

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

ENTOMOPATOJEN *Serratia marcescens* İZOLATLARININ DOMATES (*Solanum lycopersicum* L.) BİTKİSİNİN GELİŞİMİNE OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖKAY VARİŞ

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ ARDAHAN ESKİ

BİLECİK, 2024

10618744

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

ENTOMOPATOJEN *Serratia marcescens* İZOLATLARININ DOMATES (*Solanum lycopersicum* L.) BİTKİSİNİN GELİŞİMİNE OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖKAY VARİŞ

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ ARDAHAN ESKİ

BİLECİK, 2024

10618744

BEYAN

“Entomopatojen *Serratia marcescens* İzolatlarının Domates (*Solanum lycopersicum* L.) Bitkisinin Gelişimine Olan Etkisinin İncelenmesi” adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	X
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Destegın Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- AK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
karar tarih/sayı:		/.....	

Gökay VARİŞ

Tarih

.....

İmza

.....

ÖN SÖZ

Tez çalışmam süresince her daim yanımda olan bilgisini ve tecrübelerini eksik etmeyen, yeri geldiği zaman hocam yeri geldiği zaman arkadaşım gibi davranan çok sevgili ve değerli danışmanım Sayın, Dr. Öğr. Üyesi Ardahan ESKİ'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Lisans eğitimimden beri beni yetiştiren ve tez çalışmam sırasında bana laboratuvar imkanları sağlayan Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Cihan DARCAN'a ve diğer öğretim üyelerine saygılarımı sunarım.

Bütün yüksek lisans yaşantım boyunca yanımda olan her zaman bilgilerine ve tecrübelerine başvurabildiğim sevgili hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Hacer KAYA ÇAKIR, Dr. Öğr. Üyesi Esin GÜVENİR ÇELİK, Öğr. Gör. Dr. Gülçin ÇETİN KILIÇASLAN, Arş. Gör. Fırat Yavuz ÖZTÜRK ve Duygu BEKİRCAN ESKİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar ortamında her anımda yanımda olan değerli arkadaşlarım Burcu BOZ ÖZMEN, Öznur BİLGİN, Görkem TOKGÖZ ve Sina MANSUROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Bütün yaşamım boyunca her zaman beni seven, sayan ve destekleyen canımdan çok sevdiğim ve hayattaki tek varlığım olan annem Sayın Nil TANER VARİŞ'a saygı ve sevgilerimi sunarım. Bu aşamaya gelmemdeki bütün emekleri için teşekkür ederim.

Gökay VARİŞ

2024

ÖZET

ENTOMOPATOJEN MİKROORGANİZMALARIN DOMATES (*Solanum lycopersicum* L.) BİTKİSİNİN GELİŞİMİNE OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Bitkisel üretimde kullanılan kimyasal herbisit, pestisit ve gübreler kısa vadede olumlu etkiler sağlasa da hem toprak kirliliğine neden olmakta hem de ürünlerdeki kalıntı problemleri nedeniyle insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Bu tarz kimyasal maddelerin kullanımını azaltmak hatta tamamen kaldırmak için biyogübre olarak mikroorganizmaların kullanımı geniş bir çalışma olanağı sunar. Ayrıca, bitki büyümesini teşvik eden bakterilerin yanı sıra böcek patojeni bakterilerin de biyogübre olarak kullanımı son dönemlerde mikrobiyolojiyi önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir. Bu çalışmada, entomopatojen *Serratia marcescens* bakterisinin iki farklı lokal izolatı (Sm-Se9 ve Sm-MK11) domates bitkisi üzerindeki büyüme ve gelişmesine olan etkileri incelenmiştir. Sahada kullanılabilirliğinin belirlenmesi için Bilecik ilinde domates üretimi yapılan seralardan alınan topraklar hem steril hem de steril olmayan olarak kullanılarak mikroorganizma varlığında büyütülmüştür. Çalışma sonucunda elde edilen morfolojik veriler (çimlenme yüzdesi, kök-gövde uzunluğu, gövde çapı ve biyokütle) *S. marcescens* izolatlarının domates bitkinin büyüme ve gelişimine olumlu bir katkı sağlamadığı, hatta negatif bir etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, steril toprakta yetiştirilen bitkilerin steril olmayan toprakta yetiştirilenlerden daha iyi büyüdüğü görülmüştür. Ayrıca, mikroorgnaizma varlığında büyütülen bitkilerin fotosentetik veriminin kontrole oranla iki kat fazla olduğu belirlenmiştir. Lipit peroksidasyonu açısından değerlendirildiğinde steril toprakta yetiştirilen bitkilerin daha sağlıklı büyüdüğü ve mikroorganizma varlığında yetiştirilen bitkilerin kontrole oranla daha düşük MDA içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Antioksidant sistemindeki enzim seviyeleri incelendiği zaman izolatların kullanıldığı bitkilerin antioksidant kapasitesi kontrole oranla daha yüksek bulunmuştur. Kullanılan izolatların bitkide köklerde kolonize olup vasküler sistem üzerinde gövde ve hatta yapraklara kadar ulaştığı yapılan yeniden bakteri izolasyonu sonuçlarında gözlenmiştir. Sonuç olarak, kullanılan *Serratia marcescens* izolatlarının bitki büyüme ve gelişimine olumlu katkı sağlamadığı, ancak endofitik özellik gösterdiği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Solanum lycopersicum*, *Serratia marcescens*, Bitki büyümesi, Morfolojik parametreler, Antioksidant sistem, Endofit.

ABSTRACT

EXAMINATION OF THE EFFECT OF THE ENTOMOPATHOGEN *Serratia marcescens* ISOLATES ON THE DEVELOPMENT OF TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) PLANTS

Although chemical herbicides, pesticides and fertilizers used in crop production have positive effects in the short term, they cause both soil pollution and negative effects on human health due to residue problems in the products. The use of microorganisms as biofertilizers to reduce or even eliminate the use of such chemicals is a broad field of research. In addition, the use of insect pathogenic bacteria as biofertilizers, as well as plant growth promoting bacteria has recently become an important field of research. In this study, the effects of two different local isolates of the entomopathogenic *Serratia marcescens* bacteria (Sm-Se9 and Sm-MK11) on the growth and development of tomato plants were investigated. To determine the usability in the field, soils from greenhouses where tomatoes are grown in Bilecik were used both sterile and steril olmayane and grown in the presence of microorganisms. The morphological data obtained from the study (percentage of germination, root-stem length, stem diameter and biomass) showed that the *S. marcescens* isolates did not contribute positively to the growth and development of the tomato plants, but even had a negative effect. However, it was shown that plants grown in sterile soil grew better than those grown in steril olmayane soil. It was also found that the photosynthetic efficiency of plants grown in the presence of microorganisms was twice as high as that of the control. When lipid peroxidation was assessed, it was found that the plants grown in sterile soil grew healthier and the plants grown in the presence of microorganisms had a lower MDA content than the control group. When the enzyme levels in the antioxidant system were analysed, it was found that the antioxidant capacity of the plants in which the isolates were used was higher than that of the control. In the results of bacterial re- isolation, it was found that the isolates used colonized the roots of the plant and reached the stem and even the leaves via the vascular system. This showed that the *Serratia marcescens* isolates used did not contribute positively to the growth and development of the plant, but had endophytic properties.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, *Serratia marcescens*, Plant growth, Morphological parameters, Antioxidant system, Endophyte.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
GRAFİKLER LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Bitki Büyümesini Artıran Bakteriler.....	2
1.1.1 PGPB Etki Mekanizmaları	2
1.1.2. Endofitik Özellikli PGPB'ler	5
1.2. <i>Serratia marcescens</i> Bakterisi	5
1.2.1. Genel Bilgiler	5
1.2.2. PGPB Olarak <i>Serratia</i>	7
1.3. Bitki Antioksidatif Sistemi.....	8
1.3.1. Reaktif Oksijen Türevleri	8
1.3.2. Enzimatik Antioksidant Sistem	9
1.3.2.1. Katalaz (CAT) Hakkında Bilgiler	9
1.3.2.2. Guyakol Peroksidaz (POD) Hakkında Bilgiler.....	10
1.3.2.3. Askorbat Peroksidaz (APX) Hakkında Bilgiler	11
1.3.3. Non-Enzimatik Antioksidant Sistem.....	12
1.3.3.1. Askorbik Asit	12
1.3.3.2. α -Tokoferol.....	12

1.3.3.3. Glutasyon.....	13
1.3.3.4. Fenolik Bileşikler	14
1.4. Lipit Peroksidasyonu.....	16
1.5. Literatür Özeti	17
1.6. Çalışmanın Amacı.....	18
2. MATERYAL METOT.....	19
2.1. Bakteri Kültürü	19
2.2 Arazi Çalışması	20
2.3. Tohum Kaplama ve Çimlenme.....	20
2.4. Bitki Büyütme	21
2.5. Hasat ve Morfolojik Ölçümler.....	21
2.6. Klorofil Analizi	21
2.7. Lipit Peroksidasyon Analizi (MDA-TBARS).....	22
2.8. Antioksidant Mekanizma Analizi (Enzim Düzeyinde).....	22
2.8.1.Ekstraksiyon	22
2.8.2. Protein Tayini	23
2.8.3. Katalaz (CAT) Enzim Düzeyinin Belirlenmesi.....	23
2.8.4. Guyakol Peroksidaz (GPX) Enzim Düzeyinin Belirlenmesi.....	24
2.8.5. Askorbat Peroksidaz (APX) Enzim Düzeyinin Belirlenmesi.....	24
2.9. <i>Serratia marcescens</i> 'in Endofitik Özelliğinin Belirlenmesi.....	25
3. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER	26
3.1. Sonuçlar.....	26
3.1.1. Morfolojik Ölçümler	26
3.1.1.1. Çimlenme	26
3.1.1.2. Kök-Gövde Uzunluk.....	26
3.1.1.3. Gövde Çapı ve Yaprak Sayısı.....	28

3.1.1.4. Yaş-Kuru Ağırlık (Biyokütle).....	30
3.1.2. Klorofil ve Karotenoid Miktarı.....	30
3.1.3. Lipit Peroksidasyon (MDA Miktar)	33
3.1.4. Antioksidant Enzim Aktivitesi	34
3.1.4.1. Total Protein İçeriği	34
3.1.4.2. Katalaz (CAT) Aktivitesi	35
3.1.4.3. Guyakol Peroksidaz (GPX) Aktivitesi	36
3.1.4.4. Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi	36
3.1.5. <i>Serratia marcescens</i> 'in Endofitik Özelliği.....	37
3.2. Tartışma	39
3.3. Öneriler.....	41
KAYNAKÇA	43

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. PGPB'ler tarafından üretilen metabolitler.....	5
Tablo 1.2. <i>S. marcescens</i> İnsektisidal Aktivite.....	7



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. PGPB etki mekanizmaları.....	3
Şekil 1.2. <i>S. marcescens</i> petri görüntüsü	6
Şekil 1.3. Reaktif oksijen türevlerinin şemtik gösterimleri.....	8
Şekil 1.4. Katalaz enzimi reaksiyonu	9
Şekil 1.5. Domateste bulunan CAT enziminin 3 boyutlu yapısı.....	9
Şekil 1.6. Domateste bulunan GPX enziminin 3 boyutlu yapısı.....	10
Şekil 1.7. GPX enziminin çalışma mekanizması	10
Şekil 1.8. Domateste bulunan APX enziminin 3 boyutlu yapısı.....	11
Şekil 1.9. APX enzimi reaksiyonu	11
Şekil 1.10. Askorbik asitin kimyasal yapısı	12
Şekil 1.11. α - tokoferol'un kimyasal yapısı	13
Şekil 1.12. Glutasyon kimyasal yapısı	13
Şekil 1.13. Oksitlenmiş glutasyon (GSSG) kimyasal yapısı	14
Şekil 1.14. Çeşitli fenolik bileşiklerin kimyasal yapıları	15
Şekil 1.15. Lipit peroksidasyon mekanizması ve MDA kimyasal yapısı	16
Şekil 2.1. NA üzerinde büyütülen bakteriler.....	19
Şekil 2.2. NB içerisinde büyütülen bakteriler	19
Şekil 2.3. Çimlenme sürecindeki tohumlar	20
Şekil 2.4. Klorofil analizi görüntüleri	22
Şekil 2.5. Antioksidant analizi için ekstraksiyon	23
Şekil 3.1. Steril olmayan toprakta yetiştirilen bitkiler	38
Şekil 3.2. Steril toprakta yetiştirilen bitkiler	38

GRAFİKLER LİSTESİ

Sayfa No

Grafik 3.1. Steril olmayan ve steril toprağa ekilen domates tohumlarının çimlenme oranları. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *Sm*-Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *Sm*-MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$)26

Grafik 3.2. Steril olmayan ve steril toprak büyütülen domates bitkilerinin kök uzunlukları. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *S. marcescens* Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *S. marcescens* MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).....27

Grafik 3.3. Steril olmayan ve steril toprak büyütülen domates bitkilerinin gövde uzunlukları. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *S. marcescens* Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *S. marcescens* MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).....28

Grafik 3.4. Steril olmayan ve steril toprak büyütülen domates bitkilerinin gövde çapları. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *S. marcescens* Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *S. marcescens* MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).....29

Grafik 3.5. Steril olmayan ve steril toprak büyütülen domates bitkilerinin yaprak sayıları. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *S. marcescens* Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *S. marcescens* MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).....29

Grafik 3.6. Steril olmayan ve steril toprakta büyütilen domates bitkilerinin biyokütleleri. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada S. marcescens Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada S. marcescens MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).....**30**

Grafik 3. 7. Steril olmayan ve steril toprakta büyütilen domates bitkilerinin klorofil A içeriği. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada S. marcescens Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada S. marcescens MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).....**31**

Grafik 3. 8. Steril olmayan ve steril toprakta büyütilen domates bitkilerinin klorofil B içeriği. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada S. marcescens Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada S. marcescens MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).....**32**

Grafik 3. 9. Steril olmayan ve steril toprakta büyütilen domates bitkilerinin total klorofil içeriği. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada S. marcescens Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada S. marcescens MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).....**32**

Grafik 3. 10. Steril olmayan ve steril toprakta büyütilen domates bitkilerinin total karotenoid içeriği. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada S. marcescens Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada S. marcescens MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).....**32**

Grafik 3. 11. Steril olmayan ve steril toprakta büyütilen domates bitkilerinin MDA içeriği. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada S. marcescens Se9 süspansiyonu

kullanılan, MK11: sulamada *S. marcescens* MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).....33

Grafik 3. 12. Steril olmayan ve steril toprakta büyütülen domates bitkilerinin protein miktarları. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *S. marcescens* Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *S. marcescens* MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$)34

Grafik 3. 13. Steril olmayan ve steril toprakta büyütülen domates bitkilerinin CAT aktivitesi. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *S. marcescens* Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *S. marcescens* MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).....35

Grafik 3. 14. Steril olmayan ve steril toprakta büyütülen domates bitkilerinin biyokütleleri. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *S. marcescens* Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *S. marcescens* MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).....36

Grafik 3. 15. Steril olmayan ve steril toprakta büyütülen domates bitkilerinin biyokütleleri. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *Sm-Se9* süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *S. marcescens* MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).37

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

%	: Yüzde
µg	: Mikrogram
µl	: Mikrolitre
3B	: Üç boyutlu
A	: Absorbans
ACC deaminaz	: 1-aminosiklopropan-1-karboksilik asit deaminaz
APX	: Askorbat peroksidaz
AsA	: Askorbik asit
C_a	: Klorofil A
CAT	: Katalaz
Chl-A	: Klorofil A
Chl-B	: Klorofil B
C_{x+c}	: Karotenoid
DAPG	: 2,4-diasetilfloroglukinol
EDTA	: Etilendiamintetraasetikasit
GSHS	: Glutasyon sentetaz
GSSG	: Oksitlenmiş glutasyon
IAA	: İndolasetikasit
MDA	: Malondialdehit
mM	: Mili molar
mmol	: Mili mol
NA	: Nütrient agar
NB	: Nütrient brot
OD	: Optik yoğunluk

PGPB	: Bitki büyümesini artıran bakteri
PGPR	: Bitki büyümesini artıran rizobakteri
GPX	: Guyakol peroksidaz
PVP	: Polivinilpirodin
ROS	: Reaktif oksijen türevi
Rpm	: Bir dakikada devir sayısı
TBA	: Tiyobarbitürikasit
TBARS	: Tiyobarbitürat reaktif maddeler
TCA	: Trikloroasetikasit
TP	: Total protein
α	: Alfa
β	: Beta
γ	: Gama
δ	: Delta
ΔABS	: Absorbans değişim farkı
ϵ	: Epsilon (Ekstinksiyon katsayısı)

1. GİRİŞ

Domates (*Solanum lycopersicum* L.) Solanaceae (Patlıcangiller) familyasına ait hem ülkemizde hem de dünyada en çok üretimi gerçekleştirilen önemli bir tarım ürünüdür (Singh vd., 2019). Anavatanı Orta ve Güney Amerika olmasına rağmen, çeşitli iklim koşullarında ve toprak türlerinde yetiştirilebilmesi nedeniyle günümüzde dünyanın pek çok bölgesinde yetiştirilmektedir (Jiang vd., 2022). Dünya çapında 5 milyon hektarlık alanda yetiştirilmekte olup 2021 yılında 189 milyon ton üretim gerçekleştirilmiştir. Ülkemiz 165 bin hektarlık alanda 13 milyon ton üretim ile Çin ve Hindistan'dan sonra üçüncü sırada yer almaktadır. Diğer önemli üretici ülkeler ise ABD, Mısır, İtalya, İran ve İspanya'dır (Fao, 2021).

Taze meyve olarak tüketilmesinin yanında salça, püre, ketçap, domates suyu, konserve turşu şeklinde de tüketilmektedir (Gonzalez-Ista vd., 2023). Özellikle tüketim alanı genişliği ve meyvelerinin yapısında yer alan beta karoten, likopen, protein, yağ, karbonhidrat, kalsiyum, potasyum, demir, A, B1, B2, C, K vitaminleri sebebiyle insan sağlığı açısından önemli bir yere sahiptir (Almaghrabi vd., 2013).

Domates üretiminde yüksek ve kaliteli ürün alımı için yeterli ve dengeli gübreleme yapılmalıdır. Gübreler tarımsal üretimdeki en önemli girdilerden biri olmakla birlikte gereğinden fazla ve uzun süreli kullanıldığında topraklarda tuzlanma, ağır metal birikimi, besin maddesi dengesizliği, mikrobiyal floranın bozulması, sucul ortamlarda ötrofikasyon ve nitrat birikimi, azot oksit emisyonu ile hava kirliliği gibi çevresel problemlere neden olmaktadır (Savci ve Development, 2012). Çevresel etkilerinin yanında, insanlarda diyabet, nörolojik bozukluklar, kanser ve sakat doğumlara neden olabilmektedir (Dhankhar ve Kumar, 2023).

Kimyasal gübrelerin olumsuz etkilerini en aza indirmek, ekosistemin uğradığı zararı onarmak ve sürdürülebilir tarım amacıyla çevre dostu alternatifler ortaya konmalıdır. Kompostlar, hayvan gübreleri ve mikrobiyal gübreler gibi organik gübrelerin kullanımı önemli bir alternatiftir. Bu gübreler toprağın biyolojik aktivitesinin artmasını sağlarken bitkinin beslenmesi ve gelişimini de artırmaktadır. Kimyasal gübrelere alternatif olarak mikrobiyal gübrelerin kullanımı son yıllarda dikkat çeken konulardan biri olup, özellikle bitki gelişimini teşvik edici mikroorganizmalar (PGPM) üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır (Gómez-Godínez vd., 2023; Keswani vd., 2019).

1.1. Bitki Büyümesini Artıran Bakteriler

Bitki büyümesini artıran bakteriler abiyotik ve biyotik stres koşullarından bitkiyi koruyarak veriminin artmasını sağlarlar (Selvakumar vd., 2008). Bu bakterilerin en önemli özellikleri bitkilerde herhangi bir olumsuz etkiye sahip olmamaları ve toprak, su gibi ekolojik faktörlere zararı bulunmamasıdır. Bu nedenle kimyasal pestisit, herbisit ve gübrelerin yerini alabilecek önemli bir alternatiftir. Bugüne kadar birçok çalışmada bu bakterilerin hem laboratuvar hem de alan çalışmaları ile bitkiler üzerinde olumlu etkileri gösterilmiştir (Ramamoorthy vd., 2001)

Acinetobacter, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Rhizobium* ve *Serratia* gibi çeşitli cinsleri içeren bu bakterilerin bazıları ticari olarak kullanıma da sunulmuştur. Ticari formülasyonları bitkilere gübre ile beraber uygulanabildiği gibitek başına da uygulanabilmektedir (Essalimi vd., 2022).

