

Biber (*Capsicum annum* L.) Bitkisinde Bakteriyel Leke Hastalık (*Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*)'nın Antagonistik Bakterilerle Biyolojik KontrolüBüşran SUNYAR ^{1*} Mesude Figen DÖNMEZ YEŞİLDAĞ ² 

¹ Iğdir University, Faculty of Agriculture, Department of Bioengineering and Sciences, Iğdir, Turkey

² Iğdir University, Faculty of Agriculture, Plant Protection Department, Iğdir, Turkey

Sorumlu Yazar

Büşran SUNYAR

¹ Iğdir University, Faculty of Agriculture, Department of Bioengineering and Sciences, Iğdir, Turkey

Email:

sunyar-21@hotmail.com

Bu çalışma, deneysel çalışma, insan veya hayvan denekleri içermediğinden etik kurul onayı ve katılım izni gerektirmemektedir.

Özet: Bu çalışmada, biber üretim alanlarında önemli verim kayıplara neden olan bakteriyel leke hastalığı etmeni *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*'ya karşı biyolojik mücadele potansiyeli taşıyan antagonistik bakteri strainlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Hastalıklı biber bitkilerinden 26 patojen straini elde edilmiştir. Ayrıca sağlıklı biber bitkilerinden ve biber yetiştiriciliği yapılan alanlarda yaygın olarak görülen yabancı ot türlerinin kök ve yapraklarından toplam 53 aday antagonist bakteri straini izole edilmiştir. Patojen ve aday antagonist bakteri strainleri yağ asit metil ester analizi ile tanılanmıştır. Patojenite testi sonucunda en yüksek virülensliğe sahip olduğu belirlenen AK-17 ile yürütülen in vitro antagonizm testleri sonucunda, dokuz strainin *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* gelişimini 10.3–20.3 mm arasında değişen inhibisyon zonları oluşturarak baskıladığı belirlenmiştir. Bu strainlerin *Bacillus*, *Pseudomonas* ve *Paenibacillus* cinslerine ait olduğu tespit edilmiş olup, en yüksek antibakteriyel etki 20.3 mm zon değeri ile *Paenibacillus validus* DYS-20 straini tarafından sergilenmiştir. Ayrıca patojene karşı antagonistik etki gösteren bakterilerin azot fiksasyonu, fosfor ve potasyum çözünürlüğü ile ACC deaminaz aktivitesi gibi bitki büyümesini destekleyici özelliklere sahip oldukları saptanmıştır. Aynı zamanda strainlerin in vitro biyokontrol mekanizmaları (kitinaz, proteaz, selülaz, siderofor ve HCN) araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, antagonistik bakteri strainlerinin hem patojen gelişimini engelleme hem de bitki gelişimini teşvik etme yoluyla biber bakteriyel leke hastalığının biyolojik mücadelesinde kullanılabilecek potansiyel biyokontrol ajanları olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: *Capsicum annum* L., *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*, Antagonist Bakteri, Biyokontrol

Biological Control of Bacterial Spot Disease (*Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*) in Pepper (*Capsicum annum* L.) Using Antagonistic Bacteria

Abstract: In this study, it was aimed to determine antagonistic bacterial strains with biological control potential against *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*, the causal agent of bacterial spot disease that leads to significant yield losses in pepper cultivation areas. A total of 26 pathogenic strains were obtained from diseased pepper plants. In addition, 53 candidate antagonistic bacterial strains were isolated from the roots and leaves of healthy pepper plants and from common weed species found in pepper-growing areas. The pathogenic and candidate antagonistic bacterial strains were identified by fatty acid methyl ester (FAME) analysis. According to pathogenicity tests, strain AK-17 was determined to have the highest virulence and was used in in vitro antagonism assays. As a result of these tests, nine strains were found to inhibit the growth of *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*, forming inhibition zones ranging from 10.3 to 20.3 mm. These strains were identified as belonging to the genera *Bacillus*, *Pseudomonas* and *Paenibacillus*, with the highest antibacterial effect observed in *Paenibacillus validus* strain DYS-20, which produced an inhibition zone of 20.3 mm. Additionally, the bacteria exhibiting antagonistic activity against the pathogen were found to possess plant growth-promoting traits such as nitrogen fixation, phosphorus and potassium solubilization, and ACC deaminase activity. Moreover, the in vitro biocontrol mechanisms of the strains (chitinase, protease, cellulase, siderophore and HCN production) were also investigated. The findings indicate that the antagonistic bacterial strains have the potential to be used as biocontrol agents in the management of bacterial spot disease in pepper by both suppressing pathogen growth and promoting plant development.

Key words: *Capsicum annum* L., *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*, Antagonistic Bacteria, Biocontrol

GİRİŞ

Biber (*Capsicum annuum* L.). Solanaceae familyasına ait olup dünya genelinde ve ülkemizde tarla ve sera koşullarında yaygın olarak yetiştirilen, yüksek ekonomik değere sahip önemli bir kültür bitkisidir (Duman et al., 2002). Geniş üretim alanlarına sahip olması, biberin çeşitli hastalık etmenleriyle karşı karşıya kalma riskini artırmaktadır. Bu hastalık etmenleri arasında *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* biber yetiştiriciliğini sınırlayan en önemli bakteriyel patojenlerden biri olarak öne çıkmaktadır (Aysan and Şahin, 2003).

Xanthomonas axonopodis pv. *vesicatoria* (Xav), konukçu bitkilerin tüm toprak üstü organlarını enfekte ederek meyve verimi ve kalitesini düşürmektedir (Byrne et al., 2005; Potnis et al., 2015). Etmen ilk kez 1921 yılında Güney Afrika'da belirlenmiştir (Jones et al., 2000). Türkiye'de ilk olarak Çanakkale'de domates bitkilerinde, daha sonra Doğu Akdeniz Bölgesi'nde biber üretim alanlarında ve Batı Akdeniz ile Doğu Anadolu bölgelerinde hem domates hem de biberlerde tespit edilmiştir (Şahin, 2001; Şahin et al., 2004; EPPO, 2013). Hastalık, özellikle yüksek sıcaklık (25–30 °C) ve bağıl nemin (%80–100) yüksek olduğu koşullarda şiddetli olarak görülmekte, yaprak ve meyvelerde siyah, köşeli, yağlımsı lekeler ve çöküntülü nekrotik alanlar oluşmaktadır (Al-Dahmani et al., 2003; Boch and Bonas, 2010). Gram negatif, aerobik, tek kamçılı ve fluoresan pigment üretmeyen Xav, YDC (Yeast Dekstrose Calcium Carbonate) besiyerinde düz, sarı renkli, mukoit koloniler oluşturmaktadır (Şahin, 1997; Sunyar et al., 2021). Patojen, stoma, hidatod gibi doğal açıklıklardan ve çeşitli şekillerde açılmış yaralardan bitkiye giriş yapmakta. hücreler arası boşluklarda çoğalarak ksilemde kolonize olmakta ve hücreler arası boşluklarda lokalize kalmaktadır (Bonas et al., 2000; Büttner and Bonas, 2010). Bulaşma tohum, fide, bitki artıkları, yağmur damlaları ve tarımsal işlemler yoluyla gerçekleşmekte, özellikle tohumlar hastalığın temel inokulum kaynağını oluşturmaktadır (Pohronezny et al., 1990). Patojenin tohumda 20 yıl, bitki artıkları üzerinde ise 18 aya kadar canlı kalabildiği ve bazı yabancı ot türlerinde epifitik olarak yaşamını sürdürebildiği bildirilmektedir (Black et al., 2001; Lamichhane et al., 2010). Kimyasal mücadelede sıklıkla kullanılan bakır bazlı preparatlar, patojenin direnç geliştirmesi ve çevresel riskleri nedeniyle etkinliğini yitirmektedir (Abbasi and Weselowski, 2015). Aşırı bakır kullanımı, toprak ve su ekosistemlerinde kirlilik, yararlı mikroorganizmaların azalması ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Khalid et al., 2017; Rymaekers et al., 2020). Bu nedenle, çevre ve gıda güvenliği açısından sürdürülebilir bitki hastalık yönetiminde biyolojik kontrol yaklaşımlarının önemi giderek artmaktadır (Yim et al., 2014; Ferraz et al., 2015; Jamiołkowska, 2020).

Son yıllarda, kimyasal pestisitlere çevre dostu bir alternatif olarak bitki hastalıklarının kontrolünde çeşitli biyolojik yöntemlerin başarıyla uygulanması dikkat çekmektedir (Moss et al., 2007; Mirik et al., 2008; Hert et al., 2009; Bae et al., 2012; Areas et al., 2015; Munhoz et al., 2017; Sunyar et al., 2024). Özellikle bakteriyel hastalıkların kontrolünde biofümigasyon, bitki ekstraktları ve bitki gelişimini teşvik eden mikroorganizmaların kullanımı, kimyasal pestisitlerin yerine geçebilecek potansiyel biyolojik stratejiler olarak öne çıkmaktadır (Ameziane et al., 2007; Ahmad et al., 2008; Chen et al., 2017). Tarımsal üretimde ekolojik sürdürülebilirliği destekleyen bu yaklaşımlar arasında, rizosfer veya fillosferde serbest yaşayan ve bitki köklerini hızla kolonize edebilen faydalı bakteri strainlerinin biyokontrol potansiyeli özel bir öneme sahiptir (Amkraz et al., 2010). Bu bakteriler, patojenlere karşı iki temel mekanizma aracılığıyla etki göstermektedir; ilki, besin ve yaşam alanı rekabeti ile antibiyotik ve bakteriyosin gibi antimikrobiyal bileşiklerin üretimini içeren doğrudan antagonizm (Subramanian and Smith, 2015), ikincisi ise bitkide sistemik dayanıklılığın uyarılması yoluyla bitki gelişiminin desteklenmesi ve hastalıklara karşı uzun süreli koruma sağlanmasıdır (Bloemberg and Lugtenberg, 2001; Villaceros et al., 2003). Söz konusu mekanizmalar göz önüne alındığında, etkili biyokontrol etmenlerinin seçilerek tanımlanması hastalık kontrolü açısından kritik bir önem taşımaktadır. Bu nedenle

sunulan çalışmada, biber bitkisinde ekonomik kayıplara neden olan Xav 'ya karşı biyolojik mücadele potansiyeline sahip antagonistik bakteri strainlerinin belirlenmesi ve etkinliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca patojene karşı antagonistik etkisi belirlenen strainlerin bitki gelişimini teşvik eden bazı özellikleri ile *in vitro* biyokontrol mekanizmalarının araştırılması planlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Patojen ve Aday Antagonist Bakteri Strainleri

Antalya'nın Kumluca ilçesinde, sera koşullarında yetiştirilen biber bitkilerinden alınan örneklerden yapılan izolasyon çalışması sonucunda elde edilen ve virülensliği en yüksek düzeyde belirlenen AK-17 bakteri straini, patojen olarak kullanılmıştır. Aday antagonistik bakteri strainleri ise Iğdır ilinde yetiştirilen sağlıklı biber bitkilerinden ve biber üretim alanlarında yaygın olarak bulunan *Sinapis arvensis*, *Setaria viridis* ve *Amaranthus retroflexus* yabancı otlarının yaprak ve kök bölgelerinden izole edilmiştir (Gürbüz et al., 2024).

Bakteri Strainlerinin İzolasyonu

Yabancı ot ve hastalıklı bitki örnekleri önce çeşme suyu ile yıkanmış. ardından %70'lik etanol ile muamele edilmiştir (Junker et al., 2011). Steril bistüri yardımıyla küçük parçalara ayrılan hastalıklı yaprak dokuları steril saf su ilavesiyle 170 rpm'de 10 dakika süreyle çalkalanmıştır. Bu süspansiyonlardan öze ile alınarak YDC (10 g yeast extract, 20 g dextrose, 20 g CaCO₃ - 1 L dH₂O) besi ortamına aktarılmış ve petri bakteriyel gelişimi için 28°C'de inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda sarı renkli mukoid koloniler seçilerek saf kültürler elde edilmiştir. Aynı işlem yabancı ot örnekleri için de yapılmış, besi ortamında gelişen farklı renk ve morfolojideki koloniler seçilerek saf kültürleri oluşturulmuştur. Saflaştırılan bakteri strainlerinin 24 saatlik kültürlerinden alınan koloniler, %30 gliserol ve Lauryl Broth [10 g pepton, 10 g NaCl, 5 g yeast extract - 1 L dH₂O içeren eppendorf tüplere transfer edilerek homojenize edilmiştir. Hazırlanan stok kültürler -80°C'de uzun süreli saklama amacıyla depolanmıştır (Dönmez and Aliyeva, 2023).



