



## Bitki Gelişimini Uyarayan Bakterilerin Kıvrıkcık Marul (*Lactuca sativa* var. *crispa*) Gelişimine Etkisinin Belirlenmesi\*

The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Curly (*Lactuca sativa* var. *crispa*) Lettuce Production

Ömer Alpago<sup>1</sup> , Mesude Figen Dönmez<sup>2</sup> , Büşran Sunyar<sup>3</sup> , İrfan Çoruh<sup>4</sup> 

Geliş Tarihi (Received): 15.05.2023

Kabul Tarihi (Accepted): 24.08.2023

Yayın Tarihi (Published): 20.12.2023

**Öz:** Bu çalışma farklı bakteri strainlerinin (*Brevibacillus parabrevis* strain SB29, *Herbaspirillum huttiense* strain SK4 ve *Virgibacillus pantothenicus* strain YÖ19) kıvrıkcık marul tohumunun çimlenmesine, marul bitkisinin gelişimine etkisini belirlemek ve bazı etki mekanizmalarını araştırmak amacıyla yapılmıştır. *In vitro* testte bakteri uygulamalarının tohumların çimlenme hızını ve çimlenme oranını arttırdığı tespit edilmiştir. Marul bitkisinin gelişme parametrelerine bakteri uygulamalarının etkisi tesadüf blokları deneme desenine göre 6 uygulama (SB29, SK4, YÖ19, SB29+ SK4+ YÖ19, kimyasal gübre ve kontrol) ile araştırılmıştır. Uygulamalarının hepsinin marulda kök kuru madde oranı, yaprak sayısı ve bitki kuru ağırlığı bakımından gübre uygulamasından daha iyi sonuç verdiği, yaprak kuru madde üzerine etkilerinin ise önemsiz olduğu bulunmuştur. Bitki ağırlığı, bitki çapı, bitki boyu, gövde çapı, kök kuru ağırlığı ve ham protein oranı üzerinde kontrole göre uygulamaların etkili olduğu görülmüştür. Strainlerin hepsinin IAA ürettiği ve katalaz pozitif olduğu belirlenmiştir. Strain YÖ19 ve SK4'de siderofor üretimi tespit edilirken üç strainin ACC deaminaz negatif olduğu saptanmıştır. Marul tohumlarının çimlenmesinde strainlerin IAA üretmelerinin, azot fikse edebilmelerinin ve fosfat çözebilme özelliklerinin etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** PGPR, *Lactuca sativa* var. *crispa*, çimlenme, verim, IAA

&

**Abstract:** In this study, it was carried out to determine the effects of different bacterial strains (*Brevibacillus parabrevis* strain SB29, *Herbaspirillum huttiense* strain SK4 ve *Virgibacillus pantothenicus* strain YÖ19) on the germination of curly lettuce seeds and the development of lettuce plants and to investigate some of their mechanisms of action. In the *in vitro* test, it was determined that bacterial applications increased the germination rate and germination rate of seeds. The effect of bacterial applications on the growth parameters of the lettuce plant was investigated with 6 applications (SB29, SK4, YÖ19, SB29+ SK4+ YÖ19, chemical fertilizer and control) according to the randomized blocks experimental design. It was found that all of the applications gave better results than fertilizer application in terms of root dry matter ratio, leaf number and plant dry weight in lettuce, but their effects on leaf dry matter were insignificant. It was observed that the treatments compared to the control were effective on plant weight, plant diameter, plant height, stem diameter, root dry weight and crude protein ratio. It was determined that all strains produced IAA and were catalase positive. Siderophore production was detected in Strain YÖ19 and SK4, while three strains were found to be ACC deaminase negative. It was concluded that IAA production, nitrogen fixation and phosphate solubility properties of the strains were effective in the germination of lettuce seeds.

**Keywords:** PGPR, *Lactuca sativa* var. *crispa*, germination, yield, IAA

**Atıf/Cite as:** Alpago, Ö., Dönmez, M. F., Sunyar, B., & Çoruh, İ. (2023). Bitki gelişimini uyarayan bakterilerin kıvrıkcık marul (*Lactuca Sativa* Var. *Crispa*) gelişimine etkisinin belirlenmesi. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 9(3), 300-310. doi: 10.24180/ijaws.1297251.

**İntihal-Plagiarizm/Etik-Ethic:** Bu makale, en az iki hakem tarafından incelenmiş ve intihal içermediği, araştırma ve yayın etiğine uyulduğu teyit edilmiştir. / This article has been reviewed by at least two referees and it has been confirmed that it is plagiarism-free and complies with research and publication ethics. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijaws>

Copyright © Published by Bolu Abant İzzet Baysal University, Since 2015 – Bolu

<sup>1</sup> Ziraat Yüksek Mühendisi, Ömer ALPAGO, Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, omeralpago\_76@hotmail.com

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi Mesude Figen DÖNMEZ, Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, sudefigen@hotmail.com (Sorumlu Yazar / Corresponding author)

<sup>3</sup> Ziraat Yüksek Mühendisi, Büşran SUNYAR, Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, busran-21@hotmail.com

<sup>4</sup> Prof. Dr. İrfan ÇORUH, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, icoruh@atauni.edu.tr

## GİRİŞ

Marul (*Lactuca sativa* L.) Asteraceae familyasında bulunan ve dünyanın hemen her yerinde yetiştirilebilen tek yıllık serin iklim sebze türüdür. Morfolojik olarak oldukça çeşitli olan marul, yaprakları yenen sebzeler arasında ilk sırada yer almakta (Eşiyok, 2012) ve yıl boyunca kolaylıkla bulunmaktadır. Marul, örtü altında ve açıkta yetiştirilebilmekte, mineral ve vitamin kaynağı olarak insan beslenmesinde taşıdığı önemle sofralardan eksik olmamaktadır (Koike vd., 2007).