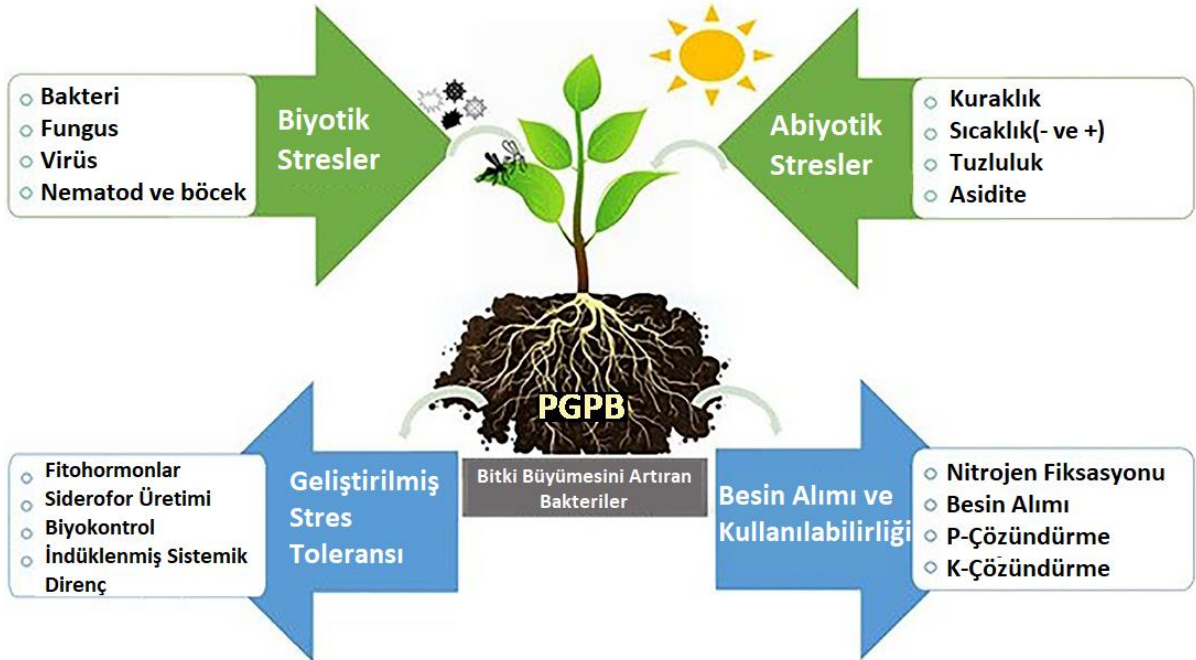
Bakterilerin bazıları bitkilere uygulandığı zaman bitkilerin kök-gövde boylarında artış, biyokütlelerinde artış, meyvelerin veriminde artışa neden olmaktadır. Aynı zamanda farklı bitki patojenlerine karşı koruma sağlayarak bitkilerin hastalıklardan korunmasına ve bu sayede elde edilen ürünün hem fazla hem de kaliteli olmasını sağlamaktadır.(Solano vd., 2008) Bazı bakteri türleri entomopatojenik özellikleri sayesinde zararlı olan böceklere karşı da bitkilere koruma sağlamaktadır (Chakraborty vd., 2010).

Bu bakteriler çok çeşitli yollardan bitkiler üzerinde olumlu etkiler gösterirler. Aynı zamanda bazıları endofitik özellik göstererek bitkilerin kök, gövde ve yaprak gibi organlarının içerisinde kolonize olarak farklı etkilere sebep olabilirler (Badawi vd., 2011). Aynı zamanda bu bakterilerin insanlar veya hayvanlar üzerinde kullanıldıkları bitkileri tükettikleri zaman herhangi bir zararlı etkilerinin olmamasından dolayı tercih edilmeleri gerekmektedir (Azizoglu, 2019).

1.1.1. PGPB Etki Mekanizmaları

Bu bakterilerin bitkiler üzerine olan etkileri incelendiği zaman, çeşitli yollar ile bitkilerin büyüme ve gelişmesine katkıda bulundukları görülmüştür (Şekil 1.2). Etki mekanizmaları incelendiği zaman ortaya çıkanlar; bitki gelişiminde gerekli olan çeşitli metabolit ve hormonların sentezlenmesi, topraktan mineral ve besin maddelerinin bitkiye alınması aynı zamanda bitkilerin sistemik direncini artırarak çeşitli streslere karşı tolerans sağlamalarıdır (Parray vd., 2016).

PGPB'ler, bitki büyüme ve gelişmesinde önemli rolleri olan giberellik asit, oksin, sitokinin ve indol asetik asit gibi metabolitlerin üretimini artırır (Jha ve Saraf, 2015). Giberellik asit tetrasiklik diterpen yapısında olup tohum çimlenmesi, gövde büyümesi ve çiçeklenmeyi sağlayan bir hormondur (Abaid-Ullah vd., 2015). Oksin bitkilerde ana görev olarak apikal büyüme yani boyuna uzama ile görevli bir hormon olmakla birlikte bitkilerin hem ışığa doğru yönelimi hem de yerçekimine doğru yöneliminde de görevlidir. Bir diğer görevi ise meyvelerin olgunlaşmasını sağlamaktır (Wang vd., 2019). Sitokinin ise bitkilerin yanal olarak büyümesinde görevli bir hormondur ve oksin hormonu ile antagonistik olarak çalışır (Şekil 1.1) (Yadav vd., 2018).



Şekil 1.1. PGPB etki mekanizmaları

PGPB'ler bitkiye besin alımını artırarak gelişime katkıda bulunarak verimi artırır. Bu besin alımı ya direk yollarla köklerden mineral ve besinlerin geçişini sağlayarak veya bitkilerin normal şartlarda hücrelerine alamadığı mineralleri alınabilir forma geçirerek gerçekleştirirler (Kour vd., 2019). Fosfat çözündürme özelliği bu açıdan PGPB'ler için çok önemlidir, normalde toprakta kireç veya kaya formunda bulunan fosfatı mineralize ederek yani çözündürerek bitkilerin köklerinden alınabilir forma geçirirler. Fosfat bitkiler için çok önemli bir mineraldir; özellikle fotosentez, solunum sinyal iletimi ve enerji transferi gibi metabolik işlevleri vardır. Aynı zamanda nükleik asit sentezi gibi hayati hücresel faaliyetlerde rol alır (Bouizgarne, 2012).

Bazı bakteriler, ACC deaminaz adlı enzim üretimi ile bitkilerin gelişiminde ve stres toleransında rol oynarlar bu enzim etileni metaabolize ederek bitkide hormon seviyelerini dengeler ve bu sayede bitkinin çeşitli streslere (sıcaklık, tuzluluk, biyotik stresler vb.) karşı toleransını artırır (Rosier vd., 2018).

Bu bakterilerin bir diğer önemli özelliği azot fiksasyon yetenekleridir. Normal şartlarda bitkiler havada bulunan N_2 gaz formunda olduğu için özümseyemezler ve bu onlar için bir eksikliktir, fakat bu bakteriler azotun gaz formunu nitrojenaz enzimi ile amonyağa (NH_3) indirgeyerek bitkiler için kullanılabilir hale getirir (Ferrarezi vd., 2022).

PGPB'ler sadece bitki hormonları üretimi veya bitkiye mineral alımı sağlayarak verimi artırmazlar. Bir diğer yetenekleri de toprakta çok fazla miktarda kirliliğe sebep olan metalleri şelatlayarak kendi içlerinde metabolize etmeleridir (Helaly vd., 2020). Siderofor adı verilen çok küçük boyutlarda şelatlayıcı proteinler sayesinde toprakta bulunan kurşun, kadmiyum, nikel ve yüksek oranlarda toksik olan demir, çinko vb. metalleri topraktan alarak bitkilere girişlerini engellerler. Böylece bitkilerin strese girerek verimlerinin düşmesini engellerler (Tan vd., 2001).

Aynı zamanda bitkileri patojenlere ve zararlı organizmalara karşı korurlar. Bitki patojeni bakteriler veya funguslara antagonistik etki göstererek ya bu organizmaları yok ederler ya da onlarla yarışarak bitkiye girişlerini engellerler (Saad vd., 2020). Ayrıca, *Serratia* gibi bazı bakteri cinsleri, ürettikleri kitinaz enzimi sayesinde hem fungal hastalıklara karşı hem de zararlı böceklerle karşı koruma sağlarlar (Méndez-Santiago vd., 2021). Fungus hücre duvarlarında ve böceklerin dış katmanlarında bulunan kitini parçalayarak bu organizmaları bertaraf ederler. Bu sayede bitkilerin hastalıklara yakalanmasını veya zararlı böcekler tarafından yenilmesi engelleyerek dolaylı verim artışı sağlarlar (Lavania vd., 2006). Bu organizmalar tarafından üretilen bileşikler Tablo 1.1.'de verilmiştir.

Tablo 1.1. PBPB’ler tarafından üretilen metabolitler

Antibiyotik ve diğer Antimikrobiyal Bileşikler	Kaynak Organizmalar
2,4-diacetylphloroglucinol(DAPG)	<i>Pseudomonas</i> spp.
Fenazinler	<i>Pseudomonas</i> spp.
Omisin A	<i>P. fluorescens</i> Hv37a
Fiyolteorin	<i>P.fluorescens</i>
Pirolnitrin	<i>Serratia</i> spp.
2,3-de-epoxy-2,3-didehydro-rhizoxin (DDR)	<i>P. borealis</i> MA342
Ksantobasinler	<i>Stenotrophomonas</i> SB-K88
Kanozamin	<i>B. cereus</i>
Zwittermisin A	<i>B. cereus</i>

Kaynak: (Raaijmakers vd., 2002)

1.2.3. Endofitik özellikli PGPB’ler

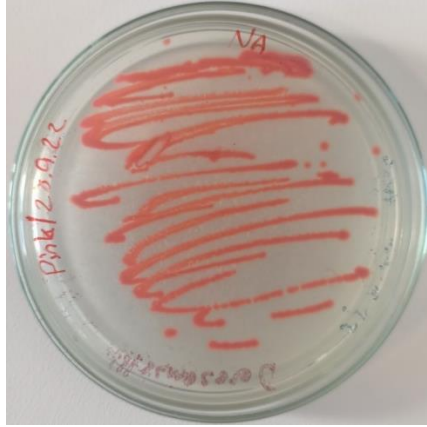
Bitki büyümesini artıran bakterilerin hepsi olmasa da çoğunluğu endofitik özellik gösterirler. Özellikle bir diğer tanımlama olan bitki büyümesini artıran rizobakteriler (PGPR) bu özelliktedirler (Oleńska vd., 2020). Endofitik bakteri bitkilerin iç dokularında, bitkiye herhangi bir zarar vermeden hatta çoğu zaman yararlı olarak dokularda dolaşan veya kolonize olan bakterileri tanımlar (John ve Salim, 2020).

Rizosfer adı verilen ve bitki köklerinin dış katmanında bulunan çok küçük bi alan olan toprakta bulunurlar. İki farklı sınıflandırmaya sahiptirler, hücre dışı PGPR ve hücre içi PGPR. Hücre dışı olanlar bitkinin iç dokularında kolonize olmadan bitkiye katkıda bulunurken hücre içi olanlar ise adezinler, lipazlar ve reseptör-ligand ilişkisini kullanarak bitki dokularının içerisinde kolonize olurlar (Prasanna vd., 2013).

1.2. *Serratia marcescens* Bakterisi

1.2.1. Genel Bilgiler

Bacteria, Pseudomonadota, Gammaproteobacteria, Enterobacterales, Yersiniaceae, Serratia, Serratia marcescens taksonomik sınıflandırmasına sahiptir. Gram negatif ve fakültatif anaerob bakteridir. En belirgin morfolojik özelliği prodigiosin adı verilen kırmızı renkte bir pigment üretmesidir (Şekil 1.2). Aynı zamanda kitinaz adı verilen bir enzim üretimi ile entomopatojenik özellikte olan bir bakteridir (Lavania vd., 2006).



Şekil 1.2. *S. marcescens* petri görüntüsü

Serratia cinsi doğal ortamlarda yaygın olarak bulunurlar; toprak, su, hayvanların yüzeyi vb. böcekler üzerinde insektisidal etkiye sahip olduğu bilinmekle birlikte bazı suşların bitki büyümesini artırıcı etkileri olduğu da düşünülmektedir (Maneewan ve Khonsarn, 2017).

Prodigiosin, 4-Methoxy-5-[(Z)-(5-methyl-4-pentyl-2H-pyrrol-2-ylidene) methyl]-1H, 1'H-2,2'-bipyrrole, (IUPAC) isimlendirmesine sahip, *Serratia marcescens*, *Vibrio psychroerythrous* ve *Pseudomonas magnesorubra* tarafından üretilen kırmızı renkli bir pigmenttir (de Araújo vd., 2010). Pigment üretimi *S. marcescens* bakterisi ve diğer bakterilerde çok çeşitli parametrelere bağlı olarak değişebilmektedir. Sıcaklık, pH, ortamdaki azot ve karbon oranları gibi değişkenler üretimi etkilemektedir (Lavania vd., 2006).

S. marcescens bakterisinin önemli bir kitinaz üreticisi olması böcekler üzerinde öldürücü etki göstermesini sağlar. Bu enzim böceklerin dış iskelet yapısında bulunan kitini parçalayarak bitkilerizaharlı böceklerden korur. Babashpour vd. (2012) *S. marcescens* bakterisinin Orthoptera, Coleoptera, Hemiptera, Lepidoptera ve Diptera cinsi böcekler üzerinde insektisidal aktiviteye sahip olduğu ortaya konmuştur (Tablo 1.2.).

Tablo 1.2. *S. marcescens* İnsektisidal Aktivite

Bakteri İzolatı	Zararlı	İnsektisidal Etki	Referans
TW-1, TW-2, TW-3, TW-9, TW-12	<i>Rhynchophorus ferrugineus</i> (Coleoptera: Curculionidae)	%62	(Pu ve Hou, 2016)
<i>S. marcescens</i>	<i>Listronotus bonariensis</i> (Coleoptera: Curculionidae)	%51,4	(McNeill vd., 2000)
<i>S. marcescens</i>	<i>Rhagoletis pomonella</i> (Diptera: Tephritidae)	%50	(Lauzon vd., 2013)
<i>S. marcescens</i>	<i>Stomoxys calcitrans</i> (Diptera: Muscidae)	%90	(Lysyk vd., 2002)
S-JS1	<i>Nilaparvata lugens</i> (Hemiptera: Delphacidae)	%25	(Niu vd., 2018)
<i>S. marcescens</i>	<i>Heliothis virescens</i> (Lepidoptera: Noctuidae)	%95	(Sikorowski vd., 2001)
LBSe-17	<i>Galleria mellonella</i> (Lepidoptera: Pyralidae)	%100	(Ortega-Estrada vd., 2012)
BLSP4	<i>Periplaneta americana</i> (Blattodea: Blattidae) <i>Blatella germanica</i> (Blattodea: Ectobiidae)	%26,67 %80	(Zulfiana vd., 2018)

S. marcescens bakterisinin entomopatojenik özelliği dışında bitki büyümesini artıran bir bakteri olduğu da bilinmektedir. Diğer PGPB'ler gibi bu bakterinin de bitkiye çeşitli fitohormonların üretimi, siderofor üretimi, sistemik direnci indüklemesi aynı zamanda endofitik özellik göstererek diğer patojen organizmalara karşı koruma sağlama özellikleri ile büyümeyi artırdığı bilinmektedir (Chakraborty vd., 2010).

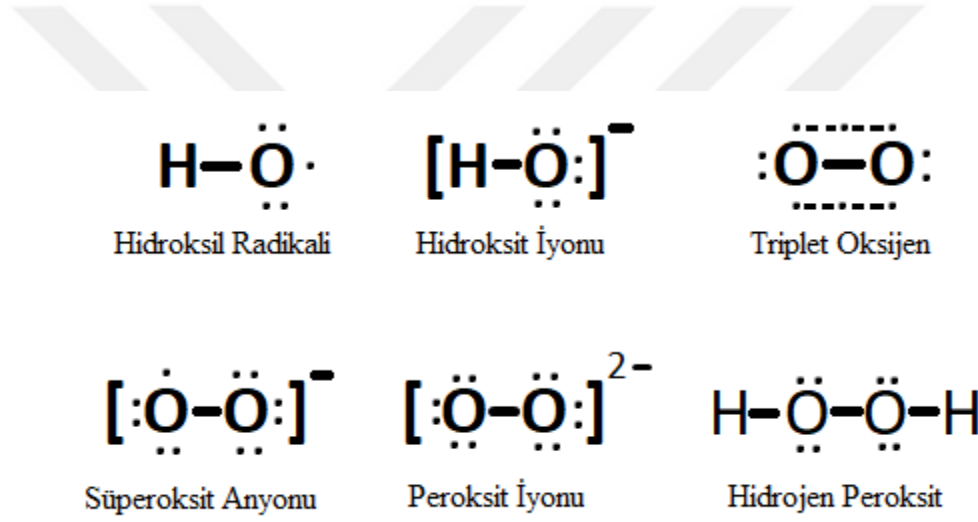
Bu özelliği bakımından bitkilerin verimini artırmada kullanılabilir bir biyogübre oluşturma çalışmaları yapılmaktadır. Bu bakterinin oksin sentezi, fosfat çözündürme yeteneği, azot fiksasyonu özelliği ve en önemlisi patojenlere karşı koruma sağlamasından dolayı üzerinde durulması gerekmektedir (Gutiérrez-Román vd., 2012).

1.3. Bitki Antioksidatif Sistemi

1.3.1. Reaktif Oksijen Türevleri

Reaktif oksijen türevleri; tekil oksijen, hidrojen peroksit, hidroksil radikali ve süperoksit moleküllerini içeren bitkilerde fotosentetik metabolizmasından kaynaklı oluşan moleküllerdir (Şekil 1.3) (Mhamdi ve Van Breusegem, 2018). Bu moleküller hücreden antioksidant mekanizmalar ile bertaraf edilir. içerisinde çeşitli yapılara zarar vererek hücreyi ölüme götürebilirler (Lin vd., 2004).

Bununla birlikte, bitkiler strese (sıcaklık, kuraklık, tuzluluk vb.) girdiği zaman reaktif oksijen türevlerinin miktarlarında önemli artışlar olmakta ve antioksidant mekanizma bunların üstesinden gelememektedir (Elavarthi ve Martin, 2010).



Şekil 1.3. Reaktif oksijen türevleri

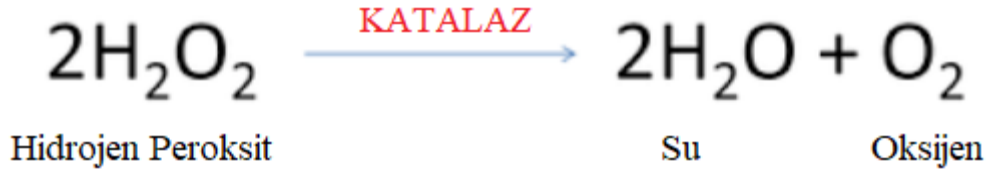
Bu durumda, reaktif oksijen türevleri kararsız yapıda oldukları için diğer moleküllerden elektron koparmak veya elektron vermek suretiyle hücre içerisinde zarlarda bulunan lipitlere, mitokondriye, kloroplasta ve DNA'ya saldırarak hücreyi ölüme götürürler (Sun vd., 2011).

Hücre içerisinde reaktif oksijen türevlerinin bertaraf edilmesi için farklı sistemler mevcuttur bu sistemler genel anlamda ikiye ayrılarak ele alınabilir. Enzimatik sistemler; katalaz (CAT), guayakol peroksidaz (POD) ve askorbat peroksidaz (APX). Enzimatik olmayan sistemler; askorbik asit, α -tokoferol, glutatyon ve fenolik bileşikler (Corpas vd., 2015).

1.3.2. Enzimatik Antioksidant Sistem

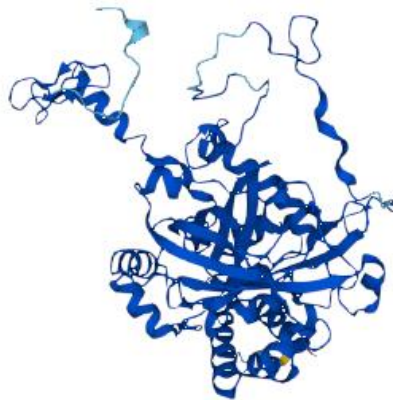
1.3.2.1. Katalaz (CAT)

Katalaz enzimi hidrojen peroksiti, su ve oksijene parçalayarak hücreyi korur. Hücre içerisinde asıl olarak peroksizomlarda bulunurlar. Katalaz enzimi iki mol hidrojen peroksiti iki mol su ve moleküler oksijene parçalar (Şekil 1.4) (Elkelish vd., 2020).



Şekil 1.4. Katalaz enzimi reaksiyon

Bitkilerde bulunan CAT ise 3 farklı sınıfa ayrılırlar (Padró vd., 2021) Bu sınıflardan birincisi; fotosentetik dokularda yani yaprakta bulunan hücrelerde lokalizedir, bu sınıf CAT'ların görevi fotorespirasyon sırasında açığa çıkan H_2O_2 'nin parçalanmasıdır. Bir diğer sınıf CAT; genç yapraklar ve tohumlarda bulunurlar ve glioksizom organelinde gerçekleşen glioksilat çevrimi sırasında aşırı üretilen H_2O_2 'nin yok edilmesinde görev alırlar. Sonuncu sınıf CAT'lar; iletim demeti dokularında bolca üretilirler ve lignifikasyonda görev alırlar. Katalaz enzimi 492 aminoasitten oluşur, 56kDa ağırlığa sahiptir ve 65 ve 138'inci aminoasit lokasyonu katalitik bölgesidir (Şekil 1.5) (K. Parvin vd., 2019).

