

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MOLEKÜLER BİYOLOJİ ve GENETİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KURAKLIK STRESİNE MARUZ BIRAKILAN
BİBERDE (*Capsicum annuum* L.) EKSOJEN
STRİGOLAKTON UYGULAMASININ
FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL ETKİLERİ**

Aysel UNAT

Danışman: Doç. Dr. Sıgnem ÖNEY BİROL

II. Danışman: Doç. Dr. Selman ULUIŞIK

BURDUR, 2023

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca **Yüksek Lisans** Tezi olarak sunduğum “**Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Biberde (*Capsicum annuum* L.) Eksojen Strigolakton Uygulamasının Fizyolojik ve Biyokimyasal Etkileri**” başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

24/07/2023

(İmza)

Aysel UNAT

ÖNSÖZ

Bilgisi ve önerileriyle öğrenme sürecimde büyük katkısı olan, lisans ve yüksek lisans çalışmalarım boyunca özverili tavrına ve sarf ettiği yoğun emeğe hep minnettar kalacağım, çalışma disiplini ve bilimsel titizlik konularında kendisinden çok şey öğrendiğim danışman hocam Sayın **Doç. Dr. Sığnem ÖNEY-BİROL**'a saygılarımı ve sevgilerimi sunar, bilgi ve deneyimleriyle her zaman yanımda olduğu için en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında yardım ve önerilerini esirgemeyen Sayın **Doç. Dr. Selman ULUIŞIK**' a tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Yüksek lisans sürecimdeki destek ve yardımlarına hep minnettar kalacağım, bu zorlu maratona destekleriyle kolaylaştıran Sayın **Öğr. Gör. Ali KIYAK** ve Sayın **Öğr. Gör. Orhan Yavuz**'a teşekkür ederim.

Tez çalışmasının bir kısmını TÜBİTAK 221Z350 numaralı ve “Biberde (*Capsicum annuum* L.) Eksojen Strigolakton Uygulamasının Kuraklık Toleransı Üzerine Etkilerinin Fizyolojik, Biyokimyasal ve DE-Seq ile Belirlenmesi” başlıklı 1002-A Hızlı Destek Projesi kapsamında maddi destek sağlayan **Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)**'na teşekkür ederim.

0795-YL-21 No`lu proje ile tez çalışmama maddi olarak destek sağlayan **Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü**'ne teşekkür ederim.

Hayattaki en kıymetli varlığım, karanlık içinde bir ışık ararken ışık olup bana yolumu gösteren, tam düşecekken her zaman elimden tutup beni her şeyden koruyan **canım aileme**; sonsuz teşekkürler, şükran ve saygılarımı sunarım.

Temmuz, 2023

Aysel UNAT

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Kaynak Özetleri	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. Deneyde Kullanılan Tohumlar.....	15
3.2. Kuraklık Stresi ve Hormon (Strigolakton) Uygulaması	15
3.3. Fizyolojik Özelliklerin Belirlenmesi.....	16
3.3.1. Tohumların Çimlendirilmesi.....	16
3.3.2. Morfolojik Özelliklerin Belirlenmesi.....	17
3.4. Biyokimyasal Analizler	22
3.4.1. Fidelerin Yetiştirilmesi ve Yaprak Dokusu Örneklerinin Alınması	22
3.4.2. Total Protein Miktarının Belirlenmesi	25
3.4.3. Prolin Miktarının Belirlenmesi	27
3.4.4. Süperoksit dismutaz (SOD) Aktivitesinin Belirlenmesi	28
3.4.5. Katalaz (CAT) Aktivitesinin Belirlenmesi.....	29
3.4.6. Askorbat peroksidaz (APX) Aktivitesinin Belirlenmesi.....	30
3.4.7. Malondialdehit (MDA) Aktivitesinin Belirlenmesi	30
3.4.8. İstatistik Analizlerin Yapılması.....	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	32
4.1. Kuraklık Stresi Uygulamasının Çimlenme Üzerine Etkisi	32
4.2. Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Biberde Eksojen Strigolakton Uygulamasının Fizyolojik Etkileri.....	35
4.3. Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Biberde Eksojen Strigolakton Uygulamasının Biyokimyasal Aktiviteleri Üzerine Etkileri.....	45
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Strigolaktonların kimyasal yapıları	7
Şekil 2.2. Strigolakton biyosentez yolu	8
Şekil 3.1. Petrilere ekilen <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm tohumlarının konsantrasyon denemeleri.....	17
Şekil 3.2. <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerine GR24 ön uygulaması sonrası fizyolojik ölçümler	18
Şekil 3.3. <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerine spreyleme yöntemi sonrası fizyolojik ölçümler.....	19
Şekil 3.4. <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerine GR24 ön uygulaması sonrası taze ağırlık ölçümü.	20
Şekil 3.5. <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerine GR24 ön uygulaması sonunda gelişen 14 günlük biber fideleri.	21
Şekil 3.6. <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerine spreyleme yöntemi sonunda gelişen 42 günlük biber fideleri. ...	22
Şekil 3.7. Kuraklık stresi ve strigolakton hormonu uygulamalarına tabi tutulan <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerine ait tohumların iklimlendirme kabiniinde çimlendirilmesi.	23
Şekil 3.8. Spreyleme yöntemi ile GR24 uygulaması sonrası gelişen <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm fidelerinin saksı uygulaması	24
Şekil 3.9. <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm fidelerine ait taze yaprak dokusunun parçalanması.....	25
Şekil 3.10. Total protein miktarının tayini için elde edilen kontrol eğrisi.....	26
Şekil 3.11. Total protein izolasyonu sonrası örneklerin kuyucuklara yüklenmesi	27
Şekil 3.12. L-Prolin miktar tayini için elde edilen kontrol eğrisi.	28
Şekil 3.13. L-Prolin izolasyonu sonrası örneklerin kuyucuklara yüklenmesi.	28
Şekil 3.14. Süperoksit dismutaz izolasyonu sonrası örneklerin kuyucuklara yüklenmesi	29
Şekil 3.15. Malondialdehit izolasyonu sonrası örneklerin kuyucuklara yüklenmesi	31

Şekil 4.1. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde kök uzunluğu üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri.....	36
Şekil 4.2. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde bitki boyu üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri.....	37
Şekil 4.3. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde taze ağırlık üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri.....	38
Şekil 4.4. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde kök uzunluğu üzerine spreyleme yoluyla eksojen strigolakton uygulamasının etkileri	40
Şekil 4.5. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde gövde uzunluğu üzerine spreyleme yoluyla eksojen strigolakton uygulamasının etkileri.	41
Şekil 4.6. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde dallanma sayısı üzerine spreyleme yoluyla eksojen strigolakton uygulamasının etkileri.	42
Şekil 4.7. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde çeşitlerinde bitki boyu üzerine spreyleme yoluyla eksojen strigolakton uygulamasının etkileri	43
Şekil 4.8. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde yaprak genişliği üzerine spreyleme yoluyla eksojen strigolakton uygulamasının etkileri	44
Şekil 4.9. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde gövde çapı üzerine spreyleme yoluyla eksojen strigolakton uygulamasının etkileri	45
Şekil. 4.10. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde total protein miktarı.....	46

Şekil 4.11. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde çeşitlerinde total protein miktarı üzerine eksojen strigolakton uygulamasının istatistik değerlendirmesi	47
Şekil 4.12. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde prolin miktarı üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri.....	48
Şekil 4.13. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde prolin miktarı üzerine eksojen strigolakton uygulamasının istatistik değerlendirilmesi	49
Şekil 4.14. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde malondialdehit miktarı üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri.	50
Şekil 4.15. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde malondialdehit (MDA) miktarı üzerine eksojen strigolakton uygulamasının istatistik değerlendirilmesi	51
Şekil 4.16. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri.....	52
Şekil 4.17. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde süperoksit dismutaz aktivitesi üzerine eksojen strigolakton uygulamasının istatistik değerlendirilmesi	52
Şekil 4.18. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde katalaz aktivitesi üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri.....	54
Şekil 4.19. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde katalaz aktivitesi üzerine eksojen strigolakton uygulamasının istatistik değerlendirilmesi.....	54
Şekil 4.20. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde askorbat peroksidaz aktivitesi üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri.	56

Şekil 4.21. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi üzerine eksojen strigolakton uygulamasının istatistik değerlendirilmesi	56
---	----



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. <i>Capsicum annuum</i> L. çeşitlerinde kuraklık stresi uygulaması için PEG-6000 konsantrasyonunun belirlenmesi ve 14 günlük çimlenme yüzdesi oranları	33
Çizelge 4.2. <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde kuraklık stresi altında eksojen strigolakton konsantrasyonunun belirlenmesi ve 14 günlük çimlenme yüzdesi oranları.....	34
Çizelge 4.3. <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde %10 PEG-6000 ve 10µM strigolakton uygulaması sonrası 7 ve 14 günlük çimlenme yüzdesi oranları	34
Çizelge 4.4. Stresli ve stressiz koşullar altında strigolakton ön uygulamasına maruz bırakılan <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerine ait fizyolojik karşılaştırmalar	35
Çizelge 4.5. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerine ait fizyolojik karşılaştırmalar	39
Çizelge 4.6. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde total protein miktarı.....	45
Çizelge 4.7. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde prolin miktarı.....	47
Çizelge 4.8. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde malondialdehit miktarı	49
Çizelge 4.9. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde süperoksit dismutaz aktivitesi	51
Çizelge 4.10. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Oğuz ve <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Çözüm çeşitlerinde katalaz aktivitesi.....	53

Çizelge 4.11. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi... 55



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\frac{1}{2} O_2$	: Singlet Oksijen
ABA	: Absisik asit
APX	: Askorbat peroksidaz
CAT	: Katalaz
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
ETC	: Elektron taşıma zinciri
GA3	: Giberellik asit
GPX	: Guaiakol peroksidaz
GR24	: Strigolakton analogu
H₂O	: Dihidrojen monoksit
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
JA	: Jasmonik asit
MDA	: Malondialdehit
O₂·-	: Süperoksit radikali
PEG	: Polietilenglikol
PGR	: Bitki büyüme düzenleyici
ROS	: Reaktif oksijen türleri
SA	: Salisilik asit
SL	: Strigolakton
SOD	: Süperoksit dismutaz
mM	: Milimolar
μM	: Mikromolar

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Biberde (*Capsicum annuum* L.) Eksojen Strigolakton Uygulamasının Fizyolojik ve Biyokimyasal Etkileri

Aysel UNAT

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sığnem ÖNEY BİROL
II. Danışman: Doç. Dr. Selman ULUIŞIK

Temmuz, 2023

Bu tez çalışmasında, kuraklık stresi ve stressiz koşullar altında yetiştirilen iki biber çeşidinde (*C. annuum* L. cv. Oğuz ve *C. annuum* cv. Çözüm), 10 µM eksojen strigolakton uygulamasının fizyolojik [çimlenme yüzdesi (%), kök uzunluğu (cm), gövde uzunluğu (cm), gövde çapı (mm), dallanma sayısı, yaprak genişliği (mm), bitki boyu (cm) ve taze ağırlık (g)] ve biyokimyasal [total protein miktarı, prolin, lipid peroksidaz (MDA), superoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX)] etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmada, %10 PEG-6000 kuraklık stresinin etkisini hafifletmek için, sentetik strigolakton analogu olan GR24'ün 10 µM eksojen uygulamasının her iki biber çeşidinde de çimlenmeyi teşvik ettiği, kök uzunluğu, gövde uzunluğu, bitki boyu, yaprak genişliği ve gövde çapı parametreleri üzerine olumlu etki gösterdiği ve büyüme/gelişmeyi desteklediği belirlenmiştir. Bununla birlikte, biyokimyasal ve aktioksidan aktivite üzerine çalışılan parametrelerde total protein miktarı, prolin, MDA, SOD, APX aktivelerinin kuraklık stresi koşullarında arttığı, kuraklığın olumsuz etkisini hafifletmede 10 µM eksojen strigolakton uygulamasının iyileştirici etki gösterdiği ortaya konulmuştur. Buna karşın, kuraklık stresi koşullarında CAT aktivitesi her iki çeşit içinde, tüm parametrelere oranla stressiz koşullarda azalma gösterirken Çözüm çeşidinde kuraklık stresi koşullarında 10 µM eksojen strigolakton uygulamasının stressiz koşullar altındaki strigolakton uygulamasına göre, 2 katından fazla oranda azalma gösterdiği belirlenmiştir. Tüm parametreler bir arada değerlendirildiğinde, Çözüm çeşidinin Oğuz çeşidine oranlar kuraklık stresine karşı daha dirençli olduğu, eksojen strigolakton uygulamasının uygun konsantrasyonlarda kuraklık stresinin bitki büyüme/gelişmesi üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletmede yaprağa püskürtme yöntemiyle uygulanmasının daha başarılı sonuçlar sunduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Capsicum annuum* L., strigolakton, GR24, kuraklık stresi

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 0795-YL-21 proje numarası ile desteklenmiştir.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

**Determination of Physiological and Biochemical Effects on Drought Tolerance
Under Exogenous Strigolactone Application in Pepper (*Capsicum annuum* L.)**

Aysel UNAT

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Molecular Biology and Genetics**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Signem ONEY-BIROL
Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Selman ULUIŞIK**

July, 2023

In this thesis study, the physiological [germination rate (%), root length (cm), stem length (cm), stem diameter (mm) number of branches, leaf width (mm), plant height (cm), and fresh weight (g)] and biochemical [total protein amount, proline, lipid peroxidase (MDA), superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX)] effects of the 10 µM exogenous strigolactone application were determined under both drought stressed and unstressed conditions in two pepper cultivars (*C. annuum* L. cv. Oğuz and *C. annuum* cv. Çözüm) comparatively.

It was determined that application of 10 µM exogenous GR24 which is a synthetic strigolactone analogue to alleviate detrimental effects of %10 PEG-6000 drought stress promoted germination rate (%), root and stem length (cm), plant height (cm), leaf width (cm) and stem diameter (mm) and support growth/development in both pepper cultivars. However, parameters studied on biochemical and antioxidant activity, it was revealed that total protein amount, proline, MDA, SOD, APX activities increased under drought stress conditions, and 10 µM exogenous strigolactone application had a healing effect in mitigating the negative effects of drought. On the other hand, CAT activity decreased in both cultivars under drought stress compared to the unstressed conditions for all parameters, while 10 µM exogenous strigolactone application in "Cozum" cultivar under drought stress conditions showed a more than 2-fold decrease in solution compared to strigolactone application under unstressed conditions. When all parameters are evaluated together, it has been revealed that Çözüm cultivar is more resistant to drought stress than Oğuz cultivar, and that spraying application of appropriate concentration of exogenous strigolactone provides more successful results in mitigating the harmful effects of drought stress on pepper growth/development.