Sebze üretimini ve kalitesini artırmak, biyotik faktörlerden kaynaklı kayıpları azaltmak için gübre ve pestisit gibi kimyasallar yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde tarımsal kimyasalların bilinçsizce uygulanması toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkileyerek üretkenliğinin sınırlandırılmasına, çevre, gıda ve yeraltı sularının kirlenmesine, patojen yoğunluğunun artmasına neden olmakta, maalesef üretimde sürdürülebilirlik sağlanamamaktadır. Bunun sonucunda tüm dünyada yeterli miktar ve kalitede gıda temininin sağlanamayacağı endişesi yaygınlaşmaktadır. Bu noktada, tarımsal üretim sistemlerinde kimyasal kullanımının azaltılarak toprak verimliliğinin ve biyoçeşitliliğin korunmasını sağlayan biyolojik uygulamalar ayrı bir önem taşımaktadır (Toprak, 2012). Biyolojik uygulamalar içerisinde oldukça önemli bir yer tutan Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bakteriler (BGTB), bitki köklerindeki mikroflora kompozisyonunu değiştirmesi, besin maddesi alımını arttırması (siderofor üretimi, azot fiksasyonu, çözünmeyen organik ve inorganik besin formlarının çözünür duruma getirilmesi), çeşitli stres faktörlerine karşı bitkiyi dayanıklı kılması, fitohormonlar (indol asetik asit, etilen) salgılaması, kök gelişimini uyararak bitki büyümesini ve gelişimini arttırması gibi etkileriyle öne çıkmaktadır (Grover vd., 2021). Son yıllarda yapılan çalışmalarda BGTB'ler hem bitki gelişmesini uyarıcı olarak hem de biyokontrol elemanı olarak kullanılmakta ve bitkisel üretimin nicelik ve niteliği üzerine oldukça başarılı sonuçlar elde edilmektedir (Lehtonen, 2009; Pérez-Jaramillo vd., 2016; Fahsi vd., 2021). BGTB'ler hem bitki gelişiminde sundukları biyogübre özellikleri hem de biyolojik kontrolde rol oynayan antagonistik etkileri ile bitki gelişiminde olumlu katkı sağladıklarından dolayı yapılan bu çalışmada 3 BGTB straini ve strainlerin karışımlarının kıvrırcık marul gelişimine etkisinin araştırılması, sonuçların kimyasal gübre ile karşılaştırılması ve bazı etki mekanizmalarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Çalışmada Yer Alan Bitki Materyali, Kimyasal Gübreler ve Bakteri Strainleri

Çalışmada kıvrırcık marul çeşidi (BT Şamba) kullanılmıştır. Gübre olarak GÜBRETAS (Gübre Fabrikaları Türk A. Ş.) firmasından alınan triple süper fosfat (10 kg da<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), üre (15 kg da<sup>-1</sup> N) ve potasyum sülfat (20 kg da<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O) kullanılmıştır. Bakteri strainlerini 2017-FBE-A26'nolu Iğdır Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi kapsamında elde edilen SB29, YÖ19 ve SK4 strainleri oluşturmuştur. Belirtilen araştırmada strainlere ait tespit edilen bazı özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

### Çizelge 1. Çalışmada kullanılan bakteri strainleri.

Table 1. Bacterial strains used in the study.

Strain No	MIS Tanı Sonucu	Izole Edildiği Bitki	Izolasyon Materyali	A	P	Ka	F
SK4	<i>Herbaspirillum huttiense</i>	<i>Trifolium repens</i>	Yaprak	K <sup>+</sup>	-	-	K <sup>+</sup>
YÖ19	<i>Virgibacillus pantothenicus</i>	<i>Thymus vulgaris</i>	Kök	K <sup>+</sup>	-	-	K <sup>+</sup>
SB29	<i>Brevibacillus parabrevis</i>	<i>Chenopodium botrys</i>	Çiçek	+	+	K <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>

MIS: Mikrobiyal identifikasyon sistemi, A: Azot fiksasyon özelliği, P: Potasyum çözme Ka: Kalsiyum çözme F: Fosfat çözme, K<sup>+</sup>: Kuvvetli pozitif sonuç.

### PGPR Strainlerine Ait Solüsyonların Hazırlanması

Nutrient Agar (NA) besiyerinde 48 saat geliştirilen bakteri kültürlerinden alınan koloniler Nutrient Broth (NB) sıvı besi yerine aktarılmıştır. Bakteri gelişimi için ekim yapılan tüpler çalkalayıcıda (140 rpm) bir gece inkübasyona bırakılmıştır. Ardından steril distile su (sdH<sub>2</sub>O) ile turbidimetre kullanılarak solüsyon yoğunluğu 10<sup>7</sup> cfu ml<sup>-1</sup> olarak ayarlanmıştır.

**Çalışmada Kullanılan Tohumların Dezenfeksiyonu ve Bakterizasyonu**

Marul tohumları 5 dk %70 etil alkol içerisinde bekletilmiş ve daha sonra sdH<sub>2</sub>O ile yıkanmıştır. Ardından 3 dk %5'lik NaOCl'de tutulmuş ve tekrar sdH<sub>2</sub>O ile yıkandıktan sonra kuruması için kurutma kağıdına bırakılmıştır. Dezenfekte edilen tohumlar 10<sup>7</sup> cfu ml<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki bakteri süspansiyonları içerisine bırakılarak çalkalayıcıda (140 rpm) iki saat inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda süzülen tohumlara sukroz uygulanmıştır.

**In Vitro Ortamda Bakteri Uygulamalarının Tohum Çimlenmesine Etkisi**

Uygulamalarının tohumların çimlenmesine etkisi agar (%1.5) içeren besi ortamında 25±0.5°C'de test edilmiştir. Her bir petriye dezenfeksiyonu yapılmış 20 adet tohum bırakılmış ve üç tekerrürlü olarak çalışma yürütülmüştür. Çimlenen tohumlar günün aynı saatinde sayılmıştır ve kökçük 10 mm'ye ulaştığında tohum çimlenmiş olarak değerlendirilerek ortamdan uzaklaştırılmıştır. Çimlenme tamamlandıktan sonra çimlenme hızı (çimlenen tohum sayısı çimlenmenin gerçekleştiği gün sayısına oranlanarak bulunmuştur), çimlenme oranı (Eşitlik 1) ve ortalama çimlenme zamanı (Eşitlik 2) aşağıda belirtilen formüller yardımıyla hesaplanmıştır (Yıldırım ve Güvenç, 2006).

$$\text{Çimlenme oranı (\%)} = \frac{\text{Çimlenen tohum sayısı} \times 20}{100} \quad (1)$$

$$\text{Ortalama Çimlenme Zamanı (gün)} = \frac{\sum (fx)}{\sum f} \quad (2)$$

**Bakteri Strainlerinin Etki Mekanizmalarının Belirlenmesi****Katalaz Testi**

Katalaz enziminin varlığı Klement vd. (1990)'ın belirttiği yöntemle yapılmıştır. NA ortamında strainler 24-48 saat geliştirilmiştir. Ardından gelişen bakteri kültüründen koloniler alınarak lam üzerine bırakılmış ve üzerine %70'lik H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solüsyonundan ilave edilmiştir. Gözlemlenen kabarcık oluşumu katalaz pozitif olarak değerlendirilmiştir.