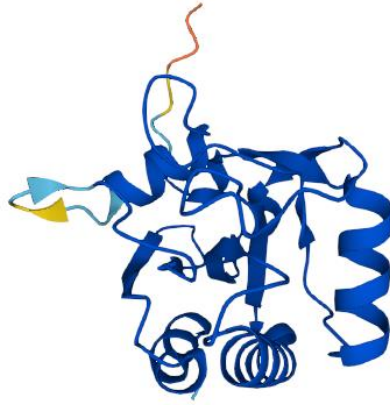


Şekil 1.5. Domateste bulunan CAT enzimi 3 boyutlu yapısı

Kaynak: (url-1)

1.3.2.2. Guyakol Peroksidaz (GPX) Hakkında Bilgiler

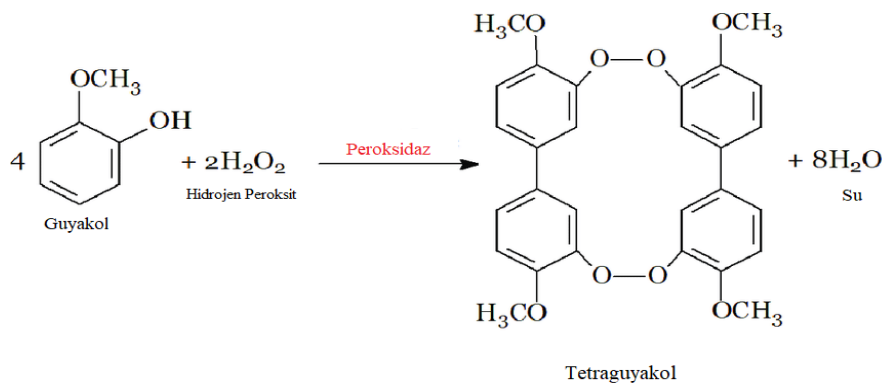
Bu enzim içeriğinde HEM grupları içeren monomerlerden oluşan bir enzim olup 169 aminoasit zincirinden oluşur. 18 kDa civarında ağırlığa sahiptir ve 43'üncü aminoasit lokasyonu katalitik bölgesidir (Şekil 1.6) (Khursheda Parvin vd., 2019). Hücre içerisinde görevleri, lignin biyosentezinde çok önemli bir yere sahiptir ve IAA ve H₂O₂'yi kullanarak strese karşı koruma sağlamaktır. Hücrelerin duvarında bulunan bir enzim olduğu için H₂O₂'nin bertaraf edilmesinde ana rol oynadığı bilinmektedir (Hernandez-Hernandez vd., 2019).



Şekil 1.6. Domateste bulunan GPX enzimi 3B yapısı

Kaynak: (url-2)

Bu enzim reaksiyon olarak dört mol guyakol ve iki mol hidrojenperoksiti katalizleyerek tetraguyakol ve sekiz mol su oluşmasını sağlar ve hücrede ROS süpürücü görevi alır (Şekil 1.7) (Patanè vd., 2022).



Şekil 1.7. GPX enziminin çalışma mekanizması

1.3.2.3. Askorbat Peroksidaz (APX) Hakkında Bilgiler

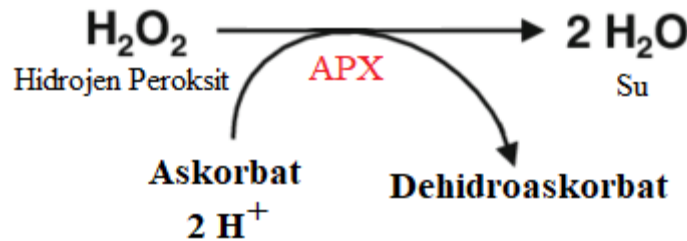
Bu enzim askorbik asiti (AsA) kullanarak H_2O_2 'nin suya parçalanmasını sağlar. Tilakoid, stromal, sitozolik ve apoplastik izomerleri bulunan çok çeşitli bir enzim çeşididir. Kloroplastik izoformunun yarılanma ömrü çok kısa (35-40 sn) olduğu için *in-vitro* çalışmalarda kullanımı zordur (Kashyap vd., 2020). CAT enzimine göre H_2O_2 'ye karşı olan afinitesi çok daha fazladır bu yüzden hücre içerisinde ilk olarak görev alan enzimdir. 250 aminoasit zinciri uzunluğa sahiptir ve 27 kDa büyüklüktedir (Şekil 1.8) (Zhou vd., 2019).



Şekil 1.8. Domateste bulunan APX enziminin 3B yapısı

Kaynak: (url-3)

Bir mol hidrojen peroksit ile askorbatın reaksiyonunu katalizler ve iki mol su ile dehidroaskorbata dönüştürerek ROS süpürücü etki gösterir (Şekil 1.9) (Raynaldo vd., 2024).

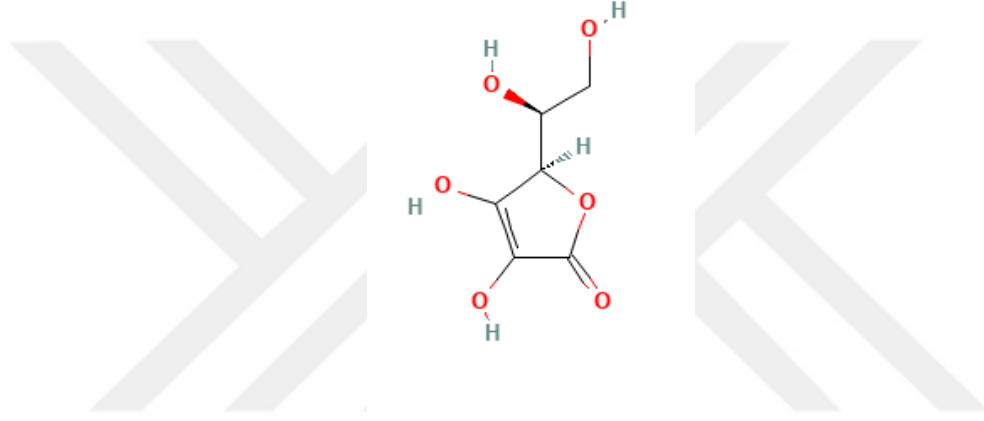


Şekil 1.9. APX enziminin reaksiyonu

1.3.3. Non-Enzimatik Antioksidant Sistem

1.3.3.1. Askorbik Asit

Bitki hücrelerinde en çok çalışılmış antioksidanlardan birisidir. Hücre içerisinde konsantrasyonu değişkenlik göstermekle birlikte 20mM'dan 300mM'a kadar olabilir. Mitokondride sentezlenip diğer hücre için elemanlara difüzyon ile geçiş yapar. Bitkilerin savunma sisteminden büyüüp gelişmesine kadar birçok farklı süreçte yer alan bu antioksidan oldukça önemlidir. 176.12g/mol ağırlığa sahip dört adet hidrojen verici, altı adet hidrojen alıcı ve iki adet dönüş bağına sahip bir moleküldür (Şekil 1.10) (Al-Huqail vd., 2020).

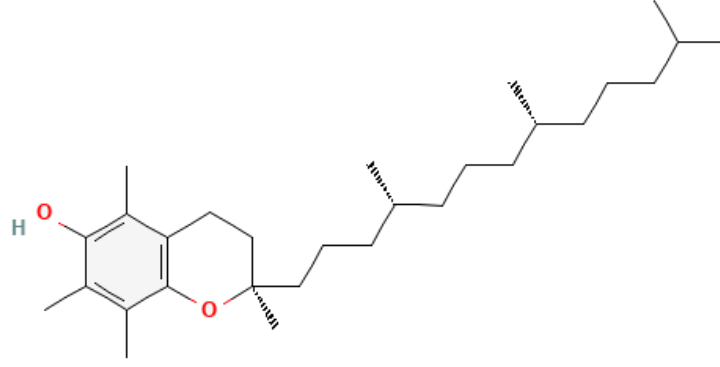


Şekil 1.10. Askorbik asitin kimyasal yapısı

Kaynak: (url-4)

1.3.3.2. α -Tokoferol

Dört farklı izomerden (α , β , γ ve δ) oluşan bir antioksidant ailesidir. Bu aileden α -tokoferol hücrede kloroplastik olarak bulunan ve en çok aktivite gösteren formdur. Tekil oksijen bağlama kapasitesi ile hücreyi ROS'lara karşı korur. Özellikle hücrede lipid oksidasyon ürünlerini temizlemesi sayesinde membran stabilizasyonu sağlar ve sinyal iletimini düzenler. Bu antioksidant, bitkiyi çeşitli streslere karşı korurlar. 430.7 g/mol ağırlığa sahip, bir adet hidrojen verici, iki adet hidrojen alıcı ve on iki adet dönüş bağına sahip bir moleküldür (Şekil 1.11) (IBRAHİM ve MAHMOOD, 2022).



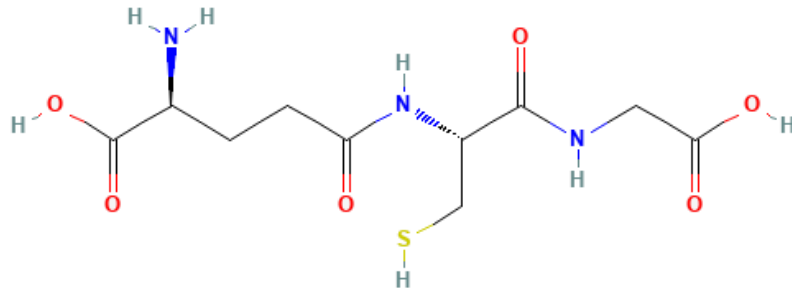
Şekil 1.11. α -tokoferol'un kimyasal yapısı

Kaynak: (url-5)

1.3.3.3. Glutatyon

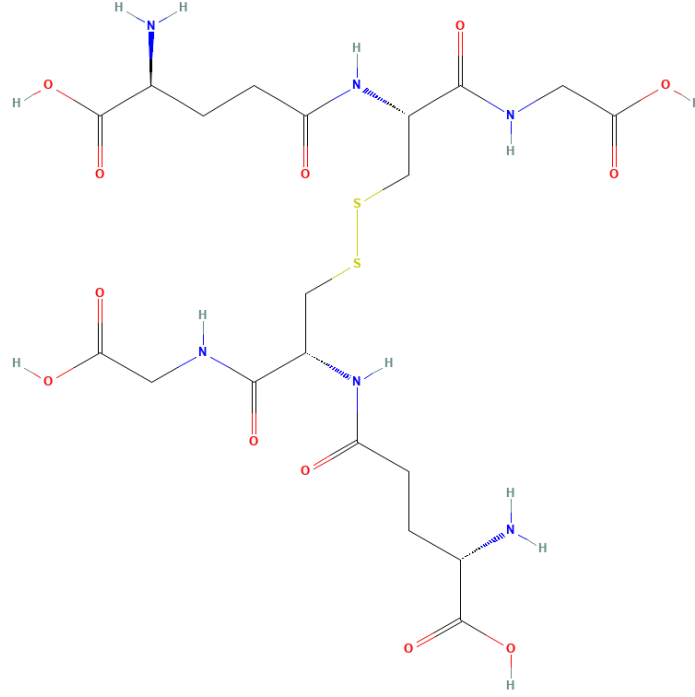
Tripeptit yapıda bulunan ve hücrenin bütün bölümlerinde (kloroplast, vakuol, mitokondri vb.) bulunan bir antioksidanttır. Protein olmayan tiol yapıda bulunan glutatyon organizmada neredeyse bütün biyokimyasal olaylarda görevlidir. Bitki hücrelerinde en yoğun kloroplastlarda bulunurlar (1-4 mM) ve çoğunlukla indirgenmiş formdadır. Glutatyon sentetaz (GSHS) tarafından ATP'ye bağımlı olarak sentezlenir (Kushwaha vd., 2020).

Hücrede, ROS'ları bağlayarak oksitlenmiş formu olan glutatyon disülfid (GSSG)'e dönüşürler. Bu sayede serbest bir antioksidant süpürücü olarak görev yaparlar. 307.33g/mol ağırlığa sahip, altı adet hidrojen verici, sekiz adet hidrojen alıcı ve dokuz adet dönüş bağına sahip bir moleküldür (Şekil 1.12). Reaksiyon sonrası oluşan GSSG ise 612.6g/mol ağırlığa sahip on adet hidrojen verici, on altı adet hidrojen alıcı ve yirmi bir adet dönüş bağına sahip bir moleküldür (Şekil 1.13) (Ding vd., 2022).



Şekil 1.12. Glutatyon kimyasal yapısı

Kaynak: (url-6)

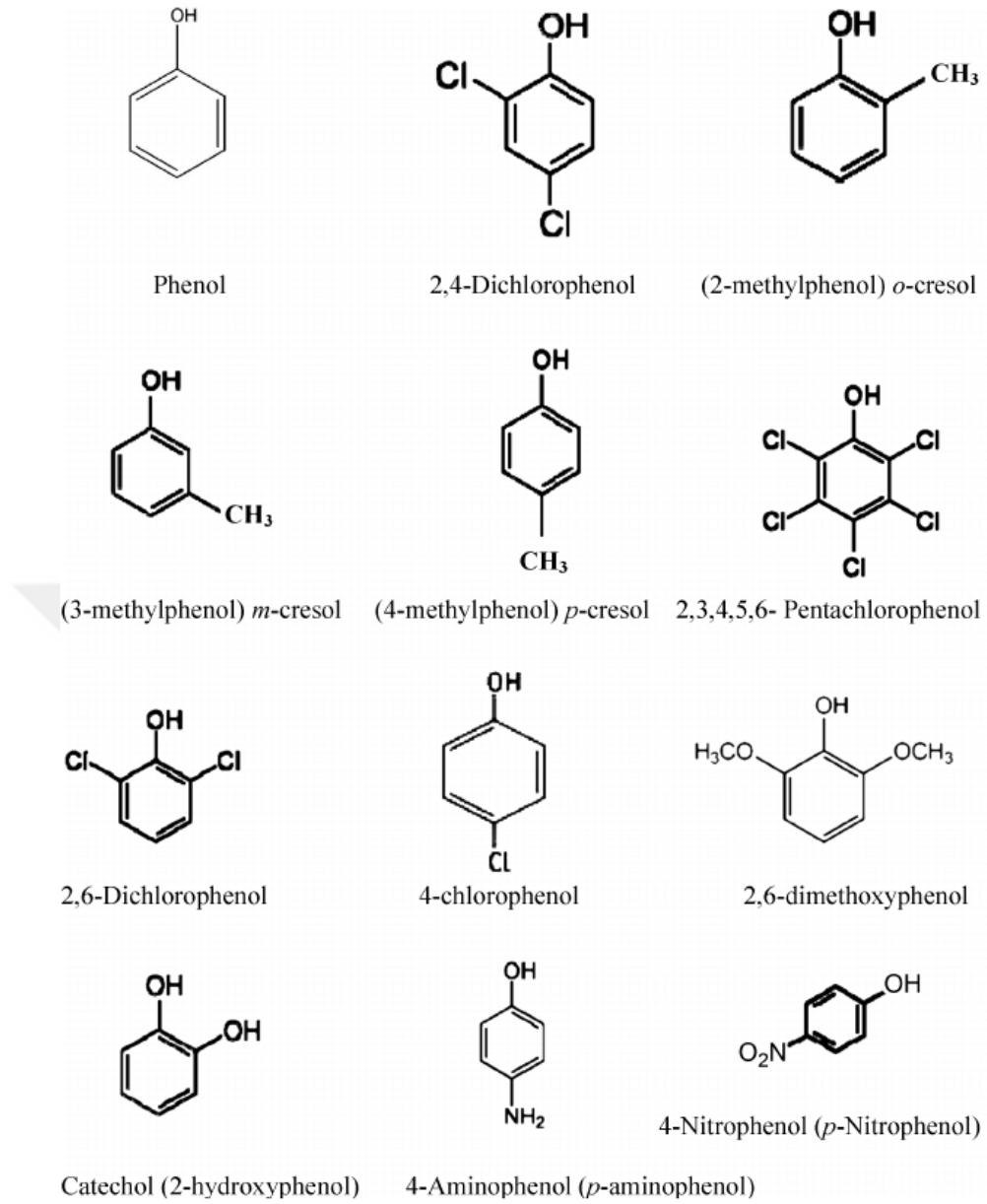


Şekil 1.13. Oksitlenmiş glutatyon(GSSG)

Kaynak: (url-7)

1.3.3.4. Fenolik Bileşikler

Bitkilerde bulunan çeşitli ikincil metabolitleri içeren bir gruptur. Bu metabolitlerin çok etkili antioksidantlar oldukları bilinmektedir. Sadece bitki hücrelerinin kendisi için değil insanların diyetlerinde bulundurmaları ile insanlara yararı olan antioksidant çeşitleridir. Bu antioksidantlar özellikle polifenoller olarak adlandırılır ve hücrede elektron ve hidrojen alıcılar olarak bulunurlar. Bu özellikleri sayesinde ROS'ların kararlı yapılar oluşturmalarını sağlarlar ve hücreyi oksidatif strese korurlar. Ayrıca, lipid metabolizmasını düzenlemek ve zar akışkanlığını değiştirmek gibi önemli rolleri de vardır. Bu sayede lipidlerin peroksidasyonunu engelleyerek hücrenin zar bütünlüğünü sağlar ve serbest radikallerin difüzyonunu düzenler. Çeşitli fenolik bileşiklerin kimyasal yapıları Şekil 1.14'te verilmiştir (Dursun vd., 2019).



Şekil 1.14. Çeşitli fenolik bileşiklerin kimyasal yapıları

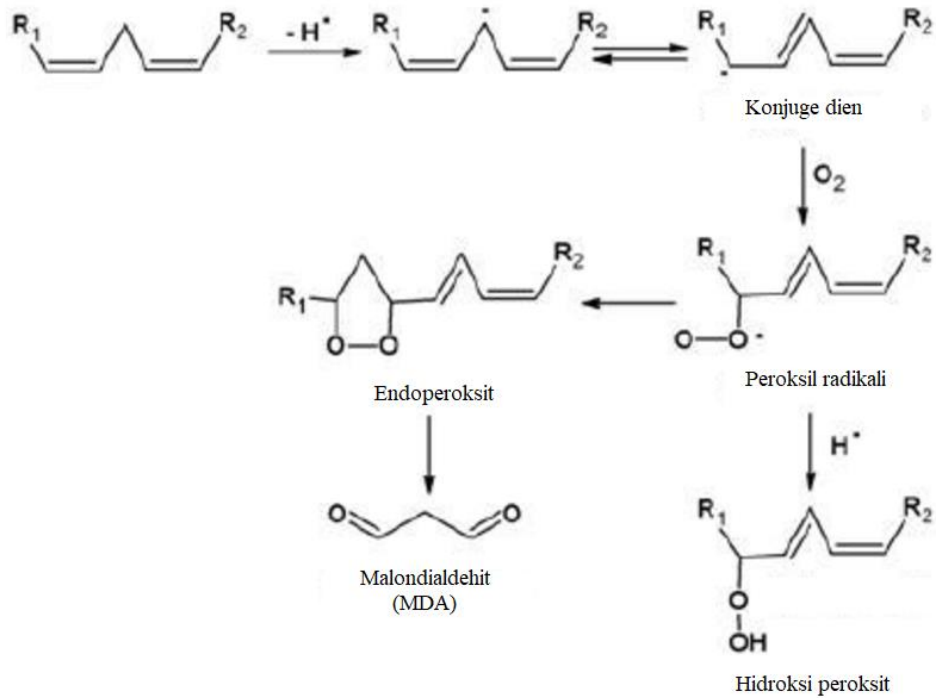
Kaynak: (url-8)

1.4. Lipit Peroksidasyonu

Lipitler hücrede bulunan en önemli bileşiklerdendir. Hücrelerin ve içerisindeki organellerin zar yapıları lipit yapıda oldukları için hücre stabilitesini sağlarlar. Bu yapıların çeşitli stres koşulları altında veya bitki hücrelerinde gerçekleşen metabolik olaylar sonucu ortaya çıkan ROS'lar tarafından saldırıya uğraması sonucu hücre bütünlüğü bozunur (Zhang vd., 2020).

Lipit peroksidasyonunun en çok etkiyi iki enzim üzerinde (glukoz-6-fosfataz ve sitokrom P450) göstermektedir. Aynı zamanda hücre zarı yapısında neden olduğu bozunmalar sonucu hücreler iyonik dengeyi sağlayamazlar (Liu vd., 2020).

Lipit peroksidasyonun belirlenmesinde en çok kullanılan metot malondialdehit-tiyobarbitürat reaktif maddeler (MDA-TBARS) metodudur. Bu metotta lipit peroksidasyon sonucu üretilen MDA spektrofotometrik olarak belirlenir (Şekil 1.15) (Changwal vd., 2021).



Şekil 1.15. Lipit peroksidasyon mekanizması ve MDA kimyasal yapısı

Kaynak: (url-9)

1.5. Literatür Özeti

Almaghrabi ve ark. tarafından yapılan çalışmada 6 farklı PGPR kullanılmış (*Pseudomonas putida*, *Pseudomonas fluorescens*, *Serratia marcescens*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* ve *Bacillus cereus*) olup, domates bitkisi üzerine bu bakteriler uygulanmış ve bitki verimliliğindeki farklılıklar belirlenmiştir. Bitkilerin kuru ağırlığı *S. marcescens* uygulanan bitkilerde 43gr (en yüksek), *B. cereus* uygulanan bitkilerde ise 27 gr (en düşük) olarak belirlenmiştir. Bitki boyuna bakıldığı zaman, *S. marcescens* uygulanan bitkilerin boyları 52.66 cm, *P. putida* uygulanan bitkilerin boyları ise 48 cm olarak ölçülmüştür (Almaghrabi vd., 2013).