Keywords: *Capsicum annuum* L., drought stress, GR24, strigolactone,

The present M.Sc./Ph.D. Thesis was supported by Burdur Mehmet Akif Ersoy University Scientific Research Project Coordinatorship under the Project number of 0795-YL-21.

1. GİRİŞ

Stres kelime anlamı olarak baskılama yani tek yönlü kuvvet anlamına gelmektedir. Biyolojik olarak stres büyüme, gelişme ve üreme için genetik özelliklerini baskılamaya yönelik olarak meydana gelen ideal durumdan sapma hali olarak tanımlanmaktadır (Rehman vd., 2005). Bitkisel organizmalar yaşam periyotları boyunca abiyotik ve biyotik stres olmak üzere iki tip stres ile karşılaşır ve bitkinin yaşamsal faaliyetlerini olumsuz etkileyen her türlü faktör olarak kabul edilirler. Kuraklık, tuzluluk, don ve sıcaklık gibi faktörler abiyotik stresi oluştururken (Foyer vd., 2016; Cohen ve Leach 2019; Baillo vd., 2019) bakteriler, mantarlar, virüsler, nematodlar ve herbivor saldırıları biyotik stres faktörlerini temsil etmektedir (Atkinson ve Urwin, 2012; Suzuki vd., 2014).

Dünya çapında abiyotik stresin olumsuz etkileri tarımsal üretimde ciddi ürün kayıplarına neden olurken ekili alanların her geçen gün daha da azalmasına sebep olmaktadır. Artan nüfus ve iklim değişikliği ile karşı karşıya kaldığımız günümüzde, bu senaryo giderek daha karmaşık bir hale gelmektedir. 2050 yılına kadar dünya nüfusunun 9.7 milyar (<http://1>) seviyesine ulaşması beklenmektedir ki, bu durumda küresel gıda üretiminin %60 - 110 oranlarında artması gerekmektedir (Rockström vd., 2017; Godoy vd., 2021).

Bitkisel organizmalar, abiyotik stres faktörleri ile karşılaştıklarında, stresin olumsuz etkilerinden korunmak için öncelikle stomalar yoluyla terleme ile su kaybı ve gaz alışverişi indirgenmektedir. Stomaların kapatılması fotosolunum yolunun aktivitesini artırırken hidrojen peroksit (H_2O_2) üretimini de tetiklemektedir (Apel vd., 2004; Foyer ve Noctor, 2009; Godoy vd., 2021). Buna ek olarak azalmış olan CO alımı ve asimilasyonu fotosentetik elektron taşıma zinciri boyunca elektron akışında bir düzensizlik ile sonuçlandığından dolayı süperoksit radikalleri (O_2^-) ve singlet oksijenin ($1/2 O_2$) üretimi tetiklenmektedir. Hücrede yüksek oranda; hidroksil radikalleri (OH), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve süperoksit radikali (O_2^-) proteinlere, lipitlere ve nükleik asitlere karşı oldukça reaktiftir ve hücre ölümüne neden olabilmektedirler (Apel vd., 2004; Foyer ve Noctor, 2009; Godoy vd., 2021).

Abiyotik stres faktörleri içerisinde yer alan kuraklık stresi, en eski ve üzerinde en uzun süredir çalışılan stres türlerindendir ve dünyada bitkilere, özellikle yağmur suyu ile beslenen bitkilere en fazla zarar veren abiyotik stres olarak gösterilmektedir (Flowers, 2004; Godfray vd., 2010; Tester ve Langridge, 2010; Agarwal vd., 2013; Golldack vd.,

2014). Kuraklık koşulları altında bitki su ilişkileri, azalan toprak su durumu nedeniyle önemli ölçüde bozulmakta ve bitkilerde transpirasyon hızının absorpsiyon hızını aştığı durum “kuraklık” olarak tanımlanmaktadır (Shinozaki ve Yamaguchi-Shinozaki 2007; Wang ve Ruan 2016; Cao vd., 2018).

Yüksek yapılı bitkilerde bitki büyüme düzenleyicileri (PGR’ler), çok düşük konsantrasyonlarda yaşamsal faaliyetler üzerinde etki gösteren eksojen ya da endojen organik bileşikler olarak tanımlanmaktadır (Rademacher, 2015; Quamruzzaman vd., 2021). Bitki büyüme düzenleyicileri, biyolojik süreçlere etki ederek büyüme ve gelişmeyi teşvik ya da inhibe edebilmektedir (Hopkins, 1999; Fishel, 2006; Rademacher, 2015; Quamruzzaman vd., 2021). PGR’leri bitki bünyesinden sentezlendiğinde ve düşük konsantrasyonlarda uzun etki sürelerine sahip olduklarında fitohormonlar olarak tanımlanırken, eksojen olarak bitkiye uygulanıp, daha yüksek konsantrasyonlarda etki gösterdiklerinde bitki büyüme gelişme düzenleyicileri olarak tanımlanmaktadır (Avery, 1937; Quamruzzaman vd., 2021). Abiyotik stres koşulları altında, absisik asit (ABA), jasmonik asit (JA), giberellik asit (GA3), etilen ve salisilik asit (SA) gibi çeşitli fitohormonlar agonistik veya antagonistik etkiler ile strese yanıt mekanizmasında rol almaktadırlar (Zhao vd., 2020; Bomle vd., 2021).

2. GENEL BİLGİLER

Kuraklık stresi, son yıllarda dünyada gıda güvenliği için en ciddi tehdidi oluşturan abiyotik stresler içerisinde gösterilmektedir (Austin, 1989; Pereira ve Chaves, 1993; Pereira ve Chaves, 1995; Bottner vd., 1995; Vurukonda vd., 2016). 2050 yılına kadar ekilebilir alanların %50'sinden fazlasında kuraklığın ciddi bitki büyüme sorunlarına sebep olması beklenmektedir (Ashraf, 1994; Vinocur ve Altman, 2005; Kasim vd., 2013; Vurukonda vd., 2016). Kuraklık, verimli büyüme ve biyokütle üretimi için bitki rizosferindeki kullanılabilir su miktarlarının bitki için gerekli sınırların altına düştüğü ortalamanın altında yağış olarak açıklanmaktadır (Verslues vd., 2006; Deikman vd., 2012; Osmolovskaya vd., 2018). Kuraklık stresi bitkilerde fotosentez, solunum, mineral ve besinlerin alımı gibi tüm temel fizyolojik süreçleri olumsuz şekilde etkilemektedir (Chirkova, 2002; Wang vd., 2016; Osmolovskaya vd., 2018). Bitki tarafından kuraklığa verilen en erken tepkilerden birisi stomaların kapanarak terlemenin sınırlandırılmasıdır, ancak bu olay CO₂ emilimini de sınırladığı için fotosentetik aktivitenin azalmasına yol açmaktadır (Nayyar ve Gupta, 2006; Yang vd., 2006; Efeoğlu vd., 2009).

Bitkilerin yaşam periyotları boyunca karşılaştıkları abiyotik stresler; kuraklık, sel, tuzluluk, aşırı sıcaklıklar (soğuk, don ve sıcak) ve ağır metal toksisitesi çevresel ve biyotik olmayan olaylar sonucunda meydana gelirken, biyotik stresler mantarlar, bakteriler, viral hastalıklar, parazitler, böcekler, nematodlar ve diğer bitkiler olmak üzere canlı organizmalardan kaynaklanan zararlar sonucunda ortaya çıkmaktadır (Nadeem vd., 2010; Murali ve Amruthesh, 2015; Mosa, vd., 2017; Waqas vd., 2019; Murali vd., 2021; Bomle vd., 2021).

Bitki bünyesinde, transpirasyon hızında meydana gelen değişime bağlı olarak oluşan su eksikliği, bitkisel organizmada stomaların kapanması, hücre büyümesinin inhibisyonu, fotosentezin baskılanması ve solunum aktivasyonu gibi fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır (Shinozaki ve Yamaguchi-Shinozaki 2007; Wang ve Ruan 2016; Cao vd., 2018). Kuraklık ilk olarak kök sistemi tarafından algılanmakta ve ksilem aracılığıyla sürgüne bir stres sinyali olarak iletilmektedir. Bitkiler, kuraklık stresine karşı hayatta kalma başarılarını artırmak için morfolojik, biyokimyasal, fizyolojik ve moleküler yolları indükleyen sinyal yolları ve karmaşık savunma mekanizmalarıyla gösterdikleri tepkiler sayesinde stres ortamına adaptasyon göstermektedirler. Sonuç olarak, bitki bünyesinde strese yanıt kuraklık toleransı şeklinde ortaya çıkmakta ve tepki mekanizması bitkinin türüne hatta aynı tür

dahi olsa habitatına göre dahi değişkenlik göstermektedir (Sánchez-Rodríguez vd., 2012; Sahitya vd., 2018).

Bitkilerde reaktif oksijen türleri (ROS) süpürme mekanizmaları, enzimatik olmayan antioksidanlar ve enzimatik bileşenlerin görev aldığı antioksidanlar olarak iki yoldan meydana gelmektedir. Bu mekanizmada, a-tokoferol, flavonoidler, indirgenmiş glutatyon (GSH), askorbik asit (ABA), karotenoidler ve ozmolit-prolin gibi enzimatik olmayan antioksidanlar yer alırken, SOD, CAT, askorbat peroksidaz (APX), dehidroaskorbat redüktaz (NADH), glutatyon redüktaz (GR), guaiakol peroksidaz (GPX) ve monodehidroaskorbat redüktaz (MDAR) gibi enzimatik bileşenler bir arada bulunmaktadır (Mahmood vd., 2020). MDAR, APX, GR ve NADH, 'Halliwell–Asada' yoluyla H_2O_2 'yi uzaklaştırmaktadır (Uzilday vd., 2012; Wu, 2015; Mahmood vd., 2020). Askorbat-glutatyon döngüsünde ise APOX, askorbatı MDHA oluşturmak üzere oksitleyerek H_2O_2 'yi H_2O 'ya dönüştürmektedir (Azevedo Neto, 2006; Uzilday, vd., 2012; Mahmood vd., 2020). Daha sonra, MDHA, MDHAR tarafından askorbata indirgenerek, iki molekül MDHA, enzimatik olmayan bir şekilde dehidroaskorbat ve MDHA'ya dönüştürülebilir ve GR döngüsü ve NADH yoluyla askorbat için yoğunlaştırılabilir (Szalai vd., 2009; Mahmood vd., 2020). Kuraklık stresi sırasında, glutatyon (GSH) dengesini korumak için glutatyon redüktaz aktivitesi yukarı doğru regüle edilmektedir. GSH, GR döngüsünde NADPH kullanarak GSH'yi oksitleyen bir oksidasyon süreci olan GSH redüktaz tarafından indirgenmektedir (Chan vd., 2013; Mahmood vd., 2020). Oksidatif sinyal veya hasar, antioksidan enzimlerin üretimi ile ROS arasındaki dengeye bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Zhang vd., 2014; Zafar vd., 2020; Mahmood vd., 2020).

Reaktif oksijen türleri (ROS) detoksifikasyon mekanizmalarında görev alan katalaz (CAT) (CAT-EC 1.11.1.6), yüksek yapılı bitkilerde CAT1, CAT2 ve CAT3 olmak üzere üç farklı izoformda bulunmaktadır. CAT1 ve CAT2 hem sitozol hem de peroksizomlarda lokalizedir; CAT3, mitokondri ile sınırlıdır (Willekens vd., 1994; Landi vd., 2017). CAT, kuraklık ve tuz streslerine tepki olarak indüklenerek özellikle yapraklarda stres sırasında fotorespirasyonda H_2O_2 fazlasının çıkarılmasına destek olmaktadır (Sofa vd., 2015; Landi vd., 2017). Bu durum, fotosentetik ETC'nin aşırı azalmasını ve fotoinhibisyonu önlemek için gerekli bir mekanizma olarak belirtilmektedir (De Pinto vd., 2013; Landi vd., 2017).

Genel olarak bitki büyümesini düzenlemede görevleri ile bilinen bitkisel hormonlar, oluşabilecek herhangi bir abiyotik ya da biyotik stres durumunda bitkinin

çevresel adaptasyonunda hayati bir rol üstlenerek büyüme ve gelişme süreçlerini kontrol altında tutmaya çalışmaktadırlar (Li vd., 2018; Napieraj vd., 2023). Bitkide hormon dengesi, ilgili aktiviteyi kontrol eden hormonun sentezlenmesi, metabolizması, taşınması, algılanması ve sinyal iletimi tarafından bir kompleks olarak organize edilmektedir. Bitki bünyesinin hormona olan ihtiyacı, hormonun sentezlendiği bölgede (lokal) ya da sentezlendiği bölgeden uzakta olabilir. Bundan dolayı hormonlar, dağılımlarını düzenlemek için aktif taşıyıcılar yoluyla ilgili bölgeye taşınarak çeşitli tepkilere yol açmaktadır (Santner ve Estelle, 2009; Boursiac vd., 2013; Park vd., 2017; Anfang ve Shani, 2021). Bitki büyüme ve gelişmesinde regülatör rol oynayan hormonlar; iki ana gruba ayrılırlar, oksin, sitokinin, giberellik asit ve brassinosteroidler pozitif büyüme düzenleyicileri olarak ilk grubu temsil ederken; absisik asit, jasmonik asit, salisilik asit ve etilen stres hormonları olarak ikinci grubu temsil etmektedir (Li vd., 2018; Napieraj vd., 2023).

Yapılan güncel çalışmalarla, bitkisel hormonların tek başlarına kritik roller üstlenmelerinin yanı sıra, aynı anda bir dizi genin düzenlenmesini ve strese karşı cevap oluşturmada yer alan düzenleyicilerin koordinasyonunu organize etmek için agonistik ya da antagonistik etkileşimlerle iletişim kurduğu kanıtlanmıştır (Pieterse vd., 2012; Verma vd., 2016).

Bitkisel hormonların, tohum dormansisi, tohum çimlenmesinin teşviki (Graeber vd., 2012; Miransari vd., 2014), biyotik streslere karşı bitki savunma tepkilerinin düzenlenmesinde önemli roller oynamalarının yanı sıra (Glazebrook 2005; Lorenzo ve Solano 2005; Broekaert vd., 2006; Loake ve Grant 2007; Balbi ve Devoto 2008; Bari ve Jones, 2009), abiyotik stres faktörlerine karşı savunma yanıtının oluşturulmasında da temel rol oynadığı bilinmektedir (Yu vd., 2020).

Semiokimyasallar, tür içi (feromonlar) ve türler arası (allelkimyasallar) bireyler arasında iletişim sağlayan işaret ya da sinyal molekülleri olarak tanımlanmaktadır. Allelokimyasallar ise, işlevsel rollerine bağlı olarak kairomonlar, sinomonlar, allomonlar ve apneumonlar (biyolojik kökenli olmayan) şeklinde sınıflandırılmaktadırlar (Bakthavatsalam, 2016).

