

Atıf İçin: Charih, K., Akın Mutlu, V., Çebi Kılıçoğlu, M. ve Özkoç, İ. (2025). *Hypericum perforatum*'dan İzole Edilen Endofitik Fungusların Bitki Büyümesini Artırıcı Özelliklerinin Belirlenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(4), 1256-1267.

To Cite: Charih, K., Akın Mutlu, V., Cebi Kilicoglu, M. & Ozkoc, İ. (2025). Determination of Plant Growth Enhancing Properties of Endophytic Fungi Obtained from *Hypericum perforatum*. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 15(4), 1256-1267.

Hypericum perforatum'dan İzole Edilen Endofitik Fungusların Bitki Büyümesini Artırıcı Özelliklerinin Belirlenmesi

Khaoula CHARIH¹, Vildan AKIN MUTLU¹, Melike ÇEBİ KILIÇOĞLU^{2*}, İbrahim ÖZKOÇ¹

Öne Çıkanlar:

- Sarı Kantaron
- Endofitik fungus
- PGPF

Anahtar Kelimeler:

- Sarı Kantaron
- PGPF
- ACC-deaminaz
- IAA
- Siderofor
- Fosfat çözünürlüğü

ÖZET:

Bitki büyümesini teşvik eden funguslar (PGPF), konukçu bitkilere çeşitli fizyolojik faydalar sağlayan, patojenik olmayan mikroorganizmalardır ve sürdürülebilir tarım uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Artan bitkisel üretim talebini çevreye zarar vermeden karşılamak amacıyla PGPF'lerin kullanımı, çevre dostu ve etkili bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, *Hypericum perforatum* (Sarı Kantaron) bitkisinden izole edilen endofitik fungusların bitki büyümesini destekleyici potansiyelleri; siderofor üretimi, indol-3-asetik asit (IAA) üretimi, fosfat çözünürlüğü ve ACC deaminaz aktivitesi parametreleri üzerinden incelenmiştir. Bunun yanı sıra, bu izolatların patojenik *Rhizoctonia solani*, *Aspergillus fumigatus*, *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus* ve *Klebsiella pneumoniae* gibi mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktiviteleri değerlendirilmiştir. Bulgulara göre, F3 izolatu hem yüksek siderofor ve IAA üretimi hem de yüksek antimikrobiyal aktiviteleri ile öne çıkmıştır. ACC deaminaz aktivitesinde F16 ve F7, fosfat çözünürlüğünde ise F9, F21 ve F22 izolatları pozitif sonuç vermiştir. F3, F7 ve F5 izolatları çeşitli patojenlere karşı güçlü inhibisyon gösterirken, özellikle F3 izolatu tüm parametrelerde dikkat çekici performans sergilemiştir. Ayrıca, F9 ve F10 izolatları da büyümeyi teşvik edici özellikleri ile öne çıkmıştır. Bu sonuçlar, bazı endofitik fungus izolatlarının biyogübre adayı olarak kullanılabileceğini ve sürdürülebilir tarımda değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Determination of Plant Growth Enhancing Properties of Endophytic Fungi Obtained from *Hypericum perforatum*

Highlights:

- St. John's wort
- Endophytic fungus
- PGPF

Keywords:

- St. John's wort
- PGPF
- ACC-deaminase
- IAA
- Siderophore
- Phosphate solubilization

ABSTRACT:

Plant growth-promoting fungi (PGPF) are non-pathogenic microorganisms that confer various physiological benefits to host plants and play a significant role in sustainable agricultural practices. With the increasing global demand for plant-based production, the use of PGPF is considered an environmentally friendly and effective strategy to enhance crop yield without causing ecological harm. In this study, endophytic fungi isolated from *Hypericum perforatum* (St. John's Wort) were evaluated for their plant growth-promoting potential through siderophore production, indole-3-acetic acid (IAA) synthesis, phosphate solubilization, and ACC deaminase activity. In addition, the antimicrobial activities of these isolates were assessed against key plant and soil pathogens including *Rhizoctonia solani*, *Aspergillus fumigatus*, *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus*, and *Klebsiella pneumoniae*. According to the results, the F3 isolate stood out with its high siderophore and IAA production, as well as strong antimicrobial activity. F16 and F7 demonstrated the highest ACC deaminase activity, while F9, F21, and F22 were positive for phosphate solubilization. Isolates F3, F7, and F5 exhibited strong inhibition against several pathogens, with F3 showing remarkable performance across all tested parameters. Furthermore, F9 and F10 isolates were also notable for their growth-promoting characteristics. These findings suggest that certain endophytic fungal isolates hold promise as biofertilizer candidates and could be effectively utilized in sustainable agriculture.

¹ Khaoula CHARIH ([Orcid ID: 0009-0005-5953-1281](https://orcid.org/0009-0005-5953-1281)), Vildan AKIN MUTLU ([Orcid ID: 0000-0002-6330-105X](https://orcid.org/0000-0002-6330-105X)), İbrahim ÖZKOÇ ([Orcid ID: 0000-0001-8179-0961](https://orcid.org/0000-0001-8179-0961)), Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Kurupelit SAMSUN, Türkiye.

^{2*} Melike ÇEBİ KILIÇOĞLU ([Orcid ID: 0000-0001-6263-4111](https://orcid.org/0000-0001-6263-4111)), Ondokuz Mayıs Üniversitesi Samsun Meslek Yüksekokulu 55100, Samsun, Türkiye.

***Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Melike ÇEBİ KILIÇOĞLU, e-mail: mcebi@omu.edu.tr

Bu çalışma Khaoula CHARİH'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir. Makalenin bir bölümü 27-28 Mayıs 2023 tarihlerinde Edirne'de düzenlenen "1. Uluslararası Trakya Bilimsel Araştırmalar Kongresi'nde" sözlü olarak sunulmuştur.