Sriwati ve ark. tarafından yapılan çalışmada *P. Mosselii*, *Arthrobacter* sp., *P. aeruginosa*, *B. cereus*, *S. marcescens*, *B. thuringiensis* bakterilerinin çeşitli izolatları domates bitkisi üzerinde denenmiş ve kontrole oranla her bakteride bitki veriminde artış gözlemlenmiştir. Aynı çalışmada bir bitki patojeni olan *F. oxysporuma* karşı da bakterilerin antifungal etkisi çalışılmış olup en iyi sonuçlar *S. marcescens* ve *P. aeruginosa* türü izolatlarda görülmüştür (Sriwati vd., 2023).

Hameeda ve ark. yaptığı çalışmada fosfat çözündürme özelliğine sahip beş bakteriyel suşu mısır bitkisi üzerinde denemiştir. Yapılan petri kağıtta büyütme yöntemi denemeleri sonucunda en etkili iki suş belirlenmiş ve bunlar ile sera denemelerine geçilmiştir. *S. marcescens* uygulaması yapılan bitkilerde kuru ağırlık ölçümlerinde kontrole göre %99 artış, *Pseudomonas* spp. uygulaması yapılan bitkilerde ise %94 artış görülmüştür. Genel bitki verimine bakıldığı zaman *S. marcescens* ve *Pseudomonas* spp. Uygulamalarında sırasıyla %85 ve %64 artış gözlemlenmiştir (Hameeda vd., 2008).

Devi ve ark. *Achyranthes aspera* bitkisi üzerinde *S. marcescens* türü bir izolatu denemişler ve bitkilerde tekrar izolasyon gerçekleştirerek 10^6 'dan 10^8 CFU'ya kadar bir artış görmüşlerdir. Aynı zamanda bitki veriminde gövde boyunda %95.52 artış, gövde ve kök yaş ağırlıklarında sırasıyla %602.38 ve %438 artış, yaprak alanında ise %127.2 artış görmüşlerdir (Devi vd., 2016).

Chavez-Arteaga ve ark. tarafından yapılan çalışmada *Enterobacter asburiae*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Klebsiella variicola*, *Serratia marcescens* türlerinin izolatları domates bitkisi üzerinde nematosidal etki ve bitki büyümesine olan etkisine bakılmıştır. Bitkinin genel verimine bakıldığı zaman *S. marcescens* izolatının uygulandığı bitkilerde anlamlı bir sonuç bulunamamıştır. Kök yaş ağırlığında ise kontrole oranla %25 düşüş görülmüştür (Chávez-Arteaga vd., 2022).

(Asaf vd., 2017) yaptığı çalışmada soya fasulyesi bitkisi üzerinde LK11 (*Sphingomonas* sp. LK11), TP5 (*Bacillus subtilis*), MPB5.3 (*B. subtilis* subsp. *subtilis*), S9 (*B. subtilis* subsp. *subtilis*), and TP1 (*Serratia marcescens*) izolatları denenmiştir ve elde edilen sonuçlar şu şekildedir. Kök ve gövde uzunluğu anlamlı bir şekilde *S. marcescens* izolatının kullanıldığı bitkilerde artış, yaş ve kuru ağırlıkta artış, klorofil içeriğinde düşük oranda bir artış görülmüştür

(Chakraborty vd., 2010) gerçekleştirdiği çalışmada *Serratia marcescens* TRS-1 izolatının *Camellia sinensis* (çay) bitkisi üzerinde büyümeyi artırıcı özelliğine ve *Fomes lamaoensis* patojenine karşı direnç indüklenmesini incelemişlerdir. Beş farklı çay varyetesi üzerinde alınan sonuçlarda bitki uzunluğunda yaklaşık olarak iki kat artış görülmüştür. Yaprak sayılarına bakıldığı zaman yaklaşık %85'lik bir artış görülmüştür

S. marcescens NBR1213 izolatının *Phytophthora nicotianae* zararlısı üzerine olan etkisi *Piper betle* L. bitkisinde denenmiştir. Gövde uzunluğu incelendiği zaman yaklaşık %81 oranında, gövde kuru ağırlığı %68 oranında, kök uzunluğunda %152 oranında, kök kuru ağırlığı %290 oranlarında artış gerçekleşmiştir (Lavania vd., 2006).

1.6. Çalışmanın Amacı

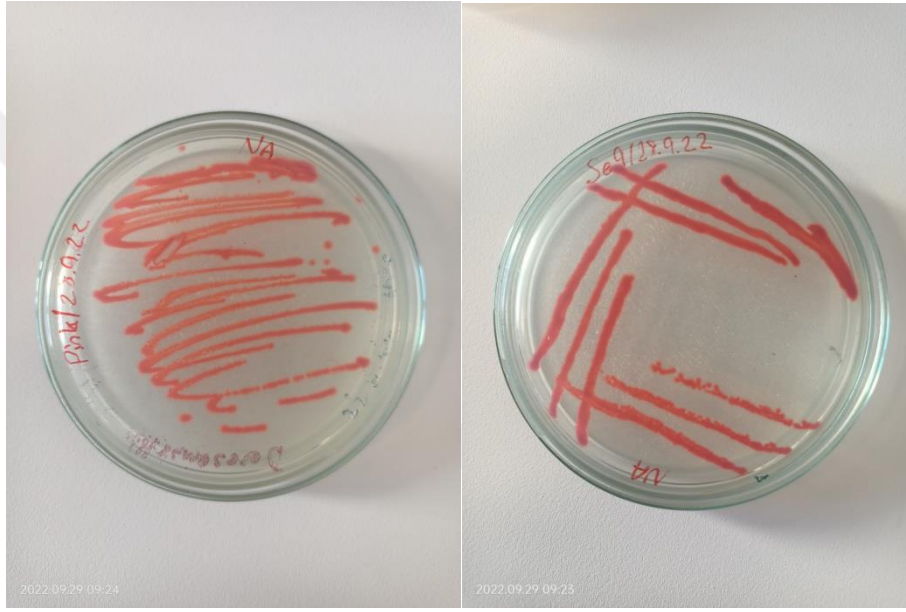
Bu çalışmada, daha önceki çalışmalarımızda izole edilmiş ve entomopatojenik özelliği bilinen lokal *Serratia marcescens* suşlarının domates bitkisinin büyüme ve gelişmesi üzerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda;

- Bakteri uygulanan tohumların çimlenme yetenekleri,
- Büyüyen fidelerin morfolojik özellikleri,
- Büyüyen fidelerin biyokimyasal özellikleri belirlenmiştir.
- Büyüyen fidelerin antioksidant sistemleri enzim düzeyinde incelenmiştir.

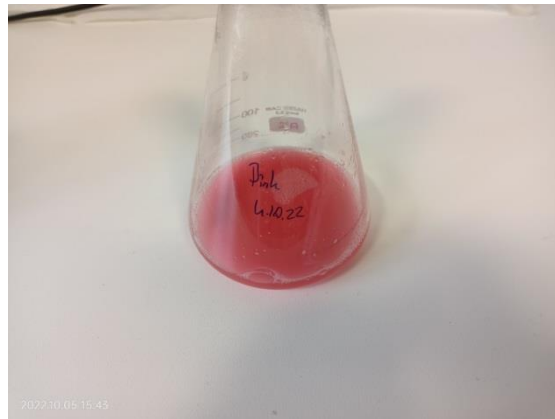
2. MATERYAL METOT

2.1. Bakteri Kùltürü

Çalışmada, önceki çalışmalarda izole edilmiş ve entomopatojenik özelliğı bilinen iki lokal *S. marcescens* izolatı (Sm-Se9 ve Sm-MK11) kullanıldı. İzolatlar NA besiyerine inoküle edilerek 30 °C’de gece boyu inkübasyona bırakıldı. Saflığından emin olunun koloniler NB besiyerine inoküle edilerek 30°C’de 200 rpm’de, gece boyu inkübe edildi Bakteri kùltürlerinin yoğunluğu spektrofotometrede ölçülerek $OD_{600}=0.5$ olacak şekilde ayarlandı.



Şekil 2.1. NA üzerinde büyütölen bakteriler



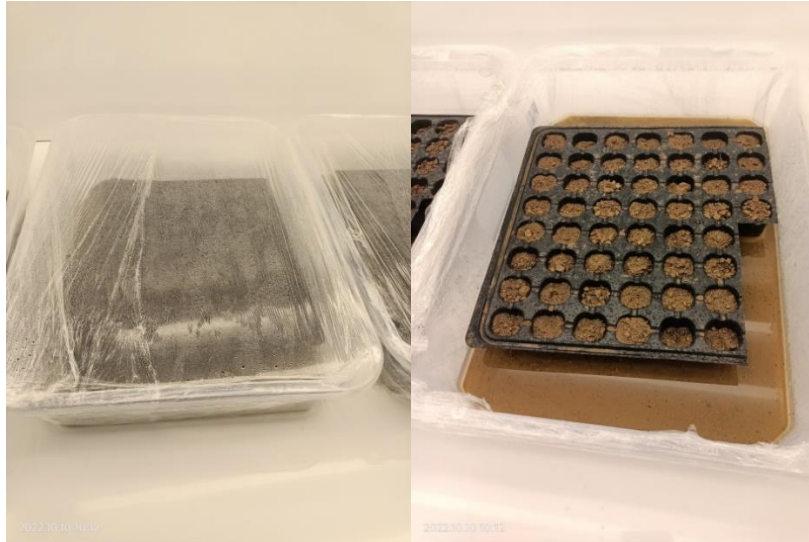
Şekil 2.2. NB içerisinde büyütölen bakteriler

2.2. Arazi Çalışması

Deneylerde kullanılmak üzere Bilecik ili Söğüt ilçesi Hamitabat köyünde bulunan domates seralarından toprak örnekleri alındı. Topraklar öncelikle eleme işleminden geçirilerek kum ve toprak olarak ayrıştırıldı ve daha sonra 1:1 oranında karıştırılarak kullanıldı (Nguyen vd., 2020). Topraklar öncelikle steril olmayan olarak kullanılmak üzere viyollere ve saksılara alındı, geri kalan topraklar ise steril olarak kullanılmak üzere 120 °C’de 120 dakika boyunca kuru hava fırınında steril edildikten sonra %70’lik etanol ile dezenfekte edilmiş viyol ve saksılara alındı (Akintokun vd., 2019).

2.3. Tohum Kaplama ve Çimlenme

Tohumlar %10’luk sodyum hipoklorit çözeltisinde 8 dakika bekletildikten sonra 5 defa steril dH₂O ile yıkandı. Kontrol grupları direk kullanılırken, bakteri uygulaması yapılacak olanlar önceden hazırlanmış bakteri süspansiyonu içerisinde 30°C sıcaklıkta, 200 rpm’de 30 dakika inkübe edilerek tohum kaplama gerçekleştirildikten sonra kullanıldı (Afzal vd., 2020). İlk olarak viyoller içerisine her bir kuyuda bir adet tohum olacak şekilde ekim yapıldı ve sera etkisi oluşturmak için streç film ile kaplandıktan sonra 16:8 (aydınlık:karanlık) fotoperiyotta %70 nem oranına sahip iklim odasında çimlenmeye bırakıldı. Viyoller yedi gün boyunca günlük takip edilerek çimlenme durumları gözlemlendi ve çimlenme yüzdeleri belirlendi (Essalimi vd., 2022).



Şekil 2.3. Çimlenme sürecindeki tohumlar

2.4. Bitki Büyütme

Çimlenme süreci bittikten sonra ilk gerçek yapraklar oluşana kadar fideler viyolde büyütülmeye devam edildi. Daha sonra fideler saksılara transfer edildi ve aynı şartlara sahip iklim odasında büyümeye bırakıldı. Her iki haftada bir olacak şekilde hazırlanmış olan bakteri süspansiyonu (200 ml) ile sulama gerçekleştirildi ve altı haftalık büyüme sonrasında hasat gerçekleştirildi (Holtappels vd., 2021).

2.5. Örneklerin Toprakten Sökümü ve Morfolojik Ölçümler

Hasat günü bitkiler su içerisinde toprakları ayrıştırılarak dikkatli bir şekilde, köklerine veya gövdesine zarar verilmeden söküldükten sonra köklerin kurumaması için su içerisinde alındı. Su içerisinde alınan bitkilerin her birinin kök-gövde uzunlukları, gövde çapları cetvel yardımı ile ölçüldü ve kaydedildi. Yaprak sayıları sayıldı ve kaydedildi. Kök tüylenmesi stereo mikroskop ile görüntüldü. Yaş-kuru ağırlıkları nem tayin cihazı ile belirlendi ve biomass hesaplaması yapıldı (Tatsumi vd., 2021).

İleride yapılacak olan lipit peroksidasyon ve antioksidant enzim analizlerinde kullanılmak üzere kök, gövde, yaprak organlarından örnekler alınarak lipit peroksidasyon analizi için -20°C ve antioksidant enzim analizi için -80°C’de saklandı.

2.6. Klorofil Analizi

Hasat edilen bitkilerin yapraklarından alınan örnekler her bir grup için 3 tekrar olacak şekilde 0.1 gram tartıldıktan sonra deney tüplerine alındı, üzerlerine 10 ml saf metanol eklendikten sonra 1 saat, 65 °C su banyosunda inkübe edildi. Su banyosundan alınan örnekler oda sıcaklığına gelene kadar bekletildi (Şekil 2.4) ve daha sonra her biri 5 tekrar olacak şekilde spektrofotometre küvetlerine alınarak 470 nm, 653 nm, 666 nm’lerde ölçüldü ve aşağıda belirtilen formüllere göre klorofil A, klorofil B ve karotenoid içerikleri belirlendi (Dere vd., 1998).

$$2.6.1 \ C_a = (15,65 \times A_{666}) - (7,340 \times A_{653})$$

$$C_b = (27,05 \times A_{653}) - (11,21 \times A_{666})$$

$$C_{x+c} = (1000 \times A_{470}) - (2,860 \times C_a - 129,2 \times C_b / 245)$$



Şekil 2.4. Klorofil analizi görüntüleri

2.7. Lipit Peroksidasyon Analizi MDA-TBARS

Hasat günü analiz için -20 °C'ye kaldırılan kök örnekleri (0.1 gr) havan içerisinde önceden hazırlanmış olan %0.1 trikloroasetikasit (TCA) içeren homojenizasyon tamponu (500µl) ile tamamen öğütülüp homojen bir sıvı haline getirildikten sonra ependorflara aktarıldı. Homojenat 12000 rpm, 20 dakika, +4°C'de santrifüj edildi. Süpernatant kısmından 250 µl tüplere aktarıldıktan sonra üzerlerine 1 ml %20 TCA ve %0.5 tiyobarbitürikasit (TBA) içeren reaksiyon tamponu eklendi ve 95 °C, 1 saat su banyosunda inkübe edildi. Reaksiyonun durdurmak için tüpler hemen buz içerisinde gömüldü ve elde edilen sıvı ependorflara aktarıldı. Tekrar 12000 rpm, 10 dakika, +4 °C santrifüj edildi. Elde edilen süpernatantın MDA içeriğini belirlemek için spektrofotometrede 532nm ve 600 nm dalga boylarında ölçüm yapıldı. Ölçümler üç tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirildi ve elde edilen absorbans değerleri aşağıda verilen formül ile hesaplandı (Devasagayam vd., 2003).

$$2.7.1 \text{ MDA (nmol ml}^{-1}\text{)} = [(A_{532}-A_{600}) / 155000] 10^6$$

2.8. Antioksidant mekanizma

2.8.1. Ekstraksiyon

Yaprak örnekleri (0,1gr) soğutulmuş havan içerisinde 1 ml tampon (50mM K₂HPO₄, 50mM KH₂PO₄, %1 PVP, 1mM EDTA) çözelti kullanılarak homojen hale gelene kadar öğütüldükten sonra ependorf tüp içerisinde alındı (Şekil 2.5) ve 15 sn vorteks yapıldı. Süspansiyon 20000×g, 20 dakika, +4°C santrifüj edildikten sonra enzim içeren süpernatant kısım 100'er µl olacak şekilde ependorflara aktarıldı ve enzim çalışmaları için -20 °C'de saklandı (Bozca Donbaloğlu, 2020). Ekstraksiyon işlemi üçer tekrarlı olarak gerçekleştirildi.



Şekil 2.5. Antioksidant analizi için ekstraksiyon

2.8.2. Protein Tayini

Ekstraktların protein miktarları Bradford yöntemi kullanılarak belirlendi. Sığır serum albümin (BSA) stoğundan (0,1mg/ml) 0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10 µg/ml konsantrasyonlarda standartlar hazırlanarak BSA standart eğri grafiği oluşturuldu. Örneklerden 20'şer µl alınıp ependorf tüplere aktarılaraq üzerine 780 µl steril dH₂O ve 200 µl 5× Bradford reaktifi eklendi. Reaksiyonun gerçekleşmesi için 3 saniye vorteksledikten sonra 5 dakika boyunca karanlıkta bekletilen örnekler daha sonra spektrofotometrede 595 nm dalga boyunda ölçüldü (Bozca Donbaloğlu, 2020).

2.8.2.1 Elde edilen absorbans değerleri kullanılarak standart grafikten elde edilen $y = 0,1023x + 0,2347$ formülü ile protein miktarı belirlendi.

2.8.3. Katalaz (CAT) Enzim Düzeyinin Belirlenmesi

Katalaz enzim aktivitesi, hidrojen peroksiti su ve oksijene parçalaması sonucu absorbansta meydana gelen değişikliklerin spektrofotometrik ölçümü ile belirlendi. Elde edilen enzim ekstraktından 20µl alınarak spektrofotometre küveti içerisinde 1 ml reaksiyon tamponu (50mM K₂HPO₄, 50mM KH₂PO₄, 30mM H₂O₂) ile karıştırıldı. Çalışma 3 tekrarlı olarak gerçekleştirildi. Spektrofotometrede 270 nm dalga boyunda 3 dakika boyunca 15 saniye aralıklarla kinetik ölçüm alındı. Elde edilen değerler kullanılarak aşağıda verilen formüle göre enzim aktivitesi belirlendi (Bozca Donbaloğlu, 2020).

2.8.3.1 CAT Aktivitesi (U/ μ g) : $[(\Delta\text{Abs} \times V_{\text{toplaml}}) / (\epsilon \times t \times V_{\text{enzim}} \times 1)] / \text{TP}$

ϵ : Katalaz ekstinksiyon katsayısı (40mmol/L.cm)

ΔAbs : Absorbans değışimi

V_{toplaml} : Reaksiyon toplam hacmi (1,020ml)

V_{enzim} : Reaksiyona giren enzim ekstraktı miktarı (0,020ml)

l: Işık yolu

TP: Ekstrakt total protein miktarı

2.8.4. Guyakol Peroksidaz (GPX) Enzim Düzeyinin Belirlenmesi

Her bir grup için ekstrakte edilen 3'lü tekrarlar bu analizde kendi içlerinde 3'er tekrar olarak kullanıldı. 60ml (25mM K_2HPO_4 , 25mM KH_2PO_4 , %0.05 guyakol, 10mM H_2O_2) reaksiyon tamponu hazırlandı ve 1 ml küvete aktarıldıktan sonra üzerine 20 μ l enzim ekstraktı eklendi. Bu işlem spektrofotometrede ölçüm almadan hemen önce gerçekleştirildi ve kinetik ölçüm olarak 3dk boyunca 15sn aralıklarla ölçüm alındı, elde edilen değerler kaydedildi. Aşağıda verilen formüle göre enzim aktivitesi belirlendi (Bozca Donbaloğlu, 2020).

2.8.4.1 GPX Aktivitesi (U/ μ g) : $[(\Delta\text{Abs} \times V_{\text{toplaml}}) / (\epsilon \times t \times V_{\text{enzim}} \times 1)] / \text{TP}$

ϵ : Katalaz ekstinksiyon katsayısı (26,6mmol/L.cm)

ΔAbs : Absorbans değışimi

V_{toplaml} : Reaksiyon toplam hacmi (1,020ml)

V_{enzim} : Reaksiyona giren enzim ekstraktı miktarı (0,020ml)

l: Işık yolu

TP: Ekstrakt total protein miktarı

2.8.5. Askorbat Peroksidaz (APX) Enzim Düzeyinin Belirlenmesi

Her bir grup için ekstrakte edilen 3'lü tekrarlar bu analizde kendi içlerinde 3'er tekrar olarak kullanıldı. Reaksiyon tamponu 25mM K_2HPO_4 , 25mM KH_2PO_4 , %0,05 guyakol ve 10mM H_2O_2 kullanılarak hazırlandı. Hazırlanan reaksiyon tamponundan 1 ml küvete aktarıldıktan sonra üzerine 20 μ l enzim ekstraktı eklenerek hemen spektrofotometrede ölçüm gerçekleştirildi ve kinetik olarak 3 dakika boyunca 15 saniye aralıklarla ölçüm alındı.