**1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate (ACC) Deaminaz Aktivitesi**

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

**Siderofor Üretiminin Belirlenmesi**

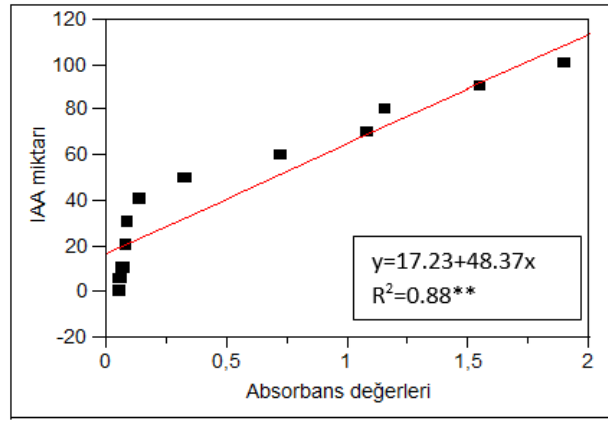
Strainlerin siderofor üretimi Crom Azurol S (CAS) agar besi ortamında test edilmiştir. Besi ortamı aşağıda belirtilen şekilde hazırlanmıştır:

CAS solüsyonu; a (0.06 g CAS 50 ml sdH<sub>2</sub>O), b (0.0027 g FeCl<sub>3</sub>6H<sub>2</sub>O 10 ml HCl) ve c (0.073 g HDTMA 40 ml saf su) çözeltileri ayrı ayrı hazırlanıp birleştirilerek otoklavlanmıştır. Mineral tuz solüsyonu; pH~ 12 olan salt stok solüsyonu (15 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 25 g NaCl, 50 g NH<sub>4</sub>Cl, 500 ml saf su) ve %20 glukoz stok solüsyonu (20 g glukoz, 100 ml saf su) ayrı ayrı hazırlanmıştır. Casamino asit solüsyonu; 4 g casamino asit, 36 ml saf su ve 1.08 g %3'lük 8-hydroxyquinoline 36 ml kloroform karıştırılarak hazırlanmıştır ve 24 saat bekletildikten sonra 0.22 µl'lik filtreden geçirilerek besi ortamına katılmıştır. D solüsyonu; 750 ml saf suya 100 ml salt stok solüsyonundan ilave edilmiş, pH 6'ya ayarlandıktan sonra 32.24 g Pipes (piperazine-N,N'-bis(2-ethanesulfonic acid) yavaş yavaş eklenmiştir. pH 6.8'e ayarlandıktan sonra 15 gram agar ilave edilerek ortam otoklavlanmıştır. Steril kabin içerisinde D solüsyonuna 30 ml steril casamino asit solüsyonu ve 10 ml steril %20'lik glukoz solüsyonundan eklendikten sonra 100 ml olan A solüsyonu yavaşça köpük oluşumuna izin vermeden ortama eklenmiştir. Hazırlanan besi ortamı dikkatli bir şekilde petrilere

dökülerek soğutulmuştur. Bakteri strainleri çizgi ekimle 4 ayrı noktaya inokule edilmiş ve 27°C'de 5 gün inkübasyona bırakılmıştır. Bakteri gelişiminin etrafında portakal renkli alanın oluşması siderofor üretimi pozitif olarak değerlendirilmiş ve bu alanın çapı ölçülerek kaydedilmiştir (Louden vd., 2011).

#### Strainlerin İndol Asetik Asit (IAA) Üretimi

Bakteri strainlerinin IAA üretimi hazırlanan spesifik besi ortamında belirlenmiştir (Asghar vd., 2002). İçerisinde 20 ml NB besi ortamı bulunan 250 ml'lik erlenmayerler steril edilmiş ve her bir erlenmayer içerisine 0.2 µm por çaplı filtreden geçirilen %0.5'lik 5 ml tryptophane (L-TRP) ilave edilmiştir. Ardından bakteri kolonileri (1 öze) ilave edildikten sonra 24°C'ye ayarlı çalkalayıcıda 120 rpm'de 48 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyondan sonra süspansiyonlar falkon tüplere konularak 6000 rpm'de 10 dk boyunca santrifüj edilmiştir. Filtre kağıdından (Whatman, No:2) süzülerek elde edilen filtrat 10.000 rpm'de 5 dk santrifüje tabi tutulmuştur. Santrifüj işleminden sonra süpernatanttan 3 ml alınarak steril tüp içerisine aktarılmış ve üzerine 2 ml Salkowski ayracı (2 ml 0.5 M FeCl<sub>3</sub>+98 ml %35 HClO<sub>4</sub>) eklendikten sonra pembe renk oluşumu için 30 dk bekletilmiştir. Spektrofotometrede 535 nm'de okuması örneklerin absorbans değerleri kaydedilmiştir. Farklı ppm dozlarında (0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 ppm) IAA standart solüsyonları hazırlanmış ve 535 nm'de okunan absorbans değerleri kullanılarak JMP istatistik programında regresyon analizi yapılarak standart doğru grafiği (Şekil 1) çizilmiş ve standart doğru denklemi ( $y=17.23+48.37x$ ) bulunmuştur. Örneklere ait değerler bu denklemde yerine yazılarak bakterilerin ürettiği IAA miktarları µg/ml olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. İndol asetik asit standart eğrisi.

Figure 1. Indole acetic acid standard curve.

#### Tarla Denemesinde Bakteri Strainlerinin Etkinliğinin Belirlenmesi

Araştırma tesadüf blokları deneme desenine göre 3 bakteri straini (*Brevibacillus parabrevis* strain SB29, *Herbaspirillum huttiense* strain SK4, *Virgibacillus pantothenticus* strain YÖ19), strainlerin kombinasyonu (SB29+ SK4+ YÖ19), kimyasal gübre ve kontrol olmak üzere 6 uygulama ile 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Fide elde etmek amacıyla tohumlar perlit+torf (1:2) yetiştirme ortamında viyoller içerisine ekilmiştir. Gelişen bir aylık marul fideleri 3x3 m (9m<sup>2</sup>)'lik tavalarda 50x50 cm sıra arası ve sıra üzeri mesafelerde, her parselde 30 bitki olacak şekilde dikilmiştir. Gübre uygulamasında fide başına 50 ppm N, 250 ppm K ve 100 ppm P, kontrol olarak ise sdH<sub>2</sub>O uygulaması yapılmıştır. Birinci bakteri uygulaması fidelerin köklerinin hazırlanan bakteri solüsyonlarında (10<sup>7</sup> cfu ml<sup>-1</sup>) 30 dk bekletilmesi ile yapılmış ve ardından dikim gerçekleştirilmiştir. İkinci bakteri uygulaması ise gerçek marul yaprakları çıktıktan sonra 10<sup>7</sup> cfu ml<sup>-1</sup> yoğunluğunda olan bakteri solüsyonlarının sprey ile bitkilere inokule edilmesiyle yapılmıştır. Araştırmada uygulamalar arasında fark oluşturmayacak şekilde çapalama, sulama ve yabancı ot mücadelesi gibi gerekli bakım işlemleri zamanında düzenli olarak yapılmıştır. Marul bitkileri dikimden 45 gün sonra kenar tesirleri bırakılarak hasat edilmiştir.