Şekil 1. Patojen izolasyon materyali
Figure 1. Pathogen isolation material

Bakteri Strainlerinin Yağ Asit Profillerine Göre Tanısı

Bakteri strainlerinden yağ asit metil ester ekstraksiyonu (FAME), izolasyonu, saflaştırılması ve analizi yapılmıştır. Bakteri strainleri Trypticase Soy Agar (TSA; 30 g TSA (Oxoid) - 1 L sdH₂O) besi ortamına 4 fazlı çizgi ekim yapılarak 48 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon periyodunu takiben 3 ve 4 numaralı fazlardan bakteri hücreleri toplanarak steril cam test tüplerine aktarılmıştır. Her bir tüpe 1 ml hücre parçalama çözeltisi ilave edilerek [150 ml metil alkol (HPLC Grade), 150 ml sdH₂O, 45 gr sodyum hidroksit (ACS Grade)] 10 saniye çalkalanmış ve 100°C'lik su banyosunda 5 dk bekletilmiştir. Ardından tüpler tekrar çalkalanmış ve aynı sıcaklıktaki su banyosunda 25 dk süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İşlem sonucunda bakteri hücreleri parçalanarak yağ asitlerinin serbest kalması sağlanmıştır. Yağ asitlerine ester bağları ile metil eklenmesi ve yağ asit metil esterlerinin eldesi için tüplere metilasyon çözeltisinden [325 ml hidroklorik asit (6 N) ve 275 ml metil alkol (HPLC Grade)] 2 ml ilave edilmiştir. Tüpler 10 sn çalkalandıktan sonra 10 dk 80°C su banyosunda bekletilmiştir. Ardından 2 dk soğutma işlemi yapılmıştır. Soğuyan tüplere 2.5 ml saflaştırma çözeltisi [200 ml metil-tert-butil-eter (HPLC Grade) 200 ml, hexan (HPLC Grade)] eklenerek 10 dk çalkalanmıştır. Tüplerin üst kısmında yağ asit metil esterleri toplandığından alt kısımdaki sıvı faz atılmıştır. Serbest yağ asit metil esterlerinin saf olarak elde edilmesi için tüplere bazik yıkama çözeltisi [10.8 g sodyum hidroksit (ACS Grade), 900 ml sdH₂O] eklenerek 5 dk çalkalanmıştır. Sonrasında tüpler oda sıcaklığında 10 dk bekletilmiştir ve yağ asit metil esterleri içeren üst fazdan 2 ml alınarak gaz kromatografi tüplerine transfer edilmiştir. Bilgisayar kontrollü gaz kromatografi sistemi olan Mikrobiyal Tanı Sistemi (MIDI, Inc., Newark, DE) kullanılarak her bir bakteri straini için yağ asitleri çeşitleri ve yüzde oranları belirlenmiş, strainlerin tür ve alt tür seviyesinde tanısı yapılmıştır (Sasser 1990).

Tütünde Hipersensitif Reaksiyon (HR) Testi

İzolasyon çalışması sonucunda elde edilen aday antagonist bakterilerin ve patojen bakteri strainlerinin patojenik özellikte olup olmadıkları tütün bitkisi (*Nicotiana tabacum* L. cv. Samsun) üzerinde gerçekleştirilen HR testi ile belirlenmiştir. Bunun için, strainler Nutrient Agar (NA- 8 g NA - 1 L dH₂O) besi yerine ekilmiş, ardından 24–48 saat boyunca 27°C'de inkübasyona bırakılmıştır. Gelişen bakteri kültürlerine ait 10⁸ CFU mL⁻¹ konsantrasyonda süspansiyonlar hazırlanmıştır. Bu süspansiyonlar, 3 ml'lik plastik enjektörler aracılığıyla bitkilerin yapraklarının alt yüzeyindeki damar aralarına enjekte edilmiştir. İnokulasyondan 48 saat sonra yapraklarda lokalize nekroz oluşumu HR pozitif reaksiyon olarak değerlendirilmiştir (Klement et al., 1964).

Patojenite Testi

Tütünde yapılan HR testi sonucunda pozitif reaksiyon veren strainler için biber bitkilerinde patojenite testi yapılmıştır. Strainlerin stok kültürlerinden alınan koloniler YDC besi ortamında 27°C'de 48 saat boyunca geliştirilmiştir. Ardından gelişen strainlerin kolonileri Nutrient Broth (NB; Peptone from meat 5g, meat extract 3g - 1 L dH₂O) ortamına aktarılmış ve 24 saat süreyle çalkalayıcıda (150 rpm dak-1) inkübasyona bırakılmıştır. Bu süspansiyondan konsantrasyonu 10⁸ CFU mL⁻¹ olan inokulumlar hazırlanarak fide dönemindeki biber bitkilerine sprey ile püskürtülerek bulaştırılmıştır. Negatif kontrol grubunda olan bitkilere sdH₂O uygulanmıştır. Yüksek nem sağlamak amacıyla 48 saat süreyle ıslak polietilen torba içerisinde tutulmuştur. İnkübasyon süresi sonunda oluşan hastalık belirtileri 0-4 skalasına göre (Tablo 1) değerlendirilmiştir (Ertekin, 2016). Test sonucunda en yüksek hastalık şiddetine neden olan strain patojen bakteri olarak biyokontrol denmesinde kullanılmıştır.

Tablo 1. Bakteri strainlerin değerlendirilmesinde kullanılan skala
Table 1. Scale used for the evaluation of bacterial strains

Skala Değeri	Açıklama
0	Yapraklarda nekrotik leke yok
1	Yapraklarda 1-2 nekrotik leke
2	Yapraklarda 3-5 nekrotik leke
3	Ölü yaprak
4	Ölü bitki

Elde edilen skala değerleri ile Townsend and Heuberger (1943) formülü kullanılarak hastalık şiddeti (%) belirlenmiştir.

% Hastalık Şiddeti = $[\sum(\text{skala değeri} \times \text{skalada değerlendirmeye giren bitki sayısı})] / (\text{en yüksek skala değeri} \times \text{toplam bitki sayısı}) \times 100$

Antagonist Bakteri Strainlerin Azot, Fosfor ve Potasyum Çözücü Özelliklerinin Belirlenmesi

Antagonist bakteri strainlerinin azot fiksasyon kapasitelerinin belirlenmesinde N-Free Solid Malate-Sucrose besiyeri [10 g sukroz, 10 g L-malik asit, 0.2 g MgSO₄ H₂O, 0.01 g FeCl₃, 0.1 g NaCl, 0.4 g CaCl₂ 2H₂O, 0.4 g K₂HPO₄, 0.005 g Na₂MoO₄ H₂O, 18 g agar - 1 L dH₂O, pH 7.2] kullanılmıştır (Döbereiner. 1989). Fosfor çözme aktiviteleri NBRIP-BPB (National Botanical Research Institute's Phosphate Growth Medium) sıvı besiyerinde [5 g glukoz, 5 g MgSO₄·7H₂O, 0.1 g FeCl₃, 2 g CaCO₃, 3 g waste mica, 2 g kalsiyum fosfat ve 20 g agar - 1 L dH₂O] (Mehta and Nautiyal. 2001), potasyum çözme özellikleri ise Aleksandrov ortamında [5 g glukoz, 0.005 g MgSO₄ 7H₂O, 0.1 g FeCl₃, 2 g CaCO₃, 3 g waste mica, 2 g kalsiyum fosfat ve 20 g agar/1 L dH₂O] test edilmiştir (Parmar ve Sindhu. 2013). N-Free Solid Malate-Sucrose ortamında bakteri gelişiminin gözlenmesi azot fiksasyonunun, NBRIP-BPB sıvı ortamının renginin açık maviye dönmesi veya ortamın şeffaf hale gelmesi fosfor çözünürlüğünün göstergesi olarak kabul edilmiştir. Aleksandrov ortamında bakteri kolonileri etrafında oluşan şeffaf zonlar ise potasyum çözünürlüğünün pozitif olduğunu göstermiştir.

Aminocyclopropane-1-Carboxylate (ACC) Deaminaz Aktivitesi

Bakteri strainlerinin bitkilerde stres koşullarında artan zararlı etilen üretimini azaltmada rol oynayan 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) deaminaz enzimini üretme kapasiteleri. Penrose ve Glick (2003) tarafından tanımlanan yöntemle göre DF besi ortamı kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, antagonistik strainler besiyerine çizgi ekim yöntemiyle inokule edilmiş ve petri 27°C'de 48-72 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda ortamda koloni gelişimi gözlenen strainler ACC-deaminaz pozitif olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada ACC-deaminaz pozitif özellikte olan *Stenotrophomonas maltophilia* strain SY-55 referans olarak kullanılmıştır (Yıldırım et al., 2023).

Antagonist bakterileri strainlerinin pektolitik aktivitelerinin belirlenmesi

Sağlıklı patates yumruları %5'lik sodyum hipoklorit çözeltisinde 10 dakika dezenfekte edildikten sonra steril distile su ile durulanmış ve yaklaşık 5 mm kalınlığında dilimlenerek nemli filtre kâğıdı içeren petri kaplarına yerleştirilmiştir. Her bir bakteri straininin 24 saatlik kültürlerinden alınan koloniler patates dilimlerinin yüzeyine inokule edilerek 28 °C'de 24-72 saat inkübe edilmiştir. Kontrol grubunda ise yalnızca steril distile su kullanılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda patates dilimlerinde gözlenen doku bozulmasına bağlı pektolitik aktivite değerlendirilmiş ve çürüklük oluşturmeyen strainler çalışma kapsamına alınmıştır (Dadaşoğlu et al., 2020).

Aday Antagonist Bakteri Strainlerin *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*'ya Karşı *in vitro* Biyokontrol Etkisinin Belirlenmesi

Aday antagonist bakteriler -80°C'de muhafaza edilen stok kültürlerinden alınarak NA besiyerine üç fazlı çizgi ekim yöntemiyle aktarılmıştır. Ardından bakteri gelişimi için petripler 27°C'de 24–48 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır. Patojen bakteri (AK-17) ise 48 saatlik kültüründen alınarak steril swap yardımıyla NA besiyerine yayma ekim yöntemiyle inokule edilmiştir. Patojen ekiminden 24 saat sonra, aday antagonist bakteriler, birbirlerine eşit uzaklıkta olacak şekilde üç nokta şeklinde inokule edilerek 27°C'de 48 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda, antagonist kolonilerinin çevresinde patojen gelişiminin engellendiği şeffaf alanın yarıçapı mm cinsinden ölçülmüş ve biyokontrol etkinliği bu verilere göre değerlendirilmiştir. Denemeler üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür (Almast, 2023).

Bakteri Strainlerinin Etki Mekanizmalarının Belirlenmesi

Proteaz Aktivitesi

Bakteri strainlerinin proteaz üretimlerinin belirlenmesi amacıyla. Skim Milk Agar (SMA; 15 skim milk, 0.5 g yeast extract ve 9.3 g agar – 1 L sdH₂O) kullanılmıştır. Strainlerin 24 saatlik kültürlerinden alınan koloniler nokta inokülasyon yöntemiyle besiyerine aktarılmış ve petri kapları 27°C'de 5 gün inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda koloniler etrafında oluşan hidroliz zonlarının çapları (cm) ölçülmüş ve proteaz aktivite düzeyleri bu zonların genişliğine göre değerlendirilmiştir (Ullah et al., 2017).

Selülaz Aktivitesi

Bakterilerin selülaz aktivitesi. Saha ve ark. (2006) tarafından tanımlanan Carboxymethylcellulose (CMC) besiyeri kullanılarak belirlenmiştir (10 g karboksümetilselüloz, 2 g tripton, 4 g KH₂PO₄, 4 g Na₂HPO₄, 0.2 g MgSO₄ 7H₂O, 0.001 g CaCl₂ 2H₂O, 0.0004 g FeSO₄ 7H₂O. 15 g agar; pH 7). Bakteri strainleri, NA'da 24 saat inkübasyon sonrası CMC besiyerine inokule edilmiştir. Petri kapları 37°C'de 5 gün inkübe edilmiş, ardından yüzeyleri %0.1'lik kongo kırmızısı çözeltisi ile kaplanarak 20 dakika bekletilmiştir. Sürenin sonunda çözelti uzaklaştırılmış ve petri yüzeyleri 10 ml 1 M NaCl ile kaplanarak 5 dakika bekletilmiştir. Hidroliz sonucu oluşan saydam zon selülozun parçalandığını göstermiş ve sonuç pozitif olarak kaydedilmiştir.

Kitinaz Aktivitesi

Koloidal kitin hazırlamak için. 5 gram kitin tozu (C9752, Sigma-Aldrich Co, USA) 60 ml derişik HCl içerisine eklenmiş, kuvvetlice karıştırılmış ve 4°C'de buzdolabında bir gece bekletilmiştir. Karışım, şiddetli karıştırma eşliğinde iki litre buz soğukluğunda Et-OH (%95) içerisine ilave edilmiş ve 22°C'de bir gece inkübe edilmiştir. Oluşan çökelti, 4°C'de 6.000 × g'de 25 dakika santrifüj edilerek toplanmıştır. Elde edilen çökelti, koloidal kitin nötr pH'a (pH 7.0) ulaşıncaya kadar steril saf su ile yıkanmış ve ardından 4°C'de muhafaza edilmiştir (Kuzu et al., 2012).