Ölçüm sonuçları aşağıda verilen formül kullanılarak enzim aktivitesi belirlendi (Bozca Donbaloğlu, 2020).

$$2.8.5.1 \text{ APX Aktivitesi (U/}\mu\text{g)} : [(\Delta\text{Abs} \times V_{\text{toplaml}})/(\epsilon \times t \times V_{\text{enzim}} \times 1)] / \text{TP}$$

ϵ : Katalaz ekstinksiyon katsayısı (2,8mmol/L.cm)

ΔAbs : Absorbans değişimi

V_{toplaml} : Reaksiyon toplam hacmi (1,020ml)

V_{enzim} : Reaksiyona giren enzim ekstraktı miktarı (0,020ml)

l : Işık yolu

TP: Ekstrakt total protein miktarı

2.9. *Serratia marcescens*'in endofitik özelliğinin belirlenmesi

Domates bitkisinde önemli ekonomik kayıplara yol açan *Tuta absoluta*, domates yapraklarında galeriler açarak beslenir. Endofitik özelliğe sahip entomopatojen bakterilerin bu tür zararlıların mücadelesinde kullanılabilme potansiyeli mevcuttur. Bu nedenle, çalışmada kullandığımız *Serratia marcescens* izolatlarının endofitik özelliğe sahip olup olmadıkları belirlendi. Bunun için hasat günü hazırlanmış ve -80°C'de muhafaza edilen kök, gövde ve yapraklardan üç tekrarlı olacak şekilde yeniden izolasyon gerçekleştirildi. Örnekler %3'lük sodyum hipoklorit çözeltisi içerisinde 2 dakika bekletildikten sonra 4 defa seri sulardan geçirilerek yüzey sterilizasyonu gerçekleştirildi. Steril bisturi kullanılarak etrafındaki ölü dokular kesildikten sonra NA besiyeri üzerine yerleştirildi. Petriler 30 °C, 48 saat boyunca inkübasyona bırakılarak *S. marcescens*'e özgü kırmızı koloni oluşumları gözlemlendi (Niu vd., 2022).

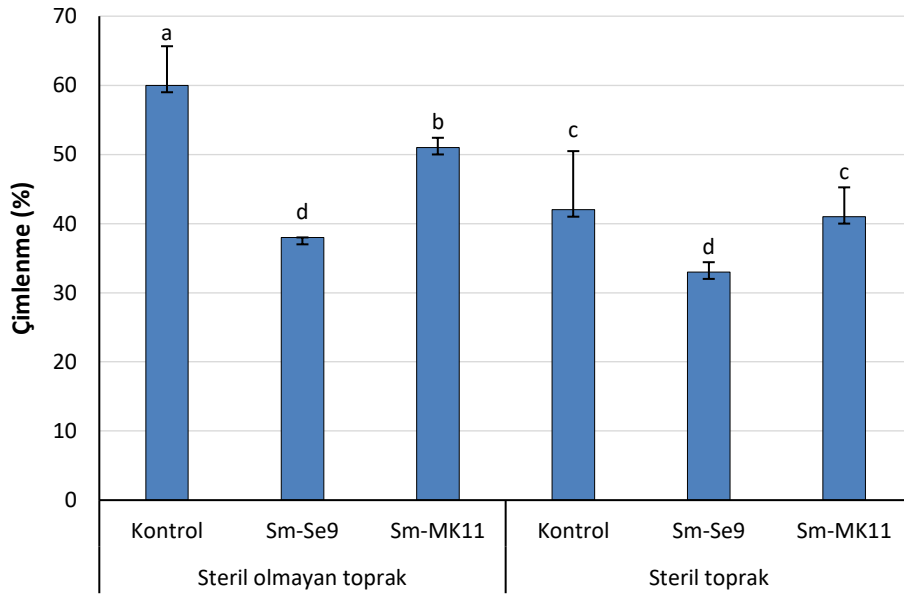
3. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

3.1. Sonuçlar

3.1.1. Morfolojik ölçümler

3.1.1.1. Çimlenme

Elde edilen sonuçlara göre kontroller arasında steril toprak kullanılan uygulamada anlamlı bir azalış, *Sm*-Se9 izolatu uygulanan gruplar arasında anlamlı bir sonuç bulunamamış olup, *Sm*-MK11 izolatu uygulanan gruplar arasında steril toprakta anlamlı bir azalış görülmüştür. Gruplar kendi aralarında değerlendirildiği zaman; steril olmayan toprakta *Sm*-Se9 ve *Sm*-MK11 izolatu kullanılan gruplarda kontrole göre anlamlı bir azalış, *Sm*-MK11 izolatu uygulanan grupta ise *Sm*-Se9 kullanılarına göre anlamlı bir artış gözlemlenmiştir (Grafik 3.1). Steril toprakta da benzer sonuçlar gözlenirken *Sm*-MK11 izolatında kontrole göre anlamlı bir sonuç görülmemiştir ($df=5$, $F=5,814$).



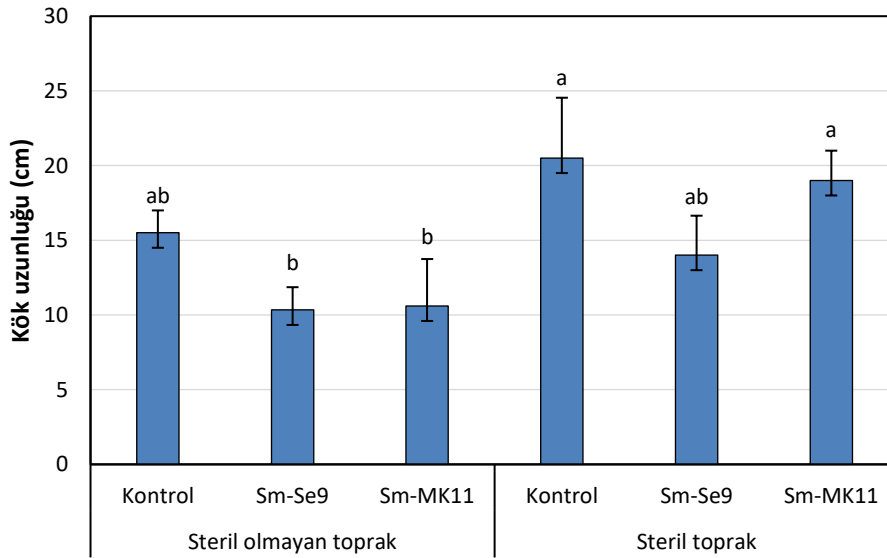
Grafik 3.1. Steril olmayan ve steril toprağa ekilen domates tohumlarının çimlenme oranları.

Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *Sm*-Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *Sm*-MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).

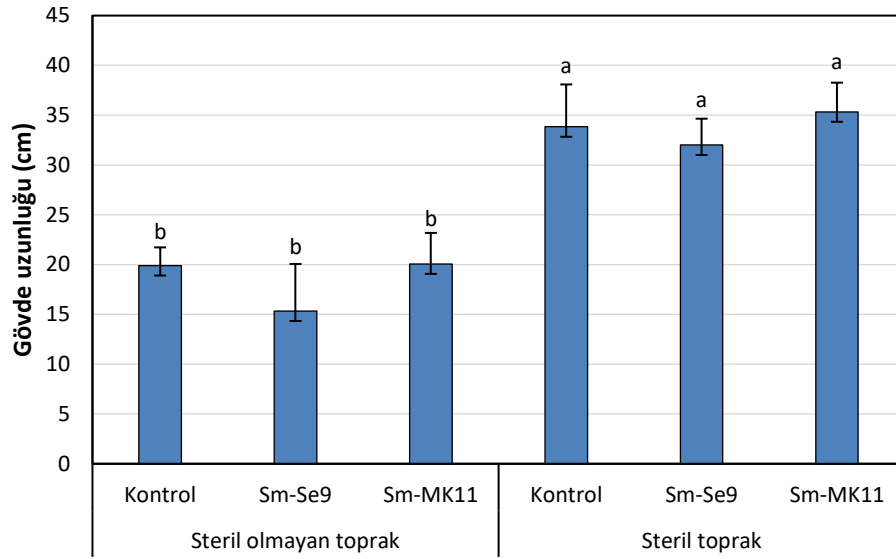
3.1.1.2. Kök-Gövde Uzunluk

Elde edilen sonuçlara göre kök uzunluklarına bakıldığı zaman kontroller arasında steril toprak kullanılan uygulamada anlamlı bir artış, *Sm-Se9* ve *Sm-MK11* izolatları uygulanan gruplar arasında steril toprakta anlamlı bir artış görülmüştür. Gruplar kendi aralarında değerlendirildiği zaman; steril olmayan toprakta *Sm-Se9* ve *Sm-MK11* izolatı kullanılan gruplarda kontrole göre anlamlı bir azalış gözlemlenmiştir. Steril toprakta *Sm-Se9* izolatında kontrole göre anlamlı bir azalış görülmüştür, *Sm-MK11* izolatında ise anlamlı bir sonuç görülmemiştir (Grafik 3.2) ($F=6,975$; $df=5$).

Elde edilen sonuçlara göre gövde uzunluklarına bakıldığı zaman steril olmayan ve steril toprak kullanılan gruplar arasında her bir grup için steril toprakta anlamlı bir artış gözlenmiştir. Gruplar kendi aralarında değerlendirildiği zaman toprak farklılıklarına göre bütün gruplar anlamsız bir sonuç göstermiştir (Grafik 3.3) ($F=19,331$; $df=5$).



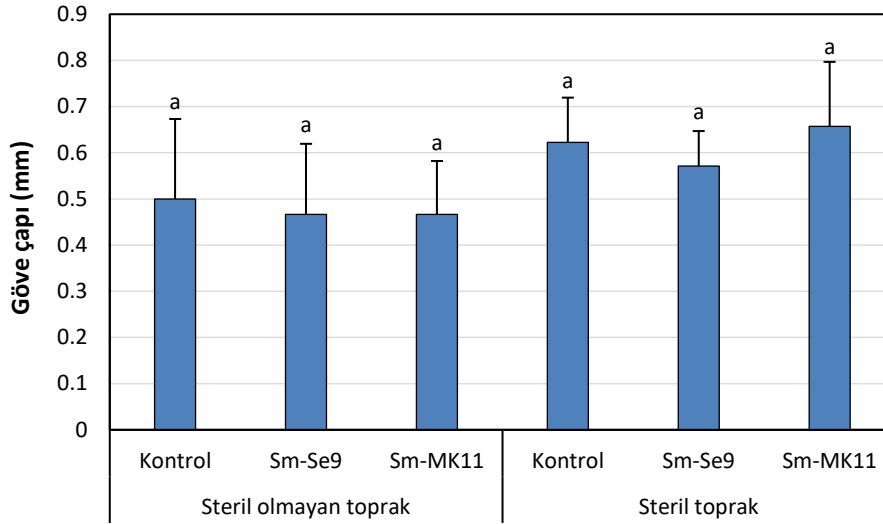
Grafik 3.2. Steril olmayan ve steril toprak büyütülen domates bitkilerinin kök uzunlukları. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *Sm-Se9* süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *Sm-MK11* süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).



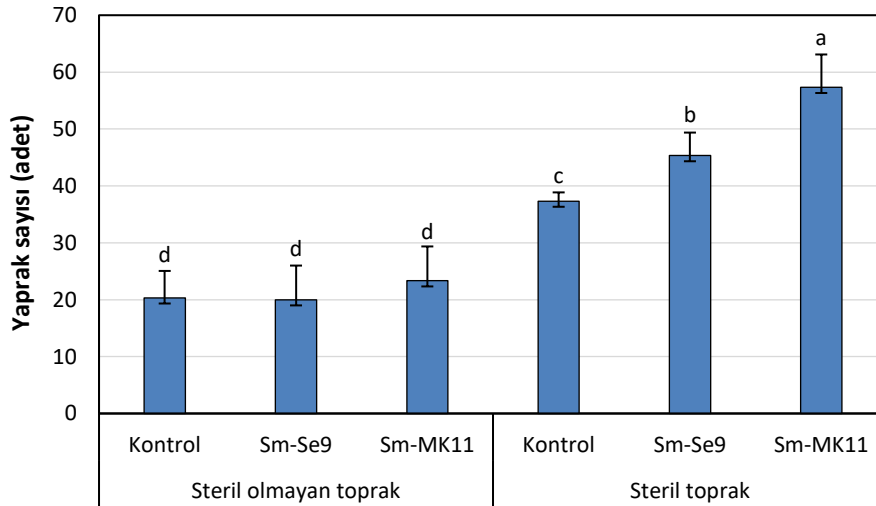
Grafik 3.3. Steril olmayan ve steril toprak büyütülen domates bitkilerinin gövde uzunlukları. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *Sm-Se9* süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *Sm-MK11* süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P < 0.05$).

3.1.1.3. Gövde Çapı ve Yaprak Sayısı

Elde edilen sonuçlarda gövde çapı incelendiği zaman hiçbir anlamlı sonuç gözlenmemiştir (Grafik 3.4). Yaprak sayısına baktığımız zaman ise toprak farklılıklarına göre her bir grup kendisi ile karşılaştırıldığında steril toprakta her birinde anlamlı bir artış gözlenmiştir. Steril olmayan toprak kullanılan gruplarda kendi aralarında anlamlı bir sonuç gözlenmezken, steril toprakta bakteri uygulaması yapılan gruplar kontrole göre anlamlı bir artış, *Sm-MK11* izolatu kullanılan grupta *Sm-Se9* izolatu kullanılan gruba göre anlamlı bir artış göstermiştir (Grafik 3.5) ($F=4,252$; $df=5$).



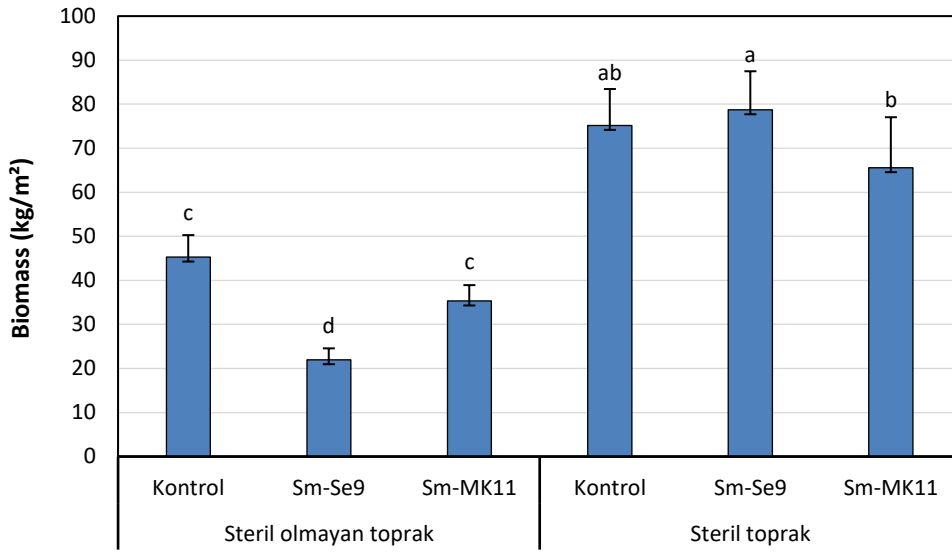
Grafik 3.4. Steril olmayan ve steril toprak büyütülen domates bitkilerinin gövde çapları. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *Sm-Se9* süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *Sm-MK11* süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P < 0.05$).



Grafik 3.5. Steril olmayan ve steril toprak büyütülen domates bitkilerinin yaprak sayıları. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *Sm-Se9* süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *Sm-MK11* süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P < 0.05$).

3.1.1.4. Yaş-Kuru Ağırlık (Biyokütle)

Elde edilen sonuçlarda gruplar kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman steril toprak kullanılan gruplarda anlamlı bir artış gözlenmiştir. Steril olmayan toprakta gruplarda *Sm-Se9* izolatu kontrole göre anlamlı bir azalış gösterirken *Sm-MK11* izolatu kullanılan grupta anlamlı bir sonuç gözlenmemiştir. Steril toprakta ise *Sm-Se9* izolatu kullanılan bitkiler kontrole göre anlamlı bir artış gösterirken *Sm-MK11* izolatu kullanılan bitkiler anlamlı bir azalış göstermiştir (Grafik 3.6) ($F=48,863$; $df=5$).



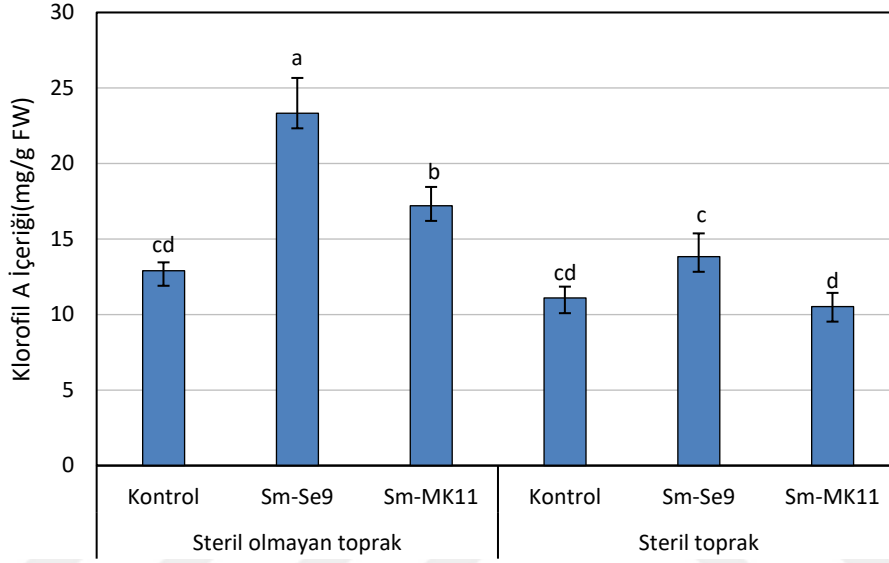
Grafik 3.6. Steril olmayan ve steril toprakta büyütülen domates bitkilerinin biyokütleleri. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *Sm-Se9* süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *Sm-MK11* süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).

3.1.2. Klorofil ve Karotenoid Miktarı

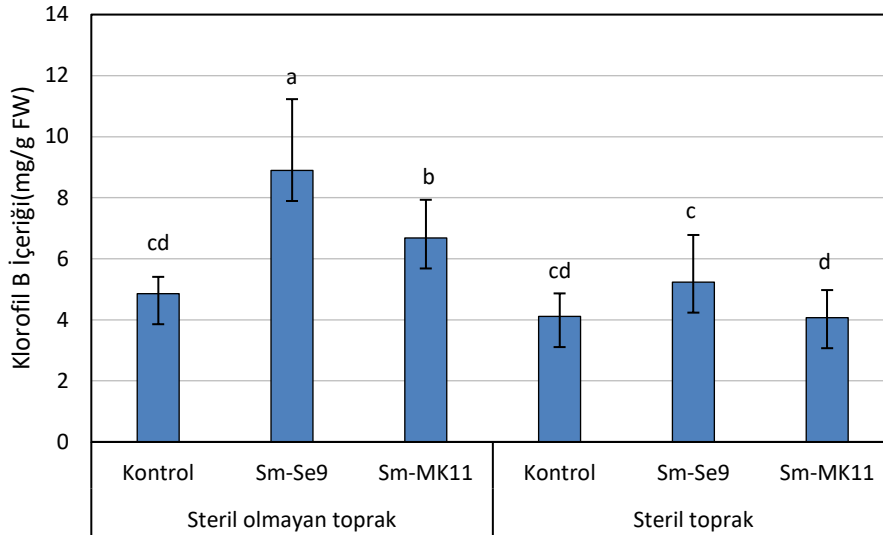
Yapılan analiz sonucu klorofil içeriğine bakıldığı zaman steril olmayan ve steril topraklar kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman kontroller arasında anlamlı bir farklılık görülmemiştir. *Sm-Se9* ve *Sm-MK11* izolatlarının her ikisinde de steril olmayan toprakta büyütülen bitkilerde diğerlerine göre anlamlı bir artış gözlenmiştir. Steril olmayan toprakta büyütme yapılan bitkiler kendi aralarında karşılaştırıldığında *Sm-Se9* ve *Sm-MK11* uygulanan bitkilerde kontrole oranla anlamlı bir artış gözlenirken *Sm-MK11* uygulanan bitkiler diğer

izolat uygulananlara göre daha düşük gözlenmiştir. Steril toprakta büyütülen bitkilere bakıldığı zaman steril olmayana benzer sonuç gözlenmiştir ($F=49,751$; $df=23$).