**Hasat Sonrası İncelenen Verim Parametreleri**

Hasat sonrası incelenen parametrelerin belirlenmesinde Kaçar ve İnal (2008)'den faydalanılmıştır. Yaprak sayısı (adet), bitki ağırlığı (g), bitki boyu (cm), bitki çapı (cm), gövde çapı (mm), kök kuru ağırlığı (g), kök yaş ağırlığı (g), kök kuru madde oranı (%), bitki kuru ağırlığı (g), yaprak kuru madde oranı (%) ve ham protein oranı (%) belirlenmiştir.

**İstatistiksel Değerlendirme**

*In vitro* ve *in vivo* ortamda elde edilen veriler SAS 9.1 istatistik programında varyans analizine tabi tutulmuş ve uygulamalar arasındaki farklılık Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir ( $p \leq 0.05$ ).

**BULGULAR VE TARTIŞMA****Bakteri Uygulamalarının Kıvrıkcık Marul Tohumunun Çimlenmesine Etkisi**

Bakteri uygulamalarının marul tohumunun ortalama çimlenme hızı, çimlenme zamanı ve çimlenme oranına etkisi Çizelge 2'de sunulmuştur. Uygulamaların belirtilen parametreler üzerindeki etkisinin kontrole kıyasla istatistiki olarak önemli ( $p \leq 0.05$ ) olduğu görülmüştür. Bakteri uygulaması yapılan tohumların kontrole kıyasla daha hızlı ve %100 çimlendiği saptanmıştır.

**Çizelge 2.** Petri ortamında uygulamaların çimlenmeye etkisi.

Table 2. The effect of applications on germination in Petri dish.

	SB29	YÖ19	SK4	MIX	Kontrol
<b>Ortalama Çimlenme Zamanı (Gün)</b>	3.4667±0.20 b*	3.6000 ± 0.16 a	4.1833±0.09 cb	3.7833± 0.15 b	5.7133±0.25 cb
<b>Çimlenme Hızı</b>	5.9433±0.27 a	5.6367±0.10 a	4.9400±0.13 b	5.5600±0.19 a	2.6633±0.14 c
<b>Çimlenme Oranı (%)</b>	100.000±0.00 a	100.000±0.00 a	100.000±0.00 a	100.000±0.00 a	73.333±1.67 b

SB29: *Brevibacillus parabrevis*, YÖ19: *Virgibacillus pantothenicus*, SK4: *Herbaspirillum huttiense*, MIX: SB29, YÖ19 ve SK4 karışımı.

\*Değerler 3 tekrerrör ortalamasıdır, aynı satırda aynı harfle ifade edilen değerler arasında istatistiki anlamda fark yoktur ( $P \leq 0.05$ ).

**Bakteri Strainlerinin Bitki Gelişimini Teşvik Mekanizmaları**

Bakteri strainlerinin etki mekanizmaları Çizelge 4'te verilmiştir. Test edilen bakteri strainlerin katalaz enzimini ürettiği ACC-Deaminaz aktivitesine ise sahip olmadığı tespit edilmiştir. Çalışmada yer alan 3 bakteri strainin de IAA ürettiği, 31.74  $\mu\text{g ml}^{-1}$  ile *V. pantothenicus* strain YÖ19'un en yüksek IAA üretimine sahip olduğu belirlenmiştir. *H. huttiense* strain SK4 ve *V. pantothenicus* strain YÖ19'un düşük miktarda siderofor ürettiği saptanırken *B. parabrevis* strain SB29'un siderofor üretmediği bulunmuştur.

**Çizelge 3.** Bitki gelişimini teşvik eden bakterilerin mekanizmalarının üretme potansiyellerinin test sonuçları.

Table 3. Test results of the production potentials of the mechanisms of plant growth promoting bacteria.

Strain No	Katalaz Testi	Acc-Deaminaz Aktivitesi	Siderofor Testi (mm)	IAA Üretim ( $\mu\text{g ml}^{-1}$ )
SB29	+	-	-	24.77
YÖ19	+	-	9	31.74
SK4	+	-	11	22.55

SB29: *Brevibacillus parabrevis*, YÖ19: *Virgibacillus pantothenicus*, SK4: *Herbaspirillum huttiense*, IAA: İndol Asetik Asit.

**Uygulamaların Kıvrıkcık Marul Verim Parametrelerine Etkisi****Bitki Ağırlığı (g)**

Uygulamaların bitki ağırlığına etkisi Çizelge 3'te verilmiştir. En iyi sonuç *B. parabrevis* strain SB29 (165.79 g) ve *V. pantothenicus* strain YÖ19 (165.36 g) uygulamalarından alınmış, bu sonucu MIX (125.48 g), gübre (121.21 g) ve *H. huttiense* strain SK4 (95.16 g) uygulamaları takip etmiştir. En düşük değer negatif kontrol (63.28 g) uygulamasından alınmıştır.



#### **Bitki Çapı (cm)**

Bitki çapına uygulamaların etkisi Çizelge 3'te gösterilmiştir. SK4 uygulaması hariç bakteri uygulamalarının gübre ve negatif kontrol uygulamalarından daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. En yüksek bitki çapı *V. pantothenicus* strain YÖ19 (29.523 cm) ve *B. parabrevis* strain SB29 (27.820 cm) uygulamalarından elde edilmiştir. Gübre (24.547 cm) ve *H. huttiense* strain SK4 (23.913 cm) uygulamalarının istatistiki olarak aynı grupta yer aldığı ve negatif kontrole (20.477 cm) göre bitki çapı üzerinde daha etkili olduğu saptanmıştır.

#### **Bitki Boyu (cm)**

En yüksek bitki boyu (48.157cm) *V. pantothenicus* strain YÖ19 inokulasyonu yapılan bitkilerde bulunmuştur. Bu uygulamayı gübre (40.190 cm), *H. huttiense* strain SK4 (40.167 cm), mix (39.713 cm) ve *B. parabrevis* strain SB29 (39.433 cm) uygulamalarının izlediği görülmüştür. *B. parabrevis* strain SB29, *H. huttiense* strain SK4 ve Mix uygulamalarının gübre uygulamasına kıyasla bitki boyu üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadıkları belirlenmiştir (Çizelge 3).