Biyokontrol etkisi belirlenen 9 strainin kitinaz aktiviteleri CHDA (Chitinase-Detection Agar) besiyerinde test edilmiştir. NA'da 48 saat boyunca geliştirilen bakteri kolonileri, CHDA besiyerine (0.65 g Na₂HPO₄, 1.5 g KH₂PO₄, 0.5 g NH₄Cl, 0.12 g MgSO₄, 0.005 g CaCl₂, 0.25 g NaCl, 15 g agar. %1 koloidal kitin/L; pH=6.5) nokta inokülasyon yöntemiyle aktarılmıştır. Petri kapları 27°C'de 5 gün inkübe edilmiş olup, bakteri kolonileri çevresinde oluşan saydam zon kitinaz aktivitesinin pozitif göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Antagonist Bakteri Strainleri Tarafından Hidrojen Siyanür (HCN) Üretiminin Belirlenmesi

Bakteri strainlerinin HCN üretimi, Bakker ve Schippers (1987) tarafından bildirilen yöntemle nitel olarak değerlendirilmiştir. Antagonist bakteri strainleri, King B besiyerine çizgi aşılama yöntemi ile inokule edilmiştir. Petri kaplarının kapaklarının iç yüzeyine, pikrik asit çözeltisi ile nemlendirilmiş

steril filtre kağıtları yerleştirilmiş ve kaplar parafilm ile hava geçirmeyecek şekilde kapatılarak 27°C'de 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda filtre kağıdının renginin sarıdan kahverengi veya kırmızımsı kahverengi tonlarına dönüşmesi, HCN üretiminin pozitif bir göstergesi olarak kaydedilmiştir.

Antagonist Bakteri Strainleri Tarafından Siderofor Üretiminin Belirlenmesi

Bakteri strainlerinin siderofor üretimi. Crom Azurol S (CAS) agar besiyeri kullanılarak değerlendirilmiştir. Petri kapları dört eşit bölüme ayrılarak, her bir bölgeye farklı antagonist bakteri strainleri hat aşılama yöntemiyle inokule edilmiş ve 27°C'de 5 gün süreyle inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonucunda bakteri gelişim alanı etrafında turuncu renkli bir zon oluşması, siderofor üretiminin pozitif göstergesi olarak kabul edilmiştir (Louden et al., 2011).

İstatistiksel Analiz

Elde edilen veriler SPSS (Version 20.0) istatistik programında varyans analizine tabi tutulmuş ve uygulamalar arasındaki farklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile belirlenmiştir (P<0.05).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Hastalıklı ve Sağlıklı Bitki Örneklerinden İzole Edilen Bakteri Strainleri

Hastalıklı biber bitkilerinin yapraklarından yapılan izolasyon sonucunda 34 bakteri straini elde edilmiştir. Sağlıklı biber bitkilerinin yapraklarından 12, *Sinapis arvensis* bitkisinden 11 (Kökten; 8, yapraktan 3). *Setaria viridis*'den 12 (Kökten 7, yapraktan 5) ve *Amaranthus retroflexus*'dan 18 (kökten 12, yapraktan 6) olmak üzere toplam 53 bakteri straini izole edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Antagonistik bakteri strainlerin izolasyon sonuçları

Table 2. Isolation results of antagonistic bacterial strains

Strain No	Bitki	Strain No	Bitki
DYS-1	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Kök	DYS-28	Biber-Yaprak
DYS-2	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Kök	DYS-29	Biber-Yaprak
DYS-3	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Kök	DYS-30	Biber-Yaprak
DYS-4	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Kök	DYS-31	<i>Setaria viridis</i> -Kök
DYS-5	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Kök	DYS-32	<i>Setaria viridis</i> -Kök
DYS-6	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Kök	DYS-33	<i>Setaria viridis</i> -Kök
DYS-7	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Kök	DYS-34	<i>Setaria viridis</i> -Kök
DYS-8	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Kök	DYS-35	<i>Setaria viridis</i> -Kök
DYS-9	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Kök	DYS-36	<i>Setaria viridis</i> -Kök
DYS-10	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Kök	DYS-37	<i>Setaria viridis</i> -Kök
DYS-11	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Kök	DYS-38	<i>Setaria viridis</i> -Yaprak
DYS-12	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Kök	DYS-39	<i>Setaria viridis</i> -Yaprak
DYS-13	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Yaprak	DYS-40	<i>Setaria viridis</i> -Yaprak
DYS-14	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Yaprak	DYS-41	<i>Setaria viridis</i> -Yaprak
DYS-15	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Yaprak	DYS-42	<i>Setaria viridis</i> -Yaprak
DYS-16	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Yaprak	DYS-43	<i>Sinapis arvensis</i> -Kök
DYS-17	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Yaprak	DYS-44	<i>Sinapis arvensis</i> -Kök
DYS-18	<i>Amaranthus retroflexus</i> -Yaprak	DYS-45	<i>Sinapis arvensis</i> -Kök
DYS-19	Biber-Yaprak	DYS-46	<i>Sinapis arvensis</i> -Kök
DYS-20	Biber-Yaprak	DYS-47	<i>Sinapis arvensis</i> -Kök
DYS-21	Biber-Yaprak	DYS-48	<i>Sinapis arvensis</i> -Kök
DYS-22	Biber-Yaprak	DYS-49	<i>Sinapis arvensis</i> -Kök
DYS-23	Biber-Yaprak	DYS-50	<i>Sinapis arvensis</i> -Kök
DYS-24	Biber-Yaprak	DYS-51	<i>Sinapis arvensis</i> -Yaprak
DYS-25	Biber-Yaprak	DYS-52	<i>Sinapis arvensis</i> -Yaprak
DYS-26	Biber-Yaprak	DYS-53	<i>Sinapis arvensis</i> -Yaprak
DYS-27	Biber-Yaprak		

Bakteri Strainlerinin Tütünde HR Testi ile Patojenitelerinin Değerlendirmesi

Tütünde gerçekleştirilen HR testi sonucunda, hastalıklı biber yapraklarından elde edilen 34 strainden 26'sının patojenik özellikte olduğu belirlenmiştir. Strainlerden AK-17'in %84 hastalık şiddeti değeriyle en virulent patojen olduğu tespit edilmiştir. Sağlıklı bitki örneklerinden elde edilen strainlerin ise tütünde lokal nekroza neden olmadıkları ve patojenik özellik taşımadıkları tespit edilmiştir. Bakteri strainlerine ait hastalık şiddetinin sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Bakteri strainlerinin fasulyede oluşturduğu hastalık şiddeti

Table 3. Disease severity caused by bacterial strains on bean plants

Sıra No	Strain No	Hastalık Şiddeti (%)	Sıra No	Strain No	Hastalık Şiddeti (%)
1	AK-1	80.00±1.15 ^{b-d*}	16	AK-16	60.00±1.15 ^g
2	AK-2	72.00±3.46 ^e	17	AK-17	84.00±1.15 ^b
3	AK-3	60.00±2.89 ^g	18	AK-18	46.00±1.15 ⁱ
4	AK-4	71.33±0.67 ^e	19	AK-19	50.00±1.15 ^{hi}
5	AK-5	46.00±2.31 ⁱ	20	AK-20	72.00±1.15 ^e
6	AK-6	76.00±1.15 ^{de}	21	AK-21	80.00±1.15 ^{b-d}
7	AK-7	66.00±0.58 ^f	22	AK-22	66.00±1.15 ^f
8	AK-8	80.00±0.58 ^{b-d}	23	AK-23	78.00±1.15 ^{cd}
9	AK-9	52.00±2.31 ^h	24	AK-24	72.00±1.15 ^e
10	AK-10	52.00±3.46 ^h	25	AK-25	60.00±1.15 ^g
11	AK-11	80.00±1.73 ^{b-d}	26	AK-26	66.00±1.15 ^f
12	AK-12	66.00±1.15 ^f	27	Negatif kontrol	0.00±0.00 ^k
13	AK-13	66.00±1.73 ^f	28	PK (BS-120)	90.00±1.15 ^a
14	AK-14	60.00±0.58 ^g	29	F	120.443
15	AK-15	82.33±0.88 ^{ab}	30	p value	0.000**

*Veriler 3 tekrerrüt ortalamasıdır.

**Tabloda verilen değerler, $p < 0.01$ önem seviyesinde anlamlı bulunmuştur. PK: Pozitif kontrol



Şekil 2. Patojenite testi sonucunda oluşan lekeler
Figure 2. Lesions formed as a result of the pathogenicity test

Bakteri Strainlerinin Yağ Asidi Metil Ester (YAME) Analizi ile Tanı Sonuçları

Bakteri strainlerinin saflaştırılan yağ asitlerinin çeşit ve miktarlarına (%) dayalı olarak yapılan YAME analizi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Analiz sonucunda beş farklı cinse ait 53 strain [*Bacillus subtilis* (15), *Pseudomonas putida* (10), *Bacillus pumilus* (6), *Bacillus cereus* (5), *Pseudomonas fluorescens* (5), *Bacillus megaterium* (2), *Bacillus atrophaeus* (3), *Bacillus mycoides* (2), *Micrococcus luteus* (2), *Paenibacillus validus* (1), *Bacillus thuringiensis israelensis* (1) ve *Kluyvera cryocrescens* (1)] tür seviyesinde tanılanmıştır. Hastalıklı bitkilerden elde edilen 26 strain ise %67- %81 benzerlik indeksi ile Xav olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4. Bakteri strainlerin YAME Analizi Tanı Sonucu

Table 4. Identification results of bacterial strains based on FAME analysis

Strain No	Tanı Sonucu	Bİ (%)	Strain No	Tanı Sonucu	Bİ (%)
DYS-1	<i>Bacillus subtilis</i>	71	DYS-28	<i>Bacillus cereus</i>	90
DYS-2	<i>Pseudomonas floescens</i>	75	DYS-29	<i>Bacillus subtilis</i>	65
DYS-3	<i>Bacillus subtilis</i>	54	DYS-30	<i>Pseudomonas putida</i>	71
DYS-4	<i>Pseudomonas putida</i>	79	DYS-31	<i>Bacillus cereus</i>	70
DYS-5	<i>Bacillus pumilus</i>	58	DYS-32	<i>Bacillus subtilis</i>	44
DYS-6	<i>Bacillus pumilus</i>	57	DYS-33	<i>Pseudomonas putida</i>	86
DYS-7	<i>Pseudomonas floescens</i>	93	DYS-34	<i>Bacillus subtilis</i>	80
DYS-8	<i>Pseudomonas putida</i>	54	DYS-35	<i>Bacillus subtilis</i>	74
DYS-9	<i>Bacillus pumilus</i>	64	DYS-36	<i>Pseudomonas floescens</i>	74
DYS-10	<i>Bacillus subtilis</i>	62	DYS-37	<i>Micrococcus luteus</i>	70
DYS-11	<i>Bacillus subtilis</i>	76	DYS-38	<i>Bacillus subtilis</i>	88
DYS-12	<i>Bacillus subtilis</i>	67	DYS-39	<i>Micrococcus luteus</i>	65
DYS-13	<i>Bacillus cereus</i>	50	DYS-40	<i>Pseudomonas putida</i>	90
DYS-14	<i>Pseudomonas putida</i>	78	DYS-41	<i>Pseudomonas putida</i>	73
DYS-15	<i>Bacillus subtilis</i>	80	DYS-42	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	78
DYS-16	<i>Pseudomonas floescens</i>	60	DYS-43	<i>Bacillus pumilus</i>	75
DYS-17	<i>Pseudomonas putida</i>	72	DYS-44	<i>Bacillus atrophaeus</i>	59
DYS-18	<i>Bacillus subtilis</i>	85	DYS-45	<i>Bacillus subtilis</i>	57
DYS-19	<i>Bacillus subtilis</i>	81	DYS-46	<i>Bacillus cereus</i>	77
DYS-20	<i>Paenibacillus validus</i>	48	DYS-47	<i>Bacillus thuringiensis</i>	84
DYS-21	<i>Bacillus subtilis</i>	74	DYS-48	<i>Pseudomonas putida</i>	70
DYS-22	<i>Bacillus cereus</i>	87	DYS-49	<i>Bacillus pumilus</i>	68
DYS-23	<i>Bacillus artophaeus</i>	58	DYS-50	<i>Pseudomonas putida</i>	55
DYS-24	<i>Bacillus megaterium</i>	65	DYS-51	<i>Bacillus atrophaeus</i>	76
DYS-25	<i>Kluyvera cryocrescens</i>	57	DYS-52	<i>Bacillus mycoides</i>	79
DYS-26	<i>Bacillus megaterium</i>	65	DYS-53	<i>Bacillus mycoides</i>	55
DYS-27	<i>Bacillus pumilus</i>	72			

Antagonist Bakteri Strainlerin Bitki Büyümesini Destekleyici Özelliklerinin ve Etki Mekanizmalarının Belirlenmesi

Çalışmada patojene karşı antagonistik etkileri belirlenen bakteri strainleri arasında azot fiksasyonu, fosfor ve potasyum çözünürlüğü ile ACC deaminaz aktivitesi bakımından farklılıklar gözlenmiştir. *Bacillus artophaeus* straini DYS-23 hariç strainlerin tamamının azot fiksasyon özelliği pozitif bulunmuştur. Test edilen bütün strainlerin fosfor çözme özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Potasyum çözünürlüğü bakımından *Bacillus subtilis* straini DYS-29 ve *Bacillus atrophaeus* straini DYS-44 strainlerinin pozitif, diğerlerinin negatif özellikte oldukları saptanmıştır. ACC deaminaz aktivitesi ise *Bacillus pumilus* straini DYS-5, *Pseudomonas putida* straini DYS-17, *Paenibacillus validus* straini DYS-20 ve *Bacillus subtilis* straini DYS-29'da belirlenmiştir (Tablo 5).