GİRİŞ

Rizosfer, bitki kökleri ile toprak ve toprak biyotasının etkileşim içinde bulunduğu, oldukça dinamik ve karmaşık bir mikroekolojik bölgedir ve bitki büyümesi ile gelişimi üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır (Mendes ve ark., 2013). Bu bölge, bakteri, fungus, protozoa ve alg gibi çok çeşitli organizmaları barındıran zengin bir organizma topluluğuna ev sahipliği yapar. Bitkilerin gelişim süreçleri büyük ölçüde rizosferin biyolojik aktivitesi tarafından yönlendirilir (Barriuso ve ark., 2008). Rizosferdeki mikrobiyal faaliyetlerin artışı; organik maddelerin ve minerallerin bitkiler tarafından alınabilir formlara dönüştürülmesi, atmosferik azotun biyolojik fiksasyonu gibi temel besin döngüsü süreçlerinin hızlanmasına katkı sağlar ve dolayısıyla bitki sağlığını olumlu yönde etkiler (Antoun ve Prevost, 2005; Kaur ve ark., 2016). Ayrıca, rizosfer mikroorganizmaları toprak kaynaklı patojenlerin çoğalmasını baskılayabilir veya bitkinin doğal savunma sistemlerini aktive ederek hastalıklara karşı direnç oluşturabilir. Bitki köklerinden salgılanan rizodepozitler, rizosferdeki mikrobiyal çeşitliliğin ve aktivitenin şekillenmesinde belirleyici rol oynar ve bu salgılar, mikroorganizmalar için temel enerji kaynağı olarak işlev görür (Denef ve ark., 2007). Bu durum, bitkilerin kendilerine yarar sağlayan mikroorganizmaları seçici biçimde destekleyerek rizosfer mikrobiyomlarını yönlendirmelerine olanak tanımaktadır (Mendes ve ark., 2013; Gahan ve Scmalenberger, 2014).

Bitkiler, değişken ve öngörülemeyen çevresel koşullara uyum sağlamak amacıyla çeşitli fizyolojik ve morfolojik stratejiler geliştirmiştir. Özellikle su ve besin kaynaklarına erişimi optimize etmek için kök sistemlerini çevresel sinyallere yanıt verecek şekilde modüle ederler (Lynch, 2019). Bu adaptasyon süreci kapsamında, bitkiler yalnızca kök mimarisini değiştirmekle kalmaz, aynı zamanda rizosferdeki toprak fiziko-kimyasal özelliklerini ve mikrobiyal topluluk yapılarını da etkileyen mekanizmalar geliştirirler (York ve ark., 2016). Rizosferdeki mikrobiyal çeşitlilik içinde, konukçu bitkinin dokularında herhangi bir zararlı etkiye neden olmadan yaşayan ve onunla simbiyotik ilişkiler kuran endofitik mikroorganizmalar özel bir araştırma konusu hâline gelmiştir (Patil ve ark., 2016). Bu simbiyotik ilişkiler çift yönlü faydalar sağlar: Bitkiler, endofitlere korunaklı bir yaşam alanı ve besin sunarken; endofitler de bitkinin zararlılara ve hastalıklara karşı direncini artırma, çevresel stres koşullarına toleransını geliştirme ve genel büyüme performansını iyileştirme gibi önemli biyolojik avantajlar sağlar (Rajagopal, 1998; Beram ve ark., 2016). Özellikle endofitik funguslar, sahip oldukları bitki büyümesini teşvik edici (PGP) özelliklerle dikkat çekmekte ve sürdürülebilir tarım, farmasötik biyoteknoloji ve çevre dostu üretim sistemleri gibi birçok alanda potansiyel uygulamalara yönelik araştırmalara konu olmaktadır (Porras-Alfaro ve Bayman, 2011).

Bitki büyümesini teşvik eden rizosferik funguslar (PGPF), *Aspergillus*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Piriformospora*, *Phoma* ve *Rhizoctonia* gibi cinslere ait türleri kapsamakta olup, bitki gelişimini destekleyen çeşitli fizyolojik süreçleri doğal olarak uyaran biyolojik yeteneklere sahiptirler (Shoresh ve ark., 2010; Hossain ve ark., 2017). Bu mikroorganizmalar, bitkilerin hem abiyotik (kuraklık, tuzluluk, sıcaklık gibi) hem de biyotik (hastalık etmenleri gibi) stres faktörlerine karşı direnç geliştirmelerine yardımcı olurken, aynı zamanda bitki büyümesini doğrudan destekleyerek verim artışına katkı sağlamaktadır. Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) ve rizosferik funguslar, yalnızca bitki gelişimini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda konukçu bitkilerde istilacı fitopatojenlere karşı direnç mekanizmalarını aktive ederek önemli bir biyolojik koruma işlevi üstlenmektedir (Angın ve dadaşoğlu 2022). Bu mikroorganizmaların tarımsal sistemlerde kullanımı, çevre dostu hastalık yönetim stratejileri arasında yer almakta ve bitki bağışıklığını uyararak uzun vadeli, sürdürülebilir bir yaklaşım sunmaktadır.

PGPF'lerin bitki gelişimini destekleyici etkileri, bir dizi moleküler ve biyokimyasal mekanizma aracılığıyla gerçekleşmektedir. Bu mekanizmalar arasında en yaygın olarak tanımlananlar: hücre bölünmesi, farklılaşma ve uzama gibi fizyolojik süreçleri düzenleyen fitohormonlardan indol-3-asetik asit (IAA) üretimi (Martinez ve ark., 2011; Saharan ve Nehra, 2011; Goswami ve ark., 2016; Gupta ve ark., 2015); bitkiler açısından sınırlayıcı bir makro besin olan fosfatın çözünür formlara dönüştürülmesi (Saharan ve Nehra, 2011; Gupta ve ark., 2015); demirin bitki tarafından alınabilirliğini artıran sideroforların sentezi ile atmosferdeki demiri şelatlama kapasitesi ve stres koşullarında etilen sentezini düzenleyerek bitki büyümesini destekleyen 1-aminosiklopropan-1-karboksilat (ACC) deaminaz enzim aktivitesidir (Sekar ve Kandavel, 2010). Bunlara ek olarak, bazı endofitik funguslar uyarılmış sistemik direnç (ISR) mekanizması yoluyla bitkilerin patojenlere karşı direnç düzeylerini artırmakta ve bu sayede dolaylı olarak bitki sağlığını desteklemektedir (Compant ve ark., 2005; Goswami ve ark., 2016). Ancak, PGPR'ler üzerine yapılan çalışmaların sayısı oldukça fazla iken, PGPF'lerin özellikle patojenlere karşı direnç indüksiyonundaki etkileri üzerine yapılan araştırmaların sayısı sınırlı kalmaktadır.

Dünya genelinde ılıman iklim kuşaklarında yayılış gösteren 484 *Hypericum* L. (Hypericaceae) türü arasında, yalnızca *Hypericum perforatum* L. (sarı kantaron), resmi tıp uygulamalarında yaygın ve etkin biçimde kullanılan tür olarak öne çıkmaktadır (Stojanovic ve ark., 2013). Bu bitki, antidepresan, antibakteriyal, antiviral, antifungal ve anti-inflamatuar etkileri başta olmak üzere çeşitli farmakolojik özellikleri nedeniyle dikkat çekmektedir (Bektaş ve ark., 2023; Karaman ve ark., 2023). Ekonomik değeri yüksek olan bu türün sürdürülebilir biçimde yetiştirilmesi ve yüksek verimle üretilmesi, günümüzde önem kazanan bir tarımsal hedeftir. Bununla birlikte, *Hypericum perforatum* sıklıkla çevresel stres faktörleri ve patojenik organizmalarla mücadele etmek durumundadır. Bitkiyle ilişkili mikroorganizmaların, bitki sağlığının korunması ve biyotik/abiyotik streslere karşı direnç mekanizmalarının desteklenmesindeki rolü göz önüne alındığında, *Hypericum perforatum* türüyle ilişkili mikrobiyal toplulukların, özellikle endofitik fungusların biyolojik işlevlerinin anlaşılması; bu bitkinin büyüme performansını artırmak ve hastalıklara karşı koruma sağlamak açısından önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Literatürde, bu bitkinin çeşitli organlarından endofitik fungusların izole edildiği bazı çalışmalar bulunmakla birlikte (Khosa ve Bhatia, 1982), PGPF potansiyeline sahip endofitlerin tanımlanmasına yönelik araştırmaların sayısı sınırlı olduğu dikkat çekmektedir.

