parametreler

Üretim sezonunun sonunda incelenen parametrelere dair gerekli ölçümler yapılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde bitkilerde yapılan dört uygulamada da (bakteri I, bakteri II, kimyasal gübre ve negatif kontrol) bitki başına salkım sayısı 6 olarak belirlenmiştir. Ortalama meyve ağırlığı bakteri I uygulamasında 210 g, bakteri II uygulamasında 216 g ve kimyasal gübre uygulamasında 219 g saptanmıştır. Negatif kontrol uygulamasında ise bu değer 201 g olarak tespit edilmiştir. Çalışmada yer alan bütün uygulamaların negatif kontrole kıyasla daha iyi sonuç verdiği, kimyasal gübre ve bakteri II uygulamalarından elde edilen sonuçların birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Meyve çapı bakteri II uygulamasında 7.7 cm ve kimyasal gübre uygulamasında 8 cm olarak ölçülürken, bakteri I uygulamasında ve negatif kontrolde 7.5 cm olarak belirlenmiştir. Uygulamaların bitki başına salkım sayısına, ortalama meyve ağırlığına ve meyve çapına etkisinin istatistiki olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2).

Bakteri I (BY-44, HK-13 ve NK-12) uygulamasının yapıldığı parselde 15.05 kg, bakteri II (FC-42, SK-23 ve SK-63) uygulamasının yapıldığı parselde 15.9 kg, kimyasal gübre uygulaması yapılan parselde 16.61 kg ve negatif kontrolde 11.68 kg verim elde edilmiştir. Erken verim için en yüksek değer kimyasal gübre uygulamasından alınırken her iki bakteri uygulamasının da negatif kontrole kıyasla daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Birikimli verim bakteri I uygulamasında (BY-44, HK-13 ve NK-12) 44.3 kg, bakteri II uygulamasında (FC-42, SK-23 ve SK-63) 49.4 kg, kimyasal gübre uygulamasında 51.9 kg ve negatif kontrolde 34 kg olarak tespit edilmiştir. Her iki bakteri uygulamasından da kontrole kıyasla oldukça iyi sonuç alındığı, kimyasal gübre uygulamasının ise tüm uygulamalar arasında en yüksek değere sahip olduğu saptanmıştır. Birikimli meyve sayısı kimyasal gübre uygulamasında 237, negatif kontrolde 169 adet olarak sayılmıştır. Bakteri I ve II uygulamalarında ise bu değer sırasıyla 211 ve 229 adet olarak kaydedilmiştir. Meyve boyu değerleri bakteri II ve kimyasal gübre uygulamasında 7 cm, bakteri I uygulaması ve negatif kontrolde 6.5 cm olarak tespit edilmiştir (Tablo 2). Uygulamaların birikimli meyve sayısı, birikimli meyve boyu, erken verim ve birikimli verime etkisi istatistiki olarak ($p>0.05$) önemli bulunmuştur.

Tablo 2. Uygulamaların domateste bazı verim parametrelerine etkisi

Table 2. The effects of the applications on some yield parameters in tomato

	BMS*	OMA meyve ⁻¹)	(gr	MB (cm)	MÇ (cm)	EV (kg)	BV (kg)
B-I	211.0±1.732 ^c	210.0±1.732 ^{ns**}		6.50±0.115 ^b	7.5±0.288 ^{ns}	15.05 ±0.017 ^b	44.33±0.145 ^b
B-II	229.0±1.732 ^b	216.0±1.732 ^{ns}		7.0±0.115 ^a	7.7±0.173 ^{ns}	15.09±0.014 ^b	47.70±1.800 ^{ab}
KG	237.0±1.732 ^a	219.0±1.732 ^{ns}		7.0±0.057 ^a	8.0±0.115 ^{ns}	16.61±0.008 ^a	51.93±0.033 ^a
NK	169.0±1.732 ^d	167.6±34.844 ^{ns}		6.5±0.057 ^b	7.5±0.057 ^{ns}	11.68±0.014 ^c	33.66±2.027 ^c
Sig.	0.000	0.212		0.004	0.240	0.000	0.000

* BMS; Birikimli meyve sayısı, OMA; Ortalama meyve ağırlığı, MB; Meyve boyu MÇ; Meyve çapı EV; Erken verim, BV; Birikimli verim, , B-I; Bakteri I, B-II; Bakteri II, KG; Kimyasal Gübre, NK; Negatif Kontrol