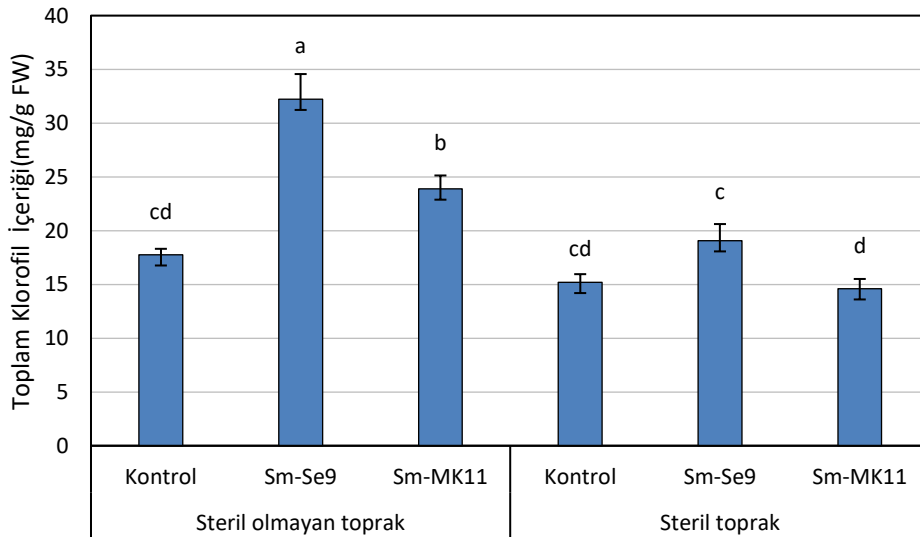
Yapılan analizler sonucu elde edilen karotenoid miktarında kontrol gruplarında steril olmayan ve steril toprak arasında anlamlı bir fark bulunmasa da bakteri uygulaması yapılan gruplarda hem kullanılan toprak farkına göre hem de kontrole göre artış gözlemlenmiştir ($F=53,828$; $df=23$).



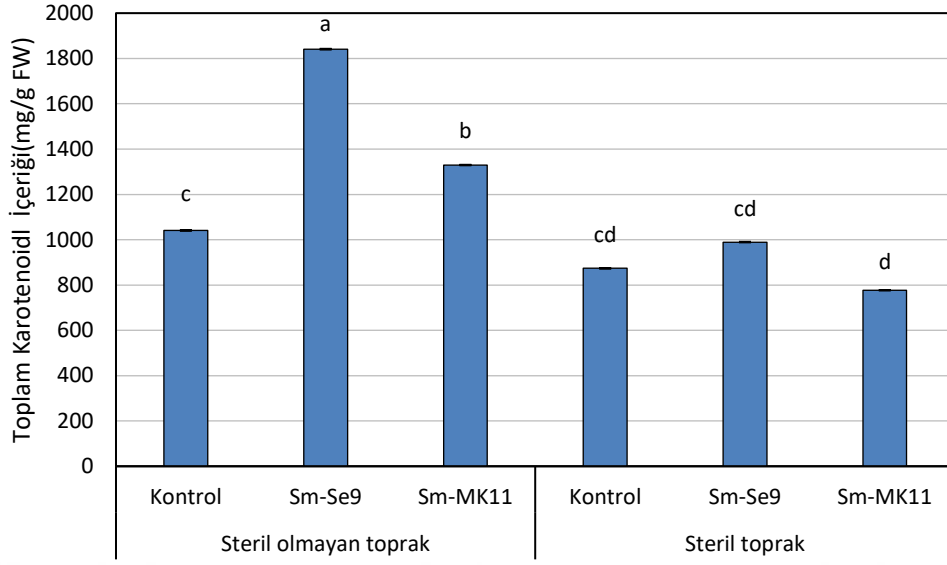
Grafik 3. 7. Steril olmayan ve steril toprakta büyütülen domates bitkilerinin klorofil A içeriği. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *Sm-Se9* süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *Sm-MK11* süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).



Grafik 3. 8. Steril olmayan ve steril toprakta büyütülen domates bitkilerinin klorofil B içeriği. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *Sm-Se9* süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *Sm-MK11* süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P < 0.05$).



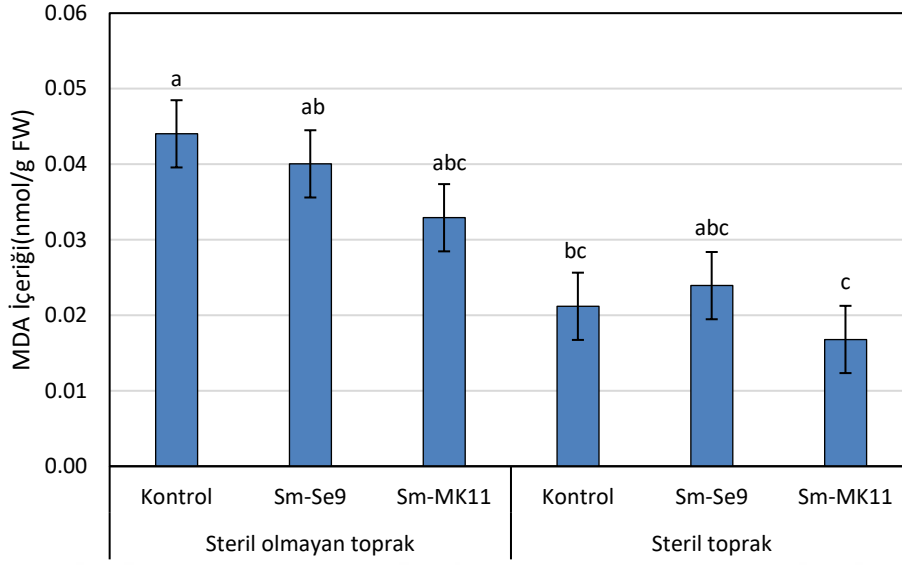
Grafik 3. 9. Steril olmayan ve steril toprakta büyütülen domates bitkilerinin total klorofil içeriği. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *Sm-Se9* süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *Sm-MK11* süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P < 0.05$).



Grafik 3. 10. Steril olmayan ve steril toprakta büyütülen domates bitkilerinin total karotenoid içeriği. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *Sm-Se9* süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *Sm-MK11* süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P < 0.05$).

3.1.3. Lipit Peroksidasyon (MDA Miktar)

Lipit peroksidasyon analizi (MDA-TBARS) sonucunda steril olmayan toprak ve steril toprak arasında anlamlı bir düşüş gözlenmiştir. Bakteri uygulaması yapılan bitkilerde her iki toprakta da kontrole göre anlamlı düşüşler gözlenmiştir (Grafik 3.11) ($F=6,556$; $df=17$).



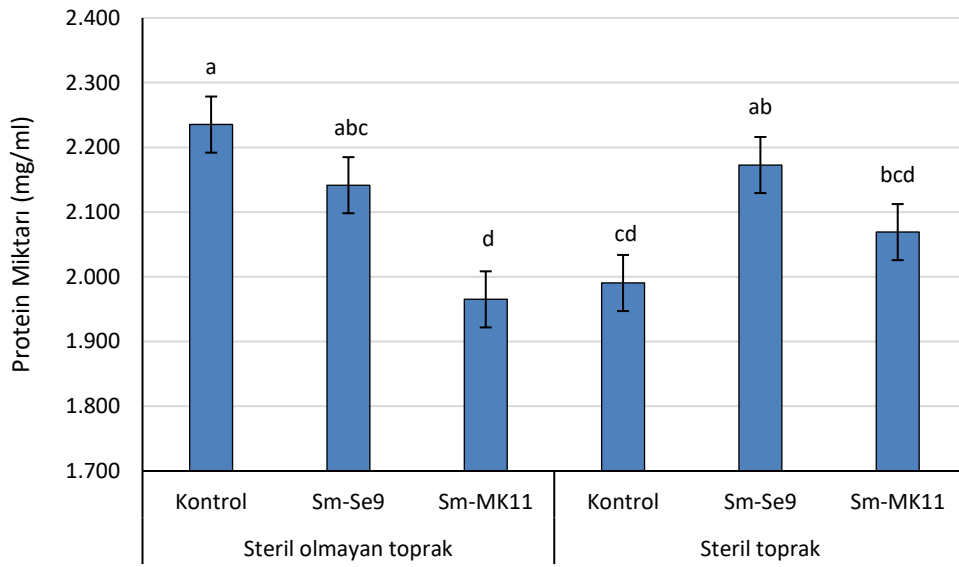
Grafik 3. 11. Steril olmayan ve steril toprakta büyütülen domates bitkilerinin MDA içeriği.

Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *S. marcescens* Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *S. marcescens* MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P < 0.05$).

3.1.4. Antioksidant Enzim Aktivitesi

3.1.4.1. Total Protein İçeriği

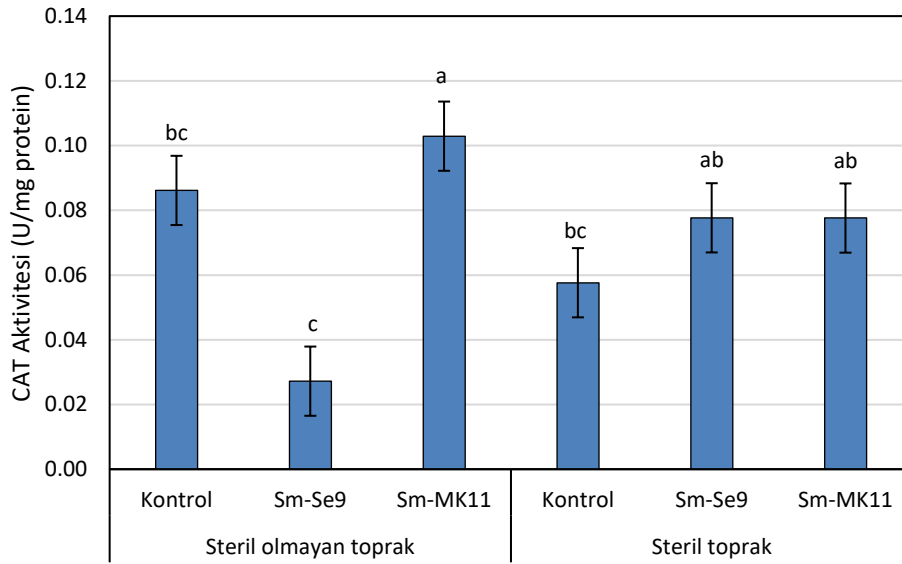
Yapılan Bradford analizinden çıkan verilere göre protein miktarlarında steril olmayan toprakta bitkilerde bakteri uygulaması yapılan bitkiler kontrole göre anlamlı düşüş göstermiştir. Steril toprakta ise bakteri uygulaması yapılan bitkilerde protein içeriği kontrole oranla anlamlı bir artış göstermiştir. Topraklar arasında gruplara bakıldığı zaman steril toprakta büyütülen kontrol grubunda diğerine göre anlamlı bir azalış gözlenmiştir. Bakteri uygulamalarında anlamlı bir fark görülmemiştir (Grafik 3.12) ($F=10,362$; $df=5$).



Grafik 3. 12. Steril olmayan ve steril toprakta büyütülen domates bitkilerinin protein miktarları. Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *S. marcescens* Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *S. marcescens* MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).

3.1.4.2. Katalaz (CAT) Aktivitesi

Yapılan katalaz analizi sonucu steril olmayan toprakta büyütülen bitkiler kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman *Sm-Se9* uygulanan bitkilerde kontrole göre anlamlı bir azalış, *Sm-MK11* uygulananlarda ise anlamlı bir artış gözlenmiştir. Steril toprakta büyütülen bitkiler kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman bakteri uygulaması yapılan bitkiler kontrole göre anlamlı bir artış göstermiştir. Kontroller kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman anlamlı bir sonuç görülmemiştir. *Sm-Se9* uygulanan bitkilerde ise steril toprakta anlamlı bir artış gözlenmiştir. *Sm-MK11* uygulanan bitkilerde ise steril olmayan anlamlı bir artış göstermiştir (Grafik 3.13) ($F=9,768$; $df=5$).

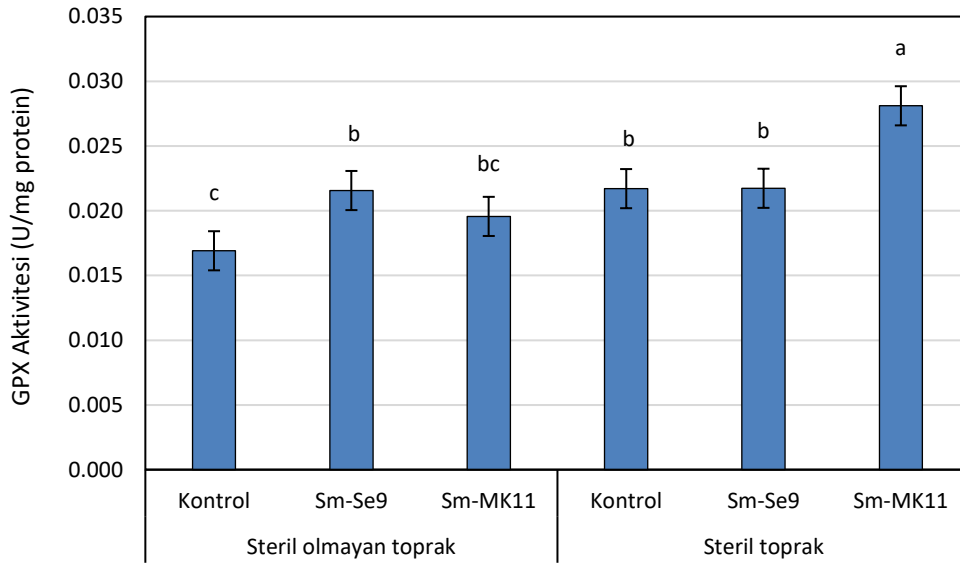


Grafik 3. 13. Steril olmayan ve steril toprakta büyütülen domates bitkilerinin CAT aktivitesi.

Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *S. marcescens* Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *S. marcescens* MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).

3.1.4.3. Guyakol Peroksidaz (GPX) Aktivitesi

Yapılan analiz sonucu POD aktivitesinde kontroller kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman steril toprakta anlamlı bir artış, *Sm*-MK11 uygulanan bitkiler kendi aralarında steril toprakta anlamlı bir artış göstermiştir. Steril olmayan toprakta büyütülen bitkiler kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman ise bakteri uygulaması yapılan bitkiler kontrole oranla anlamlı bir artış göstermiştir. Steril toprakta büyütülen bitkiler ise kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman *Sm*-MK11 uygulanan bitkiler kontrole oranla anlamlı bir artış göstermiştir (Grafik 3.14) ($F=12,102$; $df=5$).

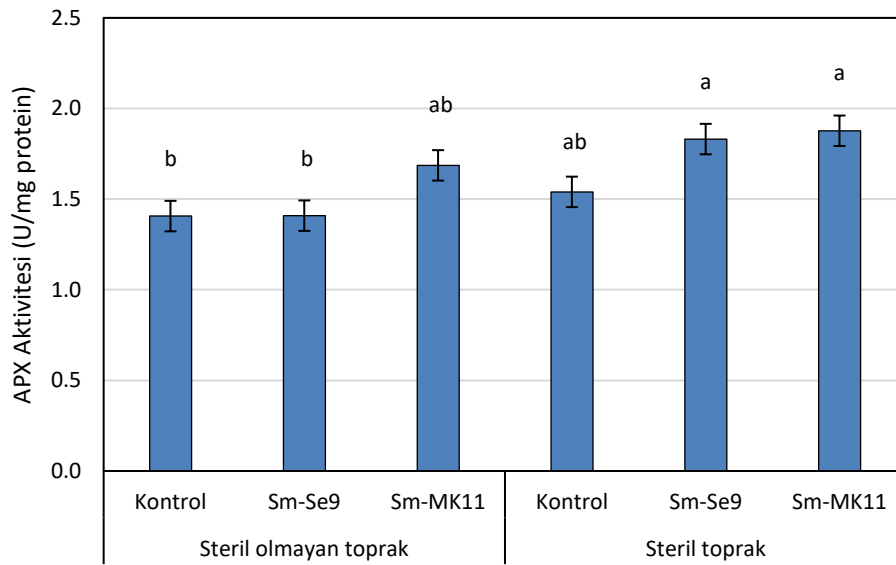


Grafik 3. 14. Steril olmayan ve steril toprakta büyütülen domates bitkilerinin biyokütleleri.

Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *S. marcescens* Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *S. marcescens* MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).

3.1.4.4. Askorbat Peroksidaz(APX) Aktivitesi

Yapılan APX aktivitesi analizi sonucu kontroller kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman anlamlı bir sonuç görülmemiş, *Sm-Se9* uygulanan bitkilerde steril toprakta anlamlı bir artış görülmüş, *Sm-MK11* de ise anlamlı bir sonuç görülmemiştir. Steril olmayan toprakta büyütülen bitkiler kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman *Sm-MK11* uygulanan bitkilerde kontrole göre anlamlı bir artış gözlenmiştir (Grafik 3.15). Steril toprakta büyütülen bitkiler kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman bakteri uygulaması yapılan bitkiler kontrole oranla anlamlı bir artış göstermiştir ($F=5,288$; $df=5$).



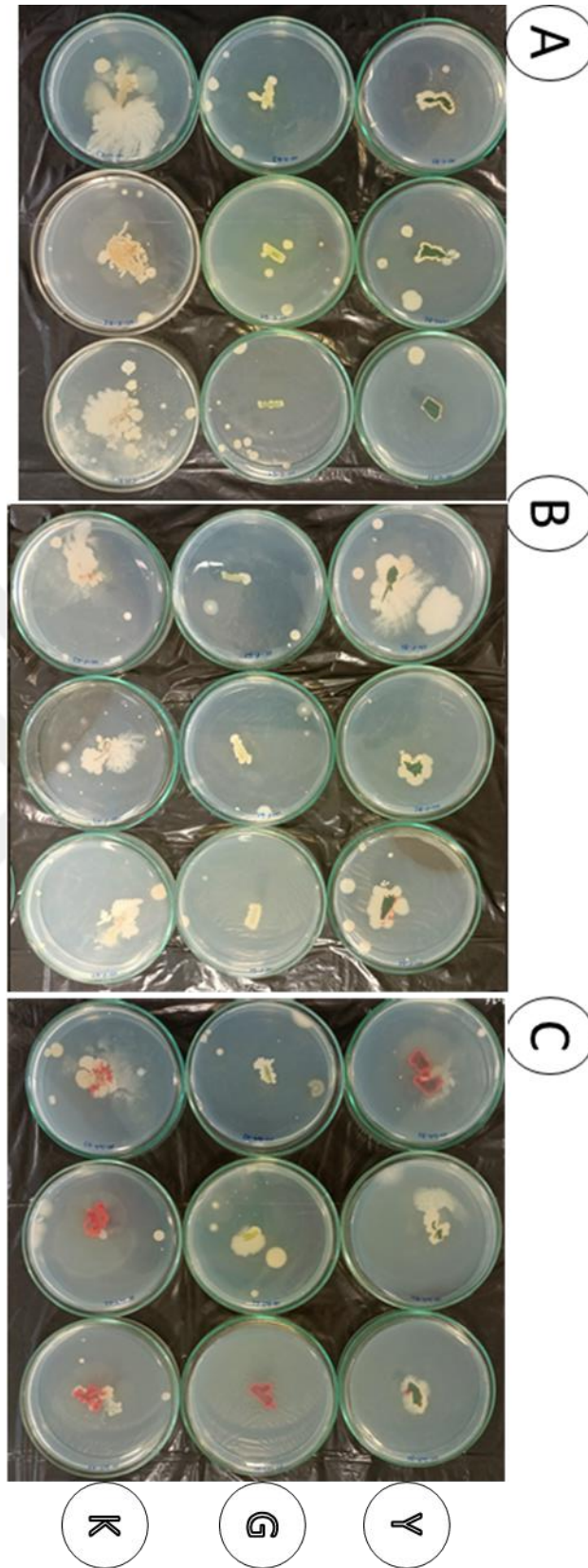
Grafik 3. 15. Steril olmayan ve steril toprakta büyütülen domates bitkilerinin biyokütleleri.

Kontrol: sulamada saf su kullanılan, Se9: sulamada *S. marcescens* Se9 süspansiyonu kullanılan, MK11: sulamada *S. marcescens* MK11 süspansiyonu kullanılan deney grubunu ifade etmektedir. Barlar üç tekrarlı gerçekleştirilen çalışmanın ortalamasını, hata çubukları ise standart sapmayı ifade etmektedir. Hata çubukları üzerindeki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (Tukey HSD, $P<0.05$).