Bu çalışma, tıbbi ve ekonomik açıdan önemli bir tür olan *Hypericum perforatum* L. (sarı kantaron) bitkisinin rizosferinden izole edilen endofitik fungusların, potansiyel PGPF özelliklerini kapsamlı bir şekilde ortaya koymayı amaçlamaktadır. Söz konusu bitki, içerdiği zengin biyoaktif bileşikler ve güçlü etnobotanik geçmişi nedeniyle farmasötik ve tarımsal alanlarda yüksek potansiyele sahiptir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, PGPF özelliklerine sahip fungusların sürdürülebilir tarım uygulamalarında çevre dostu alternatifler sunabileceğini göstermektedir. Bu doğrultuda, çalışmada incelenen endofitik fungusların sadece büyümeyi teşvik edici potansiyelleri değil, aynı zamanda patojenik bakterilere, mayalara ve bitki patojeni funguslara karşı antimikrobiyal etkileri ile tohum çimlenmesi üzerindeki olası katkıları da değerlendirilmiştir. Genel olarak, bu çalışma *H. perforatum* bitkisine ait endofitik fungusların PGPF özelliklerini ve biyolojik kontrol potansiyellerini inceleyerek, söz konusu izolatların bitki yetiştiriciliğinde çevre dostu biyogübre ve biyopestisit geliştirme yönünde kullanılabilirliğine ilişkin bilimsel temelli veriler sunmayı hedeflemektedir. Elde edilecek bulguların, sentetik kimyasallara olan bağımlılığın azaltılmasına katkı sağlaması da beklenmektedir.

MATERYAL VE METOT

Ondokuz Mayıs Üniversitesi kampüs alanı ve çevresindeki sağlıklı *Hypericum perforatum* (St. John's Wort) bitkilerinin köklerinden Çebi Kılıçoğlu ve ark (2024) tarafından izole edilmiş ve funguslar için barkod gen rDNA-ITS (ITS1-5.8S-ITS2) gen bölgesi ile moleküler karakterizasyonu yapılmış 28 fungal endofitin bitki büyümesini artırıcı özelliklerini belirlemek üzere on tanesi kullanılmıştır (Çizelge 1). Analizler için kullanılacak funguslar Patates Dekstroz Agar (PDA) besiyerinde aktifleştirilmiştir

Çizelge 1. Çalışmada Kullanılan Fungal Endofitler

İzolat No	Cins	GenBank No	Literatür
F-3	<i>Fusarium</i> sp.	OQ913885	Çebi Kılıçoğlu ve ark (2024)
F-5	<i>Fusarium</i> sp.	OQ913896	Çebi Kılıçoğlu ve ark (2024)
F-7	<i>Fusarium</i> sp.	OQ913897	Çebi Kılıçoğlu ve ark (2024)
F-9	<i>Fusarium</i> sp.	OQ913887	Çebi Kılıçoğlu ve ark (2024)
F-10	<i>Fusarium</i> sp.	OQ913888	Çebi Kılıçoğlu ve ark (2024)
F-16	<i>Fusarium</i> sp.	OQ913889	Çebi Kılıçoğlu ve ark (2024)
F-20	<i>Fusarium</i> sp.	OQ913892	Çebi Kılıçoğlu ve ark (2024)
F-21	<i>Fusarium</i> sp.	OQ913893	Çebi Kılıçoğlu ve ark (2024)
F-22	<i>Fusarium</i> sp.	OQ913894	Çebi Kılıçoğlu ve ark (2024)
D-15	<i>Diaporthe</i> sp.	OQ913899	Çebi Kılıçoğlu ve ark (2024)

Fungal Endofitlerin Bitki Büyümesini Teşvikleyici Özelliklerinin Belirlenmesi

Fosfat çözündürme yeteneklerinin belirlenmesi

Endofitik fungusların fosfat çözündürme yeteneklerinin belirlenmesi için selüloolitik fungusların büyümesine elverişli, %0,5 trikalsiyum fosfat içeren Pikovskaya's Agar (PVK) agar ortamında 7 gün boyunca 25°C'de inkübasyonu gerçekleştirilmiştir. Inkübasyon sonrası izolatların fosfat çözünürlük aktivitesini belirlemek amacıyla fungus kolonileri etrafındaki şeffaf zon varlığı incelenmiştir (Förnkrantz ve ark., 2009; Rathaur ve ark., 2012).

Aminosiklopropan-1-Karboksilik Asit (ACC) deaminaz üretim potansiyellerinin belirlenmesi

Fungal endofitlerin ACC deaminaz aktivitesini belirlemek amacıyla ACC içeren ve içermeyen Brown ve Dilworth (BD) kültür ortamına aşıl原因an izolatlar 7 gün boyunca inkübe edilerek değerlendirilmiştir (Förnkrantz ve ark., 2009).

İndol-3-Asetik Asit (IAA) üretim potansiyelinin belirlenmesi

IAA üreten fungusları belirlemek için izolatlar (%0,2) 1 g/L L-triptofan içeren Patates Dekstroz Broth (PDB) kültür ortamında 25 °C'de 7 gün boyunca karanlıkta inkübe edilmiştir. Inkübasyonun ardından besiyeri içerikleri 10000 rpm'de 15 dakika boyunca santrifüjlenerek çöktürülmüştür. Elde edilen süpernatant örneklerine 2'şer ml taze hazırlanmış Salkowski reaktifi eklendikten sonra karıştırılan tüpler 30 dakika boyunca oda sıcaklığında ve karanlık şartlarda bekletilmiştir. Süre sonunda, 535 nm dalga boyunda absorbans ölçümleri yapılan örneklerin IAA (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 µg / ml) konsantrasyonu saf IAA'nın standart eğrisi kullanılarak değerlendirilmiştir. (Tsavkelova ve ark., 2007; Silva ve ark., 2012; Förnkrantz ve ark., 2009)

Siderofor üretim potansiyelinin belirlenmesi

Mikroorganizmalar, demir şelatlayıcı moleküller olan sideroforlar üretirler. Fungal izolatların demiri şelatlayabilen siderofor üretim kapasitelerini belirlemek için Krom Azurol Sülfonat (CAS) agar testi kullanılmıştır. Bu testi gerçekleştirmek için fungal izolatlar bu kültür ortamına aşıl原因arak 25

⁰C'de 5 gün boyunca inkübe edilmiştir. Besiyeri rengini sarı veya pembeye dönüştürmüş izolatlar siderofor üretimi açısından pozitif olarak değerlendirilmiştir (Garcia, 2012; Mustafa ve ark., 2024 a).

