

Azospirillum lipoferum ve Deniz Yosunu Özütünün Sakız Kabağı (*Cucurbita pepo* L.) Fidelerinin Büyüme ve Gelişim Parametreleri Üzerindeki Etkileri

Effects of *Azospirillum lipoferum* and Seaweed Extract on Growth and Development Parameters of Zucchini (*Cucurbita pepo* L.) Seedlings

 Yadigar Leyla DOĞAN¹,  Özlem ÜZAL²,  Ömer ÖZTAŞ²,  Fikret YAŞAR²

Özet

Çalışma, *Azospirillum lipoferum* (AzL) ve deniz yosunu özütünün (DY), sakız kabağı (*Cucurbita pepo* L.) fidelerinde büyüme ve gelişim parametrelerine etkilerini incelemek amacıyla yürütülmüştür. Deneme kontrollü iklim koşullarında gerçekleştirilmiş ve biyostimülantlar üç farklı dozda (1.25 ml/L, 2.5 ml/L, 5 ml/L) tek başına ve kombinasyon halinde uygulanmıştır. Çalışmada gövde boyu (cm), gövde çapı (mm), yaprak sayısı (adet), boğum arası mesafe (mm), kök uzunluğu (cm), yaş ve kuru ağırlık (g) gibi büyüme parametreleri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, uygulamaların kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde iyileşme sağladığını göstermiştir ($p<0.05$). Özellikle *Azospirillum* ve deniz yosununun orta doz kombinasyonu (2.5 ml/L), büyüme ve biyokütle parametrelerinde en yüksek değerleri sağlamıştır. Sonuçlar, bu biyostimülantların, fidecilikte çevre dostu ve sürdürülebilir alternatifler olarak kullanılma potansiyelini desteklemektedir. İlerleyen araştırmalarda, bu uygulamaların farklı bitki türleri ve çevresel stres koşulları üzerindeki etkilerinin araştırılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Cucurbita pepo* L., PGPR, *Azospirillum lipoferum*, deniz yosunu

Abstract

The study was conducted to investigate the effects of *Azospirillum lipoferum* (AzL) and seaweed extract (DY) on the growth and development parameters of zucchini (*Cucurbita pepo* L.) seedlings. The experiment was carried out under controlled climatic conditions, and the biostimulants were applied at three different doses (1.25 ml/L, 2.5 ml/L, 5 ml/L), both individually and in combination. Growth parameters such as stem height (cm), stem diameter (mm), number of leaves, internode length (mm), root length (cm), fresh and dry weight (g) were evaluated. The findings demonstrated that the treatments significantly improved growth compared to the control group ($p<0.05$). Notably, the medium-dose combination (2.5 ml/L) of *Azospirillum* and seaweed extract yielded the highest values for growth and biomass parameters. The results support the potential use of these biostimulants as environmentally friendly and sustainable alternatives in seedling production. Future studies are recommended to explore the effects of these applications on different plant species and under various environmental stress conditions.

Keywords: *Cucurbita pepo* L., PGPR, *Azospirillum lipoferum*, seaweed

1. Giriş

Dünyada nüfusun hızla artması, tarımsal üretimin artırılmasını ve artan gıda ihtiyacının sürdürülebilir bir şekilde karşılanmasını zorunlu hale getirmektedir (Bhat ve ark., 2023). Tarım alanlarının sınırlı olması, verimliliğin artırılmasını gerektirirken kimyasal gübrelerin yoğun kullanımına yol açmıştır (Namara ve ark., 2024). Ancak, kimyasal gübrelerin aşırı ve kontrolsüz kullanımı, uzun vadede toprak yapısını bozmakta, biyolojik çeşitliliği azaltmakta ve çevresel sürdürülebilirliği tehdit etmektedir (Lee ve ark., 2021; Aoudi ve ark., 2024). Bu durum, tarımsal üretimde çevre dostu uygulamaların giderek önem kazanmasına neden olmaktadır (Chieb ve Gachomo, 2023). Bu bağlamda biyostimülantlar (deniz yosunu özleri, mikrobiyal ürünler ve humik/fulvik asitler), tarımsal üretimde çevresel sürdürülebilirliği destekleyen önemli alternatifler olarak öne çıkmaktadır (Shahwar ve ark., 2023). Besin alımı, su kullanımı ve stres yönetimi gibi süreçleri iyileştirerek bitkilerin büyümesini ve dayanıklılığını artıran biyostimülantlar, fidecilik sektöründe giderek daha fazla uygulanmaktadır (Kibar, 2020; Şensoy, 2024). Türkiye, fide üretiminde hızlı bir büyüme göstermiş; 2013 yılında yaklaşık 3,2 milyar adet olan üretim, 2023 yılında 6 milyar adede ulaşmıştır (TÜRKTÖB, 2024). Fide yetiştiriciliği, erkencilik, yüksek verim, kök hastalıklarına dayanıklılık ve homojen büyüme gibi avantajlar sunmaktadır (Demir ve ark., 2020; Tüzel ve ark., 2021; Şa ve ark., 2023). Bu süreçte yaygın olarak kullanılan torf, hastalıklardan arındırılmış yapısı ve yüksek su tutma kapasitesiyle öne çıkmaktadır (Sharma ve ark., 2022). Ancak torf ortamında yetişen fideler, iki yapraklı döneme ulaştıklarında besin eksikliğini önlemek amacıyla gübreleme yapılmasına ihtiyaç duymaktadır (Tüzel ve ark., 2021; Şa ve ark., 2023). Bu bağlamda, biyostimülantlar, fidelerin besin eksikliğini giderilmesi ve gelişim süreçlerinin desteklenmesi açısından etkili bir alternatif olarak değerlendirilmektedir.

Son yıllarda ön plana çıkan biyostimülantlar, hem besin alımını optimize ederek hem de hormonal etkilerle bitki gelişimini destekleyerek fide kalitesini artırmaktadır (Garcia-Villaraco ve ark., 2024). Deniz yosunu özütleri, biyostimülantlar arasında önemli bir yere sahiptir ve fide yetiştiriciliğinde kök gelişimini destekleyen, bitkilerin stres koşullarına dayanıklılığını artıran biyoaktif bileşikler içermektedir. Birçok araştırmacı, bu özütlerin oksin ve sitokinin gibi bitki hormonlarını düzenleyerek büyümeyi olumlu yönde etkilediğini vurgulamaktadır (Delitte ve ark., 2021; Aremu ve ark., 2022). Bunun yanı sıra, bitki büyüme düzenleyici bakteriler (PGPR - Bitki Gelişim Teşvik Edici Rizobakteriler) de biyostimülantlar arasında önemli bir konuma sahiptir. Bu bakteriler, azot fiksasyonu, fosfor

çözünürlüğü ve fitohormon sentezi gibi mekanizmalar aracılığıyla fide kalitesini artırmada etkin bir rol oynamaktadır (Cervantes-Vázquez ve ark., 2021; Miceli ve ark., 2021; South ve ark., 2021). Özellikle *Azospirillum spp.*, azot biyofiksasyonu yoluyla sürdürülebilir üretime katkı sağlamaktadır (Masson-Boivin ve Sachs, 2018; Yaghoubi Khangahi ve ark., 2024). Çalışmada, sakız kabağı fide yetiştiriciliğinde kimyasal gübre kullanımına alternatif olarak *Azospirillum lipoferum* ve deniz yosunu özütü uygulanmıştır. Araştırmanın temel amacı, biyostimülantların fidecilikte kullanımının önemini vurgulamak ve organik fide yetiştiriciliği için bir alternatif olarak değerlendirilebilecek potansiyel katkılarını ortaya koymaktır. Bu kapsamda, biyostimülantların sakız kabağı fidelerinin büyüme ve gelişim parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve organik fide yetiştiriciliğine yönelik sürdürülebilir bir yaklaşım sunulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