#### **Gövde Çapı (mm)**

Bakteri ve gübre uygulamaların bitki gövde çapına etkisi Çizelge 3'te sunulmuştur. İstatistiki olarak *B. parabrevis* strain SB29 (14.47 mm) ve *V. pantothenicus* strain YÖ19 (12.55 mm) uygulamalarının gövde çapı üzerindeki etkisi %5 düzeyinde önemli bulunurken diğer uygulamaların etkisi önemsiz bulunmuştur.

#### **Yaprak Sayısı (adet)**

Uygulamalarının yaprak sayısına etkisi incelendiğinde negatif kontrol ve gübre uygulamasına oranla bakteri uygulamalarının daha başarılı olduğu saptanmıştır. Strainlerin karışımı şeklinde uygulanan inokulantın yaprak sayısı üzerinde en etkili uygulama olduğu tespit edilmiştir. *V. pantothenicus* strain YÖ19'un 19.33 değeriyle etkili ikinci uygulama olduğu bulunmuştur (Çizelge 3).

#### **Kök Yaş Ağırlığı (g)**

Uygulamaların kök yaş ağırlığına etkisi değerlendirildiğinde negatif kontrol grubuna kıyasla bütün uygulamaların başarılı olduğu tespit edilmiştir. Gübre ve bakteri uygulamalarının istatistiki olarak aynı grupta yer aldığı saptanmıştır. En yüksek kök ağırlığı 5.1833 g olarak *H. huttiense* strain SK4 uygulamasında, en düşük kök ağırlığı ise 2.3567 g değeriyle negatif kontrol grubunda belirlenmiştir (Çizelge 3).

#### **Kök Kuru Ağırlığı (g)**

Kök kuru ağırlığına ait en iyi sonuç strainlerin karışım şeklinde uygulandığı bitkilerde tespit edilmiş ve ortalama ağırlık 0.7333 g olarak belirlenmiştir. *V. pantothenicus* strain YÖ19 ve gübre uygulamalarının kontrole göre kök kuru ağırlığını artırdığı ve istatistiki olarak aralarında fark olmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 3).

#### **Kök Kuru Madde Oranı (%)**

Kök kuru madde oranı üzerinde uygulamaların etkisinin önemli ( $p \leq 0.05$ ) olduğu bulunmuştur. *Herbaspirillum huttiense* strain SK4'ün %16.807 oranı ile en başarılı sonucu veren uygulama olduğu görülmüştür. Bakteri uygulamalarını gübre ve negatif kontrol grubuna göre kök kuru madde oranını artırdığı saptanmıştır (Çizelge 3).

#### **Bitki Kuru Ağırlığı (g)**

Bitki kuru ağırlığına ait sonuçlar değerlendirildiğinde en iyi sonuç 9.97 g ile *B. parabrevis* strain SB29 olarak 8.85 g ile *V. pantothenicus* strain YÖ19 'dan elde edilmiştir. *H. huttiense* strain SK4 ve Mix uygulamaları arasında istatistiki olarak bir farklılığın bulunmadığı, genel olarak bakteri uygulamalarının gübre ve kontrol uygulamalarına göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3).

#### **Yaprak Kuru Madde Oranı (%)**

Yaprak kuru madde oranına bakteri uygulamalarının etkisi Çizelge 3'de verilmiştir. Bakteri uygulamalarının yaprak kuru madde oranı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

**Ham Protein Oranı (%)**

Uygulamaların bitkinin ham protein oranı üzerindeki uygulamaların etkisi  $p \leq 0.05$  seviyesinde önemli bulunmuştur. *B. parabrevis* strain SB29, *V. pantothenicus* strain YÖ19 ve *H. huttiense* strain SK4 uygulamalarının en başarılı sonuçları veren uygulamalar olduğu saptanmıştır. Gübre, Mix ve kontrol uygulamalarının aynı grupta yer aldığı ve ham protein üzerinde istatistiksel olarak etkilerinin önemli taşımadığı görülmüştür (Çizelge 3).

**Çizelge 4.** Bakteri, gübre ve negatif kontrol uygulamalarının bitkideki etkisi.

Table 4. The effect of bacteria, fertilizer and negative control applications on the plant.

	SB29	YÖ19	SK4	MIX	GÜB	Kontrol
<b>Bitki Ağırlığı(g)</b>	165.36±6.62 a*	165.79±20.52a	95.16±4.36 bc	125.48±7.55 ba	121.21±19.26 b	63.28 ± 9.72 c
<b>Bitki Çapı(cm)</b>	27.823±1.20 b	29.523±0.69 a	23.913±0.56 bc	24.900±0.56 b	24.547±1.04 bc	20.477±2.64 c
<b>Bitki Boyu(cm)</b>	39.433±1.42 b	48.157±3.17 a	40.167±1.98 b	39.713±0.97 b	40.190±1.69 b	32.890±0.59 c
<b>Gövde Çapı(mm)</b>	14.4700±0.92 a	12.5567±0.29 ba	11.1533±0.53 b	11.9200±0.76 b	12.1667±0.75 b	12.1467±0.29 b
<b>Bitki Yaprak Sayısı(ad)</b>	19.777±0.40 a	19.333±1.02 ba	19.000±1.26 bac	16.000±1.35 bac	15.113±1.24 c	15.667±1.50 bc
<b>Kök Yaş Ağırlığı (g)</b>	5.1833±0.98 a	4.6900±0.22 a	4.2500±0.51 a	4.7767±0.24 a	4.3600±0.50 a	2.3567±0.24 b
<b>Kök Kuru Ağırlığı(g)</b>	0.6867±0.12 a	0.6167±0.02 ba	0.7200±0.12 a	0.7333±0.07 a	0.5167±0.07 ba	0.3967±0.06 b
<b>Bitki Kök Kuru Madde Oranı (%)</b>	13.227±0.27 bc	13.297±0.58 bc	16.807±1.3 a	16.030±1.45 ba	11.933±0.25 c	12.01±1.02 b
<b>Bitki Kuru Ağırlığı(g)</b>	9.977±1.32 a	8.853±0.17 ba	7.747±0.73 bac	8.150±0.30 bac	6.473±1.14 bc	5.790 ±0.96 c
<b>Yaprak Kuru Madde Oranı (%)</b>	5.8067±0.35 b	5.0667±0.23 b	8.0033±0.61 a	6.3067±0.59 b	5.1167±0.08 b	8.7767±0.49 a
<b>Ham Protein Oranı (%)</b>	14.517±0.58 a	14.250±0.75 a	13.457±0.39 a	8.46±1.08 b	9.767±0.32 b	7.96±0.32 b

SB29: *Brevibacillus parabrevis*, YÖ19: *Virgibacillus pantothenicus*, SK4: *Herbaspirillum huttiense*, MIX: SB29, YÖ19 ve SK4 karışımı.