Sarı kantaron tohumlarının çimlendirilmesi

Yüzey sterilizasyonu yapılan tohumlar, Murashige ve Skoog (MS) (Murashige & Skoog, 1962) besi ortamına aktarılmıştır. Deney gruplarında, *Hypericum perforatum* bitkisinden izole edilmiş fungus izolatları MS ortamına ilave edilmiş ve bu koşullar altında 20 gün süreyle çimlenme oranı, fide canlılığı, gelişim hızı ve morfolojik değişiklikler izlenmiştir. Elde edilen veriler, fungus içermeyen kontrol grubu ile karşılaştırmalı olarak analiz edilerek, izolatların çimlenme ve büyüme üzerindeki etkileri belirlenmiştir (Özkoç ve ark., 2023).

Fungal endofitlerin antimikrobiyal aktivitelerinin belirlenmesi

Hypericum perforatum bitki köklerinden izole edilen fungal endofitlerin maya, bitki patojeni funguslar ve patojenik bakterilere karşı antimikrobiyal aktiviteleri değerlendirilmiştir. Mayalara (*Candida albicans*) karşı antimikrobiyal aktiviteyi belirlemek için, fungus izolatları nutreint agar içeren bir kültür ortamına ekilmiş ve ardından maya izolatları bir pipet yardımıyla besi ortamına aşılanmıştır. Hazırlanan petriler 25⁰C'de 3 gün boyunca inkübe edilmiştir. *Aspergillus* sp. ve *Rhizoctonia solani*'ye (AG-3) karşı antifungal aktivite belirlenirken PDA içeren petri kaplarına izolatlar karşılıklı olarak yerleştirilerek 25⁰C'de 5 gün boyunca inkübe edilmiştir. Patojenik bakterilere karşı antimikrobiyal aktiviteyi belirlemek için *Staphylococcus aureus* ve *Klebsiella pneumoniae* nutrient agar ortamına ekildikten sonra üzerine fungal izolatlar yerleştirilmiş ve 36⁰C'de 24 saat inkübe edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir (Mustafa ve ark., 2024 b).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bitki büyümesini teşvik eden funguslar (PGPF), tohum çimlenmesi, bitki büyümesi ve hastalık etmenlerine yönelik olumlu katkılarında dolayı sürdürülebilir tarımda etkili bir rol oynamaktadır. Kök bölgesinde kolonize olan PGPF'ler, patojen enfeksiyonlarını baskılayarak hastalıklara karşı direnç sağlamakta ve bitki besin elementlerinin alımına yardımcı olmak suretiyle bitki büyümesini arttırmaktadır.

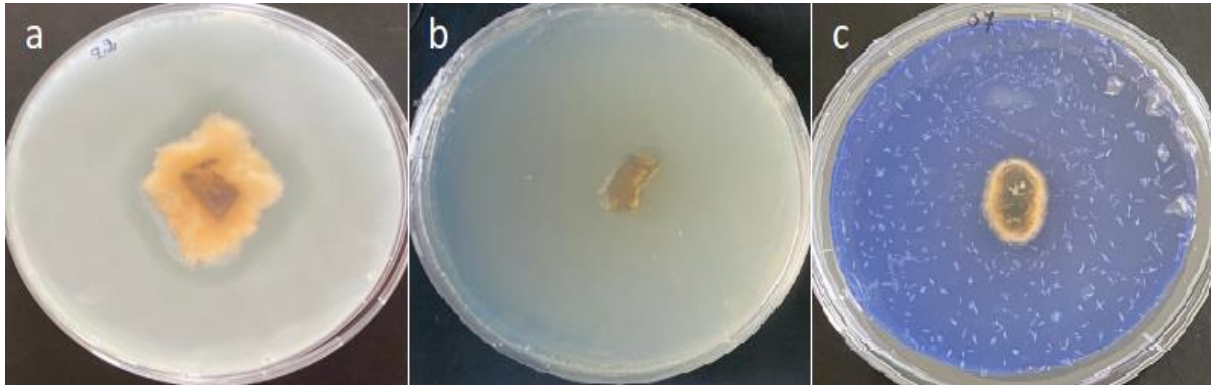
PGPF'lerin önemli özelliklerinden ACC deaminaz aktivitesi, indol-3-asetik asit, fosfat çözme ve siderofor üretme yeteneği, konukçu bitkinin büyüme ve gelişimine doğrudan veya dolaylı olarak katkıda bulunmaktadır. Bu yararlı mikroorganizmaların tarımda kullanımı, kimyasal pestisitlere ve gübrelere olan bağımlılığı azaltabilir ve bitki verimliliğini çevre dostu bir şekilde artırabilir. (Bayman ve Porras-Alfaro, 2011).

Çalışmamız, *Hypericum perforatum* bitkilerinden elde edilmiş 10 tane farklı endofitik fungus türünün tohum büyümesi üzerinde etkisi olduğu bilinen fosfat ayrışması, siderofor ve IAA üretimi ve ACC deaminaz aktivitesi (Gupta, 2015; Goswami ve ark., 2016) gibi özelliklerin araştırılması ve bu endofitik fungusların patojen maya, fungus ve bakterilere karşı antimikrobiyal aktivitesini (Goswami ve ark., 2016) belirlemeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlara göre bazı endofitik funguslar büyümeyi teşvik ederken diğerlerinin sınırlı veya olumsuz etkiler gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Fosfat çözme yetenekleri açısından, izolatların oluşturduğu şeffaf zonlar değerlendirildiğinde, F9, F21 ve F22 izolatları en yüksek fosfat çözünürlüğünü göstermiştir (Çizelge 2). Bu özellik, bitkilerin ihtiyaç duyduğu kullanılabilir fosforun biyoyararlılığını artırarak büyümeye doğrudan katkı sağlamaktadır. ACC deaminaz aktivitesi 10 izolatın 7'sinde pozitif olarak tespit edilmiştir (F3, F5, F7, F9, F10, F16, F21, F22). Bu durum izolatların bitki stres toleransını artırabileceğini göstermektedir. IAA üretimi bakımından ise F3 izolatı (29 µg/mL) en yüksek üretimi

sergilemiş, bunu sırasıyla F7, F22, F9 ve F16 izolatları takip etmiştir (Çizelge 2). Tüm yüksek üretimli izolatların *Fusarium* spp. olduğu belirlenmiştir. Siderofor üretim potansiyeli CAS agar ortamında değerlendirildiğinde, F3 başta olmak üzere F10, F16 ve F21 izolatlarının da yüksek üretim düzeyine sahip olduğu görülmüştür. 10 izolattan 9'u bu açıdan pozitif bulunmuştur (Şekil 1c).