Deneme, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Fizyoloji Laboratuvarı'na ait iklim odasında gerçekleştirilmiş ve araştırmada *Cucurbita pepo* L. beyaz sakız kabak çeşidi materyal olarak kullanılmıştır. Deneme, kontrollü çevre koşulu sağlamak amacıyla yürütülmüş; ortam sıcaklığı $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$, bağıl nem ise %60-70 arasında sabit tutulmuş, aydınlatma süresi ise 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık olarak düzenlenmiştir. Bitkilerin yetiştirilmesinde kullanılan ortam, torf ve perlitin hacimsel olarak eşit miktarlarda karıştırılmasıyla oluşturulmuş ve karışım viyollere yerleştirilmiştir. Her bir viyole tohumlar aynı derinlikte ekilmiş (2 Şubat 2024), çimlenme süresince tohumlar saf su ile sulanmış ve nem kaybını önlemek için viyollerin üzeri kâğıtla kaplanmıştır. Çimlenme tamamlandıktan sonra kâğıtlar kaldırılmış ve bitkiler gelişimlerini iklim odasında sürdürmüştür. Gerçek yaprak oluşumu gözlemlenen bitkiler (4 Mart 2024) üzerinde büyümeyi teşvik edici çeşitli uygulamalar yapılmıştır. Çalışmada toplam 10 farklı uygulama grubu yer almıştır: AzL-1, AzL-2, AzL-3, DY-1, DY-2, DY-3, AzL+DY-1, AzL+DY-2, AzL+DY-3 ve kontrol. Deneme tesadüf parselleri desenine göre, her grupta üç tekerrür olacak şekilde kurulmuştur. Grupların tamamı değerlendirildiğinde, çalışma toplamda 90 bitki üzerinde gerçekleştirilmiştir. Denemenin uygulama grupları farklı dozlarda düzenlenmiştir. *Azospirillum lipoferum* (AzL) uygulamaları AzL-1 (1.25 ml/L), AzL-2 (2.5 ml/L) ve AzL-3 (5 ml/L) dozlarında uygulanmıştır. Deniz yosunu özütü (DY) uygulamaları ise DY-1 (1.25 ml/L), DY-2 (2.5 ml/L) ve DY-3 (5 ml/L) dozlarında gerçekleştirilmiştir. Kombinasyon gruplarında, *Azospirillum lipoferum* ve deniz yosunu özütü eşit dozlarda birlikte uygulanmıştır. Buna göre, AzL+DY-1 grubu (1.25 ml/L AzL + 1.25 ml/L DY), AzL+DY-2

grubu (2.5 ml/L AzL + 2.5 ml/L DY) ve AzL+DY-3 grubu (5 ml/L AzL + 5 ml/L DY) dozlarından oluşmaktadır. Kontrol grubunda ise bitkilere yalnızca saf su uygulanmıştır. Biyostimülantlar saf suya eklenerek homojen bir şekilde karıştırılmış ve elde edilen karışım gelişme ortamına verilmiştir. İşlemler bir hafta arayla iki kez tekrarlanmıştır (1. PGPR uygulaması 4 Mart 2024- 2. PGPR uygulaması 11 Mart 2024). Deneme süresince bitkiler, gelişim durumlarına göre her 2-3 günde bir düzenli olarak saf su ile sulanmıştır. Denemede kullanılan *Azospirillum lipoferum* bakterisi (1×10^6 kob/ml) Agrobrest firmasından, deniz yosunu özü ise Timac Agro firmasının Fertileader Vital [N-%9; P-%5; K-%4; B-%0.05; Cu-%0.02; Fe-%0.02; Mn-%0.1; Mo-%0.01; Zn-%0.05; yoğunluk %1.16 g/ml; Seactiv™ kompleksi (isopentyl adenin, glisin-betain, bitkisel kaynaklı amino asitler)] ürünü olarak temin edilmiştir. Deneme sonunda dikim olgunluğuna ulaşan fidelerde (19 Mart 2024) çeşitli büyüme parametreleri ölçülmüştür. Gövde uzunluğu, kök boğazından büyüme ucuna kadar cetvelle ölçülmüş; gövde çapı ise kök boğazından dijital kumpas yardımıyla belirlenmiştir. Her bitkinin yaprak sayısı kaydedilmiş ve boğum arası mesafe, dijital kumpas kullanılarak 2. ve 3. boğum arasından ölçülmüştür. Hasat edilen bitkilerde kök uzunluğu cetvelle belirlenmiş, yeşil aksam ve köklerin yaş ağırlıkları hassas terazide tartılmıştır. Kuru ağırlık ölçümleri için; bitkiler 70°C’de yaklaşık 72 saat etüvde kurutulmuş ve ardından tartılmıştır. Elde edilen veriler, Statgraphics istatistik analiz yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş, varyans analizi uygulanmış ve sonuçlar %5 anlamlılık seviyesinde Duncan testi ile istatistiksel olarak gruplandırılmıştır.

3. Bulgular

Çalışmadan gövde ve boğum arası parametrelerinden elde edilen değerler Çizelge 1’de, kök parametrelerinden elde edilen değerler Çizelge 2’de, yaprak parametrelerinden elde edilen değerler Çizelge 3’de, toplam yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları ise Çizelge 4’de belirtilmiştir.

Çizelge 1. Uygulamaların gövde ve boğum arası parametreleri üzerine etkileri.

Uygulamalar	Gövde Boyu (cm)	Gövde Çapı (mm)	Gövde Yaş Ağırlığı (g)	Gövde Kuru Ağırlığı (g)	Boğum Arası (mm)
Kontrol	3.977±0.64 C	3.804±0.68 CD	0.707±0.38 C	0.055±0.01 B	9.604±3.97 D
AzL-1	5.267±0.95 AB	3.556±0.40 D	0.713±0.17 C	0.062±0.02 B	11.791±5.94 B-D
AzL-2	5.344±0.55 AB	3.720±0.25 D	0.834±0.09 BC	0.078±0.01 AB	15.843±5.29 AB
AzL-3	4.978±1.19 A-C	4.009±0.59 A-D	0.722±0.20 BC	0.071±0.02 AB	13.364±4.49 A-D
DY-1	4.944±0.98 A-C	4.383±0.68 AB	1.113±0.29 A	0.085±0.04 AB	12.058±5.16 B-D
DY-2	4.811±0.57 A-C	4.260±0.62 A-C	0.870±0.10 BC	0.065±0.01 B	10.512±2.92 CD
DY-3	4.356±1.75 BC	3.820±0.42 CD	0.829±0.23 BC	0.060±0.02 B	9.463±3.35 D

AzL+DY-1	5.789±1.25 A	3.894±0.42 B-D	0.954±0.27 AB	0.087±0.03 AB	17.390±7.93 A
AzL+DY-2	5.464±0.85 A	4.333±0.19 A-C	0.912±0.16 A-C	0.132±0.18 A	17.521±5.46 A
AzL+DY-3	5.822±0.84 A	4.532±0.54 A	0.880±0.12 BC	0.067±0.01 B	15.211±3.18 A-C
P Değeri	0.0036	0.0006	0.0049	0.3195	0.0014

*Aynı sütunda farklı harfi alan ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir ($p \leq 0.05$).