\*Değerler 3 tekrerrüt ortalamasıdır, aynı satırda aynı harfle ifade edilen değerler arasında istatistiksel anlamda fark yoktur ( $P \leq 0.05$ ).

Yapılan bu çalışmada bakteri uygulamalarının marul tohumlarının ortalama çimlenme zamanı, çimlenme hızı ve oranı üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur. Benzer çalışmalarda da bakteri strainlerinin tohumların çimlenme hızı ve oranını arttırdığı tespit edilmiştir. Marul tohumlarının *Azospirillum brasilense* ve *Herbaspirillum serpedicea* strainleri ile inokulasyonunun tohumların çimlenme hızını arttırdığı saptanmıştır (Mangmang vd., 2016). Szczech vd. (2016) tarafından marul ile yapılan çalışmada B125 (*Enterobacter* sp.) ve PZ9 (*Bacillus* sp.) strainlerinin tohum çimlenmesini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Bitki gelişimini teşvik eden 5 bakteri straini (*Agrobacterium rubi* strain A16, *Bacillus megaterium* strain M3, *Burkholderia gladii* strain BA7, *Bacillus subtilis* strain BA142 ve *Pseudomonas putida* strain BA8) ile yapılan tohum uygulamalarının yüksek NaCl konsantrasyonlarında turp tohumunun çimlenmesini önemli derecede arttırdığı saptanmıştır (Kaymak vd., 2009). *Serratia marcescens* AF8I1, *P. putida* AF1I1, *P. fluorescens* AF8I4, *Klebsiella aerogenes* AF3I1 ve *Bacillus cereus* AF8I13 ile inokule edilen tohumların çimlenmesini sırasıyla %156.88 ± 2.35, %125.64 ± 12.1, %116.8 ± 1.11, %115.9 ± 2.67 ve 115.28 ± 2.56 oranında arttırdığı belirlenmiştir (Fiodor vd., 2023). Tohum çimlenmesinde bakteri strainlerinin indol asetik asit (IAA) (Hagaggi ve Mohamed, 2020) ve siderofor üretiminin (Mahdi vd., 2020), ACC deaminaz aktivitesinin (Brahim vd., 2022) ve fosfat çözünmesinin (Mahdi vd., 2020; Pandey ve Gupta, 2020) etkili olduğu bulunmuştur. Mevcut çalışmada da tohum çimlenmesinde etkili olan strainlerin hepsinin IAA ürettiği, kuvvetli bir şekilde fosforu çözdükleri tespit edilmiştir. Strainlerden 2 tanesinin de (YÖ19 ve SK4) siderofor üretiminin pozitif olduğu belirlenmiştir.

Bu araştırma sonucunda bakteri uygulamalarının hepsinin marulda kök kuru madde oranı, yaprak sayısı ve bitki kuru ağırlığı bakımından gübre uygulamasından daha iyi sonuç verdiği bulunmuştur. Bazı bakteri uygulamalarının ise bitki ağırlığı (YÖ19, SB29 ve Mix), bitki çapı (YÖ19, SB29 ve Mix), bitki boyu (YÖ19), gövde çapı (YÖ19 ve SB29), kök kuru ağırlığı (SB29, SK4 ve Mix) ve ham protein oranı (SB29, SK4 ve Mix) üzerinde gübreden daha etkili olduğu saptanmıştır. Yapılan bakteri uygulamalarının yaprak kuru madde üzerine etkisi ise önemsiz bulunmuştur. Bu konuda yapılan farklı çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. *P. polymyxa*, *B.megaterium* ve *P.agglomerans* türlerine ait 11 bakteri strainin marulun yaprak sayısına etkisi istatistiki olarak önemsiz bulunurken, *P.agglomerans* strain RK126 hariç diğer bakteri uygulamalarının bitkinin kök uzunluğunu, kök ağırlığını arttırdığı tespit edilmiştir. *P. agglomerans*'ın 5 straini (RK32, RK72, RK77, RK92, RK126) dışındaki bakteri uygulamalarının kontrole göre gövde ağırlığında artış sağladığı belirlenmiştir (Karagöz vd., 2010). Mevcut çalışmada en yüksek bitki ağırlığı 165.36 g, baş çapı 29.52 cm olarak belirlenmiştir. Yıldız (2019) tarafından baş salata ile yapılan sera denemesinde ise *Pseudomonas fluorescens* uygulaması sonucunda en yüksek ortalama baş ağırlığı 125.22 g olarak elde edilirken, en yüksek baş çapı *Pantoea agglomerans* uygulaması sonrasında 12.16 cm olarak belirlenmiştir. Aynı konuda kıvrıcık marul ile yapılan bir başka çalışmada iki haftada bir yapılan bakteri uygulamasının kök kuru ağırlığını arttırdığı ve en yüksek bitki ağırlığının 253.71 g olduğu saptanmıştır (Naikofi vd., 2017). *Pseudomonas protegens* Pf-5, *Azospirillum argentinense* Az39, *Bacillus* sp. Dm-B10 ve *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAL-5 strainlerinin marul bitkisinin gelişimini etkili bir şekilde iyileştirdiği tespit edilmiştir (Vio vd., 2023). Akbay (2012) tarafından yapılan çalışmada farklı azot dozlarında yetiştirilen marulda bitki ağırlığı, bitki boyu, bitki eni, gövde çapı, klorofil miktarı, kuru madde oranı, besin elementi alımı ve verim üzerine *Paenibacillus polymyxa* uygulamalarının olumlu etki gösterdiği, bakteri ve azot uygulamalarının marulda bitki gelişimini önemli derecede arttırdığı saptanmıştır. Çelik (2021) tarafından yapılan tarla denemesinde farklı bakteri (*Erwinia chrysanthemi* strain SA7, *Pseudomonas fluorescens* strain YÖ15, *Virgibacillus pantothenicus* strain YÖ19, *Bacillus cereus* strain YÖ41, *Bacillus pumilus* strain SB39 ve *Bacillus subtilis* SK72) uygulamalarının kontrol grubuna göre marul bitki kök yaş ağırlığında artış sağladığı bulunmuştur. Uygulanan bakteri strainlerinin kök kuru ağırlığı ve baş çapını %28.82, baş boyunu %6, kök boğazı çapını %8, baş ağırlığını %33, yaprak sayısını %7.8 arttırdığı belirlenmiştir. Farklı rizobakterilerin (*Bacillus mycoides*, *Bacillus subtilis* ve *Microbacterium liquefaciens*) marulun gelişimi üzerine etkilerinin araştırıldığı bir başka çalışmada uygulamalar tohum, yaprak ve tohum+yaprak şeklinde yapılmıştır. En yüksek bitki ağırlığı tohum+yaprak uygulamasının yapıldığı bitkilerde tespit edilmiştir ve bakterilerin uygulama şeklinin marul bitkisinin gelişimini etkilediği belirtilmiştir (Ekinci vd., 2008). Mevcut çalışmada da bakteri strainleri hem tohuma hem de yapraklara inokulasyon şeklinde uygulanmıştır ve parametrelerde artış sağlanmıştır. Başka bir çalışmada *Rhizobium leguminosarum* strain PEPV16'nın marul ve havuç köklerine kolonize olarak bitkilerin köklerinde kuru madde artışına neden olduğu ve bitki büyümesini teşvik ettiği saptanmıştır (Flores-Félix vd., 2013). Bununla birlikte Taşbaşı (2013) tarafından yapılan çalışmada farklı tuz konsantrasyonlarında bakteri uygulamalarının (*Bacillus subtilis* strain E2, *Bacillus atrophaeus* strain E6, *Pseudoalteromonas nigrifaciens* strain E38 ve *Kocuria erythromyxa* strain E43) kıvrıcık marulun bitki boyuna, yaprak sayısına, kök uzunluğuna, yaprak kuru madde miktarına, kök yaş ağırlığına, kök kuru ağırlığına, kök kuru madde miktarına, gövde ve kök çapına etkisinin önemsiz olduğu bulunmuştur.