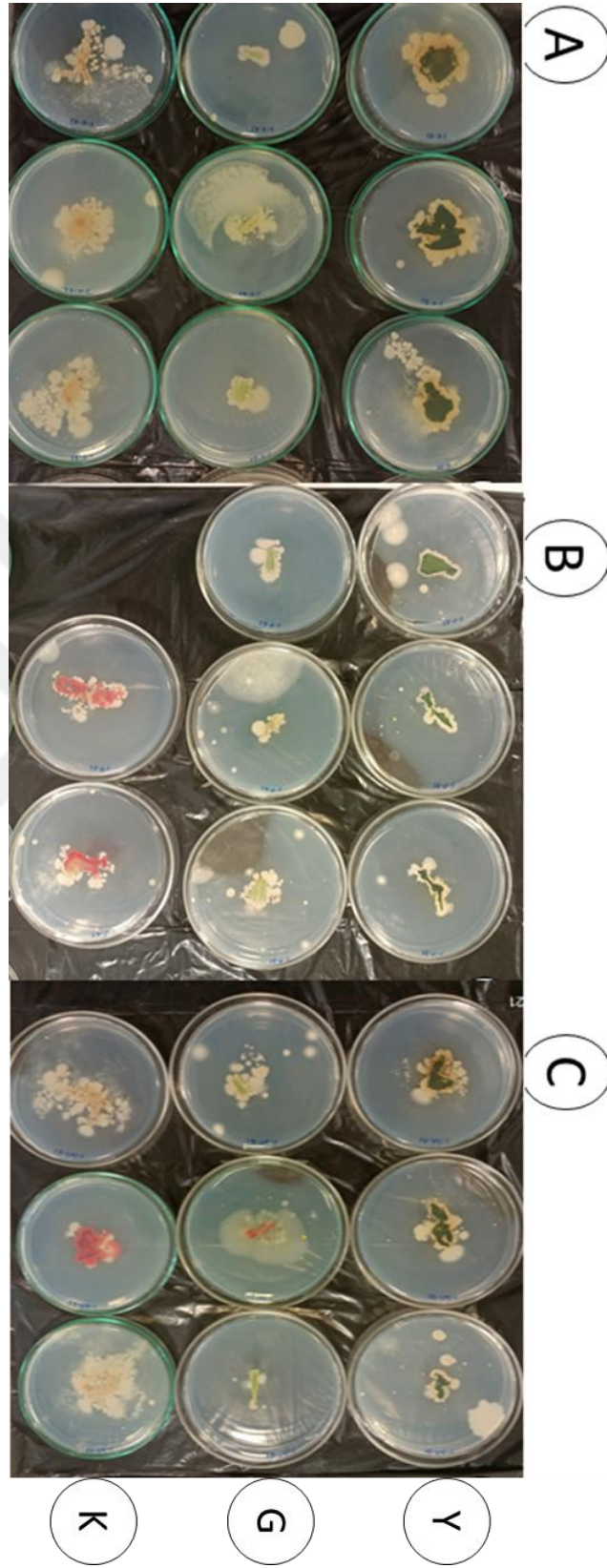
3.1.5. *Serratia marcescens* izolatlarının endofit özelliğinin belirlenmesi

Bitki organlarından gerçekleştirilen yeniden izolasyon sonrası *Sm-Se9* ve *Sm-MK11* bakterilerinin köklerde kolonize olduğu görüldü. Steril olmayan toprakta yapılan uygulamalarda kullanılan *Sm-Se9* izolatının köklerden yapraklara kadar taşındığı fakat steril toprakta yapılan uygulamalarda kullanılan *Sm-Se9* izolatının gövdeye kadar taşınmış olduğu görüldü. Bununla birlikte *Sm-MK11* izolatının toprak üstü organlarda varlığı tespit edilemedi.





Şekil 3.1. Steril olmayan toprakta yetiştirilen bitkiler, A: Kontrol, B: *Sm-MK11*, C: *Sm-Se9*,
Y: Yaprak, G: Gövde ve K: Kök



Şekil 3.2. Steril toprakta yetiştirilen bitkiler, A: Kontrol, B: *Sm-MK11*, C: *Sm-Se9*, Y: Yaprak, G: Gövde ve K: Kök

3.2. Tartışma

Bitki büyümesini artıran bakteriler son yıllarda sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Bu bakteriler bitkileri ve topraktaki diğer mikroorganizmaları çeşitli şekilde etkileyerek bitkilerin verimlerini artırmaktadır. Bunlar; azot fiksasyonu, fosfat çözündürmesi, bitki hormonları üretmek, hastalıklara karşı direnç sağlamak, stres toleransı sağlamaktır (Mekonnen ve Kibret, 2021).

Bitki hormonları içerisinde en çok oksin üretimi ile bitki büyümesini artırır, toprakta azotu fiksate ederek bitkinin alımını kolaylaştırır, normalde inorganik formda bulunan fosfat tuzlarını çözündürerek bitkinin alımını sağlarlar, çeşitli bitki patojenlerine karşı öldürücü etkide bulunurlar aynı zamanda insektisitlere karşı da öldürücü etkileri bulunan bakteriler vardır. Aynı zamanda siderofor ve benzeri metabolitler üreterek çeşitli streslere; ağır metal, soğuk, kuraklık vb. tolerans sağlarlar (Yadav vd., 2018).

Bazı bakteriler ise bitkilerin oksidatif savunma mekanizmasında bulunan enzimatik ve enzimatik olmayan moleküllerin sentezini artırarak bitkilerin stres toleransını artırmaktadır. Enzimatik oksidatif savunma mekanizmasında en önemli olan enzimler; CAT (katalaz), GPX (guyakol peroksidaz), APX (askorbat peroksidaz) bunlardır (Bouizgarne, 2012).

CAT, hidrojen peroksidin su ve oksijene parçalanmasını katalizler, GPX, hidrojen peroksiti guyakolün yapısına katarak hücreden bertaraf eder. APX, askorbik asiti kullanarak hidrojen peroksiti hücreden bertaraf eder. Bu enzimlerin sentezini artırarak bitkilerin strese karşı toleransını artıran bakteriler biyogübre olarak kullanılabilir (Mhamdi ve Van Breusegem, 2018).

Bizim de çalışmada kullandığımız *Serratia marcescens* entomopatojen özellikte olup bazı suşları bitki büyümesini artırmaktadır. Gram negatif bir bakteri olan *Serratia marcescens* hareketli ve çevresel koşullara uyum sağlayabilir (R. J. de Andrade Reis vd., 2021). Bitkilerin kök bölgesinde yaşayabilen ve mutualistik ilişkiler kurabilen bu bakteri bitkilerde biyogübre olarak kullanılabilir. Entomopatojen özelliği özellikle kitinaz üretimi ile ilişkilidir. Üretilen bu enzim böceklerin dış iskelet yapısında bulunan kitinin parçalanmasını sağladığından insektisit özelliği göstermektedir (Babashpour vd., 2012).

(Niu vd., 2022) tarafından yapılan çalışmada, bakteri uygulaması gerçekleştirilen bitkilerde çimlenme üzerinde artırıcı bir etki bulunmuştur; bizim yaptığımız çalışmada ise negatif etki görülmüştür. Bitki morfolojik ölçümleri sonucu kök-gövde uzunluğunda,

biyokütlerde bir artış görülmüştür, bizim yaptığımız çalışmada ise kök-gövde uzunluğunda kök üzerinde azalış gövde de ise bir etki görülmemiştir fakat (Niu vd., 2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada organizma yoğunluğu arttıkça çimlenme ve morfolojik verilerde azalma meydana gelmiştir, bizim çalışmamızda da negatif etki görülmesi sebebi yaptığımız bakteri uygulamasının bitkiye fazla gelmesi olabilir..

(Desoky vd., 2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, bitkilerin morfolojik özellikleri üzerinde düşük miktarda artış görülmüştür, bizim yaptığımız çalışmada ise ya negatif ya da hiç etki görülmemiştir. Yapılan çalışmada bakteri uygulaması sadece toprağa bir defa uygulama şeklinde yapılmıştır, biz ise çalışmamızda hem tohum kaplama hem de toprak sulama suyuna bakteri süspansiyonu ekleyerek uygulama yaptık. Burada yapılan uygulama şekline dolaylı olarak bakteri yoğunluğu fazla olup bitki gelişimini strese neden olarak aksatmış olabilir. Fotosentetik elemanlara bakıldığı zaman yapılan çalışmada bakteri uygulaması yapılan bitkilerde klorofil ve karotenoid miktarlarında artış görülmüştür, bizim yaptığımız çalışmada da aynı şekilde artış görülmüştür. Kullanılan bakteri izolatları morfolojik büyümeyi tetiklemekten ziyade klorofil sentezini artırarak fotosentezi geliştirmiştir. Antioksidatif savunma mekanizması elemanlarına bakıldığı zaman bakteri uygulaması yapılan bitkilerde enzim miktarlarında düşüş görülmüştür, bizim yaptığımız çalışmada ise genel çerçevede artış gözlemlenmiştir, bu sonuca bakılarak bizim yaptığımız bakteri uygulaması bitkiyi strese maruz bırakmış olabilir.

(Régis Josué de Andrade Reis vd., 2020) bitkilerin yaş-kuru ağırlıkları incelendiği zaman bakteri uygulaması yapılan bitkilerin kontrole oranla daha fazla ağırlığa sahip olduğu görülmüştür, fakat bizim yaptığımız çalışmada ise steril olmayan toprakta bakteri uygulaması biyokütlerde azalışa neden olmuştur, steril toprakta az miktarda artış sağlamıştır. Steril olmayan toprakta bulunan diğer mikroorganizmalar bitkinin büyüme ve gelişmesine engel olarak topraktan mineral madde alımını azaltmış olabilir. Bir diğer yandan bizim uyguladığımız bakteri steril olmayan toprakta diğer organizmalar tarafından etkinliği azaltıldığı için etki gösterememiş olabilir.

(Lima vd., 2020) tarafından bakteri uygulaması yapılan bitkilerin kök uzunluklarının kontrole oranla 2.4 kat arttığı, gövde uzunluklarının ise az miktarda düşüş gösterdiği bildirilmiştir. Uygulama sırasında sadece *S.marcescens* uygulaması yapılan bitkilerin kök uzunlukları diğer yüzey tutucu uygulaması yapılanlara göre kontrolden daha yüksek bulunmuştur. Buradan yola çıkılarak bizim uygulamamız sırasında bakterilerin yüzeye fazla

tutunduğu ve bu yüzden bitkilerimizin büyüme ve gelişmesinde negatif etkiye sahip olduğu düşünölebilir.

(El-Esawi vd., 2020) tarafından yapılan çalışmada, bakteri uygulamasının bitkinin morfolojik özellikleri üzerindeki etkileri incelendiği zaman kök-gövde uzunluklarında artış, biyokütlerde artış gözlenmiştir. Bizim yaptığımız çalışmada ise bu parametrelerde düşüş gözlenmiştir. Bakteri uygulaması yapılırken süspanse edilmiş bakteriler steril su içerisinde çözölmüş ve bitkiler çimlendirildikten sonra 25dk'lık kısa uygulamalar yapılmıştır. Bizim çalışmamızda tohumdan itibaren bakteri uygulaması yapılmıştır ve bu uygulama miktarı bitkiye fazla geldiği için stres oluşturmuş olup bitkinin gelişme ve büyümesine negatif etkide bulunmuş olabilir. Yapılan çalışmada klorofil içeriği incelendiği zaman bakteri uygulamasının artış sağladığı bulunmuştur. Bizim çalışmamızda da klorofil içeriğinde artış gözlenmiştir. kullandığımız bakterinin endofitik etki gösterdiğini çalışmamızda bulduk yapraklara ulaşan bakteri miktarı diğer organlardan daha az olduğu için burada bulunan klorofile sentezine katkıda bulunmuş olabilir. Antioksidant savunma mekanizmasına bakıldığı zaman yapılan çalışmada APX, CAT, SOD ve POD enzimlerinin seviyeleri incelenmiş ve bakteri uygulaması yapılan bitkilerde her biri kontrole oranla yüksek bulunmuştur. Bizim çalışmamızda CAT enzimine bakıldığı zaman steril olmayan toprakta *Sm-Se9* uygulaması yapılan bitkiler harici yüksek, GPX aktivitesinde ya yüksek ya da kontrol ile aynı oranda, APX aktivitesinde ise GPX ile aynı sonuçlar gözlenmiştir. Bu da aynı sebepten dolayı bitkiyi strese maruz bıraktığını düşöndürmektedir.

(Abboodi vd., 2021) bakteri uygulaması yapılan bitkiler incelendiği zaman kök-gövde uzunluğunda artış gözlemlemiştir. Bizim çalışmamızda ise bakteri uygulaması sonucu kök-gövde uzunluğunda azalış meydana gelmiştir. Bir diğer morfolojik parametre olan yaş-kuru ağırlığa bakıldığı zaman yapılan çalışmada artış gözlemlenmiştir, bizim çalışmamızda steril olmayan toprakta azalış gözlemlenirken steril toprakta yapılan uygulamada *Sm-Se9* uygulanan bitkiler kontrole göre artış göstermiştir. Yapılan çalışmada klorofil içeriği incelendiği zaman bizim çalışmamız ile benzer şekilde artış gözlemlenmiştir. Bu çalışmada antioksidatif savunma mekanizması elemanları olan SOD, POD ve CAT enzimlerinin seviyeleri incelenmiştir ve her bir enzimde bakteri uygulaması enzim aktivitesini artırmıştır. Bizim çalışmamızda CAT, GPX ve APX enzim seviyelerine bakılmış ve genel anlamda artış gözlenmiş ya da kontrol grubu ile aynı seviyede aktivite gözlenmiştir. Bu sonuçlara bakılarak bizim uygulamamızda bakteri uygulaması bitkide strese neden olmuş olup bu da morfolojik parametreleri etkilemiştir ve bitki gelişme ve büyümesini sekteye uğratmıştır.

(Zheng vd., 2022) tarafından gerekleştirilen alışmada, *Serratia marcescens* olarak tanımlanan bakteri bitkilere uygulandıktan sonra yapılan morfolojik ölümler sonucu kök-gövde uzunlukları ve yaş-kuru ağırlıklarında artış özlenmiştir. Bizim yaptığımız alışmada ise tam tersi şekilde kök-gövde uzunluklarında ve yaş-kuru ağırlıkta steril olmayan toprak kullanılarak yapılan uygulamada azalış örlmüştür, fakat steril toprak kullanılarak yapılan uygulamada yaş-kuru ağırlıkta kontrole oranla az miktarda artış örlmüştür. Bu bulgulara dayanarak toprakta bulunan diğerk organizmaların bizim kullandığımız organizmaya antagonistik bir etki österdiği söylenebilir.

(Krawczyk vd., 2022) tarafından yapılan alışmada ise, bitkilerin morfolojik parametreleri incelendiğı zaman yaş-kuru ağırlıkta ve kök-gövde uzunluğunda az miktarda artış örlmüştür. Bizim alışmamızda ise kök-gövde uzunluklarında azalış, yaş-kuru ağırlıkta ise steril olmayan toprakta azalış steril toprakta az miktarda artış örlmüştür. Buradaki sonuca bakılarak toprakta bulunan diğerk organizmalar bizim organizmamız üzerinde öldürücü bir etki östermiş veya bitkinin organizma ile etkileşime girmesini engellemiş olabilir. Yapılan alışmada yaprak sayıları ve alanları incelendiğı zaman belirgin bir artış özlenmiştir. Bizim alışmamızda da yapraklarda artış ve klorofil seviyelerinde artış örlmüştür. Bu artışların sebebi organizmanın endofitik özellik östererek yapraklara kadar taşındığı için orada gelişime olumlu katkı östermiştir.

3.3. Öneriler

Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen çalışmada *S. marcescens* izolatlarının domates bitkisinin büyüme ve gelişimine katkı sağlamadığı görülmüştür. Literatürde yer alan çalışmalarda ise bitki büyüme ve gelişimini destekleyici özellikte olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle çok yönlü bir çalışma tasarlanarak mikroorganizmanın bitki büyüme gelişimini artırıcı özelliği arazi koşullarında ortaya konabilir.

Bu çalışma baz alınarak kullanılan organizmaların öncelikle bitki büyüme özelliği göstermesini sağlayan parametreleri; IAA üretimi, siderofor üretimi, vb. özellikleri deneysel olarak ortaya konulabilir.

Bir diğer yandan organizmanın uygulama şekli ve dozajı farklı parametrelerde denenmek suretiyle yeni bir çalışma yapılabilir.

Laboratuvar koşullarında belli bir noktaya kadar ortaya konabilen sonuçlar arazide geniş bir çalışma sahasında farklı bitkiler ve farklı gübrelemeler ile birlikte denenerek sonuçların yeni bir çalışma şeklinde kullanılması gerçekleştirilebilir.

Bitki büyümesini artırdığı kesin olarak bilinen organizmalar ile bu organizmalar farklı uygulama koşullarında denenebilir.

KAYNAKÇA

- Abaid-Ullah, M., Nadeem, M., Hassan, M., Ganter, J., Muhammad, B., Nawaz, K., Shah, A. S., & Hafeez, F. Y.** (2015). Plant growth promoting rhizobacteria: an alternate way to improve yield and quality of wheat (*Triticum aestivum*). *International Journal of Agriculture Biology*, 17(1).
- Abboodi, A. H., Jobori, K. M. A., Jumaa, M. G., & Sultan, A. J.** (2021). Isolation of Multi-Trait Plant Growth-Promoting *Serratia marcescens* and Evaluation of Growth-Promoting Effects on Wheat Plant under Salinity Stress. *Iraqi journal of biotechnology*, 1(20).
- Afzal, I., Javed, T., Amirkhani, M., & Taylor, A. G.** (2020). Modern seed technology: Seed coating delivery systems for enhancing seed and crop performance. *Agriculture*, 10(11), 526.
- Akintokun, A., Ojesola, C., Akintokun, P., & Oloyede, A.** (2019). Antagonistic effect of *Bacillus thuringiensis* for the control of bacterial wilt of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Nigerian Journal of Biotechnology*, 36(1), 94-102.
- Al-Huqail, A. A., Ali, H. M., Kushwaha, B. K., Al-Huqail, A. A., Singh, V. P., & Siddiqui, M. H.** (2020). Ascorbic acid is essential for inducing chromium (VI) toxicity tolerance in tomato roots. *Journal of Biotechnology*, 322, 66-73.
- Almaghrabi, O. A., Massoud, S. I., & Abdelmoneim, T. S.** (2013). Influence of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on tomato plant growth and nematode reproduction under greenhouse conditions. *Saudi J Biol Sci*, 20(1), 57-61. doi:10.1016/j.sjbs.2012.10.004
- Asaf, S., Khan, M. A., Khan, A. L., Waqas, M., Shahzad, R., Kim, A.-Y., Kang, S.-M., & Lee, I.-J.** (2017). Bacterial endophytes from arid land plants regulate endogenous hormone content and promote growth in crop plants: an example of *Sphingomonas* sp. and *Serratia marcescens*. *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 31-38.
- Azizoglu, U.** (2019). *Bacillus thuringiensis* as a biofertilizer and biostimulator: a mini-review of the little-known plant growth-promoting properties of Bt. *Current Microbiology*, 76(11), 1379-1385. ,

- Babashpour, S., Aminzadeh, S., Farrokhi, N., Karkhane, A., & Haghbeen, d. K.** (2012). Characterization of a chitinase (Chit62) from *Serratia marcescens* B4A and its efficacy as a bioshield against plant fungal pathogens. *Biochemical Genetics*, 50, 722-735.
- Badawi, F. S. F., Biomy, A., & Desoky, A.** (2011). Peanut plant growth and yield as influenced by co-inoculation with *Bradyrhizobium* and some rhizo-microorganisms under sandy loam soil conditions. *Annals of Agricultural Sciences*, 56(1), 17-25.
- Bouizgarne, B.** (2012). Bacteria for plant growth promotion and disease management. In *Bacteria in agrobiolgy: disease management* (pp. 15-47): Springer.
- Bozca Donbaloğlu, F.** (2020). *Ayçiçeği bitkisinde (Helianthus annuus L.) kombine uygulanan borik asit ve sıcaklık stresinin bazı ekolojik parametreler, antioksidan enzimler ve gen ifadeleri üzerine etkisi*. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Chakraborty, U., Chakraborty, B., & Chakraborty, A.** (2010). Influence of *Serratia marcescens* TRS-1 on growth promotion and induction of resistance in *Camellia sinensis* against *Fomes lamaoensis*. *Journal of Plant Interactions*, 5(4), 261-272.
- Changwal, C., Shukla, T., Hussain, Z., Singh, N., Kar, A., Singh, V. P., Abdin, M. Z., & Arora, A.** (2021). Regulation of Postharvest Tomato Fruit Ripening by Endogenous Salicylic Acid. *Front Plant Sci*, 12, 663943. doi:10.3389/fpls.2021.663943
- Chávez-Arteaga, K. T., Cedeño-Moreira, Á. V., Canchignia-Martínez, H. F., & Garcés-Fiallos, F. R.** (2022). Candidate rhizobacteria as plant growth-promoters and root-knot nematode controllers in tomato plants. *Scientia Agropecuaria*, 13(4), 423-432.
- Corpas, F. J., Gupta, D. K., Palma, J. M. J. R. o. s., & stress, o. d. i. p. u.** (2015). Production sites of reactive oxygen species (ROS) in organelles from plant cells. *Reactive oxygen species oxidative damage in plants under stress*, 1-22.