*Değerler (ortalama ± standart sapma) olarak verilmiştir.

3.1. Gövde boyu

Farklı uygulamaların kabak bitkisi gövde boyu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığı ve kontrol bitkilerine kıyasla AzL-1, AzL-2, AzL+DY-1, AzL+DY-2, AzL+DY-3 uygulamalarının istatistiksel olarak anlamlı bir artış sağladığı saptanmıştır ($p < 0.05$). AzL dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %34.37 artış ile AzL-2 (5.344 cm) uygulamasında, DY dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %24.31 artış ile DY-1 (4.944 cm) uygulamasında, AzL+DY kombinasyon dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %46.39 artış ile AzL+DY-3 (5.822 cm) uygulamasında kaydedilmiştir (Çizelge 1). Kontrol grubu (3.977 cm) bitkilerine kıyasla tüm uygulama ve dozlar arasından en yüksek değer % 46.39 artış ile AzL+DY-3 (5.822 cm) uygulamasında gözlemlenmiştir, en düşük değer ise % 9.53 artış ile DY-3 (4.356 cm) uygulamasında belirlenmiştir.

3.2. Gövde çapı

Farklı uygulamaların kabak bitkisi gövde çapı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığı ve kontrol bitkilerine kıyasla DY-1, AzL+DY-3 uygulamalarının istatistiksel olarak anlamlı bir artış sağladığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). AzL dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %5.39 artış ile AzL-3 (4.009 mm) uygulamasında, DY dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %15.22 artış ile DY-1 (4.383 mm) uygulamasında, AzL+DY kombinasyon dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %19.14 artış ile AzL+DY-3 (4.532 mm) uygulamasında saptanmıştır (Çizelge 1). Kontrol grubu (3.804 mm) bitkilerine kıyasla tüm uygulama ve dozlar arasından en yüksek değer %19.14 artış ile AzL+DY-3 (4.532 mm) uygulamasında iken en düşük değer ise %6.52 azalış ile AzL-1 (3.556 mm) uygulamasında kaydedilmiştir.

3.3. Gövde yaş ağırlığı

Farklı uygulamaların kabak bitkisi gövde yaş ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığı ve kontrol bitkilerine kıyasla DY-1, AzL+DY-1 uygulamalarının istatistiksel olarak anlamlı bir artış sağladığı saptanmıştır ($p < 0.05$). AzL dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %17.96 artış ile AzL-2 (0.834 g) uygulamasında, DY

dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %57.43 artış ile DY-1 (1.113 g) uygulamasında, AzL+DY kombinasyon dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %34.94 artış ile AzL+DY-1 (0.954 g) uygulamasında belirlenmiştir (Çizelge 1). Kontrol grubu (0,707 g) bitkilerine kıyasla tüm uygulama ve dozlar arasından en yüksek değer %57.43 artış ile DY-1 (1.113 g) uygulamasında iken en düşük değer ise %0.85 artış ile AzL-1 (0.713 g) uygulamasında tespit edilmiştir.

3.4. Gövde kuru ağırlığı

Farklı uygulamaların kabak bitkisi gövde kuru ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığı saptanmıştır ($p > 0.05$). AzL dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %41.82 artış ile AzL-2 (0.078 g) uygulamasında, DY dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %54.55 artış ile DY-1 (0.085 g) uygulamasında, AzL+DY kombinasyon dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %140 artış ile AzL+DY-2 (0.132 g) uygulamasında tespit edilmiştir (Çizelge 1). Kontrol grubu (0.055 g) bitkilerine kıyasla tüm uygulama ve dozlar arasından en yüksek değer %140 artış ile AzL+DY-2 (0.132 g) iken en düşük değer ise %9.09 artış ile DY-3 (0.06 g) uygulamasında belirlenmiştir.

3.5. Boğum arası mesafe

Farklı uygulamaların kabak bitkisi boğum arası mesafe üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığı ve kontrol bitkilerine kıyasla AzL-2, AzL+DY-1, AzL+DY-2, AzL+DY-3 uygulamalarının istatistiksel olarak anlamlı bir artış sağladığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). AzL dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %64.96 artış ile AzL-2 (15.843 mm) uygulamasında, DY dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %25.55 artış ile DY-1 (12.058 mm) uygulamasında, AzL+DY kombinasyon dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %82.43 artış ile AzL+DY-2 (17.521 mm) uygulamasında saptanmıştır (Çizelge 1). Kontrol grubu (9.604 mm) bitkilerine kıyasla tüm uygulama ve dozlar arasından en yüksek değer %82,43 artış ile AzL+DY-2 (17.521 mm) iken en düşük değer ise %1.50 azalma ile DY-3 (9.46 mm) belirlenmiştir.

Çizelge 2. Uygulamaların kök parametreleri üzerine etkileri.

Uygulamalar	Kök Yaş Ağırlığı (g)	Kök Kuru Ağırlığı (g)	Kök Uzunluğu (cm)
Kontrol	1.291±0.27 BC	0.081±0.01 AB	21.101±7.18 AB
AzL-1	1.500±0.25 B	0.065±0.02 CD	17.333±1.43 AB
AzL-2	2.064±0.29 A	0.086±0.01 A	22.200±4.79 A
AzL-3	1.492±0.35 B	0.069±0.01 BC	21.133±9.55 AB
DY-1	1.514±0.26 B	0.073±0.02 A-C	19.533±4.94 AB
DY-2	1.112±0.16 C	0.053±0.01 DE	17.311±4.32 AB
DY-3	0.817±0.16 D	0.043±0.01 E	15.367±3.54 B
AzL+DY-1	1.137±0.48 C	0.061±0.02 CD	19.633±4.37 AB
AzL+DY-2	1.316±0.34 BC	0.074±0.01 A-C	19.033±5.49 AB
AzL+DY-3	1.268±0.20 BC	0.059±0.01 CD	17.378±4.95 AB
P Değeri	0.0000	0.0000	0.2059

*Aynı sütunda farklı harfi alan ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir ($p \leq 0.05$).

*Değerler (ortalama \pm standart sapma) olarak verilmiştir.

3.6. Kök yaş ağırlığı

Farklı uygulamaların kabak bitkisi kök yaş ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığı ve kontrol bitkilerine kıyasla AzL-2 uygulamasındaki artış ile DY-3 uygulamasındaki azalışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$). AzL dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %59.88 artış ile AzL-2 (2.064 g) uygulaması, DY dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %17.27 artış ile DY-1 (1.514 g) uygulaması, AzL+DY kombinasyon dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %1.94 artış ile AzL+DY-2 (1.316 g) grubu almıştır. Kontrol grubu (1.291 g) bitkilerine kıyasla tüm uygulama ve dozlar arasından en yüksek değer %59.88 artış ile AzL-2 (2.064 g) iken en düşük değer ise %36.72 azalış ile DY-3 (0.817 g) saptanmıştır.

3.7. Kök kuru ağırlığı

Farklı uygulamaların kabak bitkisi kök kuru ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığı ve kontrol bitkilerine kıyasla AzL-1, DY-2, DY-3, AzL+DY-1, AzL+DY-3 uygulamalarının istatistiksel olarak anlamlı bir azalış gösterdiği tespit edilmiştir ($p < 0.05$). AzL dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %6.17 artış ile AzL-2 (0.086 g) uygulamasında, DY dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %9.88 azalış ile DY-1 (0.073 g) uygulamasında, AzL+DY kombinasyon dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %8.64 azalış ile AzL+DY-2 (0.074 g) grubunda tespit edilmiştir. Kontrol grubu (0.081 g) bitkilerine kıyasla tüm uygulama ve dozlar arasından en yüksek değer % 6.17 artış ile AzL-2 (0.086 g) iken en düşük değer ise %46.91 azalış ile DY-3 (0.043 g) uygulamasında belirlenmiştir.