Çizelge 2. PGP Özellikleri

İzolat No	Fosfatı Çözme	ACC deaminaz	Siderofor Üretimi	Antimikrobiyal Etki	IAA ⁻¹ (µg/mL)
F3	-	-	+++	+	29
F5	+	+	+	+	17.5
F7	+	+	-	+	26.5
F9	++	+	+	+	25
F10	-	+	++	+	22
F16	+	+	++	-	24
F20	-	-	+	-	17
F21	++	+	++	-	17.5
F22	++	+	+	-	26
D15	+	-	++	-	18



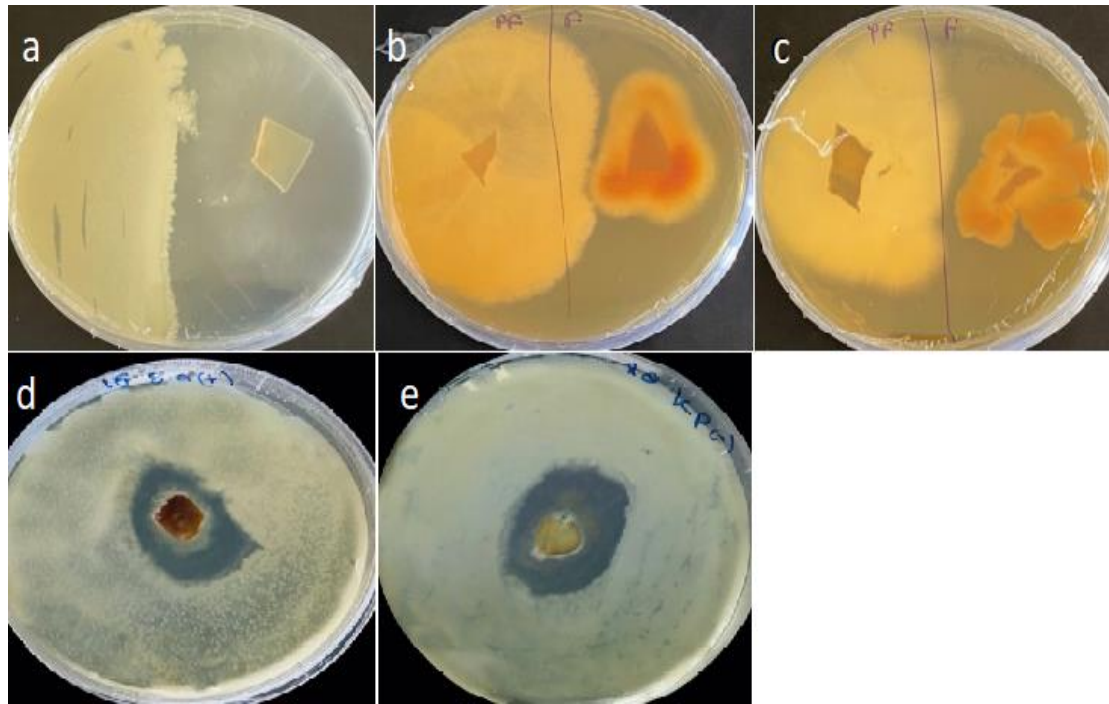
Şekil 1. *Hypericum perforatum* Bitkisinden İzole Edilen Fungusların Bitki Büyümesini Teşvik Edici (PGP) Özellikleri a: Pikovskaya Besiyerinde Fosfat Çözme Özelliği Gösteren Fungus b: BD Besiyerinde ACC Deaminaz Etkinliği c: CAS Agarda Siderofor Üreten Fungus

PGPF izolatlarının fungal ve bakteriyel patojenler üzerindeki biyolojik kontrol potansiyelini ortaya koymak amacıyla, *Candida albicans*, *Aspergillus* spp., *Rhizoctonia solani*, *Staphylococcus aureus* ve *Klebsiella pneumoniae*'ye karşı gösterdikleri inhibisyon etkileri değerlendirilmiştir. Yapılan testler sonucunda, F3 izolatu (*Fusarium* spp.) beş patojenin tamamını baskılayarak en güçlü antimikrobiyal etkiyi sergilemiştir. F5 ve F7 izolatları ise üç farklı patojen türüne karşı etkili olmuş; özellikle *Rhizoctonia solani* üzerindeki belirgin inhibisyon etkileriyle dikkat çekmiştir. Buna karşılık, F9 ve F10 izolatları sadece *C. albicans*'a karşı sınırlı bir aktivite göstermiş, diğer mikroorganizmalara karşı etkisiz kalmıştır. F16, F20, F21 ve F22 izolatları ise yalnızca *Aspergillus* spp. üzerinde düşük düzeyde bir inhibisyon sağlamış, geri kalan patojen türlerine karşı anlamlı bir etki göstermemiştir. D15 (*Diaporthe* spp.) izolatu, özellikle bakteriyel patojenler olan *S. aureus* ve *K. pneumoniae*'ye karşı gösterdiği inhibisyonla öne çıkmış, bu yönüyle diğer izolatlardan ayrılmıştır (Çizelge3). Sonuç olarak antimikrobiyal potansiyel değerlendirmelerinde ise F3, F5, F7, F9 ve F10 izolatları pozitif sonuç vermiştir. PGPF'ler tarafından etkinleştirilen bitki savunma mekanizması, bitkilerin patojenler ve zararlı organizmaların saldırılarına karşı dirençlerini geliştirmelerini sağlar. PGPF'ler, genel bitki koruması sağlayan savunma hormonlarının üretimini ve dolaşımını uyarır. Ek olarak, PGPF'ler, antioksidan enzimlerin sentezini ve abiyotik streslere karşı direnç için yararlı olan ikincil metabolitlerin üretimini teşvik eder. (Compant ve ark., 2005). İndüklenmiş sistemik direnç (SRI) adı

verilen mekanizma sayesinde, bitki büyümesini destekleyen bazı funguslar, bitkideki patojenlerin neden olduğu hastalıkları azaltabilir (Van Loon ve ark., 1998). Bazı fungusların bitki kökleri ile ilişkisi sonucunda, virüslere ve patojenik bakterilere karşı mukavemet oluşur. (Compant ve ark., 2005). Bulgular özellikle F3 izolatının, çalışılan tüm patojenlere karşı geniş spektrumlu inhibisyon etkisiyle dikkat çekmektedir (Şekil 2). F3 izolatı hem fungal hem de bakteriyel patojenlere karşı biyolojik mücadele uygulamaları açısından oldukça güçlü bir aday olarak değerlendirilebilir. Ancak, bu etkilerin tarla koşullarında da doğrulanması gerekmektedir.