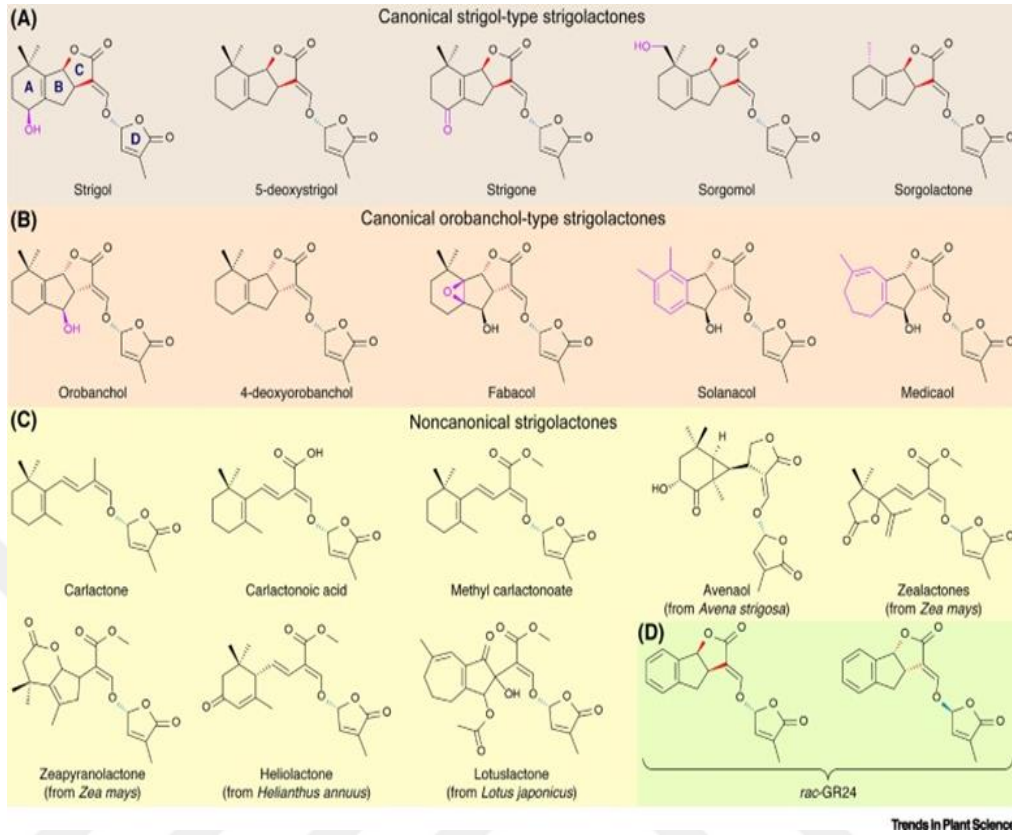
Strigolaktonlar (SL'ler), bitki biliminde önemi giderek artan yeni bir bitkisel hormon sınıfını oluşturmaktadır. Tek tek türler arasında iletişimi sağlamak için kullanılan biyolojik olarak aktif moleküller olan semiokimyasallar grubudurlar (Zwanenburg vd., 2016).

SL'lar ilk olarak rizosferde parazitlik ve simbiyozda kullanılan iletişim sinyalleri olarak keşfedilmişlerdir (Cook vd., 1966; Akiyama vd., 2005; Shindo vd., 2021). Daha sonra sürgün dallanmasını engelleyen yeni bir bitkisel hormon olarak tanımlanmışlardır. SL'lar; gövde kalınlaşması, yaprak yaşlanması, kök tüylerinin uzaması ve birincil kök büyümesini uyarırken yanal kök büyümesi ve tesadüfi kök oluşumunu da engellemektedir. Köklerde bulunan SL seviyeleri besin eksikliğine yanıt olarak önemli ölçüde değişiklik göstermektedir (Al-Babili ve Bouwmeester, 2015; Shindo vd., 2021).

SL'ların kimyasal yapıları, bir grup terpenoid lakton olarak, enol-eter köprüsü aracılığıyla değişken bir trisiklik laktona (ABC halkaları) bağlanan bir butenolid halkası (D halkası) içermektedirler (Zwanenburg vd., 2009; Al-Babili ve Bouwmeester 2015; Shabek vd., 2018). Kimyasal yapılarına göre kanonik ve kanonik olmayan SL'ler olarak sınıflandırılmaktadırlar. Kanonik SL'ler bir trisiklik lakton kısmına (ABC-halkaları) sahipken, kanonik olmayan SL'ler bir BC-halka sistemine sahip değildirler (Shiotani vd., 2021). Bugüne kadar, en az 19 doğal SL tanımlanmış ve tamamen kök eksüdatlarından karakterize edilmişlerdir. Boyer vd., (2014) çalışmalarında yapılan bir yapısal revizyona göre SL'lar iki aileye ayrılmıştır: biri BCD kısmındaki stereokimyanın (+) konumunda strigol ile aynı olduğu ve diğeri BCD kısmındaki stereokimyanın (-) ile aynı olduğu - orobanchol ailesidir (Xie vd., 2013; Boyer vd., 2014). Hem doğal hem de sentetik SL'lar moleküllerinin fonksiyonel diseksiyonu, C ve D halkalarının ve bunların bağlantılarının SL aktivitesi için gerekli olduğunu, buna karşın ayrılmış ABC veya D halkalarının bitkilerde inaktif olduğunu göstermiştir (Zwanenburg vd., 2009; Akiyama vd., 2010; Hamiaux vd., 2012; Nakamura vd., 2013; Shabek vd., 2018).

D-halkası kısmı, kök parazitik bitkilerde aktif olan tüm SL'lar da ortak bir kısımdır, bu da SL'un yapısının bu kısmının biyolojik aktivite için önemli olabileceğini düşündürmektedir (Mangnus vd., 1992; Umehara vd., 2014). Aslında, D halkasının modifikasyonu, kök parazitik tohum çimlenmesinin indüklenmesi için SL biyoaktivitesini azaltmaktadır (Mangnus vd., 1992; Umehara vd., 2014). Buna karşılık, birçok doğal SL, kimyasal olarak bir ABC halkasına sahiptir. Yapı-aktivite verilerinden, kök parazitik bitkilerin çimlenmesinin indüklenmesi için SL'ların biyolojik olarak aktif molekülünün C-D-halka kısmında bulunduğu keşfedilmiştir (Mangnus ve Zwanenburg 1992b; Umehara vd., 2014). SL'ların stereokimyası, kök parazitik bitkiler üzerindeki biyolojik aktivite için de önemlidir. Örneğin, sentetik SL türevi olan GR24 ve sorgolakton durumunda, C-3a, C-8b ve C-2' konumlarındaki konfigürasyonları sırasıyla (R), (S) ve

(R) olan stereoizomer en aktif olanı olarak belirtilmektedir (Thuring vd., 1997, Sugimoto vd., 1998; Umehara vd., 2014).

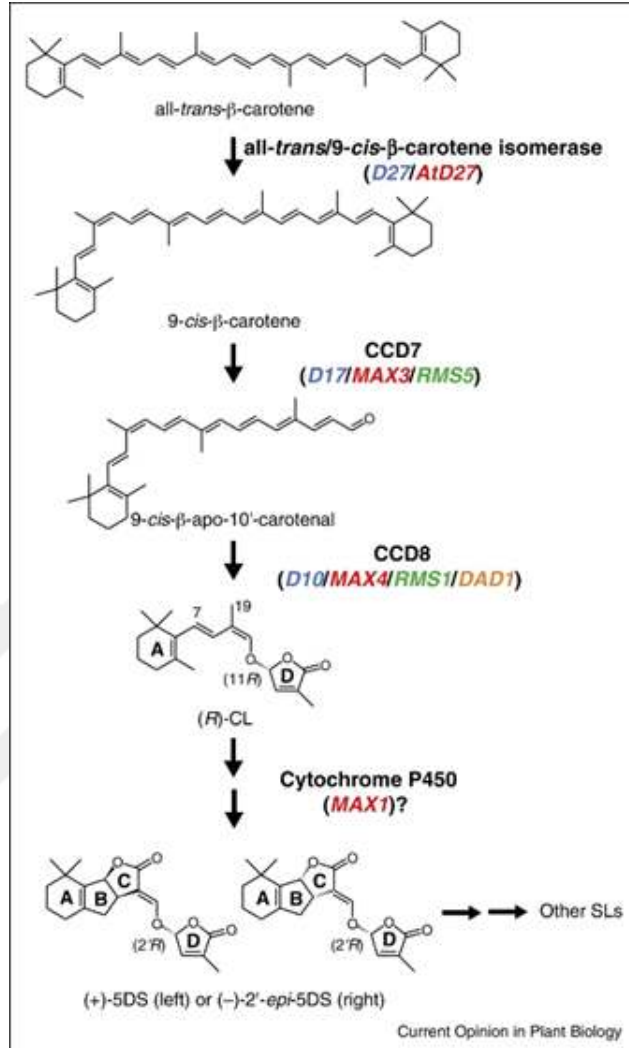


Şekil 2.1. Strigolaktonların kimyasal yapıları (A) Strigol tipi SL'lar, B-/C-halkası bağlantısı

(kırmızı) içinde C halkasının korunmuş bir β yönelimine sahiptir. A-halkasındaki değişiklikler değişkendir (macenta). (B) Orobanchol tipi SL'ler, B-/C-halkası bağlantısı (kırmızı) içindeki C halkasının korunmuş bir α yönelimine sahiptir. Fabacol'da epoksit, solanakol'de benzen ve medicaol'de sikloheptadien olarak A halkasının (macenta) doğasının çeşitliliğine dikkat çekicidir. (C) Kanonik olmayan SL'ler, kanonik SL'lerde (mavi) olduğu gibi aynı konformasyonda molekülün geri kalanına bağlı sağlam bir D halkasına sahiptir. Ancak kalan halka sistemi farklı bir kimya benimseyebilir. (D) Sentetik SL analogu GR24 (Bürger ve Chory, 2020)

SL biyosentezi, izomeraz DWARF27 (D27) tarafından C 40 all-trans- β -karoten'inin 9-cis- β -karotene dönüştürülmesi sonucunda gerçekleşmektedir. 9-cis- β -karoten'in karotenoid bölünme dioksijenaz7 (CCD7) tarafından bölünmesi neticesinde iki ürün oluşur: C13 β -iyonon ve C27 9- cis- β -apo 10' karotenal. Bu adımı katalizleyen enzimler, pirinçte D17 ve *Arabidopsis*'te MAX3'tür. C27 ürününün CCD8 (D10, MAX4) tarafından, bütenolid D halkasını içeren ara ürün olarak CL'yi oluşturmaktadır (Alder vd., 2012; Flematti vd., 2016). Ara ürün CL, CCD8'in yüksek stereospesifik yapısını gösteren özel olarak 2'R konfigürasyonunda üretildiklerinden dolayı (Alder vd., 2012; Seto vd.,

2014; Flematti vd., 2016) bilinen tüm SL'lar prensipte CL'den türetilmektedirler (Flematti vd., 2016).



Şekil 2.2. Strigolakton biyosentez yolu (Seto ve Yamaguchi, 2014)

Biber (*Capsicum annuum* L.), bitkiler aleminin en büyük familyası olan Solanaceae familyası üyelerinden, fakültatif yani kendi kendine tozlaşabilen bir türdür (Moscone vd., 2007; Xie vd., 2022). *Capsicum* cinsi içerisinde yapılan son çalışmalar neticesinde keşfedilen 5 yeni tür ile birlikte günümüzde 43 tür ile temsil edilmektedir (Eshbaugh, 2012; Carrizo Garcia, 2016; Barboza vd., 2019; Barboza vd., 2020; Mavi, 2020). Mevcut durumdaki 43 tür içerisinde 5 tanesinin kültürü yapılmaktadır ki bunlar; *C. annuum* L., *C. frutescens* L., *C. baccatum* L., *C. Chinense* Jacq. ve *C. Pubescens* Ruiz & Pay. türleridir (Mavi, 2020). Tıp ve farmasötik endüstrisinde kullanılan önemli bir ürün olan biber yetiştiriciliğinde, sırasıyla Çin, Meksika ve Türkiye dünya çapında önde gelen ilk üç ülke olarak öne çıkmaktadır (Mejía Teniente vd., 2013; Rodríguez-Calzada vd., 2019).

Türkiye İstatistik Kurumu 2022 yılı verilerine göre; Türkiye’de yetiştirilen biber çeşitleri salçalık (kappa) 1,481.612 ton, sivri 979,180 ton, dolmalık 404,459 ton, çarliston 153,524 ton olarak kaydedilirken toplam sebze üretiminin yaklaşık %10’unu oluşturmaktadır (TÜİK, 2022).

2.1.Kaynak Özetleri

Kuraklık stresi bitkide büyüme, gelişme ve verimi etkileyen en önemli abiyotik stres faktörlerindendir. Farklı türlerde, türün stres ile mücadele seviyesine bağlı olarak fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler açıdan çok sayıda letal ve olumsuz etkileri ortaya konulmuştur.

Bueno vd. (1998), tütün (*Nicotiana tabacum* L.) bitkisine polietilen glikol (PEG) 8000 ve sodyum klorür (NaCl) ile uyguladıkları kuraklık stresi ve ABA uygulaması sonucunda MDA miktarının kontrole göre %10PEG ve %30PEG uygulamasında sırasıyla yaklaşık 2.5 kat ve 4 kat arttığı 0.2 M NaCl ve 0.4 M NaCl uygulamasında sırasıyla yaklaşık 3 kat ve 6 kat arttığı, SOD aktivitesinin kontrole göre kuraklık uygulamalarında 1.5 kat arttığı NaCl uygulamalarında 2 kat arttığı, APX aktivitesinin %30PEG uygulamasında kontrole göre 10 kat artışa neden olduğu %10 PEG ve 0.4 M NaCl ile yapılan uygulamada APX aktivitesinin 2 kat azalmasına yol açtığını bildirmişlerdir.

Kalefetoğlu-Macar ve Ekmekçi (2008) kuraklığa maruz bırakılmış nohut varyetesinde fotosistem II’de meydana gelen fotokimyasal ve antioksidatif yanıtın belirlenmesine dair yapmış oldukları çalışmada vejetatif dönemdeki ILC 3279 nohut çeşidinde kurak stresi altında sürgün uzaması, yaprak gelişimi, taze ve kuru ağırlık miktarı azalırken strese maruz kalma süresi arttıkça MDA, SOD, APX ve prolin miktarı da artış gösterdiğini belirleyerek ILC 3279 çeşidinin, vejetatif fazda iken yukarı doğru regüle olmuş koruyucu mekanizmaları sayesinde şiddetli kuraklığa dayandığını rapor etmişlerdir.