3.8. Kök uzunluğu

Farklı uygulamaların kabak bitkisi kök uzunluğu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığı saptanmıştır ($p > 0.05$). AzL dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %5.21 artış ile AzL-2 (22.2 cm) uygulaması, DY dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %7.58 azalış ile DY-1 (19.5 cm) uygulaması, AzL+DY kombinasyon dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %7.11 azalış ile AzL+DY-1 (19.6 cm) grubunda tespit edilmiştir. Kontrol grubu (21.1 cm) bitkilerine kıyasla tüm uygulama ve dozlar arasından en yüksek değer %5.21 artış ile AzL-2 (22.2 cm) iken en düşük değer ise %27.4 azalış ile DY-3 (15.3 cm) belirlenmiştir.

Çizelge 3. Uygulamaların yaprak parametrelerine etkisi.

Uygulamalar	Yaprak Sayısı (Adet)	Yaprak Yaş Ağırlığı (g)	Yaprak Kuru Ağırlığı (g)
Kontrol	3.000±0.00 C	1.254±0.18 E	0.176±0.05 DE
AzL-1	3.000±0.00 C	1.171±0.18 E	0.148±0.04 E
AzL-2	3.000±0.00 C	1.409±0.18 DE	0.190±0.04 C-E
AzL-3	3.000±0.00 C	1.178±0.25 E	0.166±0.04 E
DY-1	3.444±0.53 AB	2.466±0.43 A-C	0.298±0.09 A
DY-2	3.000±0.00 C	2.184±0.32 C	0.243±0.04 A-C
DY-3	3.667±0.50 A	2.669±0.54 A	0.281±0.07 AB
AzL+DY-1	3.333±0.50 A-C	1.651±0.38 D	0.228±0.07 B-D
AzL+DY-2	3.222±0.44 BC	2.223±0.44 BC	0.286±0.05 AB
AzL+DY-3	3.444±0.53 AB	2.552±0.48 AB	0.291±0.07 A
P Değeri	0.0001	0.0000	0.0000

*Aynı sütunda farklı harfi alan ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir ($p \leq 0.05$).

*Değerler (ortalama ± standart sapma) olarak verilmiştir.

3.9. Yaprak sayısı

Farklı uygulamaların kabak bitkisi yaprak sayısı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığı ve kontrol bitkilerine kıyasla DY-1, DY-3, AzL+DY-3 uygulamalarının istatistiksel olarak anlamlı bir artış sağladığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). AzL dozları yaprak sayısı üzerinde etkili olmamış, tüm dozlarda kontrol bitkisi ile aynı sonuç elde edilmiştir. DY dozlarında en yüksek değer DY-3 (3.667 adet) uygulamasında, AzL+DY kombinasyon dozlarından en yüksek değer ise AzL+DY-3 (3.444 adet) uygulamasında saptanmıştır. Kontrol grubu (3 adet) bitkilerine kıyasla tüm uygulama ve dozlar arasında en yüksek değer DY-3 (3.667 adet) uygulamasında tespit edilmiştir. En düşük değer ise kontrol grubu bitkileri ile aynı değeri veren AzL uygulamalarının tamamı olmuştur.

3.10. Yaprak yaş ağırlığı

Farklı uygulamaların kabak bitkisi yaprak yaş ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığı ve kontrol bitkilerine kıyasla DY-1, DY-2 DY-3, AzL+DY-1, AzL+DY-2, AzL+DY-3 uygulamalarının istatistiksel olarak anlamlı bir artış sağladığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). AzL dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %12.36 artış ile AzL-2 (1.409 g) uygulamasında, DY dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %112.84 artış ile DY-3 (2.669 g) uygulamasında, AzL+DY kombinasyon dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %103.51 artış ile AzL+DY-3 (2.552 g) uygulamasında saptanmıştır. Kontrol grubu (1.254 g) bitkilerine kıyasla tüm uygulama ve dozlar arasından en yüksek değer %112.84 artış ile DY-3 (2.669 g) iken en düşük değer ise %6.62 azalış ile AzL-1 (1.171 g) belirlenmiştir.

3.11. Yaprak kuru ağırlığı

Farklı uygulamaların kabak bitkisi yaprak kuru ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığı ve kontrol bitkilerine kıyasla DY-1, DY-2 DY-3, AzL+DY-2, AzL+DY-3 uygulamalarının istatistiksel olarak anlamlı bir artış sağladığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). AzL dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %7.95 artış ile AzL-2 (0.190 g) uygulamasında, DY dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %69.3 artış ile DY-1 (0.298 g) uygulamasında, AzL+DY kombinasyon dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %65.3 artış ile AzL+DY-3 (0.291 g) uygulamasında tespit edilmiştir. Kontrol grubu (0.176 g) bitkilerine kıyasla tüm uygulama ve dozlar arasından en yüksek değer %69.32 artış ile DY-1 (0.298 g) iken en düşük değer ise %15.91 azalış ile AzL-1 (0.148 g) uygulamasında belirlenmiştir.

Çizelge 4. Uygulamaların toplam yeşil aksam yaş ve kuru ağırlığı parametrelerine etkisi.

Uygulamalar	Toplam Yeşil Aksam Yaş Ağırlığı (g)	Toplam Yeşil Aksam Kuru Ağırlığı (g)
Kontrol	1.957±0.43 E	0.231±0.06 E
AzL-1	1.884±0.25 DE	0.211±0.06 C-E
AzL-2	2.243±0.22 E	0.268±0.06 DE
AzL-3	1.9±0.36 A	0.237±0.06 AB
DY-1	3.579±0.70 BC	0.383±0.11 B-D
DY-2	3.054±0.37 AB	0.309±0.05 A-C
DY-3	3.498±0.66 CD	0.342±0.08 B-D
AzL+DY-1	2.606±0.61 AB	0.315±0.10 A
AzL+DY-2	3.136±0.49 AB	0.418±0.18 A-C
AzL+DY-3	3.432±0.50 E	0.358±0.07 DE
P Değeri	0.0000	0.0000

*Aynı sütunda farklı harfi alan ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir ($p \leq 0.05$).

*Değerler (ortalama ± standart sapma) olarak verilmiştir.

3.12. Toplam yeşil aksam yaş ağırlığı

Farklı uygulamaların kabak bitkisi toplam yeşil aksam yaş ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığı ve kontrol bitkilerine kıyasla AzL-3, DY-1, DY-2 DY-3, AzL+DY-1, AzL+DY-2 uygulamalarının istatistiksel olarak anlamlı bir artış sağladığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). AzL dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %14.61 artış ile AzL-2 (2.243 g) uygulamasında, DY dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %82.88 artış ile DY-1 (3.579 g) uygulamasında, AzL+DY kombinasyon dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %75.37 artış ile AzL+DY-3 (3.432 g) uygulamasında tespit edilmiştir. Kontrol grubu (1.957 g) bitkilerine kıyasla tüm uygulama ve dozlar arasından en yüksek değer %82.88 artış ile DY-1 (3.579 g) iken en düşük değer ise %3.73 azalış ile AzL-1 (1.884 g) uygulamasında belirlenmiştir.