Çizelge 3. Antimikrobiyal Etki

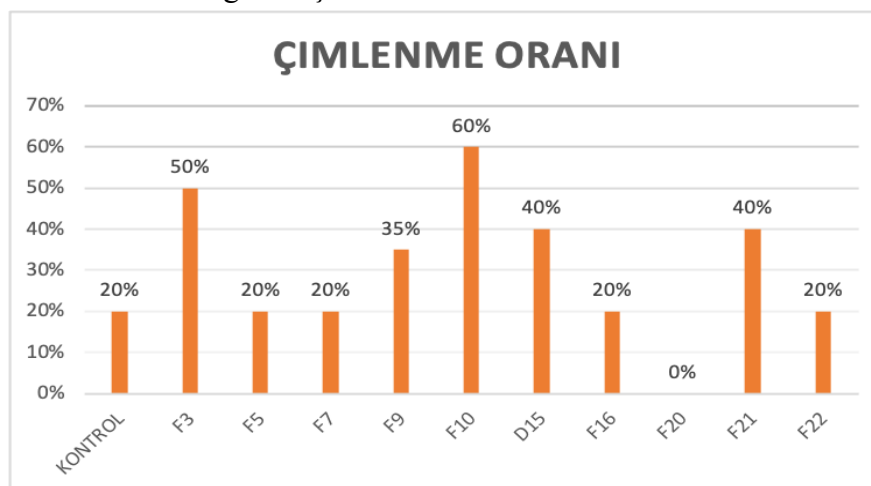
İzolat No	<i>Candida albicans</i>	<i>Aspergillus spp.</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
F3	+	+	+	+	+
F5	+	+	+	-	-
F7	+	+	+	-	+
F9	+	-	-	-	-
F10	+	-	-	-	-
F16	-	+	-	-	+
F20	-	+	-	-	-
F21	-	+	-	-	-
F22	-	+	-	+	-
D15	-	+	-	+	+



Şekil 2. *Hypericum perforatum* Bitkisinden İzole Edilen PGPF'lerin Çeşitli Fungal ve bakteriyel Patojenlere Karşı Gösterdiği Antimikrobiyal (inhibisyon) Etkiler. a: *Candida albicans* b: *Aspergillus spp.* c: *Rhizoctonia solani* d: *Staphylococcus aureus* e: *Klebsiella pneumoniae*

Hypericum perforatum tohumlarının çimlendirilmesine yönelik yapılan denemelerde kontrol grubunda %20 çimlenme oranı ölçülürken, F3 (%50) ve F10 (%60) bu oranı anlamlı şekilde artırmıştır. F9, D15 ve F21 de %35-40 seviyelerinde pozitif etkiler göstermiştir. Diğer izolatlar sınırlı veya etkisiz kalmış, F20 izolatı ise çimlenmeyi tamamen baskılamıştır (Şekil 1). Widisuputri ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada (2021), yerli pirinç bitkilerinden altı endofitik fungus izole edilmiş ve bazı

izolatların bitki büyümesini olumlu etkilediği belirlenmiştir. Yapılan çalışmada F7 izolatının, indol asetik asit (IAA) ve giberellin üretiminde aktivite gösterdiği ve bitki büyümesini uyardığı belirlenmiştir. Aynı çalışmada, F9 izolatının yüksek fosfat çözündürme aktivitesi sergileyerek bitki besin mevcudiyetinin iyileştirilmesine katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Bu ve bunun gibi literatürde PGPF'lerin bitki büyümesini olumlu yönde teşvik ettiğine yönelik birçok çalışma mevcuttur. Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlarda, endofitik fungusların büyümeyi teşvik edici aktivitelerini bildiren çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Çalışmamızda D-15, F-16, F-5, F-22 endofitik funguslarının gösterdiği pozitif fosfat çözünürlüğünün, tohum büyümesi için besin mevcudiyetini arttırdığını düşündürmektedir. Endofitik olanlar da dahil funguslar, karmaşık organik bileşikler parçalama ve bitki büyümesi için gerekli olan fosfat gibi temel mikro ve makro besin maddelerini salma yeteneğine sahiptir (Saharan ve Nehra, 2011; Gupta ve ark., 2015; Widisuputri ve ark., 2021). Ek olarak, funguslar tarafından bitki büyüme düzenleyicilerinin üretimi de tohum büyümesinin uyarılmasına katkıda bulunabilir. İyi bilinen bitki hormonu IAA, hücre uzaması ve kök başlangıcı dahil olmak üzere bitki büyümesi ve gelişiminin çeşitli safhalarında yer alır (Widisuputri ve ark., 2021). Çalışmamızda F-3, F-7, F-9, F-10, F-16, F-22 endofitlerinin gösterdiği daha yüksek düzeydeki IAA üretiminin, bitki büyüme süreçlerini modüle etme ve fide gelişimini destekleme açısından potansiyellerinin olabileceğini göstermektedir (Kaymak, 2010; Viveros Martinez ve ark., 2011; Goswami ve ark., 2016; Gupta, 2015). Ayrıca, funguslar tarafından siderofor üretimi de tohum büyümesini olumlu yönde etkileyebilir. Sideroforlar, bitkiler tarafından demir alımını artıran demir şelatlayıcı bileşiklerdir. Demir, bitki büyümesi için gerekli bir mikro besin elementidir ve rizosferdeki mevcudiyeti fide gelişimini önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Elsharkawy ve El-Khateeb, 2019). Çalışmada kullanılan endofitik funguslardan F-7 izolatı hariç diğer 9 izolatın siderofor üretimi pozitif olarak gözlenmiştir. İzolatların siderofor üretim potansiyellerinin pozitif oluşu tohum büyümesi açısından demir elementinin varlığını iyileştirdiği ve fungusların büyüme teşvikleyici olarak potansiyel rollerinin olduğunu desteklemektedir. Besin çözünürlüğü ve hormon üretiminin yanı sıra, bazı funguslar bitkilerde etilen seviyelerini düzenleyen ACC-deaminaz aktivitesine de sahiptir. Etilen, özellikle stres koşullarında büyüme ve gelişmeyi engelleyebilen bir bitki hormonudur. Bazı funguslar tarafından üretilen bir enzim olan ACC-deaminaz, bir etilen öncüsü olan ACC (1-aminosiklopropan-1-karboksilik asit) parçalayarak etilen seviyesini düşürür ve bitki büyümesini destekler (Özimek, 2018). Çalışmamızda F-5, F-7, F-9, F-10, F-16, F-21, F-22 funguslarında ACC-deaminaz aktivitesinin pozitif olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar bu izolatların etilen seviyelerini düzenleyerek tohum büyümesinin uyarılmasına katkıda bulunabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 3. PGPF İzolatlarının Çimlenme Oranlarına Etkileri