Yousfi vd. (2010), kurak ve yarı kurak iklim özelliklerine sahip alanlardan toplanmış *Medicago truncatula* (Mt-173 ve Mt-664) ve *M. laciniata* (MI-173 ve MI-345) Tunus popülasyonlarında, su eksikliği stresinin total kuru ağırlık, kök gövde oranı, bağlı su içeriği, ozmotik potansiyeli ve fotosentetik parametreleri MDA konsantrasyonu ile organik (prolin ve çözülebilir şekerler) ve inorganik (Na^+ ve K^+) çözücüler üzerindeki etkilerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, total kuru ağırlık, bağlı su içeriğindeki artışla orantılı olarak MDA konsantrasyonlarının da arttığını tespit etmişlerdir.

Huseynova (2012), farklı kuraklık hassasiyetine sahip iki durum buğdayı (*Triticum durum* L. cv.) çeşidi olan Barakatli-95 ve Garagylchyg-2 ve iki ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşidi olan Azamatli-95 ve Giymatli-2/17 kullanılarak su eksikliği stresinin etkilerine dair yapmış olduğu çalışmada kuraklık ile ilişkili fotosentetik parametrelerin kuraklığa dirençli genotip Barakatli-95 ve kuraklığa hassas genotip Garagylchyg-2 ve iki ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşidinde, ontogenezin farklı aşamalarında (sap çıkışı, başaklanma başlangıcı, başaklanma sonu, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme sonu) incelediği SOD, CAT, APX aktivitesine göre, APX aktivitesinin Garagylchyg-2 genotipinde başaklanma sonu ve çiçeklenme başlangıcında kontrol grubuna göre artış gösterirken diğer evrelerde kontrol gruplarından daha düşük seviyelere sahip olduğu bulunmuştur. Barakatli-95 genotipinde en yüksek APX aktivitesinin çiçeklenme sonunda görülürken, Giymantlı-2/17 genotipinde ise erken aşamalar hariç ontogenezin tüm aşamalarında APX aktivitesinin daha yüksek olduğunu maksimum SOD aktivitesinin Azamatlı-9 genotipinde başaklanma sonunda, Giymatlı-2/17 genotipinde ise başaklanma başlangıcında görüldüğü tespit edilmiştir.

Wehner vd. (2015), 113 Alman kışlık arpa çeşidi ve 43 İspanyol arpa çekirdek koleksiyonundan oluşan toplam 156 kışlık arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşidine uyguladıkları kuraklık stresi sonucunda, kontrol gruplarında ortalama serbest prolin içeriğini 3,66 olarak belirlerken kuraklık stresi gruplarında ortalama serbest prolin içeriğini 23,94 belirlemişler ve kuraklık stresi sonucunda serbest prolin içeriğinin arttığını ortaya koymuşlardır.

Mardani vd. (2017), *C.annuum* L. bitkisine uyguladıkları kuraklık stresinin bitkideki fizyolojik etkilerini incelemişlerdir. Kuraklık stresi, DI₈₀, DI₆₀ ve DI₄₀ sırasıyla bitkinin su ihtiyacının %80, %60 ve %40'ını karşılayan 3 farklı su rejimi yöntemiyle gerçekleştirmiştir. DI₈₀, DI₆₀ ve DI₄₀ uygulamalarında meyve sayısı sırasıyla, %29.4, %52.7 ve %69.5 oranında azalmıştır, yine aynı sıralamayla sürgün kuru ağırlığı %16.9, %33.9 ve %53.1 oranında azalmıştır. Kök kuru ağırlığı incelendiğinde, sırasıyla %31, %47.8 ve %62.6 oranında azaldığını rapor etmişlerdir.

Guo vd. (2018), kuraklığa dayanıklı buğday genotipi (JingDong-17) ve kuraklığa duyarlı (JingDong-8) buğday genotiplerine uyguladıkları kuraklık stresi sonucunda sürgün uzunluklarının iki genotip arasında JD8 ve JD17'de sırasıyla %11.6 ve %2.5 oranında azaltan kuraklık stresinden önemli ölçüde etkilendiğini ve kuraklık stresi sonucunda kontrol grubu serbest prolin içeriğinin JD8 ve JD17 'de sırasıyla %22.7 ve %35.6 değerleri kuraklık stresi grubu serbest prolin içeriğinin JD8 ve JD17 'de sırasıyla

%23.1 ve %48.5 ile prolin seviyesinin JD8'in sürgünlerinde yaklaşık 1.23 kat ve JD17 sürgünlerinde 2.65 kat arttığını bildirmişlerdir.

Sahitya vd. (2018), biber bitkisine ait 20 farklı genotip üzerinde yaptıkları kuraklık stresi denemeleri sonucunda, prolin ve MDA miktarının tüm çeşitlerde kuraklık stresinde artış gösterdiği, şiddetli kuraklık denemesi sonucunda prolin içeriğinin 11.80 kat artış gösterdiğini ve orta şiddetli sulama sonucunda genotipler arasında SOD aktivitesinin ortalama 2.24 kat artış gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Carvalho vd. (2019), bir ticari çeşit (Cp5051) ve bir Kuzey yerel çeşidi (Vg50) ile önceden tanımlanmış kuraklık tepkilerine sahip iki kontrol genotipi (Bambey 21 ve CB46) börülce (*Vigna unguiculata* L. Walp) tohumlarına uyguladıkları 3 farklı su rejimi (şiddetli, orta şiddetli kuraklık stresi ve iyi sulanan kontrol grubu) sonucunda kuraklığa tepki mekanizmasının prolin, MDA, süperoksit dismutaz, katalaz ve askorbat peroksidaz seviyeleri üzerine etkilerine dair yapmış oldukları çalışmalarında; Vg50 genotipinin diğer genotiplerle karşılaştırıldığında şiddetli kuraklık stresi altında diğer genotiplerin prolin miktarına oranla iki katından yüksek prolin içeriği ile en yüksek prolin içeriğini gösterdiği buna karşılık Cp5051 ve Vg50 genotiplerinin en düşük MDA birikim değerlerine sahip olduğu Bambey21 ve CB46 genotiplerinde şiddetli kuraklık stresi altında kontrol grubuna oranla 2.6 kat daha yüksek H₂O₂ seviyeleri ile uyum içinde olduğunu belirlemişlerdir. Süperoksit dismutaz seviyesinin ise Cp5051 genotipinde şiddetli kuraklık stresi altında kontrol grubuna göre yaklaşık 2 kat arttığı diğer genotiplerde orta şiddette kuraklık stresine göre şiddetli kuraklık stresinde düşüş gösterdiğini belirtirken, Bambey 21 ve CB46 genotiplerinde katalaz seviyesinin şiddetli kuraklık stresinde kontrole göre düşüş gösterdiğini CB46 genotipinde askorbat peroksidaz şiddetli kuraklık stresi seviyesi kontrole göre yaklaşık 2 kat arttığı Vg50 genotipinde askorbat peroksidaz seviyesinin şiddetli kuraklık stresinde kontrole göre azaldığını rapor etmişlerdir.

Wang vd. (2022), kuraklığa dayanıklı Hanyou113(HY113) ve Zhonghan3 (ZH3) ve kuraklığa duyarlı Huanghuazhan (HHZ) pirinç (*Oryza sativa* L.) kültür bitkisine uyguladıkları dört su stresi (normal sulama, hafif kuraklık stresi, orta derecede kuraklık stresi ve şiddetli kuraklık stresi) sonucunda süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD), ve katalaz (CAT) enzim aktiviteleri HY113'te sırasıyla %11.4, %18 ve %21.8, HNZ'de %13.2, %14.3 ve %30.9 arttığını rapor etmişlerdir.

Wassie vd. (2023), üç farklı biber çeşidine (Hagerew, Markofana ve Mitmita) uyguladıkları %80, %60 ve %40 su rejimi sonucunda, Hagerew çeşidinde sürgün uzunluğunun kuraklık stresi uygulamasının 20. gününde sırasıyla %23.83, %35.94 ve %45.19 oranında azaldığını, Markofana'da 20. günde %26.08, %36.62 ve %49.66 azaldığını, Mitmita'da kuraklığa maruz kalmanın 20. gününde %11.47, %26.09 ve %35.67 oranında azaldığını bildirmişlerdir. Yaprak sayısının Hagerew çeşidinde %52.28 oranında, Markofana çeşidinde %52.15 oranında ve Mitmita çeşidinde %47.08 oranında azaldığı belirlenmiştir. Şiddetli kuraklık stresi sonucunda Markofana ve Mitmita çeşitlerinde prolin içeriğinde önemli bir artış tespit edilmiştir. Hagerew, Markofana ve Mitmita çeşitlerinin taze kök ağırlıkları sırasıyla %80.93, %69.95 ve %73.09 oranında azaldığı ve kuraklık stresinin Hagerew çeşidinde gövde kalınlığını %30.93 oranında azalttığını, Markofana'da %29.33 ve Mitmita çeşidinde kontrole göre gövde kalınlığını %30.43 oranında azaldığı rapor etmişlerdir.

Strigolaktonlarla ilgili çeşitli moleküler ve fizyolojik yaklaşımlar uygulayan Van Ha vd. (2014), *Arabidopsis*'te kuraklık ve tuz stresine karşı uygulanan SL'nun bitki tepkilerinin pozitif düzenleyicisi olarak hareket ettiğine dair ikna edici kanıtlar sunmuşlardır (Bidabadi ve Sharifi, 2021). Strigolaktonlar üzerinde yapılan diğer bazı çalışmalar sonucunda SL'ların bitkilerde sürgün dallanmasının azalması (Umehara vd., 2008; Bidabadi ve Sharifi, 2021), bitkiler ve arbusküler mikorizal mantarlar arasındaki simbiyozun arttırılması (Akiyama vd., 2005; Bidabadi ve Sharifi, 2021), kök sistem mimarisinin geliştirilmesi (Ruyter-Spira vd., 2011; Bidabadi ve Sharifi, 2021) gibi çeşitli rolleri ve tuzluluk ve kuraklık stresi gibi abiyotik stres toleransına karşı bitkinin pozitif düzenleyicisi olarak görev yaptığı (Van Ha vd., 2014; Bidabadi ve Sharifi, 2021) ortaya çıkarılmıştır. Eksojen olarak uygulanan sentetik bir SL analogu olan GR24'ün abiyotik strese karşı bitki tepkilerinde yer aldığı ve bitkilerin kuraklık ve tuz stresi direncini arttırdığı bildirilmiştir (Van Ha vd., 2014; Kapulnik ve Koltai 2014; Bidabadi ve Sharifi, 2021).

Islam vd. (2013), 35S promotorunun (SDG8'i transgenik bitkileri) kontrolü altında SDG8 proteinini ifade etmek üzere tasarlanan birkaç mutant *Arabidopsis* hattını (F1aD, D1E, F6bA, D5aA, D2E, D4l, D7c) kullanarak yaptıkları çalışma sonucunda stressiz koşullar altında yaprak alanının yabani tipte 47.55 cm² iken SDG8 mutant bitkilerinde (D5Aa, D4l, F6bA) yaprak alanının sırasıyla 63.92, 62 ve 59.97 cm² seviyesine ulaştığını 5µM GR24 uygulamasının yabani tip Col-0 bitkilerinde, kontrol bitkilerine oranla GR24'e yanıt olarak sürgün dallanmasının %55 oranında azaldığını bununla birlikte tüm

SDG8 transgenik bitkilerinde GR24 uygulanmış bitkilerde GR24 uygulanmamış bitkilere oranla sürgün dallanmasının %10-15 oranında azalttığını ve sürgün dallanmasının GR24 uygulanmış ya da uygulanmamış yabancı tip Col-0 bitkilerine göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Tai vd. (2017), eksojen GR24 uygulaması ile kadmiyum alımının azalmasına bağlı olarak kadmiyum toksisitesinin indirgenmesine yönelik dallı darı (*Panicum virgatum*)’da yapmış oldukları çalışmada, 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Cd stresi altındaki *P. virgatum*’a uygulanan 1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ eksojen GR24 uygulaması sonucunda kontrol grubu 11.7 nmol g^{-1} MDA içeriği Cd stresi altında 17.8 nmol g^{-1} seviyesine yükselmiş ve Cd+GR24 uygulaması ile 12.6 nmol g^{-1} değerine gerilemiş, SOD aktivitesi kontrol grubunda 96,1 nmol g^{-1} Cd stresi altında ise 121.3 nmol g^{-1} seviyesini gösterirken Cd+GR24 uygulaması sonucunda 134.1 seviyesine yükselmiştir ve CAT aktivitesinin ise kontrol grubunda 178.5 nmol g^{-1} Cd stresi altında 250.5 nmol g^{-1} Cd+GR24 uygulaması sonucunda ise 284.5 seviyesine yükseldiğini bildirmişlerdir.

Zheng vd. (2021), KCl stresinin olumsuz etkilerini hafifletmede ROS, iyon göçü ve taşınımı, fotosentezin düzenlenmesinde eksojen GR24 uygulamasının çiçek elması (*Malus hupehensis*) fidelerindeki rolüne dair yapmış oldukları çalışmada, 100 mM KCl ile 10, 100 ve 1000 μM SL’un püskürtme yöntemi ile uygulamasının sonucunda yapraklarda MDA içeriği kontrol grubunun (160.1 nmol/g FW) iki katından fazla olan KCl stresi altında 377.5 nmol/g FW ’ye ulaştığını eksojen SL uygulaması sonucunda MDA içeriğinin normal düzeye (172.8 nmol/g FW) gerilediğini, SOD aktivitesinin 15 günlük KCl stresinden sonra önemli ölçüde değişmediğini ancak eksojen SL uygulamasının SOD aktivitesini azalttığı ve kontrol grubuna oranla KCl stresinde azalan CAT aktivitesinin eksojen SL uygulaması ile iyileştiği ve kontrol grubunda 6.49 $\mu\text{g/g}$ olan prolin içeriğinin KCl stresi sırasında 30.3 $\mu\text{g/g}$ seviyesine ulaştığını bununla birlikte eksojen SL uygulamasında prolin içeriğinin KCl stresi değerinden daha da fazla olduğunu rapor etmişlerdir.

Yang vd. (2023), yoncada (*Medicago sativa* L.) fotosistem II ve fizyolojik indekslerin GR24’ün kuraklık stresi üzerindeki hafifletici etkilerini belirlemeye yönelik yapmış oldukları çalışmada, WL-712 genotipinde kuraklığı teşvik etmek için %5PEG-6000 0.1 μM konsantrasyonundaki GR24 püskürtme yöntemi uygulamasının %5PEG-6000 + 0.1 μM GR24 yonca köklerinin uzunluğunu, %5PEG-6000’e oranla %54.9 oranında artırdığını, çözünebilir protein miktarı bakımından %5PEG-6000 ile karşılaştırıldığında, %5PEG-6000 + 0.1 μM GR24 uygulamasının yonca köklerinde %7.6

arttırdığını belirlemişlerdir. Bunun yanı sıra strigolakton uygulamasında MDA içeriği kontrol grubuna oranla azalırken, %5PEG-6000 + 0.1 µM tedavisindeki MDA içeriği %36.1 oranında azalmış, O₂- içeriği, %5PEG + 0.1 µM GR24 uygulamasının %48 oranında azaltırken CAT aktivitesi ise SL ve kontrol grubu ile karşılaştırıldığında %37.2 ve %5PEG-6000 ve %5PEG-6000 + 0.1 µM GR24 ile karşılaştırıldığında %10.2 oranında arttığı rapor edilmiştir.