3.13. Toplam yeşil aksam kuru ağırlığı

Farklı uygulamaların kabak bitkisi toplam yeşil aksam kuru ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığı ve kontrol bitkilerine kıyasla AzL-3, DY-1, DY-2 DY-3, AzL+DY-1, AzL+DY-2 uygulamalarının istatistiksel olarak anlamlı bir artış sağladığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). AzL dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %16.02 artış ile AzL-2 (0.268 g) uygulamasında, DY dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %65.80 artış ile DY-1 (0.383 g) uygulamasında, AzL+DY kombinasyon dozlarından en yüksek değer kontrol bitkisine kıyasla %80.95 artış ile AzL+DY-2 (0.418 g) uygulamasında tespit edilmiştir. Kontrol grubu (0.231 g) bitkilerine kıyasla tüm uygulama ve dozlar arasından en yüksek değer %78.26 artış ile AzL+DY-2 (0.418 g) iken en düşük değer ise %8.66 azalış ile AzL-1 (0.211 g) uygulamasında belirlenmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Azospirillum lipoferum ve deniz yosunu özütünün tek başına ve kombinasyon halinde üç farklı dozda uygulanmasının kabak fidelerinin büyüme, kök gelişimi ve biyokütle üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Kök uzunluğu ve gövde kuru ağırlığı parametreleri hariç diğer parametrelerde kontrol grubuna kıyasla anlamlı artışlar gözlenmiş, özellikle kombinasyon uygulamalarında bu artışların daha belirgin olduğu tespit edilmiştir.



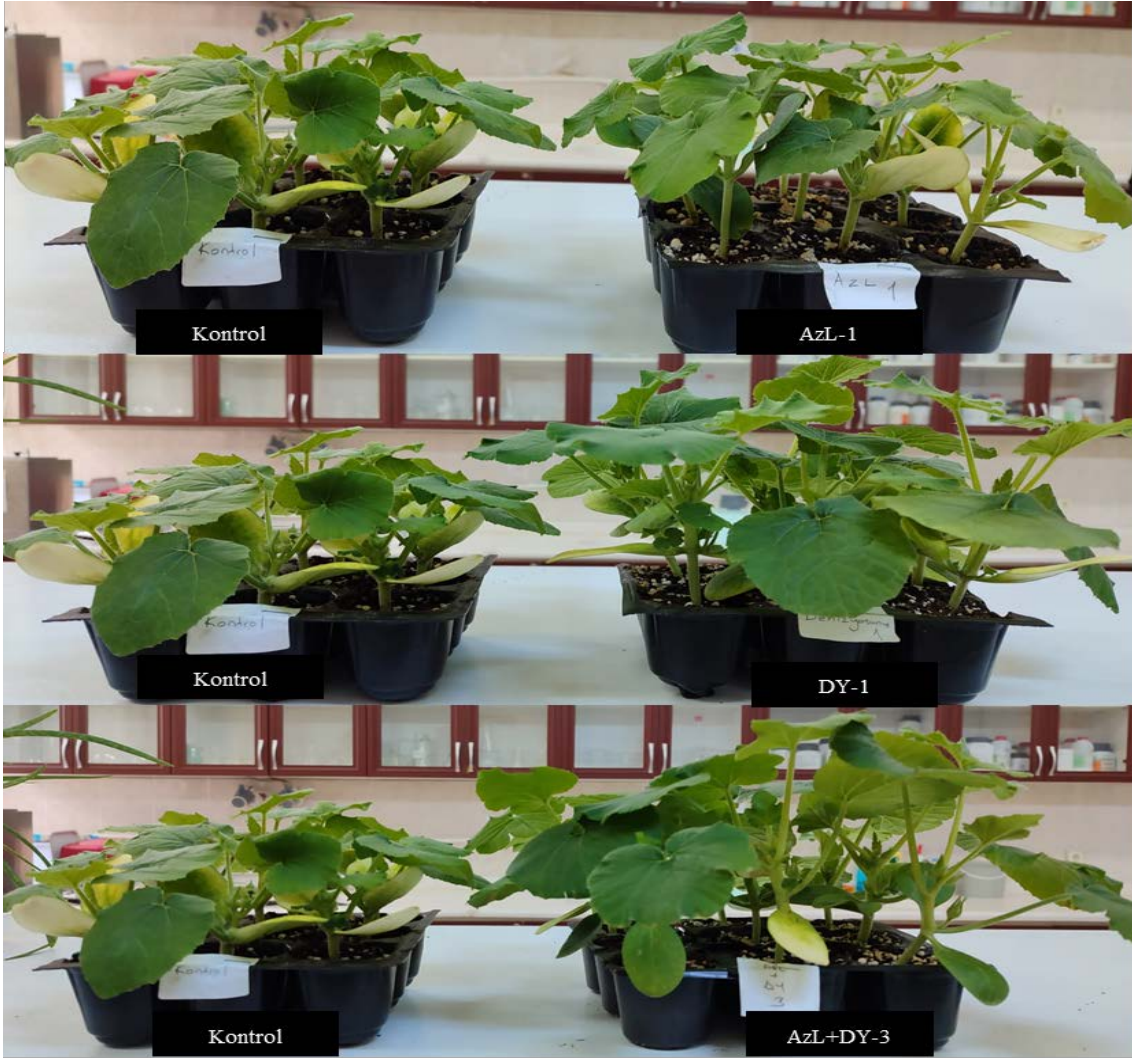
Şekil 1. Uygulama dozu (doz-1,doz-2,doz-3) hasat öncesi görseli.

Çalışmamızda *Azospirillum* uygulamalarının gövde boyu, gövde çapı ve boğum arası mesafe gibi önemli morfolojik parametrelerde anlamlı iyileşmelere neden olduğu tespit edilmiştir. Özellikle AzL-2 (2,5 ml/L) uygulaması, gövde boyu ve boğum arası mesafede en yüksek değerleri sağlarken, AzL-3 uygulamasının gövde çapında belirgin bir artış sağladığı gözlenmiştir (Çizelge 1). Bu bulgular, literatürde *Azospirillum*'un büyüme düzenleyici hormonlar [indol asetik asit (IAA), gibberellin ve sitokinin] sentezleyerek hücre bölünmesini