**ns; Nonsignificant, Sig; Significant, ^{a,b,c}; Değerler üç tekerrür ortalamasıdır ve farklı harfler gruplar arasındaki farklılıkları göstermektedir

Meyve sertliği bakteri I uygulaması yapılan meyvelerde 65, bakteri II uygulaması yapılan meyvelerde 68, kimyasal gübre uygulaması yapılan meyvelerde 67 ve negatif kontrolde yer alan meyvelerde 62 olarak saptanmıştır. Meyve kuru ağırlığına ait değerler bakteri II ve kimyasal gübre uygulamalarında %72, bakteri I uygulamasında %75 ve negatif kontrolde %78 olarak belirlenmiştir. Toplam suda çözülebilir kuru madde miktarı bakteri II ve kimyasal gübre uygulamalarında 4.7, bakteri I uygulamasında 4.4 ve negatif kontrolde 4.3 olarak tespit edilmiştir. Meyve suyunun pH değeri bakteri I ve II uygulamalarında 4.8, kimyasal gübre uygulamasında 4.5, negatif kontrolde 4.86 olarak ölçülmüştür. Uygulamaların meyve sertliği, meyve kuru ağırlığı, toplam suda çözülebilir kuru madde miktarı ve meyve suyunun pH değerindeki değişimine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Uygulamaların titre edilebilir asit miktarı üzerinde istatistiksel olarak önemli olduğu ($p>0.05$) tespit

edilmiş ve titre edilebilir asit miktarı en düşük negatif kontrol grubunda (2.95), en yüksek kimyasal gübre uygulamasında (3.35) bulunmuştur. Bakteri I ve II uygulamalarında ise bu değer sırasıyla 3.18 ve 3.0 olarak belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Uygulamaların domateste bazı kalite parametrelerine etkisi

Table 3. The effects of applications on some quality parameters in tomato

UYG	TA (mval 100 ml ⁻¹)	TSÇKM (%)	pH	MKA (%)	MS (N)*
B-I	3.18±0.011 ^b	4.4±0.057 ^{ns**}	4.8±0.115 ^{ns}	75±1.732 ^{ns}	65±1.732 ^{ns}
B-II	3.40±0.023 ^a	4.7±0.115 ^{ns}	4.8±0.173 ^{ns}	72±1.732 ^{ns}	68±1.732 ^{ns}
KG	3.35±0.017 ^a	4.7±0.057 ^{ns}	4.86±0.34 ^{ns}	78±1.732 ^{ns}	67±1.732 ^{ns}
NK	2.95±0.023 ^c	4.3±0.173 ^{ns}	4.5±0.173 ^{ns}	72±1.54 ^{ns}	62±1.732 ^{ns}
Sig.	0.000	0.074	0.308	0.084	0.150

*TA: Titre edilebilir asit, TSÇKM: Toplam suda çözülebilir kuru madde, MS: Meyve sertliği, MKA: Meyve kuru ağırlığı, B-I: Bakteri I uygulaması (BY-44; *Stenotrophomonas maltophilia*, HK-13; *Bacillus licheniformis* ve NK-12; *Pseudomonas putida*), B-II: Bakteri II uygulaması (FC-42; *Pseudomonas fluorescens*, SK-26; *Bacillus subtilis* ve SK63; *Rhizobium radiobacter*), UYG: Uygulamalar, KG: Kimyasal Gübre, NK: Negatif Kontrol

**ns; Nonsignificant, Sig; Significant, ^{a,b,c}: Değerler üç tekerrür ortalamasıdır ve farklı harfler gruplar arasındaki farklılıkları göstermektedir

3.2. Çalışmada kullanılan strainlerin PGPR özellikleri

Yapılan çalışmada kullanılan bakteri strainlerinin IAA üretimleri kolometrik olarak belirlenmiştir. Test edilen bakteriler arasında *Bacillus licheniformis* strain HK-13, *Pseudomonas putida* strain NK-12, *Pseudomonas fluorescens* strain FC-42 ve *Rhizobium radiobacter* strain SK-63'ün indol asetik asit ürettiği tespit edilmiştir. *Stenotrophomonas maltophilia* strain BY44 hariç strainlerin tamamında siderofor üretimi belirlenmiştir. Bitki gelişimini teşvik mekanizmalarından biri olan ACC-deaminaz üretimi strainlerin tamamında pozitif bulunmuştur. Test edilen tüm strainlerin katalaz enzimine sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada test edilen bakterileri PGPR özelliklerine ait sonuçlar Tablo 4' te sunulmuştur.