Tüm bu parametreler üzerinde kuraklığın sebep olduğu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak ve strigolaktonlar ile kuraklık stresi arasındaki ilişkiyi açıklığa kavuşturmak için yapılan çalışmalar ise son yıllarda yapılan birkaç çalışma ile sınırlıdır (Islam vd., 2013, Ta, vd., 2017, Zheng vd., 2021, Yang vd., 2023)

Yapılan detaylı literatür araştırmaları sonucunda kuraklık stresi altındaki biber bitkisinde strigolaktonların biyokimyasal ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkilerine dair herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle bu tez çalışmasında kuraklık stresi altında *Capcicum annuum* L. Oğuz cv. ve *Capcicum annuum* L. Çözüm cv. çeşitlerinde fizyolojik (kök uzunluğu, gövde uzunluğu, gövde çapı, dallanma sayısı, yaprak genişliği, bitki boyu) ve biyokimyasal (total protein, prolin, MDA, SOD, CAT, APX) aktiviteleri üzerine eksojen strigolakton olan GR24'ün etkilerini karşılaştırmalı olarak ortaya koymak amaçlanmıştır.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneyde Kullanılan Tohumlar

Bu çalışmada, Yüksel Tohumculuk firmasından temin edilen F1 jenerasyonuna ait 10 farklı biber (Kıraç, Yükselince, Doğanay, Bafra, Acıburun, Tekin, Varol, Çözüm, Oğuz ve Yalçın) çeşidi kuraklık toleransı aralığının belirlenmesi amacıyla çalışmaya dahil edilmiş ve en yüksek kuraklık stresi aralığında %50 çimlenme oranının üzerinde gelişme gösteren iki genotip seçilerek (Çözüm ve Oğuz) karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Firmadan sağlanan tohumlar %1'lik sodyum hipoklorit çözeltisinde 10 dakika bekletildikten sonra saf suyla yıkanıp sonrasında petri kutularına ekimi yapılmıştır.

3.2. Kuraklık Stresi ve Hormon (Strigolakton) Uygulaması

Deneylerde kullanılan F1 jenerasyonuna ait biber çeşitlerine kuraklık stresi uygulamak amacıyla Polietilenglikol 6000 (PEG-6000) (Merck, CAS-No:25322-68-3) kullanılmıştır. Uygun miktarda PEG-6000 tartılıp üzeri saf su ile tamamlanarak deney öncesinde taze olarak hazırlanmıştır. Yapılan literatür taramaları sonucunda biberde PEG-6000 kullanılarak oluşturulan kuraklık stresi uygulaması ve çalışılan jenerasyonlar dikkate alınarak %5-10, %15, %20, %30PEG-6000 konsantrasyonlarındaki çözelti bulunan 12x12 mm çaplı petri kaplarına her petride 30 adet biber tohumu olacak şekilde 3 tekrarlı olarak ekilmiş günlük kontrol edilerek çimlenme yüzdeleri bakımından karşılaştırılmıştır. Ön denemeler sonucunda kuraklık stresinin çimlenme yüzdesi üzerindeki negatif etkisini optimum seviyede iyileştiren konsantrasyon (çimlenme yüzdesini %50 oranında azaltan PEG 6000 konsantrasyonu) belirlenmiştir. Deneyler sırasında, PEG 6000'in konsantrasyonu her defasında taze olarak hazırlanmış ve kuraklık stresi eşik değeri çalışmaları tamamlanmıştır.

Deneyde kullanılan strigolakton hormonu Biosynth Carbosynth firmasından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan bitki hormonu asetonda çözündürülerek saf suda 1 litreye tamamlanmış, 16,7 µM stok çözeltisi olacak hazırlanarak -20°C'de kullanılmak üzere saklanmış ve kuraklık stresini yenmede etkin konsantrasyonun belirlenmesi için saf su (0 µM) ve 0, 3, 5-10 µM'lık konsantrasyon aralığında yapılan deneyler sonucunda kuraklık stresini 10 µM'lık GR24 konsantrasyonunun %10 PEG-6000'in oluşturduğu kuraklığın olumsuz etkisini hafifletmede başarılı olduğu bulunmuştur.

3.3. Fizyolojik Özelliklerin Belirlenmesi

3.3.1. Tohumların Çimlendirilmesi

Deneylerde kullanılan tohumlar 26°C sıcaklık ve %50 neme ayarlı iklimlendirme odasında karanlık ortamda çimlendirilmiştir. Yeterli miktarda, dolgun görünüşlü, sağlam ve birbirine benzer büyüklükte olan biber tohumları ekim için seçilmiştir. Daha sonra her bir uygulamaya ait tohumlar içerisinde 50 ml GR24 çözeltisi içerisinde 24 saat boyunca ön işleme tabi tutulmuştur. 24 saat sonunda tohumlar saf su ile yıkanarak, kurutma kâğıdı yardımıyla kurutulmuş ve içerisinde saf su veya PEG kullanılarak tabanındaki iki kat kurutma kâğıdı 7 ml ile ıslatılmış 9 cm çapındaki petrilere ekilerek çimlendirilmiştir. Kuraklık denemelerinin 14. gününde tespit edilen çimlenme yüzdelerine göre Oğuz ve Çözüm olarak tespit edilmiştir ve çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Hormon denemeleri için, Oğuz ve Çözüm tohumları içerisinde 50 ml çözelti (0 (dH₂O), 0.1, 0.25, 0.5, 1, 3, 5 ve 10µM SL) olan erlenlerde 24 saat boyunca ön işleme tabi tutulmuştur. 24 saat sonunda tohumlar saf su ile yıkanarak, kurutma kâğıdı yardımıyla kurutulmuş ve içerisinde saf su ve kuraklık stresi için belirlenen %10 PEG-6000 bulunan petri kutularına ekilerek çimlendirilmiştir. Çimlendirilen bitkilere ait her gruptan 10 birey ileri aşamalarda gerçekleştirilecek olan fizyolojik ve biyokimyasal analizler için saksılara transfer edilerek yetiştirmeye devam edilmiştir.



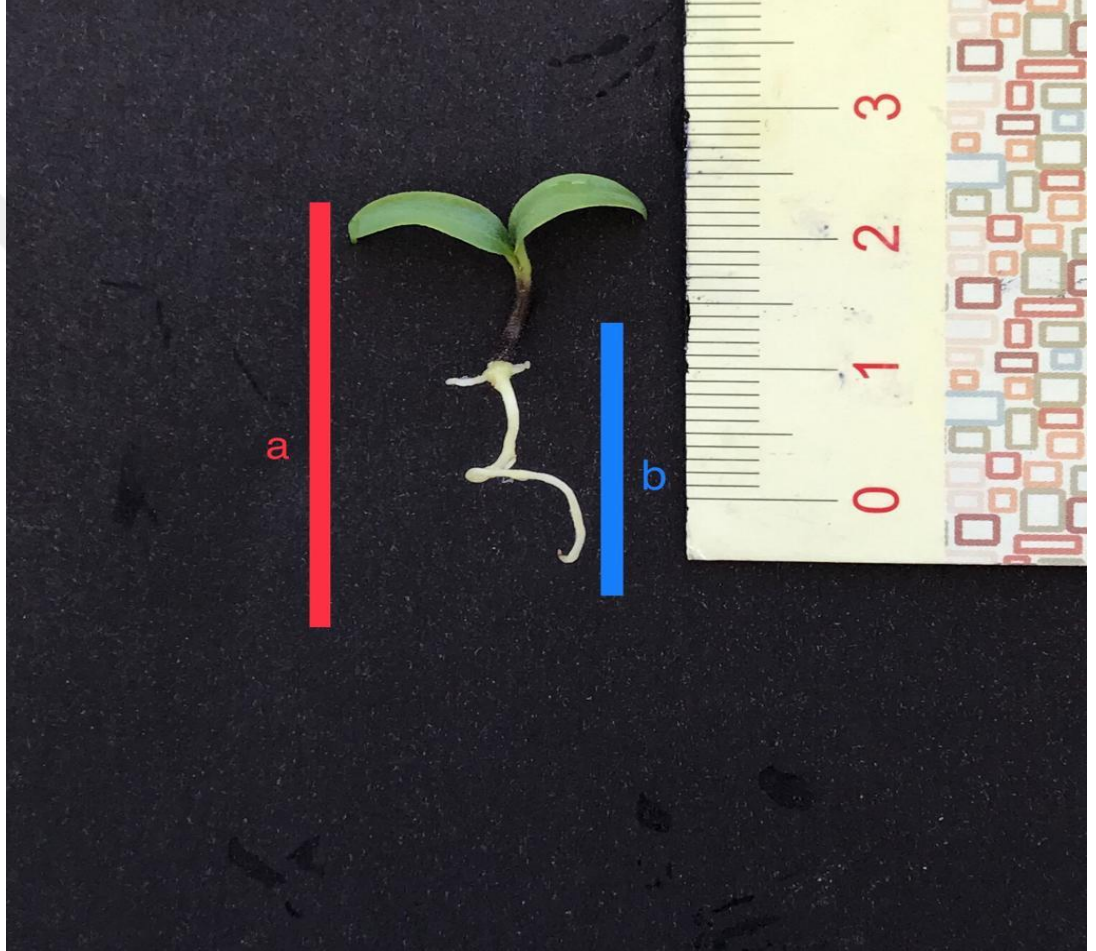
Şekil 3.1. Petrilere ekilen *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm tohumlarının konsantrasyon denemeleri

3.3.2. Morfolojik Özelliklerin Belirlenmesi

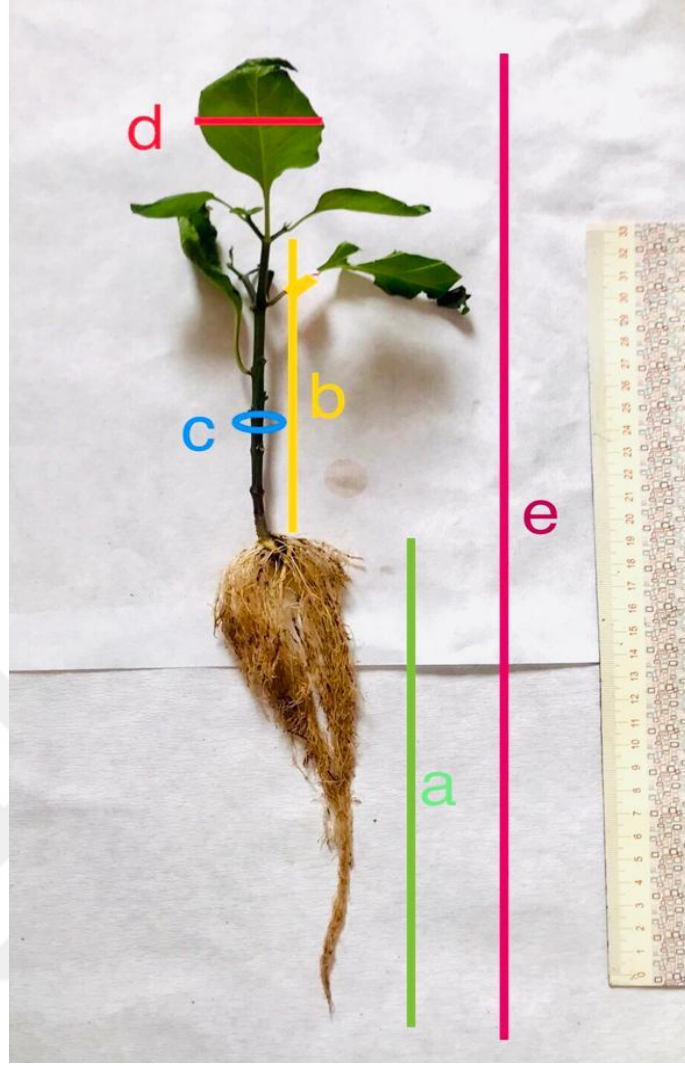
Çimlenme yüzdesi, ekimin ardından geçen 14 günün sonunda petri kabında çimlenen tohumların sayılarak toplam tohum sayısına oranlanıp yüzdelik bakımından hesaplanmasıyla elde edilmiştir.

Fizyolojik ölçümler öncelikle ön uygulama yapılan SL grubu bitkiler için sonrasında da, ön uygulama yapılmadan yetiştirilip gelişimin 21. gününde saksıya alındıktan sonra 14 gün normal koşullarda saksıda yetiştirilip, normal koşulların ardından saksı koşullarına adaptasyon gösteren bitkilere 7 gün boyunca kuraklık stresi ve ilgili GR24 konsantrasyonunun yapraktan spreyleme yoluyla elde edilen her bir gruba ait rastgele seçilen 3 bireyin 3 tekrarlı olacak şekilde toplamda 9 örneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre; kök uzunluğu, kökün en uç kısmından başlayarak gövdenin başladığı noktaya kadar olan kısmın milimetrik cetvel yardımı ile ölçülmesiyle hesaplanmıştır. Gövde uzunluğu, gövdenin başladığı noktadan başlayarak gövdenin sonuna kadar olan kısmın milimetrik cetvel yardımı ile ölçülmesiyle hesaplanmıştır. Gövde çapı, gövdenin en kalın kısmının kumpas yardımı ile ölçülmesiyle milimetrik

olarak hesaplanmıştır. Dallanma sayısı, bitkide bulunan toplam dal sayısının sayılması ile hesaplanmıştır. Yaprak genişliği, bitkide bulunan en geniş yaprağın en geniş kısmının iki uç noktasının kumpas yardımıyla ölçülmesiyle milimetrik olarak hesaplanmıştır. Bitki boyu, bitki kökünün en uç noktasından başlayarak en tepedeki yaprağın uç kısmına kadar olan kısmın milimetrik cetvel yardımıyla ölçülmesiyle hesaplanmıştır. Taze ağırlık, petri kaplarında çimlendirilen biber bitkilerinin 14. gün sonunda saksıya transfer edilmeden önce hassas terazide tam bir bitki formunda tartılarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.2. *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerine GR24 ön uygulaması sonrası fizyolojik ölçümler, a) bitki boyu b) kök uzunluğu



Şekil 3.3. *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerine spreyleme yöntemi sonrası fizyolojik ölçümler, a) kök uzunluğu b) gövde boyu c) gövde çapı d) yaprak genişliği e) total bitki boyu



Şekil 3.4. *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerine GR24 ön uygulaması sonrası taze ağırlık ölçümü