ve uzamasını teşvik ettiğini bildiren çalışmalarla (Molina ve ark., 2018; Rozier ve ark., 2019; Cassán ve ark., 2020) ve azot fiksasyonu yoluyla rizosferde kök beslenmesini iyileştirerek bitki gelişimini desteklediğini ifade eden araştırmalarla (Rozier ve ark., 2019; Salazar-Garcia ve ark., 2022; Jehani ve ark., 2023) örtüşmektedir. Öte yandan, AzL-3'ün yüksek dozlarında boğum arası mesafede gözlemlenen azalmanın, hormonal dengesizliklerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu durum, yüksek dozların oksin üretimini aşırı derecede uyararak kök uzamasını sınırlama potansiyeline sahip olabileceğini göstermektedir (Kumlay ve Eryiğit, 2011). Deniz yosunu özütü uygulamalarında, DY-1 (1,25 ml/L) dozu, gövde boyu, gövde çapı ve boğum arası mesafe gibi büyüme parametrelerinde diğer dozlara kıyasla üstün sonuçlar göstermiştir (Çizelge 1). Deniz yosununun doğal hormonlar ve iz elementler açısından zengin olduğu ve bitki metabolizmasını hızlandırabileceği literatürde belirtilmektedir (Gougoulas ve ark., 2018; Nephali ve ark., 2020). Bu bağlamda, çalışmamızda gözlemlenen gövde çapındaki artış ve yaprak gelişimi, deniz yosunu özütünün bu özellikleriyle ilişkili olabilir. DY-3 dozunda, gövde boyu ve boğum arası mesafede azalma gözlenmiştir. Bu durum, yüksek dozların bitkide metabolik stres oluşturarak büyümeyi sınırlayabileceğini düşündürmektedir. Benzer şekilde, Subramaniyan ve ark. (2023) çalışmasında, deniz yosunu özü içeren Kendal Root biyostimülantının farklı dozlarının kök gelişimine etkileri incelenmiş ve en iyi sonuçların 5.0 L ha⁻¹ dozunda elde edildiği rapor edilmiştir. Bu dozda kök kuru ağırlığı, kontrol grubuna göre %84,73 oranında artış göstermiştir. Ancak, 10.0 L ha⁻¹ dozunda kök gelişimindeki etkilerin azaldığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar, bu durumu yüksek dozların bitki metabolizmasında doygunluk etkisi yaratması ve metabolik dengesizliklere yol açmasıyla ilişkilendirmiştir. Ayrıca, yüksek dozların köklerde metabolik stres oluşturarak su ve besin alımını sınırlayabileceği ve bu durumun büyüme üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği belirtilmiştir.

Kök gelişimi açısından, kök uzunluğu, yaş ve kuru ağırlık parametrelerinde en yüksek değerler *Azospirillum* uygulamalarında AzL-2 dozunda, deniz yosunu özütü uygulamalarında ise DY-1 dozunda elde edilmiştir. Literatürde, *Azospirillum*'un oksin üretimi yoluyla ve rizosferde mikrobiyal popülasyonu artırarak kök hücre bölünmesini teşvik ettiği belirtilmiştir (Rozier ve ark., 2019; Salazar-Garcia ve ark., 2022; Jehani ve ark., 2023). Çalışmamızda elde edilen kök gelişimindeki artış, *Azospirillum*'un bu mekanizmaları ile ilişkilendirilebilir ve kök hücre bölünmesini destekleyerek büyüme parametrelerini iyileştirdiği düşünülebilir. Deniz yosununun zengin hormon ve mineral içeriğinin, kök metabolizmasını destekleyerek kök uzamasını ve ağırlığını artırdığı düşünülmektedir. Zhang ve ark. (2024) çalışmasında, deniz yosununun bu içeriklerinin bitki kök gelişimini olumlu

yönde etkilediği ifade edilmiştir. Çalışmamızda elde edilen kök uzaması ve ağırlığındaki artış da bu mekanizmalara bağlanabilir. Kombinasyon uygulamalarında AzL+DY-2 (2,5 ml/L) dozu kök ağırlıklarında maksimum değerlere ulaşmış, bu durum iki biyostimülantın tamamlayıcı etkileriyle ilişkilendirilmiştir. Fakat Mendez ve ark. (2023) çalışmasında, *Azospirillum brasilense* ile deniz yosunu özütlerinin (*Ascophyllum nodosum* ve *Macrocystis pyrifera*) kombinasyonunun hıyar bitkilerinde gövde çapı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Söz konusu çalışmada, bu iki biyostimülantın kombinasyon halinde uygulanmasının gövde çapı üzerinde olumlu bir etki sağladığı, ancak bu etkinin biyostimülantların tek başına uygulanmasından üstün olmadığı ifade edilmiştir. Özellikle yüksek konsantrasyonlarda (örneğin, 2500 ppm) kombinasyon uygulamasının, gövde çapı açısından beklenen sinerjik etkiyi göstermediği rapor edilmiştir. Bu bulgu, *Azospirillum* ve deniz yosunu özütünün birlikte uygulanmasının, vegetatif büyüme parametreleri açısından her zaman daha iyi sonuçlar vermeyebileceğini ortaya koymaktadır. Buna karşın, bizim gerçekleştirdiğimiz çalışmada, *Azospirillum lipoferum* ve deniz yosunu özütlerinin kombinasyon uygulamaları tüm parametrelerde etkili sonuçlar sağlamıştır. Bir diğer önemli parametrelerden toplam yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları, tüm uygulamalarda kontrol grubuna kıyasla anlamlı artışlar gözlenmiştir. AzL-2 ve DY-1 dozları, bu parametrelerde tek başına uygulamalarda en yüksek değerleri verirken, kombinasyon uygulamalarında AzL+DY-3 (5 ml/L) dozu tüm gruplar arasında toplam yeşil aksam kuru ağırlıklarında en yüksek sonucu sağlamıştır. Bu sonuçlar, *Azospirillum*'un azot fiksasyonu ve fitohormon üretiminin, deniz yosununun ise büyüme düzenleyici etkilerinin sinerjik bir şekilde etki ettiğini göstermektedir. Kombinasyonların yüksek dozlarda bile büyüme desteklemesi, bu iki biyostimülantın birlikte kullanımının etkili bir strateji olabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 2. Uygulama dozu (doz-1, doz-2, doz-3) hasat öncesi görseli.

Çalışmada elde edilen bulgular, literatürde rapor edilen *Azospirillum* ve deniz yosunu özütlerinin büyüme ve biyokütle üzerindeki olumlu etkileriyle uyumludur. Senthuran ve ark. (2019), *Kappaphycus alvarezii* deniz yosunu özütünün (SWE) yaprak sayısı ve yaş ağırlığını artırdığını, bu etkinin doğal büyüme düzenleyicilerden kaynaklandığını bildirmiştir. Ejaz ve ark. (2020) ise *Azospirillum* uygulamasının azot sabitleme, fitohormon üretimi ve fotosentezi destekleyerek yaprak sayısı ile yaş ve kuru ağırlığı artırdığını rapor etmiştir. Latef ve ark. (2020) ve Pérez-Rodríguez ve ark. (2020), *Azospirillum* türlerinin bitki büyümesi üzerindeki olumlu etkilerini vurgulamıştır. Her iki çalışmada da *Azospirillum*'un azot sabitleme, fitohormon üretimi (örneğin indol-3-asetik asit, gibberellin, absisik asit) ve kök gelişimini destekleme mekanizmalarıyla bitkilerin büyüme ve gelişiminde iyileşme sağladığı belirtilmiştir. Bu mekanizmaların, yaprak alanı, yaş ve kuru ağırlık gibi parametrelerin yanı sıra su ve besin alımını artırarak, özellikle stres koşullarında bitki performansını artırdığı ifade edilmiştir. Hassan ve ark. (2021) ile Günsan Can ve ark. (2022)