Bakteri uygulamalarının hangi mekanizmalarla bitki gelişim parametrelerinde artışa neden oldukları incelendiğinde çalışmada kullanılan strainlerin hepsinin azotu fikse ettiği, fosfatı çözdüğu, IAA ürettiği görülmektedir. Strainlerden iki tanesinde ise (*V. pantothenicus* strain YÖ19 ve *H. huttiense* SK4) siderefor üretiminin pozitif olduğu dikkat çekmektedir. Nitekim İndol Asetik Asit (IAA) gibi artan bitki hormonu sentezinin, tohum çimlenmesini ve bitki büyümesini destekleyen spesifik enzimlerin aktivitesinin ana tetikleyicisi olduğu ifade edilmektedir (Balloi vd., 2010). Rusya'da yapılan bir çalışmada farklı cinslere ait (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Erwinia*, *Burkholderia*, *Chryseobacterium*, *Agrobacterium* *Stenotrophomonas* ve *Flavobacterium*) bakteri strainlerinin indol asetik asit üretimleri test edilmiştir ve türlerin indol asetik asit üreterek kök oluşumu arttırdıkları ve bitki büyümesinde IAA'in önemli bir uyarıcı olduğu belirlenmiştir (Tsavkelova vd., 2007).



## SONUÇ

Tohum çimlenmesi, bitki yaşamında önemli bir gelişimsel süreçtir ve bu nedenle bitki yetiştiriciliği için son derece önemlidir. Bu süreçte, sürekli çalışan bir gen ve hormon ağı nedeniyle birçok biyokimyasal değişiklik meydana gelmektedir. Tohum çimlenmesinin hızı, tekdüzeliği ve kalitesi, bitkinin sonraki büyümesini ve durumunu önemli ölçüde etkilemektedir. Bu yönüyle çalışmada yer alan bakteri strainleri marul tohumunun çimlenme hızı ve oranında olumlu etkisiyle dikkat çekmektedir. Çalışmanın sonuçları tohum çimlenmesinde esas olarak oksinlerin rol aldığını, fosfat çözünürlüğünün de önem taşıdığını göstermektedir. Bu nedenle başarılı bulunan strainlerle yapılacak tohum bakterizasyonunun marul tohumlarının çimlenmesini arttıracığı ve fide büyümesi için erken destek sağlama potansiyeline sahip olacağı görülmektedir. Bakteri strainlerinin marul gelişim parametrelerine etkisi genel olarak değerlendirildiğinde bakteri uygulamalarının tamamının gübre uygulaması ile eşdeğer ve/veya daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. İncelenen 11 parametre açısından *Brevibacillus parabrevis* strain SB29'un 8 parametrede gübre uygulamasından daha iyi sonuç verdiği, kalan parametreler için ise gübre ile aynı etkiyi gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle çalışmanın sonuçları *Brevibacillus parabrevis* strain SB29'un sahip olduğu bitki gelişimini teşvik mekanizmaları ile (azot fikse etme, fosfor, potasyum ve kalsiyumu çözme, IAA üretme) marul yetiştiriciliğinde gübreleme programına dahil edilebileceğini göstermiştir. Böylece kimyasal gübre kullanımı azaltılarak uzun vadede toprak sağlığı korunacak ve bitki veriminin artırılması sağlanacaktır.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## YAZAR KATKISI

Bitki gelişimini uyarıcı bakterilerin kıvrıkcık marul (*Lactuca sativa* var. *crispa*) yetiştiriciliğine etkisi Ö. ALPAGO; fikir, veri analizi M. F. DÖNMEZ (I. Danışman); etkili bulunan bakteri strainlerinin mekanizmalarının belirlenmesi B. SUNYAR; yazma-inceleme ve düzenleme Ö. ALPAGO, M. F. DÖNMEZ, B. SUNYAR ve İ. ÇORUH (II. Danışman). Tüm yazarlar makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

## TEŞEKKÜR

2019-FBE-L08 numaralı projenin desteklenmesinde verdikleri katkıdan dolayı Iğdır Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Akbay, F. T. (2012). Farklı azot dozlarında yetiştirilen marulda (*Lactuca sativa* L.) *Paenibacillus polymyxa* uygulamalarının verim, bitki gelişimi ve besinelementi içeriğine etkisi. [Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>.
- Asghar, H., Zahir, Z., Arshad, M., & Khaliq, A. (2002). Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassica juncea* L. *Biology and Fertility of Soils*, 35, 231-237. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0462-8>.
- Balloi, A., Rolli, E., Marasco, R., Mapelli, F., Tamagnini, I., Cappitelli, F., & Daffonchio, D. (2010). The role of microorganisms in bioremediation and phytoremediation of polluted and stressed soils. *Agrochimica*, 54(6), 353-369.
- Brahim, A. H., Ali, M. B., Daoud, L., Jlidi, M., Akreimi, I., & Hmani, H. (2022). Biopriming of durum wheat seeds with endophytic diazotrophic bacteria enhances tolerance to *Fusarium* head blight and salinity. *Microorganisms* 10:970. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10050867>.
- Çelik, Y. (2021). Bitki Büyümesini Teşvik Eden Rizobakteri (PGPR) ve Artan Dozlarda Deniz Yosunu Uygulamalarının Marul (*Lactuca Sativa* L) Yetiştiriciliğinde Bitki Gelişimi, Verim ve Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2), 219-225. <https://doi.org/10.25308/aduziraat.1114264>.
- Ekinci M., Dursun A., & Dönmez M. F. (2008). *Farklı rizobakterilerin marulda bitki gelişimi üzerine etkileri*. [Sözlü bildiri]. 7. Sebze Tarımı Sempozyumu. Yalova.
- Eşiyok, D. (2012). *Kışlık ve Yazlık Sebze Yetiştiriciliği*. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları.