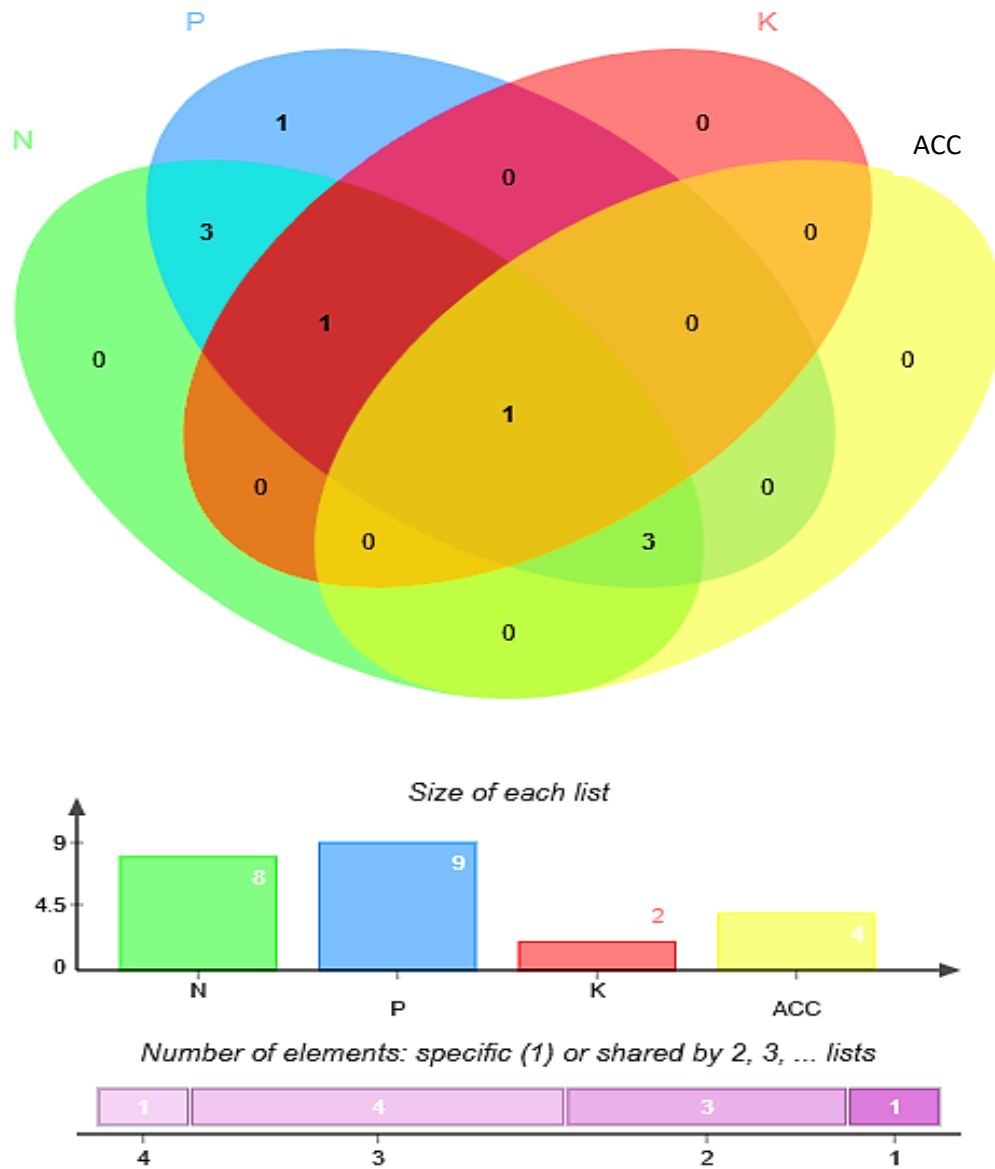
Tablo 5. Bakteri strainlerinin Azot Fiksasyonu, Fosfor ve Potasyum Çözünürlüğü ile ACC Deaminaz Aktivite Özellikleri
Table 5. Nitrogen Fixation, Phosphorus and Potassium Solubilization, and ACC Deaminase Activity Characteristics of Bacterial Strains

Strain No	N	P	K	ACCD
<i>Bacillus pumilus</i> strain DYS-5	+	+	-	+
<i>Bacillus pumilus</i> strain DYS-6	+	+	-	-
<i>Pseudomonas fluorescens</i> strain DYS-7	+	+	-	-
<i>Pseudomonas putida</i> strain DYS-17	+	+	-	+
<i>Paenibacillus validus</i> strain DYS-20	+	+	-	+
<i>Bacillus atrophaeus</i> strain DYS-23	-	+	-	-
<i>Bacillus subtilis</i> strain DYS-29	+	+	+	+
<i>Bacillus atrophaeus</i> strain DYS-44	+	+	+	-
<i>Bacillus subtilis</i> strain DYS-45	+	+	-	-

N: Azot fiske etme özelliği. **P:** Fosfor çözümlenme özelliği. **K:** Potasyum çözümlenme özelliği. **ACCD:** 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase

Azot (N) fiksasyonu, fosfor (P) ve potasyum (K) çözünürlüğü ile aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase (ACCD) aktivitesine sahip bakteri strainlerinin dağılımı Venn diyagramı ile gösterilmiştir (Şekil 3). Diyagramda renkler her bir bitki büyümesini teşvik edici mekanizmayı, kesişimlerdeki değerler ise bu mekanizmaları birlikte taşıyan strain sayılarını ifade etmektedir. Diyagrama göre dört aktivitenin tamamında pozitif özellik sergileyen yalnızca bir strain bulunmaktadır. Bunun yanı sıra bir strainin N, P ve K aktivitelerini birlikte pozitif gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca üç strainin N ve P aktivitelerini birlikte pozitif olarak sergilediği görülmüştür. Üç diğer strainin ise N, P ve ACCD aktivitelerinde pozitif, buna karşılık K aktivitesinde negatif olduğu tespit edilmiştir. Şekilde ayrıca yalnızca tek bir strainin yalnızca P aktivitesinde pozitif, diğer aktivitelerde ise negatif olduğu belirlenmiştir. Alt kısımda yer alan çubuk grafik, her aktivitenin tek başına gözlemlendiği strain sayılarını göstermekte olup N aktivitesi 8, P aktivitesi 9, ACCD aktivitesi 4 ve K aktivitesi ise yalnızca 2 strain tarafından pozitif olarak sergilenmiştir.

Çalışma kapsamında tüm antagonistik bakteri strainlerini proteaz aktivitesi gösterdiği belirlenmiştir. *Pseudomonas fluorescens* straini DYS-7, *Bacillus atrophaeus* straini DYS-23 ve *Bacillus subtilis* straini DYS-45 dışındaki tüm strainlerin selülaz aktivitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın, kitinaz aktivitesi yalnızca *Paenibacillus validus* straini DYS-20'de pozitif sonuç vermiştir. Strainler HCN üretimi açısından değerlendirildiğinde ise *Bacillus pumilus* straini DYS-5, *Pseudomonas fluorescens* straini DYS-7 ve *Bacillus atrophaeus* straini DYS-23 dışındaki diğer strainlerin HCN üretim kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, test edilen bakteri strainlerinden beşinin siderofor üretme kapasitesine sahip olduğu saptanmıştır (Tablo 5).

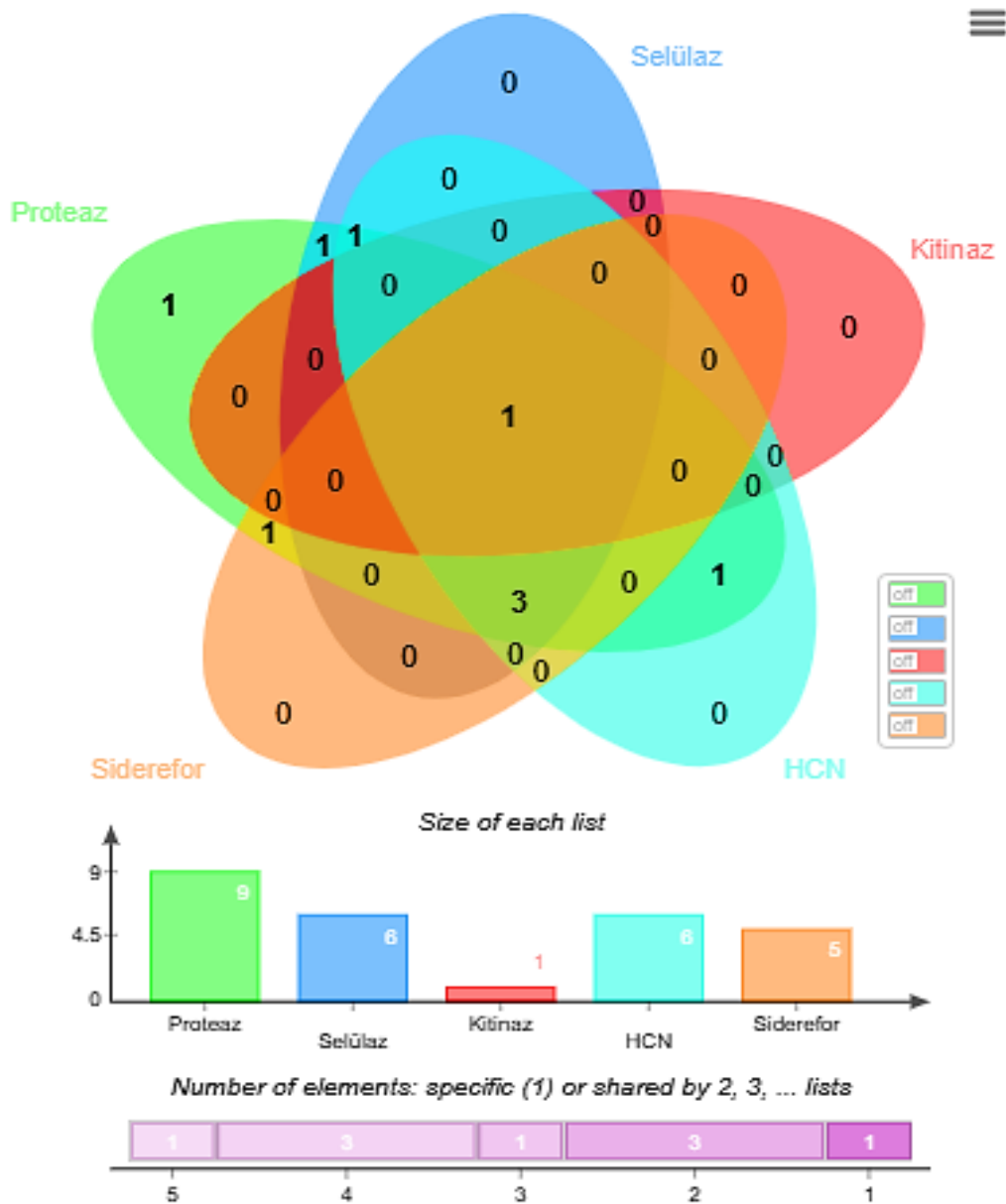


Şekil 3. Azot Fiksasyonu, Fosfor ve Potasyum Çözünürlüğü ile ACC Deaminaz Aktivite Özelliklerinin Venn Diyagramı
Figure 3. Venn diagram of Nitrogen Fixation, Phosphorus and Potassium Solubilization, and ACC Deaminase Activity Characteristics

Tablo 6. Antagonist Bakteri Strainlerinin Biyokontrol ile İlişkili Enzim ve Metabolit Üretim Özellikleri
Table 6. Enzyme and metabolite production properties associated with biocontrol in antagonistic bacterial strains

Strain No	Proteaz	Selüloz	Kitinaz	HCN	Sidedefor
<i>Bacillus pumilus</i> strain DYS-5	+	+	-	-	-
<i>Bacillus pumilus</i> strain DYS-6	+	+	-	+	+
<i>Pseudomonas fluorescens</i> strain DYS-7	+	-	-	-	-
<i>Pseudomonas putida</i> strain DYS-17	+	+	-	+	-
<i>Paenibacillus validus</i> strain DYS-20	+	+	+	+	+
<i>Bacillus artophaeus</i> strain DYS-23	+	-	-	-	+
<i>Bacillus subtilis</i> strain DYS-29	+	+	-	+	+
<i>Bacillus atrophaeus</i> strain DYS-44	+	+	-	+	+
<i>Bacillus subtilis</i> strain DYS-45	+	-	-	+	-

Proteaz (yeşil), selülaz (mavi), kitinaz (kırmızı), siderofor (turuncu) ve HCN (turkuaz) mekanizmalarına sahip bakteri strainlerinin dağılımı Venn diyagramı ile gösterilmiştir (Şekil 3). Diyagramda renkler ilgili mekanizmayı, kesişimlerdeki değerler ise bu aktiviteleri birlikte taşıyan strain sayılarını ifade etmektedir. Diyagrama göre beş mekanizmanın tamamında pozitif aktivite gösteren yalnızca bir strain bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, bir strain proteaz ve selülaz aktivitelerini birlikte pozitif olarak sergilerken, başka bir strain proteaz ve HCN aktivitelerini, bir diğer strain ise proteaz ve siderofor aktivitelerini birlikte pozitif olarak göstermektedir. Ayrıca üç strainin proteaz, selülaz, HCN ve siderofor aktivitelerinin tümünde pozitif, ancak kitinaz aktivitesinde negatif olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak bir strainin proteaz, selülaz ve HCN aktivitelerinde pozitif; kitinaz ve siderofor aktivitelerinde ise negatif olduğu tespit edilmiştir. Alt kısımda yer alan çubuk grafik, her mekanizmanın ayrı ayrı pozitif olarak gözlemlendiği strain sayılarını göstermektedir olup proteaz aktivitesi 9, selülaz 6, HCN 6, siderofor 5 ve kitinaz aktivitesi ise yalnızca 1 strain tarafından pozitif olarak sergilenmiştir.