Şekil 3.5. *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerine GR24 ön uygulaması sonunda gelişen 14 günlük biber fideleri, a) Oğuz kontrol b) Oğuz 10µM SL c) Oğuz %10 PEG d) Oğuz 10µM SL + %10 PEG e) Çözüm kontrol f) Çözüm 10µM SL g) Çözüm %10 PEG h) Çözüm 10µM SL + %10 PEG



Şekil 3.6. *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerine spreyleme yöntemi sonunda gelişen 42 günlük biber fideleri, a) Oğuz kontrol b) Oğuz 10µM SL c) Oğuz %10 PEG d) Oğuz 10µM SL+ %10 PEG e) Çözüm kontrol f) Çözüm 10µM SL g) Çözüm %10 PEG h) Çözüm 10µM SL + %10 PEG

3.4. Biyokimyasal Analizler

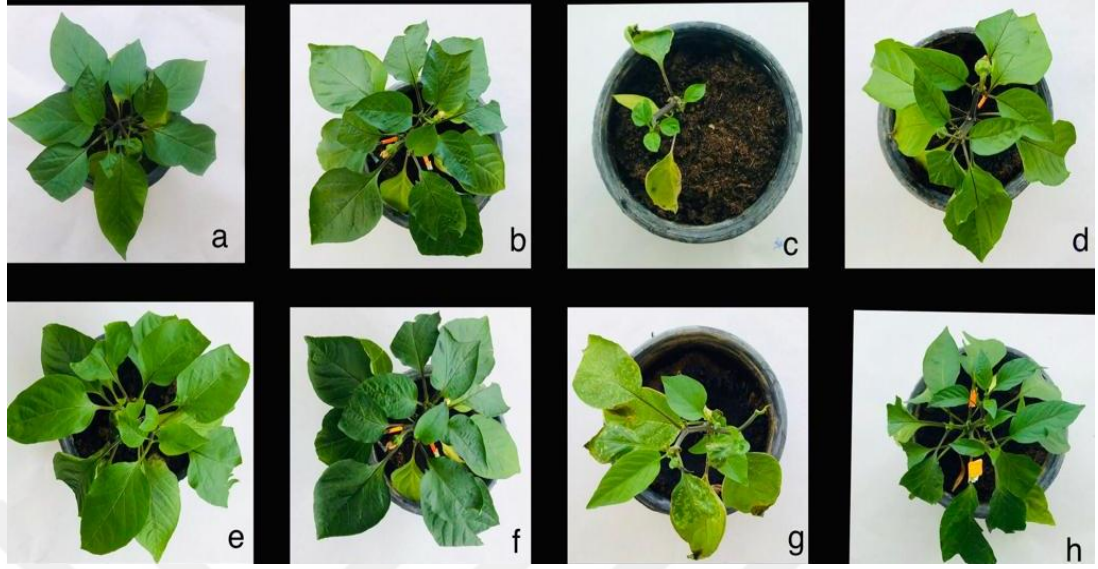
3.4.1. Fidelerin Yetiştirilmesi ve Yaprak Dokusu Örneklerinin Alınması

14 gün boyunca iklimlendirme odasında çimlendirilen tohumlar 2 litrelik saksılara alınarak torf toprağa (NPK 14-10-18 m³'de 1 kg) ekimi yapılmıştır. Her bir çeşit için her saksıya bir biber fidesi olacak şekilde ekimi yapılan 10 birey optimum büyüme şartlarında (25°C gündüz ve 18 °C gece sıcaklığı) 16 saat ışık 8 saat karanlık olacak şekilde ayarlanmış iklim odasında yetiştirilmiştir. Saksılardaki bitkilerden kontrol grubu

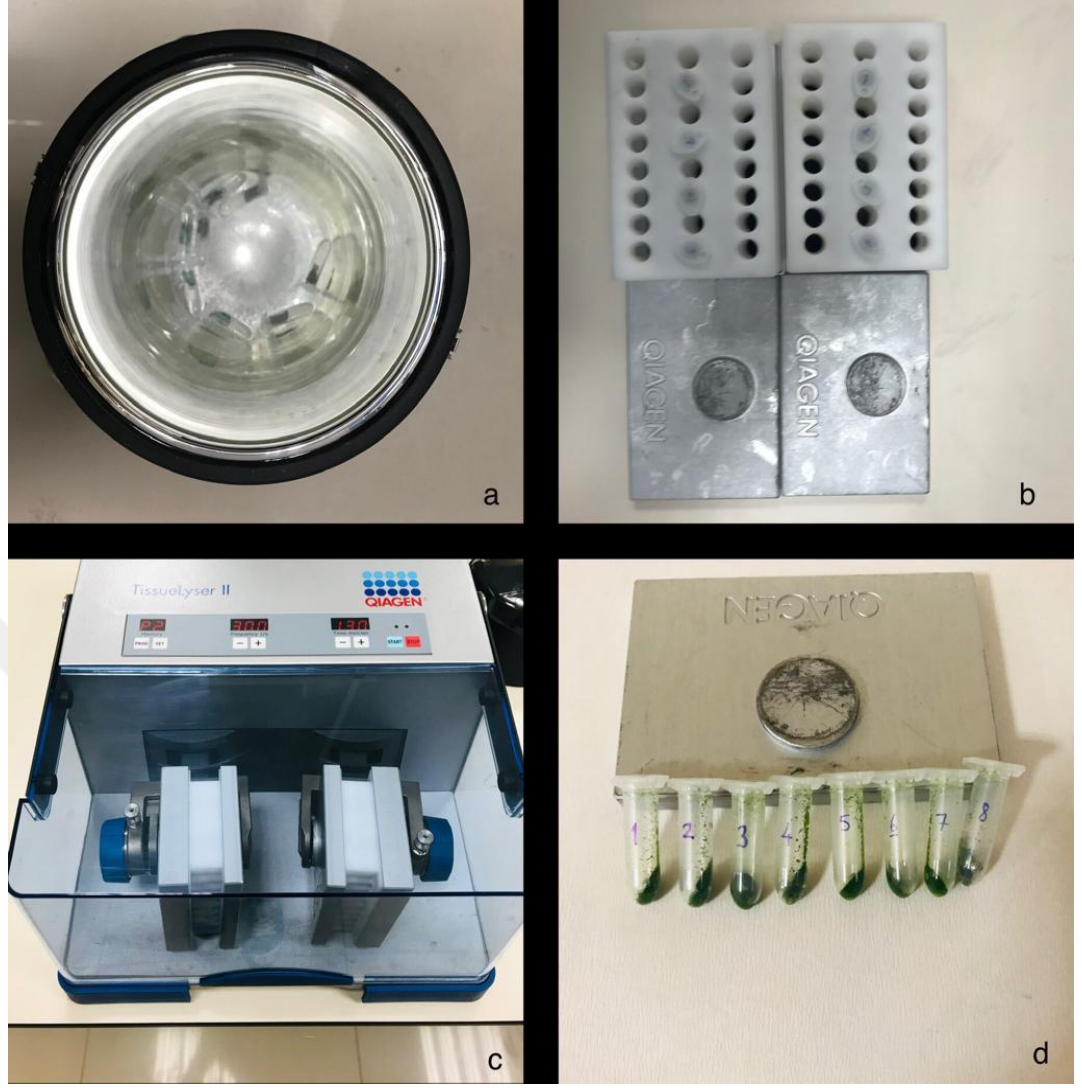
bitkileri 42 gün boyunca her gün, günde bir kez aynı saatte olacak şekilde 25 ml saf su ile optimum şartlarda yetiştirilmiştir. Kuraklık uygulanan bitki grubu ise 35 günlük optimum büyütmenin ardından 7 gün boyunca günde bir kez 25 ml %10 PEG-6000 ile sulanmıştır. Strigolakton hormonunun kontrol grubu olan 10 μ M SL uygulaması ise yine 35 günlük optimum büyütmenin ardından 7 gün boyunca 10 μ M SL hormonunun yapraktan spreyleme yöntemi ile günde bir kez uygulanması yöntemi ile büyütülmüştür. SL yapraktan spreyleme yöntemi, ardışık 7 gün boyunca günde 1 defa her gün aynı saatte uygulanmıştır. Hem 10 μ M SL hem de kuraklık stresi uygulanan %10 PEG-6000 konsantrasyonu ise yine 35 günlük optimum büyütmeyi takiben 7 gün boyunca 25 ml %10 PEG-6000 ve 10 μ M SL'in yapraktan spreyleme yöntemi ile uygulanması şeklinde yapılmıştır. Biyokimyasal analizler için ihtiyaç duyulan taze yaprak dokuları her bireye ait yaprak dokusunun uygun miktarda (g) kesilerek sıvı azotta dondurulup parçalanmasının ardından analiz edilmiştir.



Şekil 3.7. Kuraklık stresi ve strigolakton hormonu uygulamalarına tabi tutulan *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerine ait tohumların iklimlendirme kabiniinde çimlendirilmesi



Şekil 3.8. Spreyleme yöntemi ile GR24 uygulaması sonrası gelişen *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm fidelerinin saksı uygulaması, a) Oğuz kontrol b) Oğuz 10µM SL c) Oğuz %10 PEG d) Oğuz 10µM SL + %10 PEG e) Çözüm kontrol f) Çözüm 10µM SL g) Çözüm %10 PEG h) Çözüm 10µM SL + %10 PEG



Şekil 3.9. *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm fidelerine ait taze yaprak dokusunun parçalanması, a) yaprak dokusunun sıvı azotta dondurma işlemi b) içerisinde dondurulmuş yaprak dokusu bulunan ependorf tüplerinin plate görüntüsü c) yaprak dokusunun doku parçalayıcı cihaz yardımıyla parçalanma işlemi d) parçalama işlemi sonrası ependorf tüplerin görüntüsü

3.4.2. Total Protein Miktarının Belirlenmesi

Protein miktarının belirlenebilmesi için elde edilen fidelerden (stres uygulanmış ve stres uygulanmamış) yaklaşık 300 mg yaprak örneği 2 mM Na-EDTA ve %1 PVP içeren 4 ml 50 mM potasyum fosfat buffer çözeltisi (pH:7.0) ile homojenize edilmiş ve 4°C’de 10.000 rpm’de 10 dakika santrifüjlendikten sonra elde edilen süpernatantlar protein analizleri için kullanılmıştır. Yapraktan protein içeriği; Bradford (1976) yöntemine göre belirlenmiştir. Bu amaçla Bio-Rad ekstraksiyon kiti kullanılarak;

➤ 1x DYE Regent'ı 4°C depolama alanından çıkartılmış ve ortam sıcaklığına kadar ılıması sağlanmıştır. Kullanmadan önce birkaç kez ters çevrilerek karıştırılmıştır.

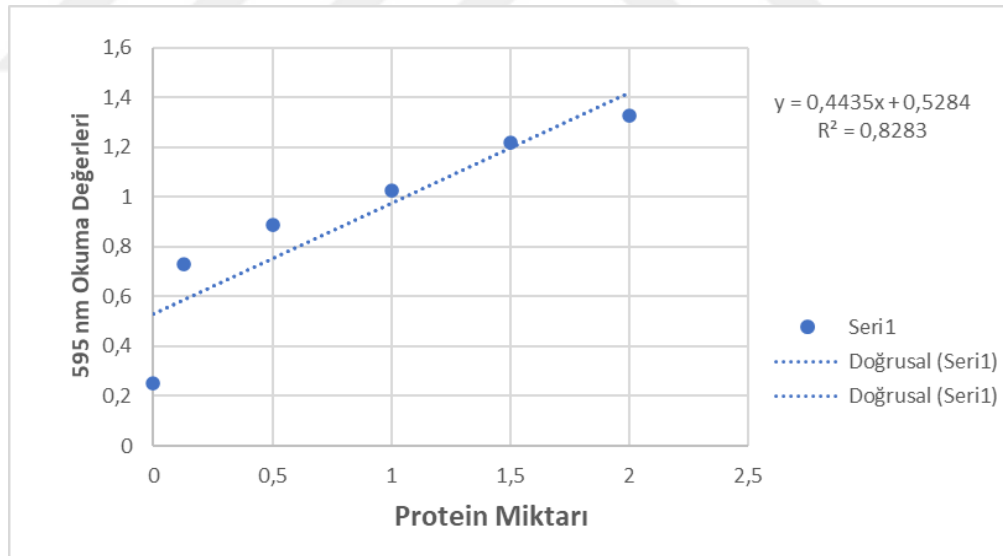
➤ Her küvete 1x boya reaktifi eklenmiş ve vorteksleme işlemi yapılmıştır (1ml için: 20 µl örnek+ 1ml 1X Dye Reagent)

➤ 5 dakika oda sıcaklığında bekletilip 595 nm'de okumalar yapıldıktan sonra toplam protein miktarı mg/ml taze ağırlık olarak ifade edilmiştir.