- Fahsi, N., Mahdi, I., Mesfioui, A., Biskri, L., & Allaoui, A. (2021). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria isolated from the Jujube (*Ziziphus lotus*) plant enhance wheat growth, Zn uptake, and heavy metal tolerance. *Agriculture*, 11(4), 316. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040316>.
- Fiodor, A., Ajjah, N., Dziewit, L., & Pranaw, K. (2023). Biopriming of seed with plant growth-promoting bacteria for improved germination and seedling growth. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1142966>.
- Flores-Félix, J. D., Menéndez, E., Rivera, L. P., Marcos-García, M., Martínez-Hidalgo, P., Mateos, P. F., & Rivas, R. (2013). Use of *Rhizobium leguminosarum* as a potential biofertilizer for *Lactuca sativa* and *Daucus carota* crops. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(6), 876-882. <https://doi.org/10.1002/jpln.201300116>.
- Grover, M., Bodhankar, S., Sharma, A., Sharma, P., Singh, J., & Nain, L. (2021). PGPR mediated alterations in root traits: way toward sustainable crop production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 618230. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.618230>.
- Hagaggi, N. S. A., & Mohamed, A. A. (2020). Enhancement of *Zea mays* (L.) growth performance using indole acetic acid producing endophyte *Mixta theicola* isolated from *Solenostemma argel* (Hayne). *South African Journal of Botany*, 134, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.02.034>.
- Kaçar, B., & İnal, A. (2008). *Bitki Analizleri*. Fen Bilimleri Nobel Yayınları.
- Karagöz, K., & Kotan, R. (2010). Bitki gelişimini teşvik eden bazı bakterilerin marulun gelişimi ve bakteriyel yaprak lekeli hastalığı üzerine etkileri. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 1(2), 165-179. ISSN 2146-0035.
- Kaymak, H. Ç., Güvenç, İ., Yaralı, F., & Dönmez, M. F. (2009). The effects of bio-priming with PGPR on germination of radish (*Raphanus sativus* L.) seeds under saline conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33(2), 173-179. <https://doi.org/10.3906/tar-0806-30>.
- Klement, Z., Rudolph, K., & Sands, D. C., (1990). *Methods in Phytobacteriology*. Akademia Kiado, Budapest.
- Koike, S. T., Gladders, P., & Paulus, A. O. (2007). *Vegetable diseases: a color handbook*. Gulf Professional Publishing.
- Lehtonen, M. J. (2009). *Rhizoctonia solani* as a potato pathogen variation of isolates in Finland and host response. University of Helsinki Finland, *Academic Dissertation in Plant Pathology*, 81. <http://hdl.handle.net/10138/20748>.
- Louden, B. C., Haarmann, D., & Lynne, A. M. (2011). Use of blue agar CAS assay for siderophore detection. *Journal of Microbiology and Biology Education*, 12(1):51-53. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v12i1.249>.
- Mahdi, I., Fahsi, N., Hafidi, M., Allaoui, A., & Biskri, L. (2020). Plant growth enhancement using rhizospheric halotolerant phosphate solubilizing bacterium *Bacillus licheniformis* QA1 and *Enterobacter asburiae* QF11 isolated from *Chenopodium quinoa* willd. *Microorganisms*, 8(6), 948. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060948>.
- Mangmang, J. S., Deaker, R., & Rogers, G. (2016). Inoculation effect of *Azospirillum brasilense* on basil grown under aquaponics production system. *Organic agriculture*, 6(1), 65-74. <https://doi.org/10.1007/s13165-015-0115-5>.
- Naikofi, Y. M., & Rusaie, A. (2017). Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) application and pesticide type on growth and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Savana Cendana*, 2(04), 71-73. <https://doi.org/10.32938/sc.v2i04.160>.
- Pandey, S., & Gupta, S. (2020). Evaluation of *Pseudomonas* sp. for its multifarious plant growth promoting potential and its ability to alleviate biotic and abiotic stress in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants. *Scientific Reports*, 10(1), 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77850-0>.
- Penrose, D. M., & Glick, B. R. (2003). Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. *Physiologia plantarum*, 118(1), 10-15. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2003.00086.x>.
- Pérez-Jaramillo, J. E., Mendes, R., & Raaijmakers, J. M. (2016). Impact of plant domestication on rhizosphere microbiome assembly and functions. *Plant molecular biology*, 90, 635-644. <https://doi.org/10.1007/s11103-015-0337-7>.
- Szczeczek, M., Szafirowska, A., Kowalczyk, W., Szejda-Grzybowska, J., Włodarek, A., & Maciorowski, R. (2016). The effect of plant growth promoting bacteria on transplants growth and lettuce yield in organic production. *Journal of Horticultural Research*, 24(2), 101-107. <https://doi.org/10.1515/johr-2016-0026>.
- Taşbaşı, B. İ. (2013). *Farklı Rhizobakteri Uygulamalarının Tuzlu Koşullarda Kıvrıkcık Marul (Lactuca sativa var. crispa) Çeşitlerinde Tohum Çimlenmesi ve Fide Gelişimi Üzerine Etkisi*. [Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>.
- Toprak, E. (2012). *Kök bakterilerinin farklı substratlarda domates yetiştiriciliğine etkisi*. [Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>.
- Tsavkelova, E. A., Cherdyntseva, T. A., Botina, S. G., & Netrusov, A. I. (2007). Bacteria associated with orchid roots and microbial production of auxin. *Microbiological research*, 162(1), 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.07.014>.
- Vio, S. A., Galar, M. L., Gortari, M. C., Balatti, P., Garbi, M., Lodeiro, A. R., & Luna, M. F. (2023). Multispecies Bacterial Bio-Input: Tracking and Plant-Growth-Promoting Effect on Lettuce var. sagess. *Plants*, 12(4), 736. <https://doi.org/10.3390/plants12040736>.

- Yıldırım, E., & Güvenç, İ. (2006). Salt tolerance of pepper cultivars during germination and seedling growth. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(5), 347-353. <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol30/iss5/5>.
- Yıldız, M.A. (2019). *Farklı Baş Salata (Lactuca sativa Var. Capitata) Çeşitlerinde Pgpr Kullanımının Verim ve Kalite Üzerine Etkileri*. [Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>.