Tablo 4. Bakteri strainlerin PGPR özelliklerine ait sonuçlar

Table 4. Results of PGPR properties of bacterial strains

Strainler	Sid.(mm)*	IAA (µg ml ⁻¹)	ACC-d.	KAT
<i>Bacillus licheniformis</i> strain HK-13	4	61.24	+	+
<i>Pseudomonas putida</i> strain NK-12	36	60.76	+	+
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i> strain BY-44	-	-	Z+	+
<i>Rhizobium radiobacter</i> strain SK-63	6	39.48	Z+	+
<i>Bacillus subtilis</i> strain SK-26	8	-	+	+
<i>Pseudomonas fluorescens</i> strain FC-42	35	40.44	+	+

*Sid: Siderofor, IAA: İndol asetik asit, ACC-d: ACC-deaminaz, KAT: Katalaz

Tabloda yer alan değerler incelendiğinde, strainler arasında en yüksek siderofor üretimi *Pseudomonas putida* NK-12' de, en yüksek IAA üretimi *Bacillus licheniformis* HK-13' de görülmektedir. Genel olarak elde edilen veriler değerlendirildiğinde bütün uygulamaların negatif kontrole kıyasla daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Domateste en yüksek verim kimyasal gübre uygulaması yapılan bitkilerden elde edilmiş, bu uygulamayı takiben bakteri II uygulamasının da kimyasal gübre uygulaması kadar etkili sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* ve *Stenotrophomonas* cinslerine ait 6 rizobakteri kullanılmıştır. Çalışmada yer alan strainlerin tamamının azotu fiks ettiği, 5 strainin fosfor, 2 strainin de potasyum