Şekil 4. Proteaz, Selülaz, Kitinaz, HCN ve Siderofor Mekanizmalarının Venn Diyagramı
Figure 4. Venn diagram of protease, cellulase, chitinase, HCN, and siderophore mechanisms

Aday Antagonist Bakterilerin *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* strain AK-17 Üzerindeki *in vitro* Biyokontrol Etkinliği

Xanthomonas axonopodis pv. *vesicatoria*'ya karşı antagonistik etki gösteren bakteri strainlerine ait inhibisyon zon çapı değerleri Tablo 7'de sunulmuştur. Test edilen 53 bakteriye strain içerisinde 9'unun patojen gelişimini anlamlı düzeyde engellediği bulunmuştur ($p < 0.01$). Inhibisyon zon çapları 10.3 mm ile 20.3 mm arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek biyokontrol etkisi, 20.3 ± 0.8 mm zon değeri ile *Paenibacillus validus* DYS-20 tarafından sergilenmiştir. Buna karşılık, *Bacillus subtilis* DYS-45 straininin 10.3 ± 0.8 mm zon değeri ile en düşük antagonistik etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4).

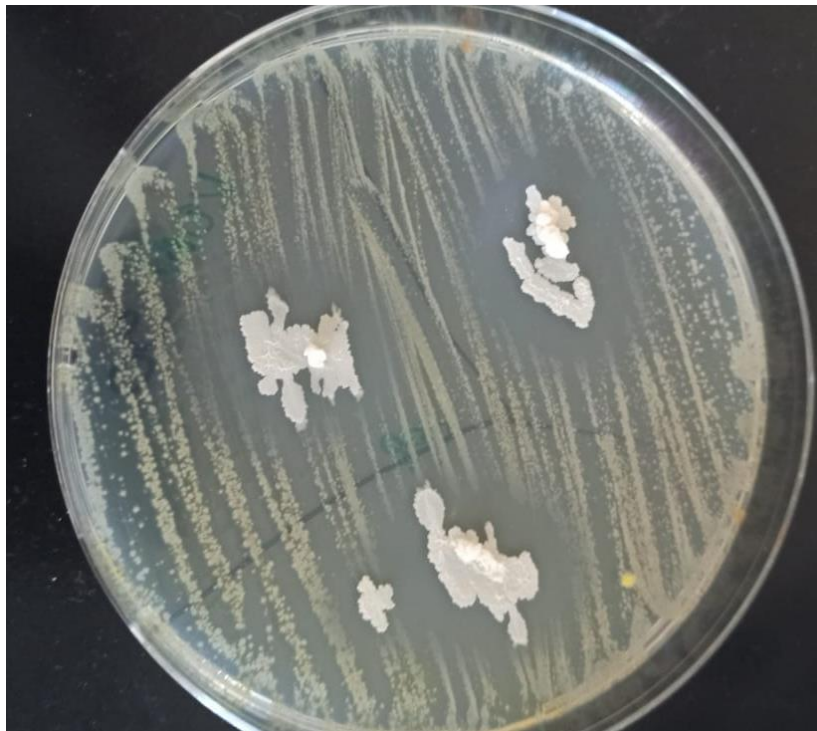
Tablo 7. *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*'ya karşı strainlerin antibakteriyel etkisi

Table 7. Antibacterial effects of the strains against *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*

Bakteri strainleri	Zon çapı (mm)
<i>Bacillus pumilus</i> strain DYS-5	$18.3 \pm 0.8^{ab*}$
<i>Bacillus pumilus</i> strain DYS-6	15.6 ± 0.3^{bc}
<i>Pseudomonas fluorescens</i> strain DYS-7	14.3 ± 0.3^{cd}
<i>Pseudomonas putida</i> strain DYS-17	16.3 ± 0.8^{bc}
<i>Paenibacillus validus</i> strain DYS-20	20.3 ± 0.8^a
<i>Bacillus artophaeus</i> strain DYS-23	1.53 ± 0.3^{bc}
<i>Bacillus subtilis</i> strain DYS-29	18.0 ± 1.5^{ab}
<i>Bacillus atropphaeus</i> strain DYS-44	11.3 ± 2.0^{de}
<i>Bacillus subtilis</i> strain DYS-45	10.3 ± 0.8^e
F	9.531

*Veriler üç tekrerrör ortalamasıdır ve aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki olarak fark yoktur.

**Tabloda verilen değerler $p \leq 0.01$ önem seviyesinde anlamlı bulunmuştur.



Şekil 5. *Paenibacillus validus* DYS-20'nin patojen üzerindeki inhibisyon etkisi
Figure 5. Inhibition effect of *Paenibacillus validus* DYS-20 on the pathogen

Bu çalışmada, biberde önemli ekonomik kayıplara neden olan *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*'nın biyokontrolüne yönelik potansiyel antagonistik bakteri strainleri araştırılmıştır. Bu kapsamda 53 bakteri strainin antagonistik aktiviteleri test edilmiş ve bunlardan 9'unun patojen üzerinde farklı düzeylerde inhibisyon zonu oluşturarak antagonistik etki sergilediği tespit edilmiştir. Antibakteriyel özellik gösteren strainlerden 6'sının *Bacillus*, 2'sinin *Pseudomonas* ve 1 tanesinin *Paenibacillus* cinslerine ait olduğu belirlenmiştir. Söz konusu bakteri cinslerinde yer alan türlerin, farklı bitki türlerinden izole edildiği, biyokontrol yetenekleri, bitki büyümesini teşvik etme ve rizosfer kolonizasyon kapasitesi gibi önemli özelliklere sahip olduğu çeşitli araştırmalarda bildirilmiştir (Cattelan et al., 1999; Estrada-De et al., 2001; Berg et al., 2002; Kuklinsky-Sobral et al., 2004; Rosenbluet et al., 2006; Lugtenberg et al., 2009). Bu çalışmada tespit edilen *Paenibacillus validus* straini, Xav etmenine karşı 20.3 mm'lik inhibisyon zonu oluşturarak en yüksek antagonistik etkiyi göstermiştir. Bu bulgu, *Paenibacillus* türlerinin bilinen biyokontrol potansiyelleri ile uyumlu olup, literatürde bu cinsin *Xanthomonas campestris* (Pichard et al., 1995), *Phytophthora* spp. (Timmusk et al., 2009; Kim et al., 2009), *Rhizoctonia solani* (Kavitha et al., 2005; Chen et al., 2010), *Pseudomonas syringae* (Hong et al., 2016) gibi farklı fitopatogenlere karşı antagonistik etkiler gösterdiğini bildiren çalışmalar tarafından desteklenmektedir. Dolayısıyla, *P. validus* DYS-20 straini, biber bakteriyel leke hastalığının biyolojik mücadelesinde potansiyel bir biyokontrol etmeni olarak ümit verici bir aday olarak öne çıkmaktadır. Mevcut çalışmada, biberde bakteriyel leke hastalığı etmenine karşı antagonistik etki gösteren 6 bakteri straininin *Bacillus* türlerine ait olduğu ve bu strainlerin farklı büyüklüklerde inhibisyon zonları oluşturduğu belirlenmiştir. *In vitro* antibakteriyel etkinlik düzeylerindeki bu varyasyon, *Bacillus* spp.'nin ürettiği biyoaktif sekonder metabolitlerin yapısal ve fonksiyonel çeşitliliğinin biyokontrol etkinliği üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir (Im et al., 2020). Nitekim *Bacillus* türlerinin antimikrobiyal aktivitesinin, sentezledikleri antibiyotik bileşiklerin türü ve miktarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği bildirilmektedir (Meena and Kanwar, 2015). Ayrıca, *Bacillus* temelli biyokontrol etmenlerinin biyoaktif metabolit üretim düzeyinin sıcaklık, pH ve oksijen miktarı gibi çevresel faktörlerden önemli ölçüde etkilendiği de ifade edilmektedir (Etesami et al., 2023). Bununla birlikte, *Bacillus* spp., toprak ve rizosfer ekosistemlerinde gram pozitif bakteri popülasyonunun yaklaşık %95'ini oluşturarak baskın bir cins olarak yer almakta ve sahip olduğu metabolik ve genetik çeşitlilik sayesinde değişken çevresel koşullara yüksek adaptasyon yeteneği gösterdiği bilinmektedir (Prashar et al., 2014; Etesami et al., 2023). Bu özellikleri, *Bacillus* cinsini tarımsal uygulamalarda yaygın olarak tercih edilen ve yüksek biyokontrol potansiyeli sunan bir mikrobiyal etmen haline getirmektedir (Blake et al., 2021). *Bacillus* türlerini tarımda değerli kılan temel özellikler arasında, hızlı çoğalma kabiliyeti, spor oluşturma yoluyla ekstrem koşullara dayanıklılık, geniş spektrumlu biyoaktif metabolit sentezi ve bitkilerde sistemik direnç mekanizmalarını uyarma yetenekleri yer almaktadır (Butcher et al., 2007; Wang et al., 2014; Fira et al., 2018). Ayrıca *Bacillus* türleri tarafından üretilen ribozomal peptitlerin geniş antibakteriyel etki spektrumuna sahip olduğu ve etkili biyokontrol etmenleri olarak değerlendirilebileceği belirtilmektedir (Hammami et al., 2009).

Bu çalışmada biber bitkilerinden izole edilen *Bacillus* cinsine ait bakteri strainlerinin *X. axonopodis* pv. *vesicatoria* etmenine karşı antibakteriyel etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Nitekim literatürde de *Bacillus* türlerinin Xav gelişimini baskılayarak bitkilerde hastalık şiddetini azalttığı ve bitkilerin hastalığa karşı direncini artırdığı çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur. Örneğin, sağlıklı domates yapraklarından izole edilen *Bacillus pumilus* ve *Paenibacillus macerans* türlerinin Xav gelişimini inhibe ederek domates bitkilerini hastalığa karşı koruduğu bildirilmiştir (Lanna Filho et al., 2010). Benzer şekilde, domates gövdesinden izole edilen *Bacillus amyloliquefaciens* ve *Bacillus pumilus*'tan elde edilen protein fraksiyonlarının Xav'ye karşı bitkide dayanıklılık tepkilerini uyardığı ve savunma mekanizmalarını aktive ettiği belirlenmiştir (Lanna Filho et al., 2013). Bu bulgular, *Bacillus*

türlerinin yalnızca doğrudan antibakteriyel aktivite göstermediğini, aynı zamanda konukçu bitkide savunma yanıtlarını güçlendirerek hastalık baskılanmasına katkı sağladığını göstermektedir.