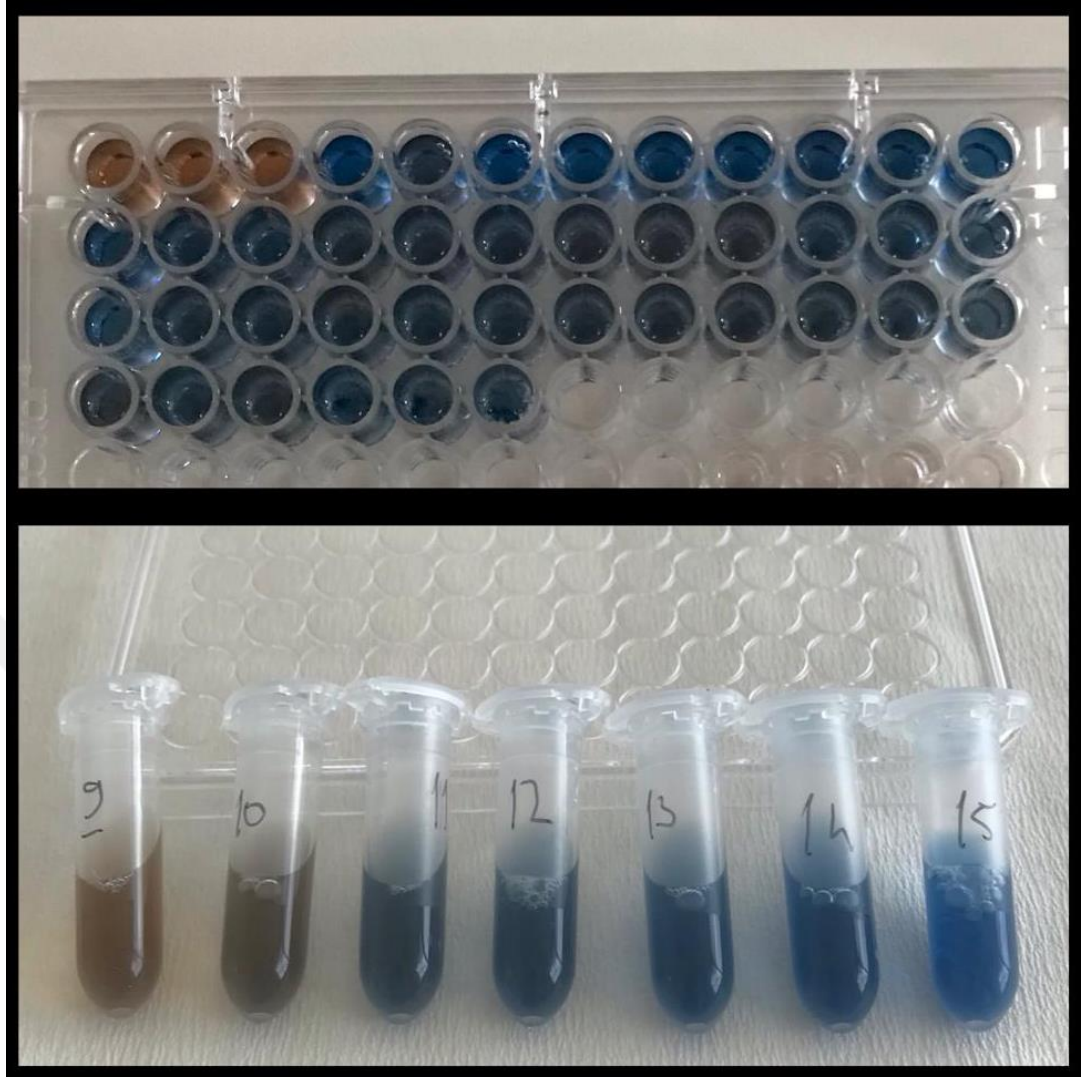
Total protein miktarının belirlenmesi kontrol (curve) standart eğrisi oluşturabilmek için Bio-Rad Ekstraksiyon kitinde bulunan;

- Kontrol 1ml 1X Dye Reagent
- 2 20 µl sample 2+ 1ml 1X Dye Reagent
- 1,5 20 µl sample 1,5+1ml 1X Dye Reagent
- 1 20 µl sample 1 +1ml 1X Dye Reagent
- 0,5 20 µl sample 0,50+1ml 1X Dye Reagent
- 0,25 20 µl sample 0,25+1ml 1X Dye Reagent
- 0,125 20 µl sample 0,125+ 1ml 1X Dye Reagent hazırlanarak

Spektrofotometride 595 nm'de okuma yapılmıştır.



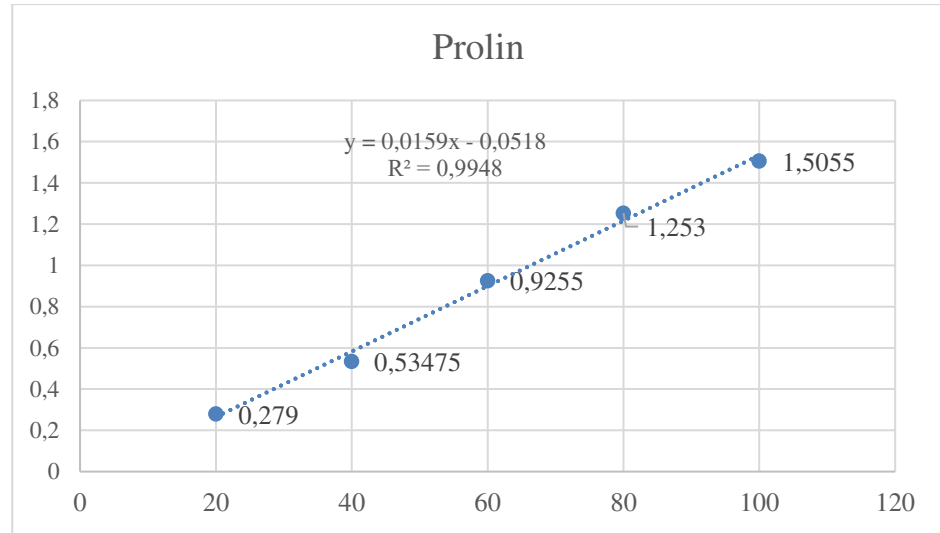
Şekil 3.10. Total protein miktarının tayini için elde edilen kontrol (curve) eğrisi (mg/ml)



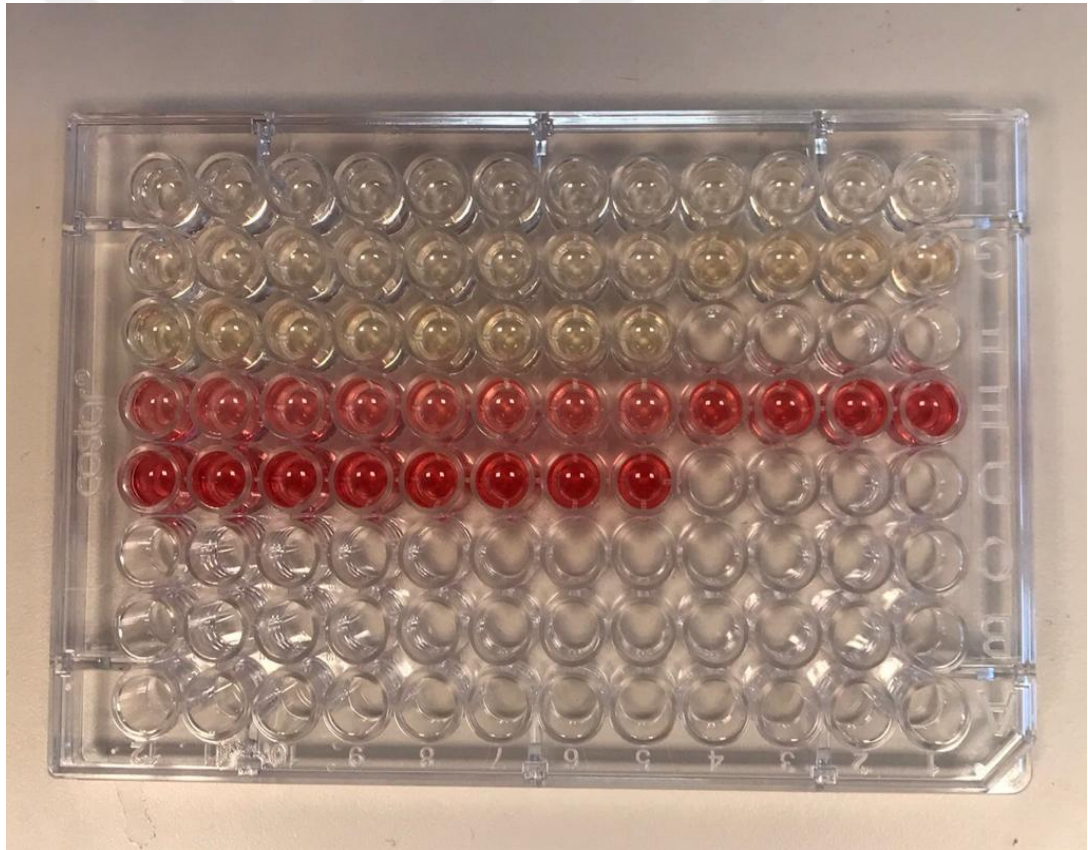
Şekil 3.11. Total protein izolasyonu sonrası örneklerin kuyucuklara yüklenmesi

3.4.3. Prolin Miktarının Belirlenmesi

Kuraklık stresine maruz bırakılan ve stres uygulanmamış kontrol bitkilerinin prolin içeriği, daha önce (Bates vd., 1973) tarif edilen yöntemle göre belirlenmiştir. Buna göre, 200 mg'lık yaprak örneği 1 mL %3'lük 5-sülfosalisilik asit içinde homojen hale getirilmiştir. Reaksiyon daha sonra 2 mL'lik Eppendorf tüplerinde devam ettirilmiştir. 400 µL'lik ekstrakt, 400 µL ninhidrin ve 400 µL asetik asit ile karıştırılarak, 1 saat boyunca 100 °C'de kaynar su banyosunda inkübe edilmiştir. Reaksiyonu durdurmak için karışım buz üzerinde soğutulduktan sonra 800 µL tolüen eklenmiştir. Karışım vortekslendikten sonra, 5 dakika oda sıcaklığında bırakılarak üst faz ayrılmıştır. Kromofor içeren tolüenin absorbansı, UV ile bir spektrofotometre kullanılarak 520 nm'de ölçülmüştür. Prolin konsantrasyonu, bilinen L-prolin (Sigma) miktarları ile hazırlanan ve µmol g⁻¹ doku taze ağırlığı olarak ifade edilen standart bir eğri kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 3.12. L-Prolin miktar tayini için elde edilen kontrol (curve) eğrisi (mg/ml)



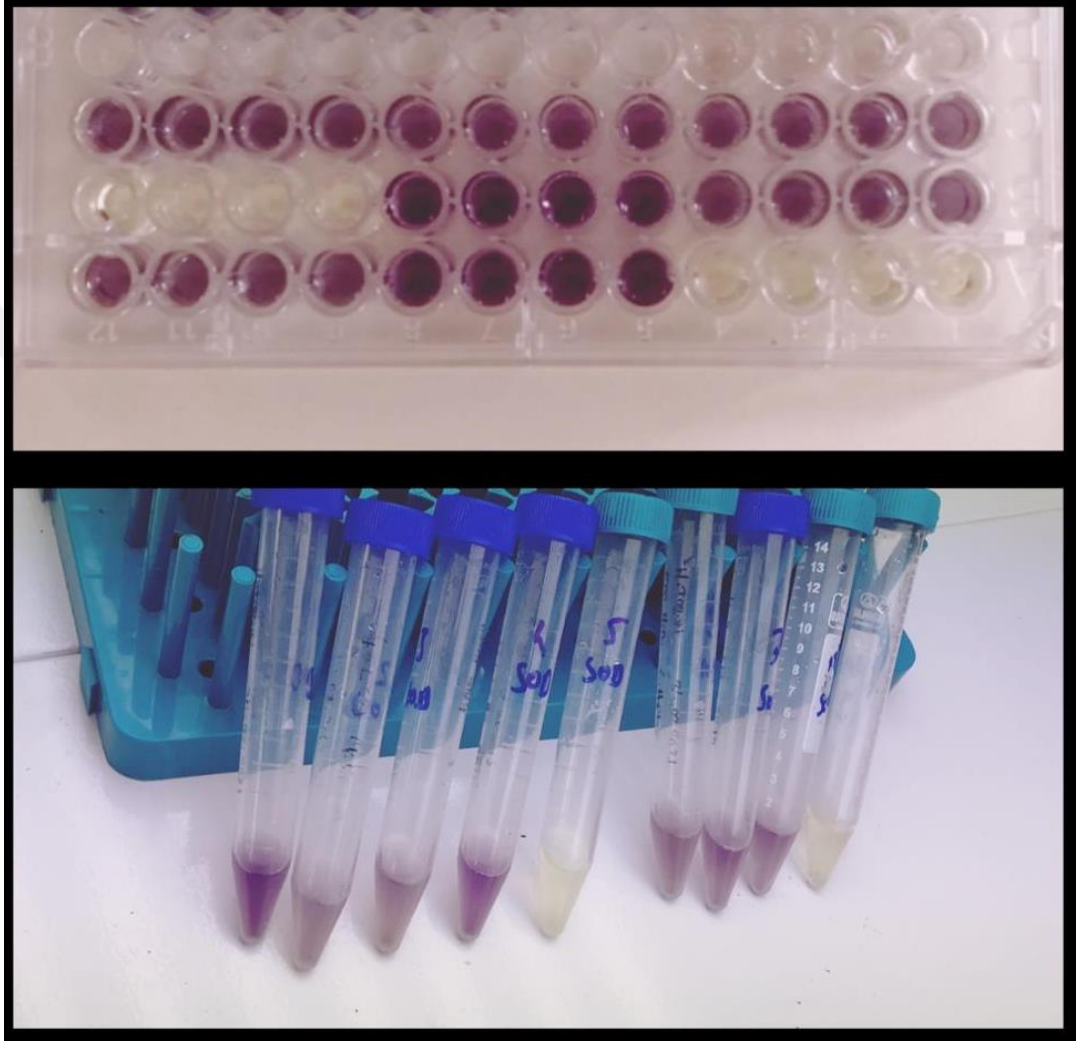
Şekil 3.13. L-Prolin izolasyonu sonrası örneklerin kuyucuklara yüklenmesi

3.4.4. Süperoksit dismutaz (SOD) Aktivitesinin Belirlenmesi

Antioksidan enzim seviyelerini belirlemek için, enzim ekstraktları ve hazırlama işlemi +4 °C’de yapılmıştır. 200 mg’lık taze yaprak örnekleri saf suda yıkandıktan sonra

havan içerisinde 5 mL soğuk Sodyum Fosfat bufferi (50mM, ph 7,8) ile homojenize edilmiştir. Homojenatlar 10,500 rpm’de 20 dakika santrifüj edildikten sonra Fridovich (1971)’e göre SOD aktivitesi belirlenmiştir.

Elde edilen 3 mL’lik karışım 2 adet 15W floresan lambasında 10 dk bekletildikten daha sonra 10 dk karanlıkta bekletilip ve 560 nm’de ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3.14. Süperoksit dismutaz izolasyonu sonrası örneklerin kuyucuklara yüklenmesi

3.4.5. Katalaz (CAT) Aktivitesinin Belirlenmesi

Katalaz enzim seviyelerini belirlemek için, enzim ekstraktları ve hazırlama işlemi +4 °C’de yapılmıştır. 200 mg’lık taze yaprak örnekleri saf suda yıkandıktan sonra havan içerisinde 5 mL soğuk Sodyum Fosfat bufferi (50mM, ph 7,8) ile homojenize edilmiştir. Homojenatlar 10,500 rpm’de 20 dk santrifüj edildikten sonra katalaz enzim seviyesi Beers ve Sizer, (1952) metoduna göre belirlenmiştir. 200 µL enzim ekstraktından elde

edilen karışımın 240 nm’de 4 dakikalık kinetik okuma sonucundaki değişim hesaplanarak belirlenmiştir.