çözebilme yeteneğinde olduğu bilinmektedir. Strainlerin bu özellikleri ile domatesta verim ve kalitenin artırılmasında rol oynadıkları düşünülmektedir. Sonuçlarımıza paralel olarak yapılan çeşitli araştırmalarda faydalı bakterilerin azot fikse edebilme, fosfat ve potasyum çözebilme özellikleri ile bitkiler tarafından besin elementlerinin alımını arttırarak bitki gelişimini teşvik ettikleri ifade edilmektedir (Aseri ve ark., 2009; Bashir ve ark., 2017). Örneğin PGPR kullanımının domates gelişimine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada *Pseudomonas putida* strain HV 24'ün kuvvetli azot fikse etme yeteneğine sahip olduğu ve bitkinin ana kök uzunluğu, gövde uzunluğu, gövde kalınlığı ve dal sayısı üzerine önemli ölçüde etki ettiği rapor edilmiştir (Şahin ve Dönmez, 2020). Oral ve Kotan (2021) tarafından domatesta bazı bakteri uygulamalarının (*Bacillus megaterium*'un KBA 10, TV 91C ve TV 60D strainleri) kontrole göre meyve sayısı, meyve ağırlığı, meyve çapı, meyve yüksekliği gibi parametrelerde istatistikî olarak önemli artışlara sebep olduğu bulunmuştur. Fidelik ve sera şartlarında *Bacillus licheniformis*'in domates ve biber bitkilerine yapılan uygulamalarında bakteri uygulamasının iki bitkide de fidelikte yaprak alanı be bitki boyunu, serada ise meyve sayısı ve meyve çapını önemli ölçüde artırdığı rapor edilmiştir (Garcia ve ark., 2004). Mevcut çalışmada da *B. licheniformis* straininin yer aldığı bakteri I uygulamasında kontrole kıyasla meyve sayısında artış sağlanmıştır. Yine bu çalışmada, her iki bakteri uygulamasının da meyve sayısı, ortalama meyve ağırlığı, meyve boyu, erkenci ve birikimli verimde kontrole kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlara paralel olarak, *Pseudomonas*, *Serratia* ve *Bacillus* cinslerine ait 6 bakteri straininin domates verimine etkisinin araştırıldığı bir başka çalışmada bakteri uygulamalarının bitki verimini, gövde kuru ağırlığını, bitki boyunu ve bitki başına meyve sayısını kontrole kıyasla önemli miktarda artırdığı bildirilmiştir (Almaghrabi ve ark., 2013). *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Azotobacter* ve *Acetobacter* gibi azot fikse eden bakterileri içeren ticari Symbion-N biyolojik gübresinin sera şartlarında kontrole kıyasla bitki başına meyve sayısını (42.4 adet/ bitki), toplam verimi (11.27 kg m²), meyve ağırlığını (122.8 g), meyve sertliğini (35.17 N), TSÇKM' yi (5.40) ve titre edilebilir asidi (3.40 mval ml⁻¹) artırdığı rapor edilmiştir (Öztekin ve ark., 2015). Mevcut çalışmada bakteri II uygulamasında BMS 229 adet/bitki, OMA 216 g, meyve sertliği 68 N, birikimli verim 47.70 kg, TSÇKM 4.7, titre edilebilir asit 3.40 olarak tespit edilmiştir. Domateslerde meyve eti sertliği ürünün depolanması ve dağıtımında zedelenmelere karşı önemli bir hasat kriteridir (Batu, 2004) ki bakteri II uygulamasında elde edilen değer bu konuda önem taşımaktadır. Domates