tarafından yapılan çalışmalarda, biyolojik kaynaklı uygulamaların bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki spesifik etkileri değerlendirilmiştir. Deniz yosunu özütünün hıyar bitkisinde yaprak sayısını artırdığı ve klorofil içeriğini iyileştirdiği; mikroalg uygulamalarının ise ıspanak bitkisinde gövde çapını %25.68 oranında artırdığı rapor edilmiştir. Bu etkilerin, deniz yosunu özütünün yaprak gelişimini desteklemesi ve klorofil sentezini artırması, mikroalglerin ise metabolik aktiviteleri destekleyerek besin alımını iyileştirmesi ve hücre bölünmesini teşvik etmesi gibi mekanizmalardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Sabatino ve ark. (2022), Mendez ve ark. (2023) ve Lefi ve ark. (2023) tarafından yapılan çalışmalarda, deniz yosunu özütlerinin bitki büyümesi ve fizyolojik parametreler üzerindeki olumlu etkileri incelenmiştir. Tüm çalışmalarda, deniz yosunu özütlerinin içerdiği fitohormonlar (özellikle oksin ve sitokin) ve biyoaktif bileşiklerin yaprak büyümesi, klorofil içeriği, fotosentez ve vejetatif gelişim parametrelerini iyileştirdiği vurgulanmıştır. Sabatino ve ark. (2022), *Ascophyllum nodosum* özütünün yaprak klorofil seviyelerini artırarak fotosentezi ve yaprak yüzey alanını iyileştirdiğini rapor etmişlerdir. Mendez ve ark. (2023), aynı türün yanı sıra *Macrocystis pyrifera* özütlerinin hıyar bitkilerinde gövde çapı gibi vejetatif büyüme parametrelerini artırdığını ve bu etkinin deniz yosunu özütlerindeki fitohormonlar ile ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Lefi ve ark. (2023), *Ascophyllum nodosum* özütünün farklı konsantrasyonlarının yaprak parametreleri üzerindeki etkilerini değerlendirmiş; düşük konsantrasyonun stomatal iletkenlik ve CO₂ asimilasyonunu artırarak yaprak büyümesini desteklediğini, yüksek konsantrasyonun ise klorofil içeriği, net fotosentez oranı ve transpirasyon oranını artırarak bitki büyümesini güçlendirdiğini bildirmiştir. El-Akhdar ve ark. (2024) ile Pappalettere ve ark. (2024a, 2024b), *Azospirillum* bakterisinin toprak özellikleri, kök gelişimi ve bitki dayanıklılığı üzerindeki olumlu etkilerini incelemiştir. Her üç çalışma, *Azospirillum*'un kök büyümesini teşvik ederek bitki besin alım kapasitesini artırdığını ve çevresel streslere dayanıklılığı güçlendirdiğini vurgulamaktadır. El-Akhdar ve ark. (2024), *Azospirillum*'un topraktaki organik madde seviyesi ile azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) içeriklerini artırarak, buğday bitkilerinde daha güçlü ve geniş bir kök sistemi oluşturduğunu rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada, bu iyileşmenin, bitkilerin kuraklık ve tuzluluk gibi stres koşullarına karşı dayanıklılığını artırdığı belirtilmiştir. Pappalettere ve ark. (2024a, 2024b) ise *Azospirillum baldaniorum* Sp245 ve *A. brasilense* Cd türlerinin, ürettikleri indol-3-asetik asit gibi fitohormonlar sayesinde domates fidelerinde kök uzunluğunu ve kök tüyü oluşumunu artırdığını bildirmişlerdir. Bu mekanizmaların kök mimarisini iyileştirerek, su ve besin alım

kapasitesini güçlendirdiği ve IAA'nın hücre bölünmesi ile uzaması üzerinde önemli bir rol oynadığı ifade edilmiştir.

Sonuç olarak, *Azospirillum* ve deniz yosunu özütünün tek başına ve kombinasyon halinde kullanımı, kabak fidelerinde büyüme, kök gelişimi ve biyokütle parametrelerini iyileştirmiştir. Fide yetiştiriciliğinde optimum büyüme ve gelişim sağlamak için AzL+DY-2 (2,5 ml/L) dozu önerilmektedir. Bu çalışma, mikrobiyal biyostimülantların ve doğal ürünlerin kombinasyonunun sürdürülebilir tarım için potansiyel bir çözüm sunduğunu göstermektedir. İlerleyen çalışmalarda, bu uygulamaların farklı bitki türleri ve çevresel stres koşulları üzerindeki etkilerinin incelenmesi, bu alandaki bilgi birikimini daha da genişletebilir.

Kaynaklar

- Aoudi, Y., Agake, S. I., Habibi, S., Stacey, G., Yasuda, M., & Ohkama-Ohtsu, N. (2024). Effect of bacterial extracellular polymeric substances from enterobacter spp. on rice growth under abiotic stress and transcriptomic analysis. *Microorganisms*, 12(6), 1212.
- Aremu, A. O., Makhaye, G., Tesfay, S. Z., Gerrano, A. S., Du Plooy, C. P., & Amoo, S. O. (2022). Influence of commercial seaweed extract and microbial biostimulant on growth, yield, phytochemical content, and nutritional quality of five *Abelmoschus esculentus* genotypes. *Agronomy*, 12(2), 428.
- Bhat, M. A., Mishra, A. K., Jan, S., Bhat, M. A., Kamal, M. A., Rahman, S., ... & Jan, A. T. (2023). Plant growth promoting rhizobacteria in plant health: a perspective study of the underground interaction. *Plants*, 12(3), 629.
- Cassán, F., Coniglio, A., López, G., Molina, R., Nieves, S., de Carlan, C. L. N., ... & Mora, V. (2020). Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 461-479.
- Cervantes-Vázquez, T. J. Á., Valenzuela-García, A. A., Cervantes-Vázquez, M. G., Guzmán-Silos, T. L., Fortiz, E. L., Rangel, P. P., & Rueda-Puente, E. O. (2021). Morphophysiological, enzymatic, and elemental activity in greenhouse tomato saladette seedlings from the effect of plant growth-promoting rhizobacteria. *Agronomy*, 11(5), 1008.
- Chieb, M., & Gachomo, E. W. (2023). The role of plant growth promoting rhizobacteria in plant drought stress responses. *BMC plant biology*, 23(1), 407.
- Delitte, M., Caulier, S., Bragard, C., & Desoignies, N. (2021). Plant microbiota beyond farming practices: a review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 624203.

- Demir, K., Başak, H., Çakırer, G., & Başkent, A., (2020). *Fidecilik sektörünün mevcut durumu ve gelecek öngörülere*. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-2, 13-17 Ocak, Ankara, 429-432.
- El-Akhdar, I., Shabana, M. M., El-Khateeb, N. M., Elhawat, N., & Alshaal, T. (2024). Sustainable wheat cultivation in sandy soils: impact of organic and biofertilizer use on soil health and crop yield. *Plants*, 13(22), 3156.
- Ejaz, S., Batool, S., Anjum, M. A., Naz, S., Qayyum, M. F., Naqqash, T., ... & Ali, S. (2020). Effects of inoculation of root-assocative *Azospirillum* and *Agrobacterium* strains on growth, yield and quality of pea (*Pisum sativum* L.) grown under different nitrogen and phosphorus regimes. *Scientia Horticulturae*, 270, 109401.
- Garcia-Villaraco, A., Ramos Solano, B., Gutierrez-Mañero, F. J., & Lucas, J. A. (2024). Deciphering the structural and functional diversity of rhizobacteria from stone pine inoculated with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) before and after transplanted into degraded agricultural soil. *Soil Systems*, 8(2), 39.
- Gougoulis, N., Papapolymerou, G., Karayannis, V., Spiliotis, X., & Chouliaras, N. (2018). Effects of manure enriched with algae *Chlorella vulgaris* on soil chemical properties. *Soil & Water Research*, 13(1).
- Günsan Can B, Yıldız M, & Şensoy S, (2022). Mikroalg Kullanımının Ispanakta Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(4), 1884 - 1895.
- Hassan, S. M., Ashour, M., Sakai, N., Zhang, L., Hassanien, H. A., Gaber, A., & Ammar, G. (2021). Impact of seaweed liquid extract biostimulant on growth, yield, and chemical composition of cucumber (*Cucumis sativus*). *Agriculture*, 11(4), 320.
- Jehani, M. D., Singh, S., Archana, T. S., Kumar, D., & Kumar, G. (2023). *Azospirillum*—a free-living nitrogen-fixing bacterium. In *Rhizobiome* (pp. 285-308). Academic Press.
- Kibar, B. (2020). Mikrobiyal gübre uygulamasının marul ve beyaz baş lahanada çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkileri. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(3), 389-398.
- Kumlay, A. M., & Eryiğit, T. (2011). Bitkilerde büyüme ve gelişmeyi düzenleyici maddeler: bitki hormonları. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 1(2), 47-56.
- Latef, A., Alhmad, M., Kordrostami, M., Abo-baker, A., & Zakir, A. (2020). Inoculation with *Azospirillum lipoferum* or *Azotobacter chroococcum* reinforces maize growth by improving physiological activities under saline conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39, 1293 – 1306