Bu bulgular doğrultusunda, izolatların bitki büyümesini teşvik edici mekanizmaları tartışılmıştır. PGPF'lerin ACC deaminaz aktivitesi, IAA üretimi, fosfat çözme ve siderofor üretimi gibi özellikleri doğrudan büyüme ve stres toleransına katkı sağlar. Literatürle uyumlu şekilde (Bayman ve Porras-Alfaro, 2011; Gupta, 2015; Goswami ve ark., 2016), bu özelliklerin birçoğu çalışmada da gözlemlenmiştir. Özellikle F3, F9 ve F10 numaralı izolatlar; yüksek IAA üretimi, fosfat çözme kapasitesi, siderofor üretimi ve ACC deaminaz aktivitesi gibi bitki gelişimini destekleyen özellikleriyle öne çıkmaktadır. Bu özellikler, bitkilerde stres toleransını artırmanın yanı sıra besin elementlerinin alınımını kolaylaştırarak büyümeyi desteklemektedir. F3 ve F9 izolatları bu özelliklerin tümünü taşıyarak potansiyel biyogübre adayı olarak dikkat çekmektedir.

Ayrıca, çalışmada değerlendirilen PGPF izolatlarının patojen bakterilere, maya ve funguslara karşı sergiledikleri antimikrobiyal aktiviteler, bu organizmaların bitki savunma mekanizmalarını da destekleyebileceğini göstermektedir. F3 izolatı, hem bitki gelişimi hem de patojenlere karşı gösterdiği geniş spektrumlu etkilerle biyolojik kontrol ajanı olarak da güçlü bir aday olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, çalışmanın laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş olması, saha uygulamaları açısından sınırlayıcıdır. Bu nedenle ileri düzey deneylerle, bu izolatların tarla koşullarındaki etkinliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada tanımlanan endofitik fungus izolatlarının bazıları, hem bitki gelişimini destekleyici hem de biyolojik kontrol ajanı olarak kullanılabilir potansiyele sahiptir. F3 izolatı başta olmak üzere, F9, F10 ve D15 izolatları gelecekte biyoteknolojik uygulamalarda değerlendirilmek üzere ileri araştırmalara aday gösterilebilir.

SONUÇ

Artan bitkisel üretim ihtiyacını çevreye zarar vermeden karşılamak, günümüz tarımında karşılaşılan en temel sorunlardan biridir. Bu bağlamda, bitki büyümesini teşvik eden funguslar (PGPF), mahsul verimini artırmada çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Yapılan çalışmalar, özellikle endofitik fungusların bitki gelişimi ve hastalık yönetimi üzerinde önemli katkılar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma kapsamında, *Hypericum perforatum* bitkisinden izole edilen endofitik fungusların PGPF özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklerin bitki gelişimi üzerindeki etkilerinin ortaya konulması hedeflenmiştir. Elde edilen bulgular, bazı izolatların tohum çimlenmesini ve fide gelişimini anlamlı düzeyde desteklediğini göstermiştir. Özellikle F10 (%60) ve F3 (%50) izolatları, kontrol grubuna (%20) kıyasla çimlenme oranını belirgin şekilde artırmıştır (Şekil 3). Ayrıca bazı izolatların bitki patojenlerine karşı koruyucu etkiler sergilediği tespit edilmiştir. PGPF aktivitesi yüksek olan bu izolatlar, kimyasal gübre kullanımını azaltarak çevre dostu tarım uygulamaları çerçevesinde biyogübre adayı olarak değerlendirilebilir. Bu sayede sürdürülebilir tarım sistemlerinde verim artışı sağlanırken ekosistem üzerindeki olumsuz etkiler de minimize edilebilir. Bu doğrultuda, ilgili izolatlar üzerinde sera ve tarla koşullarında yapılacak ileri düzey deneysel çalışmaların yanı sıra, moleküler düzeyde yapılacak analizlerle biyoteknolojik potansiyellerinin daha kapsamlı şekilde ortaya konulması önerilmektedir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Angın H, Dadaşoğlu E, 2022. PGPR İzolatlarının Bazı Fasulye Genotiplerinde Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(4): 2495- 2505.
- Antoun, H., & Prévost, D. (2005). Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. In Z. A. Siddiqui (Ed.), PGPR: Biocontrol and biofertilization (pp. 1–38). Springer.
- Barriuso, J., Ramos Solano, B., Lucas, J. A., Lobo, A. P., García-Villaraco, A., & Gutiérrez Mañero, F. J. (2008). Ecology, genetic diversity and screening strategies of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). In Plant-bacteria interactions: Strategies and techniques to promote plant growth (pp. 1–17).
- Bayman, P., & Porras-Alfaro, A. (2011). Hidden fungi, emergent properties: Endophytes and microbiomes. Annual Review of Phytopathology, 49, 291–315. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081831>
- Bektas, Ğ., Seyrekoglu, F., Kusek, M., & Ceyhan BaĖaran, C. (2023). Determination of Antifungal Activity of Leaf Extracts from *Hypericum* ssp. Against Plant Pathogenic Fungi *Fusarium oxysporum* and *Alternaria alternata*. Journal of the Institute of Science and Technology, 13(4), 2364-2372.
- Beram, R. C., Beram, A., & Doğmuş Lehtijarvi, H. T. (2016). Fungal endofitler ve etkileşimleri. MAKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(2), 161–166.
- Çebi Kılıçoğlu, M., Baialieva, G., & Özkoç, İ. (2024). Molecular characterization of fungal endophytes associated with *Hypericum perforatum* in Samsun, Turkey. World News of Natural Sciences, 54, 58–69.
- Compant, S., Reiter, B., Sessitsch, A., Nowak, J., Clément, C., & Barka, E. A. (2005). Endophytic colonization of *Vitis vinifera* L. by plant growth-promoting bacterium *Burkholderia* sp. strain PsJN. Applied and Environmental Microbiology, 71(3), 1685–1693.
- Denef, K., Bubenheim, H., Lenhart, K., Vermeulen, J., Van Cleemput, O., Boeckx, P., & Müller, C. (2007). Community shifts and carbon translocation within metabolically-active rhizosphere microorganisms in grasslands under elevated CO₂. Biogeosciences, 4(5), 769–779.
- Elsharkawy, M. M., & El-Khateeb, A. Y. (2019). Induction of resistance against *Rhizoctonia solani* causing root rot and damping-off in common bean by *Bacillus subtilis* and *Trichoderma harzianum*. Plant Pathology Journal, 35(2), 124–135.
- Fürnkranz, M., Müller, H., & Berg, G. (2009). Characterization of plant growth promoting bacteria from crops in Bolivia. Journal of Plant Diseases and Protection, 116(4), 149–155.
- Gahan, J., & Schmalenberger, A. (2014). The role of bacteria and mycorrhiza in plant nutrient cycling. In D. Gupta & J. Uniyal (Eds.), Biotechnology of biofertilizers (pp. 1–16). Springer.
- Garcia, K. (2012). CAS agar based siderophore detection and its application. Methods in Molecular Biology, 954, 17–28.
- Goswami, D., Thakker, J. N., & Dhandhukia, P. C. (2016). Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. Cogent Food & Agriculture, 2(1), 1127500. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1127500>
- Gupta, S. S., Parihar, N. K., Ahirwar, S. K., Snehi, V., & Singh, V. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for development of sustainable agriculture. Journal of Microbial & Biochemical Technology, 7(2), 96–102.