meyvesinde lezzeti oluşturan en önemli kalite bileşeni suda çözünür kuru madde miktarıdır (Özkaplan ve Balkaya, 2019). Çalışmada belirlenen SÇKM değeri (4.7) farklı araştırma sonuçlarını bu yönüyle destekler niteliktedir (Tüzel ve ark., 2009; Bonakdarzadeh, 2014; Öztekin ve ark., 2015). Domates meyve suyunda tadı belirleyen pH değeri, önemli kalite parametrelerinden birisidir. Genel olarak kalite analizlerinde, düşük pH (2.0 civarı) meyvelerin ekşiliğini, düşük asitlik değeri ise meyvelerin tatlılığını ifade etmektedir (Brown, 2007). Araştırmada meyve suyu pH'sı bakteri uygulamalarında 4.8 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde farklı uygulamalarda meyve suyu pH değerinin Özkaplan ve Balkaya (2019) 4.39, Toprak ve Gül (2013) 4.52-4.66 ve Kiracı ve Karataş (2015) 4.37-4.58 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Söz konusu bakteri strainlerinin etki mekanizmaları ile ilgili özellikleri dikkate alındığında 6 strainden 5 tanesinin siderofor, 4 tanesinin IAA ürettiği belirlenmiştir. Strainlerin hepsinin ACC deaminaz ve katalaz enzimlerine sahip olduğu saptanmıştır. Rizobakterilerin büyük çoğunluğunun hormon ürettikleri ve bitki gelişimini düzenledikleri çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir (Samaras ve ark., 2021; Shahid ve ark., 2021). İndol asetik asitin bitkide hücre bölünmesi, uzaması ve farklılaşmasına etki ettiği, yan kök oluşumunu teşvik ettiği, çeşitli stres koşullarında bitkiye dayanıklılık sağladığı, birçok metabolitin biyosentezinde rol aldığı ve bitkide büyümeyi artırdığı bildirilmiştir (Tan ve ark., 2021). Antagonist bakterilerin çilek bitkisinin gelişimine etkisinin araştırıldığı çalışmada *Pseudomonas* cinsine ait strainler test edilmiş ve bu strainlerin bitkide %14.19-159.92 oranında ağırlık artışı sağladığı görülmüştür. Bu strainlerden *Pseudomonas putida* strain 6k4 ve 6ks'in sırasıyla 62.4 ve 1.9 µg ml⁻¹ IAA ürettikleri belirlenmiştir (Özyılmaz, 2007). Mevcut çalışmada kullanılan bakteri strainlerinden HK-13, NK-12, SK-63 ve FC-42'nin IAA ürettiği saptanmıştır. En yüksek IAA üretimi (61.24 µg/ml) *Bacillus licheniformis* strain HK-13'de bu straini takiben *Pseudomonas putida* strain NK-12'de (60.76 µg/ml) tespit edilmiştir. Bu strainlerin yer aldığı her iki uygulamada da incelenen parametreler açısından en yüksek değere sahip olan kimyasal gübre kullanılan uygulamaya yakın sonuçlar alındığı tespit edilmiştir. Demir; fotosentez ve solunum gibi birçok önemli biyolojik süreçte yer aldığından bitkiler için gerekli bir mikro besin elementidir. PGPR' lar siderofor üreterek demiri bağlamakta, böylelikle bitkinin ihtiyacı olan demiri bitkiye sunarak gelişimini teşvik etmektedir (Dixon ve Kahn, 2004). Mevcut çalışmada kullanılan bakteri strainlerinin siderofor üretimi ile domates gelişimini teşvik ettiği düşünülmüştür. PGPR' lar tarafından üretilen 1-aminoklopropan-1-karboksilat (ACC) deaminaz