- de Andrade Reis, R. J., Alves, A. F., Dos Santos, P. H. D., Aguiar, K. P., da Rocha, L. O., da Silveira, S. F., Canellas, L. P., & Olivares, F. L. (2021).** Mutualistic interaction of native *Serratia marcescens* UENF-22GI with *Trichoderma longibrachiatum* UENF-F476 boosting seedling growth of tomato and papaya. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 37(12), 211. doi:10.1007/s11274-021-03179-z
- de Andrade Reis, R. J., Alves, A. F., dos Santos, P. H. D., Aguiar, K. P., da Silveira, S. F., Canellas, L. P., & Olivares, F. L. (2020).** Mutualistic interaction with *Trichoderma longibrachiatum* UENF-F476 boosted plant growth-promotion of *Serratia marcescens* UENF-22GI. *bioRxiv*, 2020.2008. 2024.265587.
- de Araújo, H. W. C., Fukushima, K., & Takaki, G. M. C. (2010).** Prodigiosin production by *Serratia marcescens* UCP 1549 using renewable-resources as a low cost substrate. *Molecules*, 15(10), 6931-6940.
- Dere, Ş., GÜNEŞ, T., & Sivaci, R. (1998).** Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and totalcarotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany*, 22(1), 13-18.
- Desoky, E.-S. M., Saad, A. M., El-Saadony, M. T., Merwad, A.-R. M., & Rady, M. M. (2020).** Plant growth-promoting rhizobacteria: Potential improvement in antioxidant defense system and suppression of oxidative stress for alleviating salinity stress in *Triticum aestivum* (L.) plants. *Biocatalysis Agricultural Biotechnology*, 30, 101878.
- Devasagayam, T. P., Boloor, K. K., & Ramasarma, T. (2003).** Methods for estimating lipid peroxidation: an analysis of merits and demerits. *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, 40(5), 300-308.
- Devi, K. A., Pandey, P., & Sharma, G. D. (2016).** Plant growth-promoting endophyte *Serratia marcescens* AL2-16 enhances the growth of *Achyranthes aspera* L., a medicinal plant. *HAYATI Journal of Biosciences*, 23(4), 173-180.
- Dhankhar, N., & Kumar, J. J. M. T. P. (2023).** Impact of increasing pesticides and fertilizers on human health: A review.
- Ding, F., Wang, C., Zhang, S., & Wang, M. (2022).** A jasmonate-responsive glutathione S-transferase gene SIGSTU24 mitigates cold-induced oxidative stress in tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 303, 111231.

- Dursun, K., KAYIR, Ö., Sağlam, N., Şahin, S., Öztürk, L., & Elmastaş, M.** (2019). Changes of phenolic compounds in tomato associated with the heavy metal stress. *Bartın University International Journal of Natural Applied Sciences*, 2(1), 35-43.
- El-Esawi, M. A., Elkelish, A., Soliman, M., Elansary, H. O., Zaid, A., & Wani, S. H.** (2020). *Serratia marcescens* BM1 enhances cadmium stress tolerance and phytoremediation potential of soybean through modulation of osmolytes, leaf gas exchange, antioxidant machinery, and stress-responsive genes expression. *Antioxidants*, 9(1), 43.
- Elavarthi, S., & Martin, B.** (2010). Spectrophotometric assays for antioxidant enzymes in plants. *Methods in Molecular Biology*, 639, 273-281. doi:10.1007/978-1-60761-702-0_16
- Elkelish, A., Qari, S. H., Mazrou, Y. S., Abdelaal, K. A., Hafez, Y. M., Abu-Elsaoud, A. M., Batiha, G. E.-S., El-Esawi, M. A., & El Nahhas, N.** (2020). Exogenous ascorbic acid induced chilling tolerance in tomato plants through modulating metabolism, osmolytes, antioxidants, and transcriptional regulation of catalase and heat shock proteins. *Plants*, 9(4), 431.
- Essalimi, B., Esserti, S., Rifai, L. A., Koussa, T., Makroum, K., Belfaiza, M., Rifai, S., Venisse, J. S., Faize, L., & Albuquerque, N.** (2022). Enhancement of plant growth, acclimatization, salt stress tolerance and verticillium wilt disease resistance using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) associated with plum trees (*Prunus domestica*). *Scientia Horticulturae*, 291, 110621.
- Fao.** (2021). *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook*. Rome.
- Ferrarezi, J. A., de Almeida Carvalho-Estrada, P., Batista, B. D., Aniceto, R. M., Tschoeke, B. A. P., de Maia Andrade, P. A., de Moura Lopes, B., Bonatelli, M. L., Odisi, E. J., & Azevedo, J. L.** (2022). Effects of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria from the Brazilian Amazon on the bacterial community associated with maize in field. *Applied Soil Ecology*, 170, 104297.
- Gómez-Godínez, L. J., Aguirre-Noyola, J. L., Martínez-Romero, E., Arteaga-Garibay, R. I., Ireta-Moreno, J., & Ruvalcaba-Gómez, J. M. J. P.** (2023). A Look at Plant-Growth-Promoting Bacteria. 12(8), 1668.

Gonzalez-Ista, N. S., Castro-Mercado, E., la Cruz, H. R., Campos-Garcia, J., Lopez-Bucio, J., & Garcia-Pineda, E. (2023). Comparison of the Rhizobacteria *Serratia* sp. H6 and *Enterobacter* sp. L7 on *Arabidopsis thaliana* Growth Promotion. *Current Microbiology*, 80(4), 117. doi:10.1007/s00284-023-03227-x

Gutiérrez-Román, M. I., Holguín-Meléndez, F., Bello-Mendoza, R., Guillén-Navarro, K., Dunn, M. F., & Huerta-Palacios, G. (2012). Production of prodigiosin and chitinases by tropical *Serratia marcescens* strains with potential to control plant pathogens. *World Journal of Microbiology Biotechnology*, 28, 145-153.

Hameeda, B., Harini, G., Rupela, O. P., Wani, S. P., & Reddy, G. (2008). Growth promotion of maize by phosphate-solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna. *Microbiological Research*, 163(2), 234-242. doi:10.1016/j.micres.2006.05.009

Helaly, A., Hassan, S., Craker, L., & Mady, E. (2020). Effects of growth-promoting bacteria on growth, yield and nutritional value of collard plants. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(1), 77-82.

Hernandez-Hernandez, H., Quiterio-Gutierrez, T., Cadenas-Pliego, G., Ortega-Ortiz, H., Hernandez-Fuentes, A. D., Cabrera de la Fuente, M., Valdes-Reyna, J., & Juarez-Maldonado, A. (2019). Impact of Selenium and Copper Nanoparticles on Yield, Antioxidant System, and Fruit Quality of Tomato Plants. *Plants (Basel)*, 8(10), 355. doi:10.3390/plants8100355

Holtappels, D., Fortuna, K., Lavigne, R., & Wagemans, J. (2021). The future of phage biocontrol in integrated plant protection for sustainable crop production. *Current Opinion in Biotechnology*, 68, 60-71. doi:10.1016/j.copbio.2020.08.016

IBRAHIM, C. O., & MAHMOOD, C. H. J. J. o. D. U. (2022). RESPONSE OF TOMATO (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* L.) TO IMBIBING SEEDS BY GA3, AND FOLIAR SPRAYING BY BORON AND A-TOCOPHEROL. *Journal of Duhok University*, 25(2), 211-228.

Jha, C. K., & Saraf, M. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. *Journal of Agricultural Research Development*, 5(2), 108-119.

Jiang, X., Fang, W., Tong, J., Liu, S., Wu, H., & Shi, J. (2022). *Metarhizium robertsii* as a promising microbial agent for rice in situ cadmium reduction and plant growth promotion. *Chemosphere*, 305, 135427.

- John, N., & Salim, R.** (2020). A study on major plant growth promoting traits of bacteria isolated from marine environment. *Materials Today: Proceedings*, 25, 269-273.
- Kashyap, S. P., Kumari, N., Mishra, P., Prasad Moharana, D., Aamir, M., Singh, B., & Prasanna, H. C.** (2020). Transcriptional regulation-mediating ROS homeostasis and physio-biochemical changes in wild tomato (*Solanum chilense*) and cultivated tomato (*Solanum lycopersicum*) under high salinity. *Saudi J Biol Sci*, 27(8), 1999-2009. doi:10.1016/j.sjbs.2020.06.032
- Keswani, C., Prakash, O., Bharti, N., Vélchez, J. I., Sansinenea, E., Lally, R. D., Borriss, R., Singh, S. P., Gupta, V. K., & Fraceto, L. F. J. S. o. t. T. E.** (2019). Re-addressing the biosafety issues of plant growth promoting rhizobacteria. 690, 841-852.
- Kour, D., Rana, K. L., Yadav, N., Yadav, A. N., Kumar, A., Meena, V. S., Singh, B., Chauhan, V. S., Dhaliwal, H. S., & Saxena, A. K.** (2019). Rhizospheric microbiomes: biodiversity, mechanisms of plant growth promotion, and biotechnological applications for sustainable agriculture. *Plant growth promoting rhizobacteria for agricultural sustainability: from theory to practices*, 19-65.
- Krawczyk, K., Szabelska-Berezewicz, A., Przemieniecki, S. W., Szymanczyk, M., & Obrepalska-Stepłowska, A.** (2022). Insect Gut Bacteria Promoting the Growth of Tomato Plants (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 23(21), 13548. doi:10.3390/ijms232113548
- Kushwaha, B. K., Ali, H. M., Siddiqui, M. H., & Singh, V. P.** (2020). Nitric oxide-mediated regulation of sub-cellular chromium distribution, ascorbate–glutathione cycle and glutathione biosynthesis in tomato roots under chromium (VI) toxicity. *Journal of Biotechnology*, 318, 68-77.
- Lauzon, C. R., BUSSERT, T. G., SJOGREN, R. E., & PROKOPY, R. J.** (2013). *Serratia marcescens* as a bacterial pathogen of *Rhagoletis pomonella* flies (Diptera: Tephritidae). *EJE*, 100(1), 87-92.
- Lavania, M., Chauhan, P. S., Chauhan, S., Singh, H. B., & Nautiyal, C. S.** (2006). Induction of plant defense enzymes and phenolics by treatment with plant growth–promoting rhizobacteria *Serratia marcescens* NBRI1213. *Current Microbiology*, 52, 363-368.

- Lima, A. C. P., Medici, L. O., da Silva Ballesteiro, D. A. G., & de Assis Lima, E.** (2020). Root growth in tomato seedlings in response to bacterial inoculation *Serratia* sp. *Research, Society Development*, 9(7), e89973634-e89973634.
- Lin, K.-H. R., Weng, C.-C., Lo, H.-F., & Chen, J.-T.** (2004). Study of the root antioxidative system of tomatoes and eggplants under waterlogged conditions. *Plant Science*, 167(2), 355-365.
- Liu, T., Ye, X., Li, M., Li, J., Qi, H., & Hu, X.** (2020). H₂O₂ and NO are involved in trehalose-regulated oxidative stress tolerance in cold-stressed tomato plants. *Environmental Experimental Botany*, 171, 103961.
- Lysyk, T., Kalischuk-Tymensen, L., & Selinger, L.** (2002). Comparison of selected growth media for culturing *Serratia marcescens*, *Aeromonas* sp., and *Pseudomonas aeruginosa* as pathogens of adult *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae). *Journal of Medical Entomology*, 39(1), 89-98.
- Maneewan, K., & Khonsarn, N.** (2017). Selection of bioinoculants for tomato growth enhancement and pathogen resistance. *Asia-Pacific Journal of Science Technology*, 22(3).
- McNeill, M., Barratt, B., & Evans, A.** (2000). Behavioural acceptability of *Sitona lepidus* (Coleoptera: Curculionidae) to the parasitoid *Microctonus aethiopoides* (Hymenoptera: Braconidae) using the pathogenic bacterium *Serratia marcescens* Bizio. *Biocontrol Science Technology*, 10(3), 205-213.
- Mekonnen, H., & Kibret, M.** (2021). The roles of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable vegetable production in Ethiopia. *Chemical Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), 1-11.
- Méndez-Santiago, E. W., Gómez-Rodríguez, O., Sánchez-Cruz, R., Folch-Mallol, J. L., Hernández-Velázquez, V. M., Villar-Luna, E., Aguilar-Marcelino, L., & Wong-Villarreal, A.** (2021). *Serratia* sp., an endophyte of *Mimosa pudica* nodules with nematicidal, antifungal activity and growth-promoting characteristics. *Archives of Microbiology*, 203, 549-559.
- Mhamdi, A., & Van Breusegem, F.** (2018). Reactive oxygen species in plant development. *Development*, 145(15), dev164376. doi:10.1242/dev.164376

- Nguyen, T. M. H., Bräunig, J., Thompson, K., Thompson, J., Kabiri, S., Navarro, D. A., Kookana, R. S., Grimison, C., Barnes, C. M., & Higgins, C. P.** (2020). Influences of chemical properties, soil properties, and solution pH on soil–water partitioning coefficients of per-and polyfluoroalkyl substances (PFASs). *Environmental Science Technology*, 54(24), 15883-15892.
- Niu, H., Sun, Y., Zhang, Z., Zhao, D., Wang, N., Wang, L., & Guo, H.** (2022). The endophytic bacterial entomopathogen *Serratia marcescens* promotes plant growth and improves resistance against *Nilaparvata lugens* in rice. *Microbiological Research*, 256, 126956. doi:10.1016/j.micres.2021.126956
- Niu, H., Wang, N., Liu, B., Xiao, L., Wang, L., & Guo, H.** (2018). Synergistic and additive interactions of *Serratia marcescens* S-JS1 to the chemical insecticides for controlling *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). *Econ Entomol*, 111(2), 823-828. doi:10.1093/jee/tox348
- Oleńska, E., Malek, W., Wójcik, M., Swiecicka, I., Thijs, S., & Vangronsveld, J.** (2020). Beneficial features of plant growth-promoting rhizobacteria for improving plant growth and health in challenging conditions: A methodical review. *Science of the Total Environment*, 743, 140682.
- Ortega-Estrada, M. D. J., Del Rincón-Castro, M. C., Basurto-Ríos, R., Toledo, J., & Ibarra, J. E.** (2012). Phoresis between *Serratia marcescens* and *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) during Infection of *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) Larvae. *Florida Entomologist*, 95(1), 120-127.
- Padró, M. D. A., Caboni, E., Morin, K. A. S., Mercado, M. A. M., & Olalde-Portugal, V.** (2021). Effect of *Bacillus subtilis* on antioxidant enzyme activities in tomato grafting. *PeerJ*, 9, e10984.
- Parray, J. A., Jan, S., Kamili, A. N., Qadri, R. A., Egamberdieva, D., & Ahmad, P.** (2016). Current perspectives on plant growth-promoting rhizobacteria. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35, 877-902.
- Parvin, K., Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M., Nahar, K., Mohsin, S. M., & Fujita, M.** (2019). Comparative Physiological and Biochemical Changes in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Under Salt Stress and Recovery: Role of Antioxidant Defense and Glyoxalase Systems. *Antioxidants (Basel)*, 8(9), 350. doi:10.3390/antiox8090350

- Parvin, K., Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Mohsin, S. M., & Fujita, M.** (2019). Quercetin mediated salt tolerance in tomato through the enhancement of plant antioxidant defense and glyoxalase systems. *Plants*, 8(8), 247.
- Patanè, C., Cosentino, S. L., Romano, D., & Toscano, S.** (2022). Relative water content, proline, and antioxidant enzymes in leaves of long shelf-life tomatoes under drought stress and rewatering. *Plants*, 11(22), 3045.
- Prasanna, R., Chaudhary, V., Gupta, V., Babu, S., Kumar, A., Singh, R., Shivay, Y. S., & Nain, L.** (2013). Cyanobacteria mediated plant growth promotion and bioprotection against Fusarium wilt in tomato. *European Journal of Plant Pathology*, 136, 337-353.
- Pu, Y. C., & Hou, Y. M.** (2016). Isolation and identification of bacterial strains with insecticidal activities from *Rhynchophorus ferrugineus* Oliver (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Applied Entomology*, 140(8), 617-626.
- Raaijmakers, J. M., Vlami, M., & de Souza, J. T.** (2002). Antibiotic production by bacterial biocontrol agents. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 81(1-4), 537-547. doi:10.1023/a:1020501420831
- Ramamoorthy, V., Viswanathan, R., Raguchander, T., Prakasam, V., & Samiyappan, R.** (2001). Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. *Crop Protection*, 20(1), 1-11.
- Raynaldo, F. A., Ackah, M., Ngea, G. L. N., Rehman, S. A., Yang, Q., Wang, K., Zhang, X., & Zhang, H.** (2024). The potentiality of *Wickerhamomyces anomalus* against postharvest black spot disease in cherry tomatoes and insights into the defense mechanisms involved. *Postharvest Biology Technology*, 209, 112699.
- Rosier, A., Medeiros, F. H., & Bais, H. P.** (2018). Defining plant growth promoting rhizobacteria molecular and biochemical networks in beneficial plant-microbe interactions. *Plant and Soil*, 428, 35-55.
- Saad, M. M. G., Kandil, M., & Mohammed, Y. M. M.** (2020). Isolation and Identification of Plant Growth-Promoting Bacteria Highly Effective in Suppressing Root Rot in Fava Beans. *Current Microbiology*, 77(9), 2155-2165. doi:10.1007/s00284-020-02015-1
- Savci, S. J. I. J. o. E. S., & Development.** (2012). An agricultural pollutant: chemical fertilizer. 3(1), 73.

- Selvakumar, G., Kundu, S., Gupta, A. D., Shouche, Y. S., & Gupta, H. S. (2008).** Isolation and characterization of nonrhizobial plant growth promoting bacteria from nodules of Kudzu (*Pueraria thunbergiana*) and their effect on wheat seedling growth. *Current Microbiology*, 56, 134-139.
- Sikorowski, P., Lawrence, A., & Inglis, G. (2001).** Effects of *Serratia marcescens* on rearing of the tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae). *American Entomologist*, 47(1), 51-60.
- Singh, S., Kumar, V., Sidhu, G. K., Datta, S., Dhanjal, D. S., Koul, B., Janeja, H. S., & Singh, J. (2019).** Plant growth promoting rhizobacteria from heavy metal contaminated soil promote growth attributes of *Pisum sativum* L. *Biocatalysis Agricultural Biotechnology*, 17, 665-671.
- Solano, B. R., Maicas, J. B., & Mañero, F. G. (2008).** Physiological and molecular mechanisms of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). *Plant-bacteria interactions: Strategies techniques to promote plant growth*. Weinheim: Wiley, 41-52.
- Sriwati, R., Maulidia, V., Intan, N., Oktarina, H., Khairan, K., Skala, L., & Mahmud, T. (2023).** Endophytic bacteria as biological agents to control fusarium wilt disease and promote tomato plant growth. *Physiological Molecular Plant Pathology*, 125, 101994.
- Sun, S. Q., He, M., Wang, G. X., & Cao, T. (2011).** Heavy metal-induced physiological alterations and oxidative stress in the moss *Brachythecium piligerum* chad. *Environmental Toxicology*, 26(5), 453-458. doi:10.1002/tox.20571
- Tan, Z., Hurek, T., Gyaneshwar, P., Ladha, J. K., & Reinhold-Hurek, B. (2001).** Novel endophytes of rice form a taxonomically distinct subgroup of *Serratia marcescens*. *Systematic and Applied Microbiology*, 24(2), 245-251. doi:10.1078/0723-2020-00002
- Tatsumi, K., Igarashi, N., & Mengxue, X. (2021).** Prediction of plant-level tomato biomass and yield using machine learning with unmanned aerial vehicle imagery. *Plant Methods*, 17(1), 77. doi:10.1186/s13007-021-00761-2
- Wang, S., Alseekh, S., Fernie, A. R., & Luo, J. (2019).** The Structure and Function of Major Plant Metabolite Modifications. *Mol Plant*, 12(7), 899-919. doi:10.1016/j.molp.2019.06.001

- Yadav, A. N., Verma, P., Sachan, S. G., Kaushik, R., & Saxena, A. K. (2018).** Psychrotrophic microbiomes: molecular diversity and beneficial role in plant growth promotion and soil health. *Microorganisms for Green Revolution: Volume 2: Microbes for Sustainable Agro-ecosystem*, 197-240.
- Zhang, M., Yang, L., Hao, R., Bai, X., Wang, Y., & Yu, X. (2020).** Drought-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria isolated from jujube (*Ziziphus jujuba*) and their potential to enhance drought tolerance. *Plant and Soil*, 452(1), 423-440.
- Zheng, J., Liu, C., Liu, J., & Zhuang, J. Y. (2022).** Study of the effect of bacterial-mediated legume plant growth using bacterial strain *Serratia marcescens* N1.14 X-45. *Frontiers in Microbiology*, 13, 988692. doi:10.3389/fmicb.2022.988692
- Zhou, R., Kong, L., Yu, X., Ottosen, C.-O., Zhao, T., Jiang, F., & Wu, Z. (2019).** Oxidative damage and antioxidant mechanism in tomatoes responding to drought and heat stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41, 1-11.
- Zulfiana, D., Rini, M. S., Wikantyo, B., & Krishanti, N. P. R. A. (2018).** Efficacy test on some entomopathogenic bacterial isolates of the *Periplaneta americana* and *Blattella germanica* Cockroaches (Orthoptera) at Laboratory scale. *Biosaintifika: Journal of Biology Biology Education*, 10(2), 306-312.
- Url-1**, [uniprot.org/uniprotkb/Q9XHH3/entry](https://www.uniprot.org/uniprotkb/Q9XHH3/entry) (23.07.2023)
- Url-2**, [uniprot.org/uniprotkb/O24031/entry](https://www.uniprot.org/uniprotkb/O24031/entry) (23.07.2023)
- Url-3**, [uniprot.org/uniprotkb/Q52QQ4/entry#structure](https://www.uniprot.org/uniprotkb/Q52QQ4/entry#structure) (23.07.2023)
- Url-4**, pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ascorbic-Acid (23.07.2023)
- Url-5**, pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Alpha-Tocopherol#section=2D-Structure (24.07.2023)
- Url-6**, pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Glutathione (25.07.2023)
- Url-7**, pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/65359#section=2D-Structure (25.07.2023)
- Url-8**, researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-common-phenolic-compounds_fig1_234137696 (25.07.2023)
- Url-9**, researchgate.net/figure/Malondialdehyde-MDA-formation-from-lipid-peroxidation_fig3_263969184 (26.07.2023)