Mevcut araştırmada izole edilen *Pseudomonas fluorescens* straininin Xav 'ye karşı 14.3 mm'lik inhibisyon zonu oluşturduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, literatürde *P. fluorescens*'in çeşitli bitki patojenleri üzerinde baskılayıcı etkiye sahip olduğunu bildiren çalışmalarla uyumludur. Örneğin, *P. fluorescens* F113'ün patates yumuşak çürüklük etmeni *Erwinia carotovora*'yı inhibe ettiği bildirilmiştir (Cronin et al., 1997). Ayrıca *P. fluorescens* tarafından sentezlenen bakteriyosinlerin. *Xanthomonas* ve *Pseudomonas* cinsine ait çeşitli fitopatojen strainlere karşı belirgin antimikrobiyal aktivite gösterdiği ifade edilmiştir (Fischer et al., 2012; Godino et al., 2016). Söz konusu bakteriyosinlerden SF4c tailosininin *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* Bv5-4a hücre zarına bağlanarak hücre içeriğinin hızla sızmasına neden olduğu ve bunun sonucunda bakteri ölümüne yol açtığı gösterilmiştir (Fernandez et al., 2017). Bununla birlikte, bazı çalışmalarda *Pseudomonas fluorescens* strainlerinin Xav'nin biyolojik mücadelesinde etkisiz kaldığı da bildirilmiştir. Örneğin Almast (2023), *P. fluorescens* strain MFY72'nin Xav'ye karşı inhibisyon etkisi göstermediğini rapor etmiştir. Bu sonuçlar, *P. fluorescens*'in biyokontrol etkinliğinin strain düzeyinde değişkenlik gösterdiğini ortaya koymakta ve biyokontrol etmeni seçiminde strain spesifik değerlendirmelerin önemine işaret etmektedir. Öte yandan bazı araştırmalarda, *in vitro* koşullarda fitopatojenlere karşı en etkili antagonistik etkiyi çoğunlukla floresan *Pseudomonas* türlerinin gösterdiği bildirilmiştir. Nitekim *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (Cmm)'e karşı yürütülen çalışmalarda, en güçlü antagonistik aktivitenin gram negatif ve özellikle floresan *Pseudomonas* strainlerinde gözlemlendiği rapor edilmiştir (Boudyach et al., 2001; Amkraz et al., 2010; Akat et al., 2011). Bununla birlikte farklı araştırmacılar, Cmm'ye karşı *Bacillus pumilus*, *Bacillus velezensis*, *Bacillus subtilis* ve *B. amyloliquefaciens* gibi türlerin de başarılı antagonistler olabileceğini göstermiştir (Abo-Elyousr et al., 2019; Gautam et al., 2019; Laird et al., 2020). Bu bulgular, bitki patojenlerine karşı antagonistik etkinliğin tür düzeyinde değil, strain düzeyinde çeşitlilik gösterebileceğini ve biyokontrol etmeni seçiminde her strainin ayrı olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Çalışma sonucunda bakteri strainlerinin çeşitli bitki gelişimini teşvik edici mekanizmalara sahip olduğu belirlenmiştir. Strainlerin 8'inin azot fikse edebildiği, 9'unun fosfor çözme yeteneğine sahip olduğu, 2'sinin potasyumu çözebildiği ve 4 strainin ACC-deaminaz enzimi ürettiği tespit edilmiştir. Çeşitli çalışmalarda bitki gelişimini teşvik eden bakterilerin etki mekanizmaları araştırılmış, strainlerin azot fikse etmelerinin, fosfat ve potasyumun çözünürlüğünü artırmalarının bitki gelişiminde önemli bir rol oynadığı (Khan et al., 2010; Wang et al., 2019; Çakmakçı et al., 2008; Sunyar et al., 2024), mevcut besin maddelerinin miktarının artırılması ve bunların bitki tarafından kullanılabilir hale getirilmesi ile bitkilerin hastalıklara karşı dayanıklılığının olumlu yönde etkilendiği (Watanabe et al., 2004) bildirilmiştir. Ayrıca, bakteri strainlerinin ACC-deaminaz enzimine sahip olduğu ve bu enzimin çeşitli stres koşullarında bitki büyümesinin teşvikinde önemli olduğu ortaya konulmuştur (Tsolakidou et al., 2019; Ratnaningsih et al., 2023).

In vitro olarak test edilen bakteri strainlerinin proteaz, kitinaz ve selülaz litik enzimlere sahip olduğu belirlenmiştir. Proteaz enzimine sahip bakterilerin, hastalık etmenlerinin hücre yapısında bulunan proteinleri parçalayarak patojen gelişimini baskıladığı ve aynı zamanda bitkilerde sistemik dayanıklılığı uyarak hastalıklara karşı direnç geliştirilmesine katkı sağladığı bildirilmektedir (Harrison ve Bonning, 2010; Elhalag et al., 2016). Benzer şekilde selülaz ve kitinaz gibi litik enzimleri sentezleyebilen (Kundan et al., 2015; Widnyana, 2018) ve HCN gibi antimikrobiyal bileşikler üretebilen bakterilerin fitopatojenlerin gelişimini inhibe ettikleri rapor edilmiştir (Blumer and Haas, 2000). Bu çalışmada incelenen 9 bakteri straininden 5'inin siderofor üretme potansiyeline sahip olduğunun

belirlenmesi, strainlerin demir sınırlı ortamlarda bitki ile etkileşimini güçlendirerek hem biyokontrol etkinliğine hem de bitki büyümesini teşvik mekanizmalarına katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Nitekim literatürde sideroforların bitki gelişimini desteklemenin yanı sıra (Masalha et al., 2000; Ferreira et al., 2019; Alpago et al., 2023) biyolojik kontrolde de önemli rol oynadığı (López-Reyes et al., 2017; Arya et al., 2018; Sheng et al., 2020) ve indüklenmiş sistemik dayanıklılığın uyarılmasında görev aldığı belirtilmektedir (Van Loon, 2007). Ayrıca sideroforların minerallerin bakteriler tarafından kullanılabilirliğini artırarak diğer antimikrobiyal bileşiklerin sentezini dolaylı olarak teşvik edebildiği bildirilmektedir (Joseph et al., 2007). Çalışmada 9 strainin 6'sının HCN ürettiğinin tespit edilmesi literatürde birçok bakteri straininin HCN sentezleyebildiğini bildiren çalışmalarla uyumlu olmakla birlikte (Michelsen and Stougaard, 2012; Nandi et al., 2015; Anand et al., 2020), bazı araştırmalarda HCN üretiminin daha sınırlı sayıda strain tarafından gerçekleştirildiği belirtilmiştir (Akbaba, 2014; Abd El-Rahman et al., 2019; Mokrani et al., 2019; Koçak and Salman, 2023; Anak, 2025). Bu farklılıkların bakteri türleri, izolasyon kaynakları ve çevresel koşulların değişkenliğinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

SONUÇ

Bu çalışma, biberde ekonomik kayıplara neden olan *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* etmenine karşı biyolojik mücadele potansiyeli taşıyan antagonistik bakteri strainlerin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. *In vitro* antagonizm testleri sonucunda 53 bakteri straininden 9'unun patojen gelişimini baskıladığı ve bu strainlerin *Bacillus*, *Pseudomonas* ve *Paenibacillus* cinslerine ait olduğu belirlenmiştir. Bu strainler arasında *Paenibacillus validus* strain DYS-20'nin 20.3 mm'lik inhibisyon zonu oluşturarak en yüksek antagonistik etki gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca patojene karşı etkinliği belirlene strainlerin azot fiksasyonu, fosfor ve potasyum çözünürlüğü ile ACC deaminaz aktivitesi gibi bitki gelişimini destekleyici özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu özellikler, bu bakterilerin antibakteriyel etkinin yanısıra bitki gelişimine de katkı sağlayabileceğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte *in vitro* koşullarda elde edilen antagonistik etkinin sera ve tarla koşullarında çevresel faktörler nedeniyle farklılaşabileceği, antagonistik strainlerin kolonizasyon, çoğalma ve rekabet yeteneklerinin çevre, toprak tipi ve bitki gelişim evresine bağlı olarak değişiklik gösterebileceği bilinmektedir. Ayrıca patojen popülasyonlarının genetik çeşitliliği de biyokontrol etkinliği üzerinde belirleyici bir faktör olabilmektedir. Bu nedenle çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda şu öneriler sunulabilir:

1. En yüksek antagonistik etkiyi gösteren *Paenibacillus validus* strain DYS-20 başta olmak üzere, antagonistik etkiye sahip strainlerin sera ve tarla koşullarında biyokontrol etkinlikleri test edilmelidir.
2. Bakteriyel strainlerin bitki gelişimi üzerine etkisi ve hastalıklara karşı sistemik dayanıklılık mekanizmalarını uyarma potansiyelleri belirlenmeli ve moleküler düzeyde araştırılmalıdır.
3. Antagonistik bakteri strainlerinin bitki büyümesini destekleyici özelliklerinin ve biyokontrol mekanizmalarının daha kapsamlı şekilde ortaya konulabilmesi için azot fiksasyon kapasitesinin, Fosfor ve potasyum çözünürlüğü düzeylerinin ve enzim üretim aktivitelerinin kantitatif olarak belirlenmesi önemlidir. Bu tür nicel değerlendirmeler. Strainlerin hem bitki gelişimini destekleme potansiyellerinin hem de patojen baskılama etkinliklerinin karşılaştırılabilir ve uygulamaya aktarılabilir biçimde yorumlanmasına katkı sağlayacaktır.
4. Kimyasal mücadele programlarında pestisit kullanımının azaltılması için biyolojik kontrol etmenlerinin entegre edildiği sürdürülebilir hastalık kontrol stratejileri oluşturulmalıdır.

TEŞEKKÜRLER

Makaleyi geliştirmek için yaptıkları katkılardan dolayı isimsiz hakemlere teşekkür ederiz.

YAZAR KATKILARI

Yazarlar bu çalışmaya eşit oranda katkıda bulunmuşlardır.

ÇIKAR ÇATIŞMALARI

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

KAYNAKLAR

- Abbasi, P. A., & Weselowski, B. (2015). Efficacy of Bacillus subtilis QST 713 formulations, copper hydroxide, and their tank mixes on bacterial spot of tomato. *Crop Protection*, 74, 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.04.009>
- Abd El-Rahman, A. F., Shaheen, H. A., Abd El-Aziz, R. M., El-Deeb, B., & Khalil, M. S. (2019). Influence of hydrogen cyanide-producing rhizobacteria in controlling the crown gall and root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 29, 41. <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0143-7>
- Abo-Elyousr, K. A., Bagy, H. M. K., Hashem, M., Alamri, S. A., & Mostafa, Y. S. (2019). Biological control of the tomato wilt caused by *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* using formulated plant growth-promoting bacteria. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 29(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0152-6>
- Ahmad, F., Ahmad, I., & Khan, M. S. (2008). Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*, 163(2), 173-181. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.04.001>
- Akat, S., & Özaktan, H. (2011). Domates bakteriyel kanser ve solgunluk hastalığıyla [*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (Smith) Davis et al.] biyolojik mücadelede bakteriyel antagonistlerin etkinliğinin araştırılması. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 2(1), 3-18.
- Akbaba, M. (2014). Bitki gelişimini artıran bakteriyel endofitlerin hıyar bakteriyel köşeli yaprak leke hastalığının (*Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*) önlenmesinde kullanılma olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 139 s.
- Al-Dahmani, J. H., Abbasi, P. A., Miller, S. A., & Hoitink, H. A. (2003). Suppression of bacterial spot of tomato with foliar sprays of compost extracts under greenhouse and field conditions. *Plant Disease*, 87(8), 913-919. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.8.913>
- Almast, E. (2023). Domates bakteriyel yaprak lekeli hastalığının (*Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*) antagonist bakteri strainleri ile biyolojik mücadelesi. Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Iğdır, 56 s.
- Alpago, Ö., Dönmez, M. F., Sunyar, B., & Çoruh, İ. (2023). Bitki gelişimini uyarıcı bakterilerin kıvrıkcık marul (*Lactuca sativa* var. *crispa*) gelişimine etkisinin belirlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 9(3), 300-310. <https://doi.org/10.24180/ijaws.1297251>
- Ameziane, N., Boubaker, H., Boudyach, H., Msanda, F., Jilal, A., & Benaoumar, A. A. (2007). Antifungal activity of Moroccan plants against citrus fruit pathogens. *Agronomy for Sustainable Development*, 27(3), 273-277. <https://doi.org/10.1051/agro:2007022>
- Amkraz, N., Boudyach, E. H., Boubaker, H., Bouizgarne, B., & Aoumar, A. A. B. (2010). Screening for fluorescent pseudomonades isolated from the rhizosphere of tomato for antagonistic activity toward *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(6), 1059-1065. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0270-5>
- Anak, H. (2025). Endofit bakterilerin fasulye solgunluk hastalığının (*Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*) biyolojik mücadelesinde etkinliğinin araştırılması. Doktora Tezi, Iğdır Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Iğdır, 138 s.
- Anand, A., Chinchilla, D., Tan, C., Mène-Saffrané, L., L'Haridon, F., & Weisskopf, L. (2020). Contribution of hydrogen cyanide to the antagonistic activity of *Pseudomonas* strains against *Phytophthora infestans*. *Microorganisms*, 8(8), 1144. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081144>
- Areas, M. S., Gonçaves, R. M., Soman, J. M., Sakate, R. K., Giora, R., da Silva Júnior, T. A., & Maringoni, A. C. (2015). Prevalence of *Xanthomonas euvesicatoria* on pepper in Brazil. *Journal of Phytopathology*, 163(11-12), 1050-1054. <https://doi.org/10.1111/jph.12349>