- Lee, S. K., Lur, H. S., & Liu, C. T. (2021). From lab to farm: Elucidating the beneficial roles of photosynthetic bacteria in sustainable agriculture. *Microorganisms*, 9(12), 2453.
- Lefi, E., Badri, M., Hamed, S. B., Talbi, S., Mnafigui, W., Ludidi, N., & Chaieb, M. (2023). Influence of brown seaweed (*Ecklonia maxima*) extract on the morpho-physiological parameters of melon, cucumber, and tomato plants. *Agronomy*, 13(11), 2745.
- Masson-Boivin, C., & Sachs, J. L. (2018). Symbiotic nitrogen fixation by rhizobia—the roots of a success story. *Current Opinion in Plant Biology*, 44, 7-15.
- Mendez, A., Martinez, S., Aida, L. E. A. L., Hernandez, A., García, J., & Sanchez, M. (2023). Synergism of microorganisms and seaweed extract on vegetative growth, yield and quality of cucumber fruit. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(3), 12888-12888.
- Miceli, A., Moncada, A., & Vetrano, F. (2021). Use of microbial biostimulants to increase the salinity tolerance of vegetable transplants. *Agronomy*, 11(6), 1143.
- Molina, R., Rivera, D., Mora, V., López, G., Rosas, S., Spaepen, S., ... & Cassán, F. (2018). Regulation of IAA biosynthesis in *Azospirillum brasilense* under environmental stress conditions. *Current microbiology*, 75, 1408-1418.
- Namara, W., Opio, F., & Nkuuhe, D. (2024). Farmer's knowledge on utilization of chemical fertilizers as soil fertility enhancement option in ruhumuro sub-county, bushenyi district. *World Journal of Agricultural Science and Technology*, 2(3), 90-101.
- Nephali, L., Piater, L. A., Dubery, I. A., Patterson, V., Huyser, J., Burgess, K., & Tugizimana, F. (2020). Biostimulants for plant growth and mitigation of abiotic stresses: A metabolomics perspective. *Metabolites*, 10(12), 505.
- Pappalettere, L., Bartolini, S., & Toffanin, A. (2024a). Auxin-producing bacteria used as microbial biostimulants improve the growth of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings in hydroponic systems. *BioTech*, 13(3), 32.
- Pappalettere, L., Bartolini, S., & Toffanin, A. (2024b). Enhancement of tomato seed germination and growth parameters through seed priming with auxin-producing plant growth promoting bacteria strains. *Seeds*, 3(3), 479-492.
- Pérez-Rodríguez, M. M., Pontin, M., Lipinski, V., Bottini, R., Piccoli, P., & Cohen, A. C. (2020). *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense* increase yield and fruit quality of tomato under field conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 1614-1624.

- Rozier, C., Gerin, F., Czarnes, S., & Legendre, L. (2019). Biopriming of maize germination by the plant growth-promoting rhizobacterium *Azospirillum lipoferum* CRT1. *Journal of plant physiology*, 237, 111-119.
- Sabatino, L., Consentino, B. B., Ntatsi, G., La Bella, S., Baldassano, S., & Roupheal, Y. (2022). Stand-alone or combinatorial effects of grafting and microbial and non-microbial derived compounds on vigour, yield and nutritive and functional quality of greenhouse eggplant. *Plants*, 11(9), 1175.
- Salazar-Garcia, G., Balaguera-Lopez, H.E., Hernandez, J.P., (2022). Effect of plant growth-promoting bacteria *Azospirillum brasilense* on the physiology of radish (*Raphanus sativus* L.) under waterlogging stress, *Agronomy*, 12(3), 726.
- Senthuran, S., Balasooriya, B. L. W. K., Arasakesary, S. J., & Gnanavelrajah, N. (2019). Effect of seaweed extract (*Kappaphycus alvarezii*) on the growth, yield and nutrient uptake of leafy vegetable *Amaranthus polygamous*. *Tropical Agricultural Research*, 30(3), 81–88.
- Shahwar, D., Mushtaq, Z., Mushtaq, H., Alqarawi, A. A., Park, Y., Alshahrani, T. S., & Faizan, S. (2023). Role of microbial inoculants as bio fertilizers for improving crop productivity: A review. *Heliyon*, 9(6), e16134.
- Sharma, V., Saurabh, A., Sujan, Thakur, A., & Sharma, A. (2022). Technological innovations in nursery management. In *GRISAAS – An Edited Book* (Vol. 2, pp. 109–114). Meerut, U.P., India: Astha Foundation. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/368543034_GRISAAS_an_Edited_Book-2023#page=114
- South, K. A., Nordstedt, N. P., & Jones, M. L. (2021). Identification of plant growth promoting rhizobacteria that improve the performance of greenhouse-grown petunias under low fertility conditions. *Plants*, 10(7), 1410.
- Subramaniam, L., Veerasamy, R., Prabhakaran, J., Selvaraj, A., Algarswamy, S., Karuppasami, K. M., ... & Nalliappan, S. (2023). Biostimulation effects of seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) on phytomorfo-physiological, yield, and quality traits of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Horticulturae*, 9(3), 348.
- Şa, Z., Tütüncü, A. Ç., Demirkaya, S., & Özer, H. (2023). Organik ve konvansiyonel fide yetiştiriciliğinin domates fidelerinin kalitesi üzerine etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 38(3), 555-564.

- Şensoy, S. (2024). The role of biostimulants in enhancing yield, quality, and stress tolerance in sustainable vegetable production. *Innovations in Sustainable Agriculture and Aquatic Sciences* (pp.73-98), Ankara: Akademisyen Kitabevi.
- Türkiye Tohumcular Birliği (TÜRKTÖB), (2024). *2024 sektör raporu*. TÜRKTÖB. https://www.turktob.org.tr/fs_/SEKT%C3%96R_RAPORU/2024_SEKTOR_RAPO RU_TURKTÖB.pdf
- Tüzel, Y., Öztekin, G.B., & Durdu, T., (2021). *Organik fide yetiştiriciliği*. Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. Enstitü Yayın No: 108, Yalova.
- Yaghoubi Khangahi, M., Strafella, S., Filannino, P., Minervini, F., & Crecchio, C. (2024). Importance of lactic acid bacteria as an emerging group of plant growth-promoting rhizobacteria in sustainable agroecosystems. *Applied Sciences*, *14*(5), 1798.
- Zhang, Q., Masabni, J., & Niu, G. (2024). Microbial biostimulants and seaweed extract synergistically influence seedling growth and morphology of three onion cultivars. *Horticulturae*, *10*(8), 800.