enziminin, stres hormonu olan etilenin bitkide oluşturduğu olumsuzlukları dengeleyerek bitki büyüme ve gelişimini teşvik ederek ürün veriminin artmasını sağladığı bildirilmiştir (Rai ve Nabti, 2017). Bu çalışmaların sonuçlarına benzer şekilde bu çalışmada kullanılan strainlerin tamamında ACC-deaminaz aktivitesi tespit edilmiş ve bunun bitki büyümesi ve verimin artmasında rol oynadığı kanısına varılmıştır. Yine başka bir çalışmada *Pseudomonas* ve *Bacillus*’unda aralarında bulunduğu 4 cinse 74 strainin PGPR özellikleri test edilmiş ve 7 strainin ACC-deaminaz, IAA aktivitesine ve siderofor üretimine sahip olduğu belirlenmiş ve bu strainler ile yapılan uygulamaların domateste bitki gelişimini artırdığı rapor edilmiştir (Vaikuntapu ve ark., 2014). Çeşitli çalışmalar göstermiştir ki antioksidan enzimlerden olan katalazın, oksidatif stres sonucu oluşan çeşitli reaktif oksijen türlerinin su ve oksijene dönüşerek yok edilmesini ve bitki hücrelerinin reaktif oksijen türlerinin zararlı etkilerinden korunmasını sağlamaktadır (Lakhdar ve ark., 2010; Sadou ve ark., 2016). Mevcut çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde kullanılan tüm bakteri strainlerinin katalaz aktivitesine sahip olduğu ve böylelikle bitki gelişimini teşvikte rol oynadığı düşünülmüştür.

Domateste bakteriyel kanser ve solgunluk etmeni *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* önemli verim kayıplarına neden olmaktadır (Tireng Karut ve ark., 2019). Yapılan bu denemede de negatif kontrol grubunda yer alan bitkilerde, *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*’in neden olduğu şiddetli bir enfeksiyon gözlenmiştir. Kimyasal gübre uygulaması yapılan bitkilerde hastalık hafif bir şekilde gözlenirken, bakteri uygulaması yapılan bitkilerde ise hastalık belirtisine rastlanmamıştır. Bitkilerde gözlemlenen biyokontrol etkinin strainlerin siderofor ve IAA üretiminden kaynaklı olduğu düşünülmüştür. Yapılan bir çalışmada da *Rhizobium* ve *Bacillus* türlerinin demir alımını engelleyen sideroforları salgılaması ile antagonistik etki gösterdiği bulunmuştur (Lurthy ve ark., 2020). Ayrıca yüksek rekabet yeteneğine sahip olan PGPR’ların hızlı bir şekilde bitki köklerine kolonize olup bitki yüzeyinde biofilm oluşturarak hastalık etmenlerine karşı etkili bir biyokontrol gösterdikleri belirtilmiştir (Boudyach ve ark., 2001; Rezzonico ve ark., 2007). Bununla birlikte ürettikleri çeşitli antimikrobiyal bileşikler sayesinde hastalık etmenlerinin gelişimini engelledikleri ve bitkide dayanıklılığı uyardıkları tespit edilmiştir (Whipps, 2001; Compant ve ark., 2005).

4. Sonuç

Çalışmada iki farklı bakteri uygulaması ve kimyasal gübre uygulamasının domateste çeşitli verim ve kalite özelliklerine etkisi araştırılmış ve bakteri II uygulamasından (*Pseudomonas fluorescens* strain FC-42, *Bacillus subtilis* strain SK-26 ve *Rhizobium radiobacter* strain SK-63) elde edilen sonuçların kimyasal gübre uygulamasının sonuçlarına yakın olduğu görülmüştür. Bakteri uygulamasının bitki gelişim parametrelerinde artışa sebep olmasının temelinde azot fiksasyonu, fosfat ve potasyumu çözebilme özelliklerinin yanı sıra hormon, siderofor ve ACC-deaminaz üretme özelliklerinin de etkili olduğu belirlenmiştir. Ancak kimyasal gübre uygulanan parsellerden elde edilen meyvelerde renklenmenin daha homojen olduğu, bakteri uygulamasının yapıldığı meyvelerde ise daha zayıf renklenme tespit edilmiştir. Kimyasal gübre ve pestisit kullanımına alternatif olarak bakteri II grubunda yer alan strainlerin kullanımının hem bitkilerin verimliliğini arttırmada hem de bitki hastalıklarının kontrolünde umut verici olduğu görülmektedir. Yüksek girdi kullanılan geleneksel tarımsal üretim sistemlerine alternatif olabilecek bu tür mikrobiyal kaynakların değerlendirilmesi bitkisel üretimde verim ve kalite artışına katkı sunacaktır. Kimyasal formülasyonların sık ve gelişigüzel kullanımından kaynaklanan insan sağlığı, toprak ve su kirliliği gibi ekolojik toksisiteye ilişkin artan endişeler düşünüldüğünde hem insan hem çevre sağlığı açısından hem de tarımsal ortamların sürdürülebilirliği bakımından mikrobiyal uygulamalar destek sağlayacaktır.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma için etik kuruldan izin alınmasına gerek yoktur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları olarak aramızda herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