- Arya, N., Rana, A., Rajwar, A., & Kumar, S. (2018). Biocontrol efficacy of siderophore producing indigenous *Pseudomonas* strains against *Fusarium* wilt in tomato. *National Academy Science Letters*, 41(2), 133-136. <https://doi.org/10.1007/s40009-018-0630-5>
- Aysan, Y., & Sahin, F. (2003). Occurrence of bacterial spot disease caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* on pepper in the eastern Mediterranean region of Turkey. *Plant Pathology*, 52(6), 781. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2003.00890.x>
- Bae, J. Y., Wu, J., Lee, H. J., Jo, E. J., Murugaiyan, S., Chung, E., & Lee, S. W. (2012). Biocontrol potential of a lytic bacteriophage PE204 against bacterial wilt of tomato. *Journal Microbiol. Biotechnol*, 22(12), 1613-1620. <http://dx.doi.org/10.4014/jmb.1208.08072>
- Bakker, A. W., & Schippers, B. (1987). Patates verim azalması ve *Pseudomonas* spp. aracılı bitki büyüme uyarımı ile ilişkili olarak rizosferde mikrobiyal siyanür üretimi. *Toprak Biyolojisi ve Biyokimyası*, 19, 451-457. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90037-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90037-X)
- Berg, G., Roskot, N., Steidle, A., Eberl, L., Zock, A., & Smalla, K. (2002). Farklı *Verticillium* konak bitkilerinden izole edilen antagonistik rizobakterilerin bitkiye bağlı genotip ve fenotip çeşitliliği. *Applied and Environmental Microbiology*, 68, 3328-3338. <https://doi.org/10.1128/aem.68.7.3328-3338.2002>
- Black, R., Seal, S., Abubakar, Z., Nono-Womdim, R., & Swai, I. (2001). Bacterial spot (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*) of tomato and sweet pepper in Tanzania. *Plant Pathology*, 50, 810. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2001.00633.x>
- Blake, C., Christensen, M. N., & Kovács, Á. T. (2021). Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 34(1), 15-25. <https://doi.org/10.1094/mpmi-08-20-0225-cr>
- Bloemberg, G. V., & Lugtenberg, B. J. (2001). Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria. *Current Opinion in Plant Biology*, 4(4), 343-350. [https://doi.org/10.1016/s1369-5266\(00\)00183-7](https://doi.org/10.1016/s1369-5266(00)00183-7)
- Blumer, C., & Haas, D. (2000). Mechanism, regulation, and ecological role of bacterial cyanide biosynthesis. *Archives of Microbiology*, 173, 170-177. <http://doi.org/10.1007/s002039900127>
- Boch, J., & Bonas, U. (2010). *Xanthomonas* AvrBs3 family-type III effectors: discovery and function. *Annual Review of Phytopathology*, 48, 419-436. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081936>
- Bonas, U., Van den Ackerveken, G., Büttner, D., Hahn, K., Marois, E., Nennstiel, D., Noel, L., Rossier, O., & Szurek, B. (2000). How the bacterial plant pathogen *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* conquers the host. *Molecular Plant Pathology*, 1, 73-76. <https://doi.org/10.1046/j.1364-3703.2000.00010.x>
- 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. <https://doi.org/10.1080/09583150020029817>
- Butcher, R. A., Schroeder, F. C., Fischbach, M. A., Straight, P. D., Kolter, R., Walsh, C. T., & Clardy, J. (2007). The identification of bacillaene, the product of the PksX megacomplex in *Bacillus subtilis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(5), 1506-1509. <https://doi.org/10.1073/pnas.0610503104>
- Büttner, D., & Bonas, U. (2010). Regulation and secretion of *Xanthomonas* virulence factors. *FEMS Microbiology Reviews*, 34(2), 107-133. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2009.00192.x>
- Byrne, J. M., Dianese, A. C., Ji, P., Campbell, H. L., Cuppels, D. A., Louws, F. J., Miller, S. A., Jones, J. B., & Wilson, M. (2005). Biological control of bacterial spot of tomato under field conditions at several locations in North America. *Biological Control*, 32(3), 408-418. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2004.12.001>
- Cattelan, A. J., Hartel, P. G., & Fuhrmann, J. J. (1999). Bitki büyümesinin taranması – erken soya fasulyesi büyümesini desteklemek için rizobakterilerin teşvik edilmesi. *Toprak Bilimi Derneği Amerikan Dergisi*, 63, 1670-1680. <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6361670x>
- Chen, X., Wang, G., Xu, M., Jin, J., & Liu, X. (2010). Soya fasulyesi köksapından izole edilen *Paenibacillus polymyxa* BRF-1 tarafından üretilen antifungal peptit. *African Journal of Microbiology Research*, 4, 2692-2698.
- Chen, J., Wu, Q., Hua, Y., Chen, J., Zhang, H., & Wang, H. (2017). Potential applications of biosurfactant rhamnolipids in agriculture and biomedicine. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101(23-24), 8309-8319. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8554-4>
- Cronin, D., Moëne-Loccoz, Y., Fenton, A., Dunne, C., Dowling, D. N., & O'Gara, F. (1997). Ecological interaction of a biocontrol *Pseudomonas fluorescens* strain producing 2,4-diacetylphloroglucinol with the soft rot potato pathogen *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica*. *FEMS Microbiology Ecology*, 23(2), 95-106. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1997.tb00394.x>

- Çakmakçı, R., Erdoğan, Ü., Kotan, R., Oral, B., & Dönmez, F. (2008). Diversity of heterotrophic nitrogen-fixing bacteria in wild raspberry rhizosphere soils in the Çoruh Valley. 4th National Plant Nutrition and Fertilizer Congress, 8-10. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0295-4>
- Dadaşoğlu, F., Joy, J. F. M., Özyurt, G., & Kotan, R. (2020). In vitro effect of bacterial biocontrol organisms against *Pectobacterium carotovorum* on potato. *Journal of Agricultural Production*, 1(1), 8-11. <https://doi.org/10.29329/agripro.2020.341.3>
- Döbereiner, J. (1989). Isolation and identification of root associated diazotrophs. İçinde: Nitrogen Fixation with Non-Legumes (Ed. F. A. Skinner), Klawer, Dordrecht, 103-108. https://doi.org/10.1007/978-94-009-0889-5_13
- Dönmez, M. F., & Aliyeva, Z. (2023). Biological control of bean halo blight disease (*Pseudomonas savastanoi* pv. *phaseolicola*) with antagonist bacterial strains. *Gesunde Pflanzen*, 75(4), 815-824. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00746-8>
- Duman, A. D., Zorlugenç, B., & Evliya, B. (2002). Kahramanmaraş'ta kırmızı biberin önemi ve sorunları. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(1), 111-117.
- Elhalag, K. M., Messiha, N. A. S., Emara, H. M., & Abdallah, S. A. (2016). Evaluation of antibacterial activity of *Stenotrophomonas maltophilia* against *Ralstonia solanacearum* under different application conditions. *Journal of Applied Microbiology*, 120(6), 1629-1645. <http://doi.org/10.1111/jam.13097>
- EPPO. (2013). European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). Plant Quarantine, *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. EPPO Bulletin, 18, 521-526.
- Ertekin, Ç. (2016). Orta Karadeniz bölgesinde hale yanıklığı (*Pseudomonas savastanoi* pv. *phaseolicola*) ile adi yaprak yanıklığı (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*) etmenlerinin belirlenmesi ve fasulye hatlarının bu hastalıklara karşı reaksiyonları. Doktora Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Estrada-De Los Santos, P., Bustillos-Cristales, R., & Caballero-Mellado, J. (2001). Burkholderia, geniş çevresel ve coğrafi dağılıma sahip bitki ilişkili azot sabitleyiciler açısından zengin bir cinstir. *Applied and Environmental Microbiology*, 67, 2790-2798. <https://doi.org/10.1128/aem.67.6.2790-2798.2001>
- Etesami, H., Jeong, B. R., & Glick, B. R. (2023). Biocontrol of plant diseases by *Bacillus* spp. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 102048. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102048>
- Fernandez, M., Godino, A., Principe, A., Morales, G. M., & Fischer, S. (2017). Effect of a *Pseudomonas fluorescens* tailocin against phytopathogenic *Xanthomonas* observed by atomic force microscopy. *Journal of Biotechnology*, 256, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2017.07.002>
- Ferraz, H. G. M., Resende, R. S., Silveira, P. R., Andrade, C. C. L., Milagres, E. A., Oliveira, J. R., & Rodrigues, F. D. Á. (2014). Rhizobacteria induces resistance against *Fusarium* wilt of tomato by increasing the activity of defense enzymes. *Bragantia*, 73, 274-283. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0124>
- Ferreira, C. M., López-Rayó, S., Lucena, J. J., Soares, E. V., & Soares, H. M. (2019). Evaluation of the efficacy of two new biotechnological-based freeze-dried fertilizers for sustainable Fe deficiency correction of soybean plants grown in calcareous soils. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1335. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01335>
- Fira, D., Dimkić, I., Berić, T., Lozo, J., & Stanković, S. (2018). Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species. *Journal of Biotechnology*, 285, 44-55. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2018.07.044>
- Fischer, S., Godino, A., Quesada, J. M., Cordero, P., Jofre, E., Mori, G., & Espinosa-Urgel, M. (2012). Characterization of a phage-like pyocin from the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas fluorescens* SF4c. *Microbiology*, 158(6), 1493-1503. <https://doi.org/10.1099/mic.0.056002-0>
- Gautam, S., Chauhan, A., Sharma, R., Sehgal, R., & Shirkot, C. K. (2019). Potential of *Bacillus amyloliquefaciens* for biocontrol of bacterial canker of tomato incited by *Clavibacter michiganensis* ssp. *michiganensis*. *Microbial Pathogenesis*, 130, 196-203. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.03.006>
- Godino, A., Principe, A., & Fischer, S. (2016). A ptsP deficiency in PGPR *Pseudomonas fluorescens* SF39a affects bacteriocin production and bacterial fitness in the wheat rhizosphere. *Research in Microbiology*, 167(3), 178-189. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2015.12.003>
- Gürbüz, R., Alma, M. H., Alptekin, H., & Tülek, C. (2024). Performance of some organic mulch materials for weed suppression, soil conditions and yield in *Capsicum annum* L. cultivation. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(1), 18-38. <https://doi.org/10.21597/jist.1326729>
- Hammami, I., Rhouma, A., Jaouadi, B., Rebai, A., & Nesme, X. (2009). Optimization and biochemical characterization of a bacteriocin from a newly isolated *Bacillus subtilis* strain 14B for biocontrol of *Agrobacterium* spp. strains. *Letters in Applied Microbiology*, 48(2), 253-260. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2008.02524.x>
- Harrison, R. L., & Bonning, B. C. (2010). Proteases as insecticidal agents. *Toxins*, 2(5), 935-953. <https://doi.org/10.3390/toxins2050935>

- Hert, A. P., Marutani, M., Momol, M. T., Roberts, P. D., Olson, S. M., & Jones, J. B. (2009). Suppression of the bacterial spot pathogen *Xanthomonas euvesicatoria* on tomato leaves by an attenuated mutant of *Xanthomonas perforans*. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(10), 3323-3330. <https://doi.org/10.1128/AEM.02399-08>
- Hong, C. E., Kwon, S. Y., & Park, J. M. (2016). *Paenibacillus polymyxa* AC-1'in *Pseudomonas syringae*'ye karşı biyokontrol aktivitesi ve *Arabidopsis thaliana* ile etkileşimi. *Microbiological Research*, 185, 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2016.01.004>
- Im, S. M., Yu, N. H., Joen, H. W., Kim, S. O., Park, H. W., Park, A. R., & Kim, J. C. (2020). Biological control of tomato bacterial wilt by oxydifficidin and difficidin-producing *Bacillus methylotrophicus* DR-08. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 163, 130-137. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.11.007>
- Jamiołkowska, A. (2020). Natural compounds as elicitors of plant resistance against diseases and new biocontrol strategies. *Agronomy*, 10(2), 173. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020173>
- Jones, J. B., Bouzar, H., Stall, R. E., Almira, E. C., Roberts, P. D., Bowen, B. W., Sudberry, J., Strickler, P. M., & Chun, J. (2000). Systematic analysis of *Xanthomonas* spp. associated with pepper and tomato lesions. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 50(3), 1211-1219. <https://doi.org/10.1099/00207713-50-3-1211>
- Joseph, B., Patra, R. R., & Lawrence, R. (2007). Characterization of plant growth-promoting rhizobacteria associated with chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Plant Production*, 1(2), 141-152.
- Junker, R. R., Loewel, C., Gross, R., Dötterl, S., Keller, A., & Blüthgen, N. (2011). Composition of epiphytic bacterial communities differs on petals and leaves. *Plant Biology*, 13(6), 918-924. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2011.00454.x>
- Kavitha, S., Senthilkumar, S., Gnanamanickam, S., Inayathullah, M., & Jayakumar, R. (2005). Isolation and partial characterization of antifungal protein from *Bacillus polymyxa* strain VLB16. *Process Biochemistry*, 40(10), 3236-3243. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.03.060>
- Khalid, M., Hassani, D., Bilal, M., Asad, F., & Huang, D. (2017). Influence of bio-fertilizer containing beneficial fungi and rhizospheric bacteria on health promoting compounds and antioxidant activity of *Spinacia oleracea* L. *Botanical Studies*, 58(1), 35. <https://doi.org/10.1186/s40529-017-0189-3>
- Khan, M. S., Zaidi, A., Ahemad, M., Oves, M., & Wani, P. A. (2010). Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 56(1), 73-78. <https://doi.org/10.1080/03650340902806469>
- Kim, S. G., Khan, Z., Jeon, Y. H., & Kim, Y. H. (2009). Inhibitory effect of *Paenibacillus polymyxa* GBR-462 on *Phytophthora capsici*, the causal agent of phytophthora blight in hot pepper. *Journal of Phytopathology*, 157, 229-237. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2008.01490.x>
- Klement, Z., Farkas, G. L., & Lovrekovich, L. (1964). Hypersensitive reaction induced by phytopathogenic bacteria in the tobacco leaf. *Phytopathology*, 54, 474-479.
- Koçak, R., & Salman, Ö. (2023). Bazı endofitik ve rizosferik bakterilerin fasulyede *Macrophomina phaseolina*'ya karşı etkinliklerinin in vitro koşullarda belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 27(1), 42-51. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.1195672>
- Kuklinsky-Sobral, J., Araújo, W. L., Mendes, R., Geraldi, I. O., Pizzirani-Kleiner, A. A., & Azevedo, J. L. (2004). Isolation and characterization of soybean-associated bacteria and their potential for plant growth promotion. *Environmental Microbiology*, 6, 1244-1251. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2004.00658.x>
- Kundan, R., Pant, G., Jadon, N., & Agrawal, P. K. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria: Mechanism and current prospective. *Journal of Fertilizers & Pesticides*, 6(2), 9. <http://doi.org/10.4172/2471-2728.1000155>
- Kuzu, S. B., Güvenmez, H. K., & Denizci, A. A. (2012). Production of a thermostable and alkaline chitinase by *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* strain HBK-51. *Biotechnology Research International*, 2012(1), 135498. <https://doi.org/10.1155/2012/135498>
- Laird, M., Piccoli, D., Weselowski, B., McDowell, T., Renaud, J., MacDonald, J., & Yuan, Z. C. (2020). Surfactin-producing *Bacillus velezensis* 1B-23 & *Bacillus* sp. 1D-12 protect tomato against bacterial canker caused by *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. *Journal of Plant Pathology*, 102(2), 451-458. <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00461-w>
- Lamichhane, J. R., Balestra, G. M., & Varvaro, L. (2010). First report of bacterial spot caused by *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* race 2 on tomato in Nepal. *New Disease Reports*, 22(25). <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2010.022.025>
- Lanna Filho, R., Romeiro, R. S., & Alves, E. (2010). Bacterial spot & early blight biocontrol by epiphytic bacteria in tomato plants. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45, 1381-1387. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200007>