- Hossain, M. M., Sultana, F., & Islam, S. (2017). Plant growth-promoting fungi (PGPF): Phytostimulation and induced systemic resistance. In D. P. Singh et al. (Eds.), *Plant-microbe interactions in agro-ecological perspectives: Volume 2: Microbial interactions and agro-ecological impacts* (pp. 135–191). Springer.
- Karaman, A., Taşar, N., Yazdıç, F.C. ve Gedik, O. (2023). *Hypericum L.* Cinsine Ait Bazı Türlerin Uçucu Yağ Bileşenlerinin Antimikrobiyal Etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 73-79.
- Khosa, R. L., & Bhatia, N. (1982). Antifungal effect of *Hypericum perforatum*. *Indian Journal of Pharmacology*, 14(3), 241–243.
- Kaur, S., Reddy, M. S., & Kumar, V. (2016). Endophytic fungi: As efficient tools for plant growth promotion and sustainable agriculture. In V. Kumar & M. K. Dubey (Eds.), *Plant growth-promoting microbes for sustainable agricultural production* (pp. 119–135). Springer.
- Kaymak, H. C. (2010). Bitki büyümesini teşvik eden mikroorganizmalar (PGPM) ve tarımda kullanımı. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 101–115.
- Lynch, J. P. (2019). Root phenotypes for improved nutrient capture: An underexploited opportunity for global agriculture. *New Phytologist*, 223(2), 548–564. <https://doi.org/10.1111/nph.15738>
- Martinez-Viveros, O., Jorquera, M. A., Crowley, D. E., Gajardo, G., & Mora, M. L. (2010). Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(3), 293–319.
- Mendes, R., Garbeva, P., & Raaijmakers, J. M. (2013). The rhizosphere microbiome: Significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5), 634–663. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12028>
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3).
- Mustafa, L. B., Al-Bayati, A. I. N., & Özkoç, I. (2024a). Salt-tolerant endophytic *Pseudomonas putida* isolated from *Aronia prunifolia* root with plant growth-promoting potential. *World News of Natural Sciences*, 53, 212-222.
- Mustafa, L., Al-bayati, A. I. N., Albayati, D., & Özkoç, İ. (2024b). Biogenic Synthesis of Silver and Iron Oxide Nanoparticles Using *Aronia prunifolia* Leaf Extract and Its Inhibitory Action Against Pathogenic Fungi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 14(2), 589-604.
- Özimek, E. (2018). The role of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in alleviating abiotic stresses in plants. *Acta Agrobotanica*, 71(4), 1–15.
- Özkoç, I., Bilgi, M., Gurkanli, C. T., ve Mustafa, L. B. (2023). Bazı Orkide Türlerinde Ekim Öncesi Tohum Uygulamaları ve Bu Uygulamaların Tohum Çimlenme ve Gelişmesine Olan Etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(4), 2476-2484.
- Patil, S. V., Jadhav, J. P., & Ghosh, J. S. (2016). Endophytic fungi: A new source of bioactive compounds. *Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(4), 491–502.
- Porras-Alfaro, A., & Bayman, P. (2011). Hidden fungi, emergent properties: Endophytes and microbiomes. *Annual Review of Phytopathology*, 49, 291–315.
- Rajagopal, K. (1998). Biology and ecology of endophytic fungi from tropical trees with special reference to neem (*Azadirachta indica* A. Juss) (Doctoral dissertation). University of Madras, Chennai.
- Rathaur, P., Ramteke, P., Raja, W., and John, A. (2012). Isolation and characterization of nickel and cadmium tolerant plant growth promoting rhizobacteria from rhizosphere of *Withania somnifera*. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 6(18). 253-261

- Saharan, B. S., & Nehra, V. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria: A critical review. *Life Sciences and Medicine Research*, 21(1), 30.
- Sekar, S., & Kandavel, D. (2010). Interaction of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and endophytes with medicinal plants—New avenues for phytochemicals. *Journal of Phytology*, 2(7), 91–100.
- Shoresh, M., Harman, G. E., & Mastouri, F. (2010). Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual Review of Phytopathology*, 48, 21–43.
- Silva, T. R., de Araujo, F. F., & de Sá, M. E. (2012). Influence of plant growth-promoting bacteria on maize productivity under field conditions. *Revista Ceres*, 59(6), 765–771.
- Stojanovic, G., Dordevic, A., & Smelcerovic, A. (2013). Do other *Hypericum* species have medical potential as St. John's wort (*Hypericum perforatum*)?. *Current Medicinal Chemistry*, 20(18), 2273–2295.
- Tsavkelova, E. A., Klimova, S. Y., Cherdyntseva, T. A., & Netrusov, A. I. (2007). Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 43(2), 117–126.
- Van Loon, L. C., Bakker, P. A. H. M., & Pieterse, C. M. J. (1998). Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annual Review of Phytopathology*, 36, 453–483.
- Viveros Martinez, O., Jorquera, M. A., Crowley, D. E., Gajardo, G., & Mora, M. L. (2011). Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(3), 293–319.
- Widisuputri, D. I., Wulandari, R. A., Fitriani, N., Ningsih, R., & Amalia, R. (2021). Isolation and characterization of endophytic fungi from local rice plant and their potential as plant growth promoters. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(1), 216–222.
- York, L. M., Carminati, A., Mooney, S. J., Ritz, K., & Bennett, M. J. (2016). The holistic rhizosphere: Integrating zones, processes, and semantics in the soil influenced by roots. *Journal of Experimental Botany*, 67(12), 3629–3643.