Yazarlık Katkı Beyanı

Planlama: Dönmez, C., Dönmez, M. F.; Materyal ve Metot: Dönmez, C., Dönmez, M. F., Temel, I.; Veri toplama ve İşleme: Dönmez, C.; Makale Yazımı, İnceleme ve Düzenleme: Dönmez, C., Dönmez, M. F., Temel, I., Çoruh, İ.

Kaynakça

- Ajillogba, C. F., Babalola, O. O. and Ahmad, F. (2013). Antagonistic effects of *Bacillus* species in biocontrol of tomato *Fusarium* Wilt. *Studies on Ethno-Medicine*, 7(3): 205-216.
- Almaghrabi, O. A., Massoud, S. I. and Abdelmoneim, T. S. (2013). Influence of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on tomato plant growth and nematode reproduction under greenhouse conditions. *Saudi journal of biological sciences*, 20(1): 57-61.
- Anonim (2007). Tarım İl Müdürlüğü, Proje ve İstatistik Şube Müdürlüğü Kayıtları. Antalya.
- Aseri, G. K., Jain, N. and Tarafdar, J. C. (2009). Hydrolysis of organic phosphate forms by phosphatases and phytase producing fungi of arid and semi-arid soils of India. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, 5(4): 564-570.
- Asghar, H., Zahir, Z., Arshad, M. and Khaliq, A. (2002). Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassica juncea* L. *Biology and Fertility of Soils*, 35: 231-237.
- Babalola, O. O., Emmanuel, O. C., Adeleke, B. S., Odelade, K. A., Nwachukwu, B. C., Ayiti, O. E. and Adegboyega, T. T. (2021). Rhizosphere microbiome cooperations: strategies for sustainable crop production. *Current Microbiology*, 78: 1069-1085.
- Bashir, Z., Zargar, M. Y., Husain, M., Mohiddin, F. A., Kousar, S., Zahra, S. B. and Rathore, J. P. (2017). Potassium solubilizing microorganisms: mechanism and diversity. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 5(5): 653-660.
- Batu, A. (2004). Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. *Journal Food Engineering*, 61(3): 471-475.
- Beneduzi, A., Ambrosini, A. and Passaglia, L. M. P. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and Molecular Biology*, 35(4): 1044-1051.
- Berger, B., Baldermann, S. and Ruppel, S. (2017). The plant growth-promoting bacterium *Kosakonia radicincitans* improves fruit yield and quality of *Solanum lycopersicum*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97: 4865-4871.
- Bonakdarzadeh, M. (2014). *Topraksız tarımda farklı domates çeşitlerinin meyve kalite özelliklerinde mevsimsel değişimler*. (Yüksek Lisans Tezi) Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Boudyach, E. H., Fatmi, M., Akhayat, O., Benizri, E., Aoumar, A. A. B. (2001). Selection of antagonistic bacteria of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* and evaluation of their efficiency against bacterial canker of tomato. *Biocontrol Science and Technology*, 11(1): 141-149.
- Brown, A. (2007). Understanding Food Principles and Preparation. Thomson Higher Education 10 Davis Drive Belmont, CA 9402- 3098, p 672, USA.
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clement, C., Barka, E. A. (2005). Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology*, 71: 4951-4959.
- Cordero, I., Balaguer, L., Rincón, A. and Pueyo, J. J. (2018). Inoculation of tomato plants with selected PGPR represents a feasible alternative to chemical fertilization under salt stress. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 181(5): 694-703.
- Dixon, R. and Kahn, D. (2004). Genetic regulation of biological nitrogen fixation. *Nature Reviews Microbiology*, 2(8): 621-631.
- Gallo, M., Ferrara, L., Calogero, A., Montesano, D. and Naviglio, D. (2020). Relationships between food and diseases: what to know to ensure food safety. *Food Research International*, 137: 109414.
- García, J. A. L., Probanza, A., Ramos, B., Palomino, M., Mañero, F. J. G. (2004). Effect of inoculation of *Bacillus licheniformis* on tomato and pepper. *Agronomie*, 24(4): 169-176.
- Karthika, S., Varghese, S. and Jisha, M. S. (2020). Exploring the efficacy of antagonistic rhizobacteria as native biocontrol agents against tomato plant diseases. *3 Biotech*, 10: 320.
- Khalid, M., Hassani, D., Bilal, M., Liao, J. and Huang, D. (2017). Elevation of secondary metabolites synthesis in *Brassica campestris* ssp. *chinensis* L. via exogenous inoculation of *Piriformospora indica* with appropriate fertilizer. *PLOS ONE*, 12(5): e0177185.
- Kiracı, S. and Karataş, A. (2015). Organik domates yetiştiriciliğinde bitki aktivatörü uygulamalarının verim ve kalite üzerine etkisi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(1): 17-22.
- Klement, Z., Mavridis, A., Rudolph, K., Vidaver, A., Perombelon, M. C. and Moore, L. W. (1990). Inoculation of Plant Tissues. Methods in Phytobacteriology. Akademiai Kiado, Budapest, Hungary.
- Kotan, R. and Tozlu, E. (2021). Bazı pestisitlerin faydalı bakteriler ve patojen bakteriler üzerine bakterisidal etkilerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2): 197-212.
- Lakhdar, A., Iannelli, M. A., Debez, A., Massacci, A., Jedidi, N. and Abdelly, C. (2010). Effect of municipal solid waste compost and sewage sludge use on wheat (*Triticum durum*): growth, heavy metal accumulation, and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(6): 965-971.
- Louden, B. C., Haarmann, D. and Lynne, A. M. (2011). Use of blue agar CAS assay for siderophore detection. *Journal of Microbiology and Biology Education*, 12(1): 51-53.