- Lanna Filho, R., Souza, R. M., Magalhães, M. M., Villela, L., Zanotto, E., Ribeiro-Júnior, P. M., & Resende, M. L. (2013). Induced defense responses in tomato against bacterial spot by proteins synthesized by endophytic bacteria. *Tropical Plant Pathology*, 38, 295-302. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762013005000011>
- López-Reyes, L., Carcaño-Montiel, M. G., Lilia, T. L., Medina-de la Rosa, G., & Armando, T. H. R. (2017). Antifungal & growth-promoting activity of *Azospirillum brasilense* in *Zea mays* L. ssp. *mexicana*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 50(13-14), 727-743. <https://doi.org/10.1080/03235408.2017.1372247>
- Louden, B. C., Haarmann, D., & Lynne, A. M. (2011). Siderofor tespiti için mavi agar CAS testinin kullanımı. *Mikrobiyoloji ve Biyoloji Eğitimi Dergisi*, 12, 51-53. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v12i1.249>
- Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541-556. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>
- Masalha, J., Kosegarten, H., Elmaci, Ö., & Mengel, K. (2000). The central role of microbial activity for iron acquisition in maize & sunflower. *Biology and Fertility of Soils*, 30(5-6), 433-439. <https://doi.org/10.1007/s003740050021>
- Meena, K. R., & Kanwar, S. S. (2015). Lipopeptides as antifungal & antibacterial agents: applications in food safety & therapeutics. *BioMed Research International*, 2015, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2015/473050>
- Mehta, S., & Nautiyal, C. S. (2001). An efficient method for qualitative screening of phosphate-solubilizing bacteria. *Current Microbiology*, 43, 51-56. <https://doi.org/10.1007/s002840010259>
- Michelsen, C. F., & Stougaard, P. (2012). Hydrogen cyanide synthesis & antifungal activity of the biocontrol strain *Pseudomonas fluorescens* In5 from Greenland is highly dependent on growth medium. *Canadian Journal of Microbiology*, 58(4), 381-390. <https://doi.org/10.1139/w2012-004>
- Mirik, M., Aysan, Y., & Cinar, O. (2008). Biological control of bacterial spot disease of pepper with *Bacillus* strains. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(5), 381-390.
- Mokrani, S., Rai, A., Belabid, L., Cherif, A., Cherif, H., Mahjoubi, M., & Nabti, E. (2019). *Pseudomonas* diversity in Western Algeria: role in stimulation of bean germination & biocontrol of common bean blight. *European Journal of Plant Pathology*, 153(2), 397-415. <https://doi.org/10.1007/s10658-018-1566-9>
- Moss, W. P., Byrne, J. M., Campbell, H. L., Ji, P., Bonas, U., Jones, J. B., & Wilson, M. (2007). Biological control of bacterial spot of tomato using hrp mutants of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. *Biological Control*, 41(2), 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.01.008>
- Munhoz, L. D., Fontequé, J. P., Santos, I. M. O., Navarro, M. O. P., Simionato, A. S., Goya, E. T., Rezende, M. I., Balbi-Peña, M. M., Isabel de Oliveira, A. G., & Andrade, G. (2017). Control of bacterial stem rot on tomato by extracellular bioactive compounds produced by *Pseudomonas aeruginosa* LV strain. *Cogent Food & Agriculture*, 3(1), 1282592. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1282592>
- Nandi, M., Selin, C., Brassinga, A. K. C., Belmonte, M. F., Fernando, W. D., Loewen, P. C., & De Kievit, T. R. (2015). Pyrrolnitrin & hydrogen cyanide production by *Pseudomonas chlororaphis* strain PA23 exhibits nematicidal & repellent activity against *Caenorhabditis elegans*. *PLOS ONE*, 10(4), e0123184. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123184>
- Parmar, P., & Sindhu, S. S. (2013). Potassium solubilisation by rhizosphere bacteria: Influence of nutritional & environmental conditions. *Journal of Microbiology Research*, 3(1), 25-31.
- Penrose, D. M., & Glick, B. R. (2003). Methods for isolating & characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. *Physiologia Plantarum*, 118(1), 10-15. <http://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2003.00086.x>
- Pichard, B., Larue, J. P., & Thouvenot, D. (1995). Gavaserin & saltavalin, *Bacillus polymyxa* tarafından üretilen yeni peptit antibiyotiklerdir. *FEMS Microbiology Letters*, 133, 215-218. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1995.tb07887.x>
- Pohronezny, K., Moss, M. A., Dankers, W. W., & Schenk, J. (1990). Dispersal & management of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* during thinning of direct-seeded tomato. *Plant Disease*, 74, 800-805. <https://doi.org/10.1094/pd-74-0800>
- Potnis, N., Timilsina, S., Strayer, A., Shantharaj, D., Barak, J. D., Paret, M. L., Vallad, G. E., & Jones, J. B. (2015). Bacterial spot of tomato & pepper: diverse *Xanthomonas* species with a wide variety of virulence factors posing a worldwide challenge. *Molecular Plant Pathology*, 16(9), 907-920. <https://doi.org/10.1111/mpp.12244>
- Prashar, P., Kapoor, N., & Sachdeva, S. (2014). Rhizosphere: its structure, bacterial diversity & significance. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 13, 63-77. <https://doi.org/10.1007/s11157-013-9317-z>
- Ratnaningsih, H. R., Noviana, Z., Dewi, T. K., Loekito, S., Wiyono, S., Gafur, A., & Antonius, S. (2023). IAA & ACC deaminase-producing bacteria isolated from the rhizosphere of pineapple plants grown under different abiotic & biotic stresses. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16306>

- Raymaekers, K., Ponet, L., Holtappels, D., Berckmans, B., & Cammue, B. P. (2020). Screening for novel biocontrol agents applicable in plant disease management. *Biological Control*, 144, 104240. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104240>
- Rosenblueth, M., & Martínez-Romero, E. (2006). Bakteriyel endofitler & konaklarla etkileşimleri. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 19, 827-837. <https://doi.org/10.1094/mpmi-19-0827>
- Saha, S., Roy, R. N., Sen, S. K., & Ray, A. K. (2006). Characterization of cellulase-producing bacteria from the digestive tract of tilapia & grass carp. *Aquaculture Research*, 37(4), 380-388. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01442.x>
- Sasser, M. (1990). Identification of bacteria by gas chromatography of cellular fatty acids. Technical Note #101, Newark, DE, USA.
- Sheng, M. M., Jia, H. K., Zhang, G. Y., Zeng, L. N., Zhang, T. T., Long, Y. H., Lan, J., Hu, Z. Q., Zeng, Z., Wang, B., & Liu, H. M. (2020). Siderophore production by rhizosphere biological control bacteria *Brevibacillus brevis* GZDF3 of *Pinellia ternata* & its antifungal effects on *Candida albicans*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(5), 689-699. <https://doi.org/10.4014/jmb.1910.10066>
- Subramanian, S., & Smith, D. L. (2015). Bacteriocins from the rhizosphere microbiome from an agricultural perspective. *Frontiers in Plant Science*, 6, 909. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00909>
- Sunyar, B., Dönmez, M. F., & Çoruh, İ. (2021). Iğdır'da domates (*Solanum lycopersicon* L.)'te hastalığa neden olan bakterilerin izolasyonu & tanısı. *Journal of Agriculture*, 4(2), 108-129. <https://doi.org/10.46876/ja.1015781>
- Sunyar, B., Yeşildağ, M. F., & Alma, M. H. (2024). Effectiveness of *Bacillus* & *Pseudomonas* strains in biological control of common bacterial blight disease in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Crop Health*, 76(6), 1357-1372. <https://doi.org/10.1007/s10343-024-01064-x>
- Şahin, F. (1997). Detection, identification and characterization of strains of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* by traditional and molecular methods, and resistance in *Capsicum* species to *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* pepper race 6. PhD Thesis, The Ohio State University, 181 s.
- Şahin, F. (2001). Pepper races 7, 8 and 10 of *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* isolated from diseased pepper plants in Turkey. *Plant Pathology*, 50(6), 809. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2001.00632.x>
- Şahin, F., Dursun, A., & Aysan, Y. (2004). Characterization of *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* strains isolated from pepper during 1998-2002 in Turkey. *Plant Protection Towards the 21st Century, Proceedings of the 15th International Plant Protection Congress, Pekin, Çin*, s. 530.
- Timmusk, S., van West, P., Gow, N. A. R., & Huffstutler, R. P. (2009). *Paenibacillus polymyxa* antagonizes oomycete plant pathogens *Phytophthora palmivora* & *Pythium aphanidermatum*. *Journal of Applied Microbiology*, 106, 1473-1481. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04123.x>
- Townsend, G. R., & Heuberger, J. W. (1943). Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *Plant Disease Reporter*, 27, 340-343.
- Tsolakidou, M. D., Pantelides, L. S., Tzima, A. K., Kang, S., Paplomatas, E. J., & Tsaltas, D. (2019). Disruption and overexpression of the gene encoding ACC deaminase in *Verticillium dahliae* reveals role of ACC in virulence & plant defense. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 32(6), 639-653. <https://doi.org/10.1094/mpmi-07-18-0203-r>
- Ullah, A., Mushtaq, H., Fahad, S., Hakima, Shah, A., & Chaudhary, H. J. (2017). Plant growth-promoting potential of bacterial endophytes in association with *Olea ferruginea* & *Withania coagulans*. *Microbiology*, 86, 119-127. <https://doi.org/10.1134/s0026261717010155>
- Van Loon, L. C. (2007). Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. *The European Journal of Plant Pathology*, 119, 243-254. http://doi.org/10.1007/978-1-4020-6776-1_2
- Villacieros, M., Power, B., Sánchez-Contreras, M., Lloret, J., Oruezabal, R. I., Martín, M., & Rivilla, R. (2003). Colonization behaviour of *Pseudomonas fluorescens* & *Sinorhizobium meliloti* in the alfalfa rhizosphere. *Plant and Soil*, 251(1), 47-54. <https://doi.org/10.1023/a:1022943708794>
- Wang, X., Li, Q., Sui, J., Zhang, J., Liu, Z., Du, J., & Liu, X. (2019). Isolation & characterization of antagonistic bacteria *Paenibacillus jamilae* HS-26 and their effects on plant growth. *BioMed Research International*, 2019, 5-10. <https://doi.org/10.1155/2019/3638926>
- Wang, X., Wang, L., Wang, J., Jin, P., Liu, H., & Zheng, Y. (2014). *Bacillus cereus* AR156-induced resistance to *Colletotrichum acutatum* in loquat fruit. *PLoS ONE*, 9(11), e112494. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112494>
- Watanabe, M., Suzuki, A., Komori, S., & Bessho, H. (2004). Comparison of endogenous IAA and cytokinins in shoots of columnar & normal type apple trees. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 73(1), 19-24. <https://doi.org/10.2503/jjshs.73.19>
- Widnyana, I. K. (2018). PGPR benefits in germination, growth & yield of tomato plants. *Recent Advances in Tomato Breeding and Production*, 17-25. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.78776>

- Yıldırım, B., Dönmez, M. F., Sunyar, B., & Çoruh, İ. (2022). Bitki gelişimini teşvik eden bakteriler: bazı fasulye çeşitlerinin tarımsal karakterleri üzerine etkileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(3), 616-632. <https://doi.org/10.37908/mkutbd.1307958>
- Yim, W. J., Kim, K. Y., Lee, Y. W., Sundaram, S. P., Lee, Y., & Sa, T. M. (2014). Real time expression of ACC oxidase and PR-protein genes mediated by *Methylobacterium* spp. in tomato challenged with *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. *Journal of Plant Physiology*, 171(12), 1064-1075. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.03.009>