- Lugtenberg, B. and Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63: 541-556.
- Lurthy, T., Cantat, C., Jeudy, C., Declerck, P., Gallardo, K., Barraud, C., Leroy, F., Ourry, A., Lemanceau, P., Salon, C. and Mazurier, S. (2020). Impact of bacterial siderophores on iron status and ionome in pea. *Frontiers in Plant Science*, 11: 730.
- Mason-D'croz, D., Bogard, J. R., Sulser, T. B., Cenacchi, N., Dunston, S., Herrero, M. and Wiebe, K. (2019). Gaps between fruit and vegetable production, demand, and recommended consumption at global and national levels: an integrated modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 3(7): e318-e329.
- Niranjiyan, R. S., Shetty, H. S. and Reddy, M. S. (2006). Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Potential Green Alternative for Plant Productivity. PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Springer, The Netherlands.
- Numan, M., Bashir, S., Khan, Y., Mumtaz, R., Shinwari, Z. K., Khan, A. L., Khan, A. and Ahmed, A. H. (2018). Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: a review. *Microbiological Research*, 209: 21-32.
- Oral, S. F. and Kotan, R. (2021). Bitki gelişimini teşvik eden bakterilerin domatest bitki gelişim parametreleri, verim ve bitki sağlığı üzerine etkisi. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 12(1): 47-65.
- Özkaplan, M. and Balkaya, A. (2019). Işık ve sıcaklığın topraksız tarım koşullarında salkım domatesin meyve kalitesine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 37: 227-238.
- Öztekin, G. B., Tüzel, Y. and Mehmet, E. (2015). Potasyum çözücü bakteri aşılmasının sera domates yetiştiriciliğinde bitki gelişimi, verim ve meyve kalitesi üzerine etkileri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 3(1): 41-47.
- Özyılmaz, Ü. (2007). *Aydın ilinde çilek kök hastalıklarına karşı antagonist bakterilerle biyolojik savaş*. (Doktora Tezi) Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.
- Penrose, D. M. and Glick, B. R. (2003). Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. *Physiologia Plantarum*, 118(1): 10-15.
- Porcel, R., Zamarreño, Á. M., García-Mina, J. M. and Aroca, R. (2014). Involvement of plant endogenous ABA in *Bacillus megaterium* PGPR activity in tomato plants. *BMC Plant Biology*, 14(1): 1-12.
- Rai, A. and Nabti, E. (2017). Plant Growth-Promoting Bacteria: Importance in Vegetable Production. Microbial Strategies for Vegetable Production. Springer Cham, Hungarica.
- Rezzonico, F., Zala, M., Keel, C., Duffy, B., Moënne-Loccoz, Y. and Défago, G. (2007). Is the ability of biocontrol fluorescent pseudomonads to produce the antifungal metabolite 2, 4-diacetylphloroglucinol really synonymous with higher plant protection?. *New Phytologist*, 173(4): 861-872.
- Sadou, O., Aycan, M., Taher, M., Kayan, M. and Yıldız, M. (2016). Tuz stresinin ayçiçeğinin (*Helianthus annuus* L.) fide gelişimi üzerine etkisi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 9(1): 13-17.
- Saharan, B. S. and Nehra, V. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. *Life Sciences and Medicine Research*, 21(1): 30.
- Şahin, B. U. and Dönmez, M. F. (2020). Farklı bakteri uygulamalarının domates (*Solanum lycopersicum* L.) bitki gelişimi üzerine etkileri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3): 1507-1517.
- Samaras, A., Roumeliotis, E., Ntasiou, P. and Karaoglanidis, G. (2021). *Bacillus subtilis* MBI600 promotes growth of tomato plants and induces systemic resistance contributing to the control of soilborne pathogens. *Plants*, 10: 1113.
- Santoyo, G., Urtis-Flores, C. A., Loeza-Lara, P. D., Orozco-Mosqueda, M. and Glick, B. R. (2021). Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). *Biology*, 10: 475.
- Shahid, M., Khan, M. S., Syed, A., Marraiki, N. and Elgorban, A. M. (2021). Mesorhizobium ciceri as biological tool for improving physiological, biochemical and antioxidant state of *Cicer arietinum* (L.) under fungicide stress. *Scientific Reports*, 11: 9655.
- SPSS (2010). SPSS 17.0 for windows evaluation version, SPSS Inc., Illinois, USA.
- Tan, C. Y., Dodd, I. C., Chen, J. E., Phang, S. M., Chin, C. F., Yow, Y. Y. and Ratnayeke, S. (2021). Regulation of algal and cyanobacterial auxin production, physiology, and application in agriculture: an overview. *Journal of Applied Phycology*, 33: 2995-3023.
- Tireng Karut, Ş., Horuz, S. and Aysan, Y. (2019). Domates bakteriyel kanser ve solgunluk hastalığı etmeni *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*’ in tohumda aranması ve tohum uygulamalarının patojen gelişimine etkisinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(3): 284-296.
- Toprak, E. and Gül A. (2013). Topraksız tarımda kullanılan ortam domates verimi ve kalitesini etkiliyor mu? *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 6(2): 41-47.
- TÜİK (2022). Bitkisel Üretim İstatistikleri. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Erişim Tarihi: 02.04.2023).
- Tüzel, Y., Duyar, H., Öztekin, G. B. and Gül, A. (2009). Domates anaçlarının farklı dikim tarihlerinde bitki gelişimi, sıcaklık toplamı isteği, verim ve kaliteye etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 46(2): 79-92.
- Vaikuntapu, P. R., Dutta, S., Samudrala, R. B., Rao, V. R., Kalam, S. and Podile, A. R. (2014). Preferential promotion of *Lycopersicon esculentum* (Tomato) growth by plant growth promoting bacteria associated with tomato. *Indian Journal of Microbiology*, 54: 403-412.

- Van Loon, L. C. (2007). Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. *European Journal of Plant Pathology*, 119: 243-254.
- Venkadesaperumal, G., Amaresan, N. and Kumar, K. (2014). Plant growth promoting capability and genetic diversity of bacteria isolated from mud volcano and lime cave of Andaman and Nicobar Islands. *Brazilian Journal of Microbiology*, 45(4): 1271-1281.
- Verla, A. W., Enyoh, C. E., Verla, E. N. and Nwamoru, K. O. (2019). Microplastic-toxic chemical interaction: a review study on quantified levels, mechanism and implication. *SN Applied Sciences*, 1: 1400.
- Whipps, J. M. (2001). Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of experimental Botany*, 52(suppl_1): 487-511.
- Yilihamu, A., Ouyang, B., Ouyang, P., Bai, Y., Zhang, Q., Shi, M., Guan, X. and Yang, S. T. (2020). Interaction between graphene oxide and nitrogen-fixing bacterium *Azotobacter chroococcum*: transformation, toxicity and nitrogen fixation. *Carbon*, 160: 5-13.