3.4.6. Askorbat peroksidaz (APX) Aktivitesinin Belirlenmesi

Askorbat peroksidaz enzim seviyelerini belirlemek için, enzim ekstraktları ve hazırlama işlemi +4 °C’de yapılmıştır. 200 mg’lık taze yaprak örnekleri saf suda yıkandıktan sonra havan içerisinde 5 mL soğuk Sodyum Fosfat bufferi (50mM, ph 7,8) ile homojenize edilmiştir. Homojenatlar 10,500 rpm’de 20 dk santrifüj edildikten sonra Peroksidaz enzim seviyesi Kato ve Shimuzu, (1987) metoduna göre belirlenmiştir. Tepkime karışımı hazırlamak için;

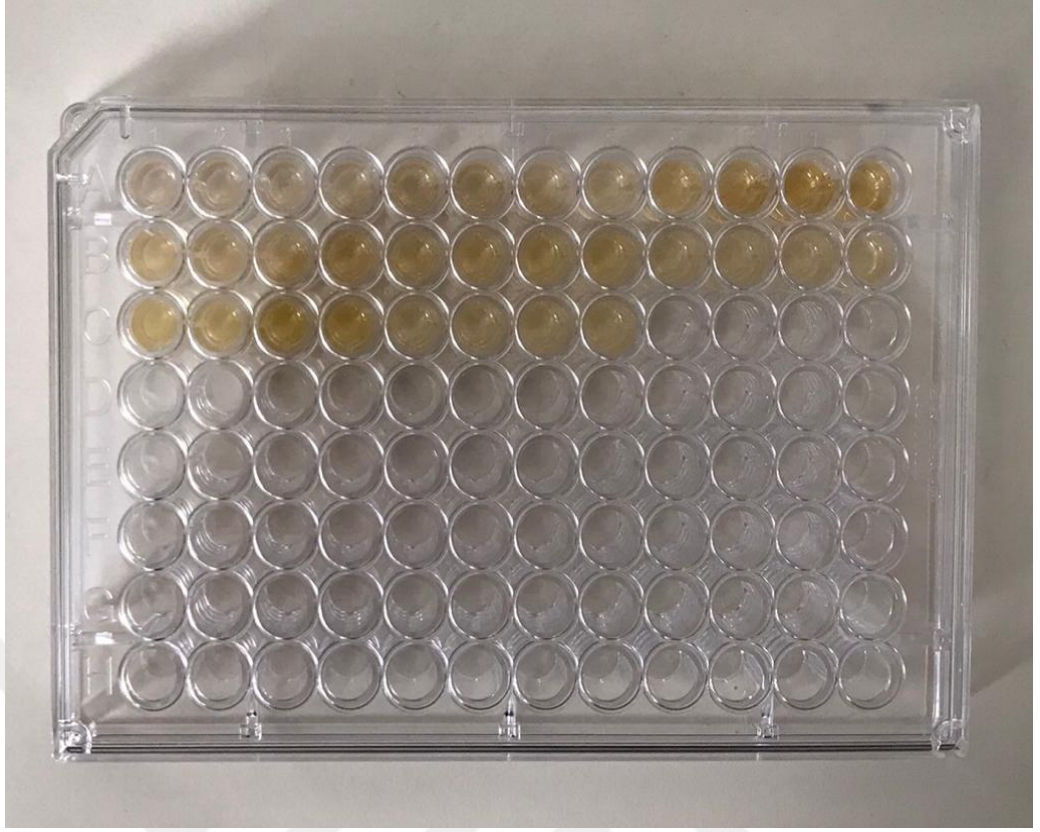
- 1 ml 50mM K-Fosfat Buffer (pH:7)
- 500 µl 1mM EDTA-Na₂
- 250 µl 0,5 mM Askorbik asit
- 200 µl 0,1 mM H₂O₂

50 µl ekstrakt alınarak hazırlanmıştır ve 290 nm’de 4 dakika kinetik okuma sonucundaki meydana gelen değişim hesaplanarak ölçüm yapılmıştır.

3.4.7. Malondialdehit (MDA) Aktivitesinin Belirlenmesi

MDA miktarı, Li vd., (2000) tarafında tarif edilen protokole göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre yaklaşık 200 mg yaprak örneği 1 mL %0.1’lik trikloroasetik asit (TCA) ile homojen hale getirilerek ve 1000 rpm’de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüjden sonra 1 mL süpernatant, %20 TCA içinde 2.5 ml %0.5 TBA ile karıştırılmıştır ve 95 °C’de 30 dakika sıcak su banyosunda inkübe edilmiştir. Reaksiyon buz üzerinde durdurulduktan sonra, 10 dakika boyunca 4000 rpm’de santrifüjlenmiştir. Örneklerin absorbans değerleri spektrofotometre kullanılarak 450, 532 ve 600 nm dalga boyu aralığında ölçülmüştür.

MDA miktarı; $C(\mu\text{mol L}^{-1}) = 6,45 (A_{532} - A_{600}) - 0,56 A_{450}$ formülüyle hesaplanmıştır.



Şekil 3.15. Malondialdehit izolasyonu sonrası örneklerin kuyucuklara yüklenmesi

3.4.8. İstatistik Analizlerin Yapılması

Verilerin analizi IBM SPSS Statistics 25 paket programı kullanılarak ANOVA Duncan's Multiple Range testi ile değerlendirilmiştir. ($p \leq 0.05$).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada materyal ve metod kısmında da belirtildiği gibi *C. annuum* L. tohumları saf su ve 10µM SL uygulaması ile kuraklık stresi uygulaması için belirlenen %10 PEG-6000 konsantrasyonlarında çimlendirilmiştir. Böylece stressiz koşullarda ve kuraklık stresi altında çimlendirilen biber tohumlarının fizyolojik (çimlenme yüzdesi, kök uzunluğu, gövde uzunluğu, dallanma sayısı, gövde çapı, yaprak genişliği ve bitki boyu) ve biyokimyasal aktiviteleri (total protein miktarı, prolin miktarı, SOD, CAT, APX aktivitesi ve MDA) üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri belirlenmiştir.

4.1. Kuraklık Stresi Uygulamasının Çimlenme Üzerine Etkisi

Öncelikle, kuraklık stresi tolerans aralığını belirlemek ve mevcut çeşitleri karşılaştırmak amacıyla çeşitli PEG-6000 konsantrasyonlarında tohumlar çimlendirilmiştir (Çizelge 4.1). Elde edilen bulgulara göre Oğuz ve Çözüm çeşitleri %50 çimlenme oranını %10PEG-6000 konsantrasyonu ile aşmışlardır. Elde edilen bulgulara göre %20 ve %30 PEG-6000 konsantrasyonları çeşitlerin tümünde letal etki göstermiştir. Benzer şekilde %15 PEG-6000 konsantrasyonunda Çözüm çeşidi dışında kalan tüm çeşitler de nihai çimlenme yüzdesi kontrol grubuna oranla tamamen inhibe edilmiştir. Buna karşın %10 PEG-6000 konsantrasyonu Çözüm ve Oğuz çeşitleri dışında kalan tüm çeşitlerde %50 çimlenme yüzdesinin altında kalmış, bu durum Çözüm çeşidinde %80, Oğuz çeşidinde ise %55 olarak belirlenmiştir. Buna göre, %10 PEG-6000 kuraklık stresine karşı Çözüm ve Oğuz çeşitleri olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. *Capsicum annuum* L. çeşitlerinde kuraklık stresi uygulaması için PEG-6000 konsantrasyonunun belirlenmesi ve 14 günlük çimlenme yüzdesi oranları

Biber Çeşidi	PEG 6000 Konsantrasyonları ve Çimlenme oranları (%)									
	0 (Kontrol)	5	6	7	8	9	10	15	20	30
Kıraç	100	100	100	90	90	70	40	20	0	0
Yükselince	90	45	50	40	40	40	30	15	0	0
Doğanay	100	88	85	80	80	60	30	15	0	0
Bafra	90	70	60	40	40	35	30	0	0	0
Yalçın	100	90	90	90	85	65	45	20	0	0
Oğuz	80	60	60	60	55	50	55	25	0	0
Çözüm	100	95	90	90	90	90	80	60	0	0
Varol	80	80	80	80	75	70	40	15	0	0
Tekin	90	90	90	90	80	70	40	25	0	0
Acıburun	90	80	80	70	70	60	45	20	0	0

Oğuz ve Çözüm çeşitlerinde farklı hormon ve kuraklık stresi uygulaması (strigolakton+PEG 6000) sonrası optimum konsantrasyon belirlenmesine yönelik 14 günlük bireylerin nihai çimlenme yüzdeleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. GR24 denemeleri sırasında 0.1, 0.25, 0.5 ve 1µM konsantrasyonları da denenmiş ancak yeterli bir çimlenme elde edilemediği için verilere yansıtılamamıştır.

Çizelge 4.2. *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde kuraklık stresi altında eksojen strigolakton konsantrasyonunun belirlenmesi ve 14 günlük çimlenme yüzdesi oranları

Uygulama	14. Gün Çimlenme (%)	
	Oğuz	Çözüm
Kontrol	85,52	100
3 µM SL	92	96
%15 PEG	0	0
3 µM SL+%15 PEG	0	14,3
5 µM SL	97,29	100
10 µM SL	91,66	97,5
%10PEG	55,16	80
5 µM SL+%10 PEG	22,22	45
10 µM SL+%10 PEG	81,25	100
%12 PEG	16,16	32,5
5 µM SL+%12 PEG	12,5	25
10 µM SL+%12 PEG	46,15	40

Kuraklık stresi uygulaması olan %10 PEG-6000 ortamında çimlendirilen Oğuz ve Çözüm tohumları üzerinde gerçekleştirilen hormon uygulaması ve optimum strigolakton konsantrasyonu olan 10µM SL uygulamasının 7 ve 14 günlük nihai çimlenme yüzdesi oranları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde %10 PEG-6000 ve 10µM strigolakton uygulaması sonrası 7 ve 14 günlük çimlenme yüzdesi oranları

Biber Çeşidi /Gün	Çimlenme (%)			
	Kontrol	10µM SL	%10 PEG	%10 PEG+10µM SL
Oğuz 7.Gün	10	0	2,50	0
Çözüm 7.Gün	33,75	52,50	2,50	25
Oğuz 14.Gün	85,52	91,66	55,16	81,25
Çözüm 14.Gün	100	97,50	80	100

4.2. Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Biberde Eksojen Strigolakton Uygulamasının Fizyolojik Etkileri

Strigolaktonun, bitkilerde stres durumunda üstlendiği role ek olarak bir diğer etkinliği bitki mimarisinin düzenlenmesi olarak bilinmektedir. Elde edilen fizyolojik bulgular ile strigolaktonun bitki mimarisi üzerindeki etkisi açıklanmaya çalışılmıştır.

C. annuum L. Oğuz ve Çözüm çeşitlerine ait tohumlara 24 saatlik ön işlem ile 10 μ M GR24 uygulandıktan sonra tohumlar 14 gün boyunca normal koşullarda ve %10 PEG-6000 ile kuraklık stresine maruz bırakıldıkları petrilere çimlendirilmişlerdir. Çalışılan fizyolojik parametrelere ilişkin fizyolojik bulgular Çizelge 4.4’de sunulmuştur.

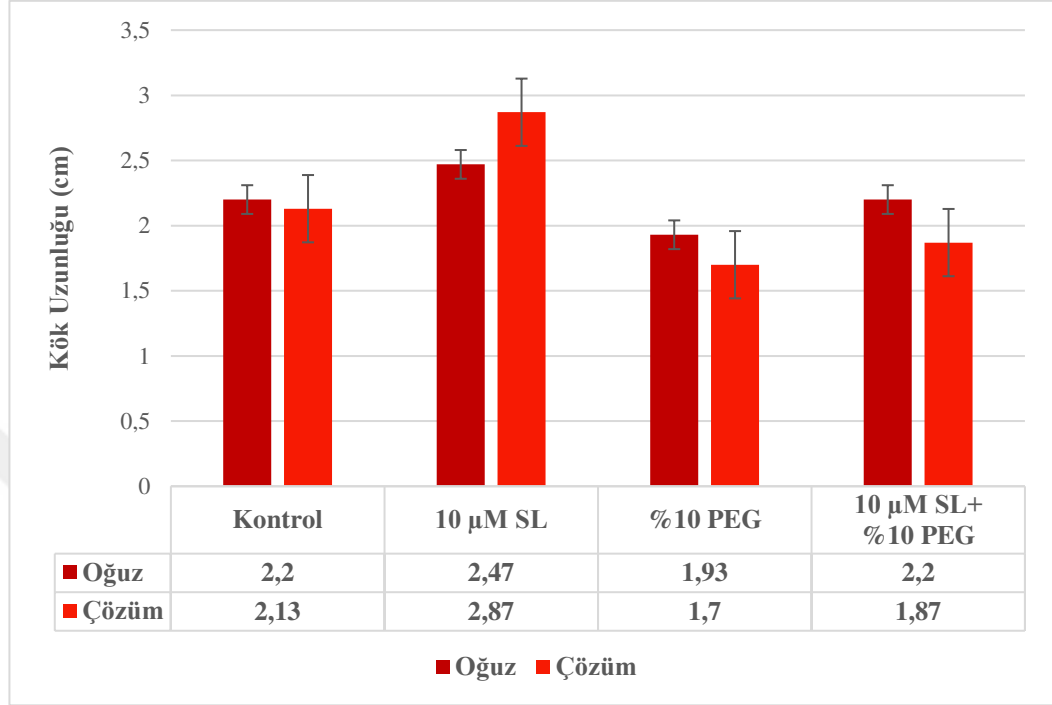
Çizelge 4.4. Stresli ve stressiz koşullar altında strigolakton ön uygulamasına maruz bırakılan *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerine ait fizyolojik karşılaştırmalar

Uygulama	Kök Uzunluğu (cm)	Bitki Boyu (cm)	Taze Ağırlık (g)
Oğuz Kontrol	2,20 $\pm$ 0,10 ^{ab}	4,37 $\pm$ 0,12 ^a	0,04 $\pm$ 0,00 ^{bc}
Çözüm Kontrol	2,13 $\pm$ 0,50 ^{ab}	4,00 $\pm$ 0,69 ^{ab}	0,03 $\pm$ 0,01 ^{abc}
Oğuz 10 μ M SL	2,47 $\pm$ 0,49 ^{ab}	4,47 $\pm$ 0,71 ^a	0,04 $\pm$ 0,01 ^c
Çözüm 10 μ M SL	2,87 $\pm$ 0,49 ^a	4,47 $\pm$ 0,93 ^a	0,03 $\pm$ 0,00 ^{abc}
Oğuz %10 PEG	1,93 $\pm$ 0,51 ^a	3,73 $\pm$ 0,51 ^{ab}	0,03 $\pm$ 0,01 ^{abc}
Çözüm %10 PEG	1,70 $\pm$ 0,17 ^{ab}	3,07 $\pm$ 0,23 ^a	0,03 $\pm$ 0,00 ^{abc}
Oğuz 10 μ M SL+%10 PEG	2,20 $\pm$ 1,21 ^{ab}	3,93 $\pm$ 1,10 ^{ab}	0,03 $\pm$ 0,01 ^{abc}
Çözüm 10 μ M SL+%10 PEG	1,87 $\pm$ 0,40 ^{ab}	3,57 $\pm$ 0,40 ^{ab}	0,03 $\pm$ 0,01 ^{abc}

*Her bir parametre sütununda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark ($p \leq 0,05$) düzeyinde önemsizdir. $\pm$ Standart sapma

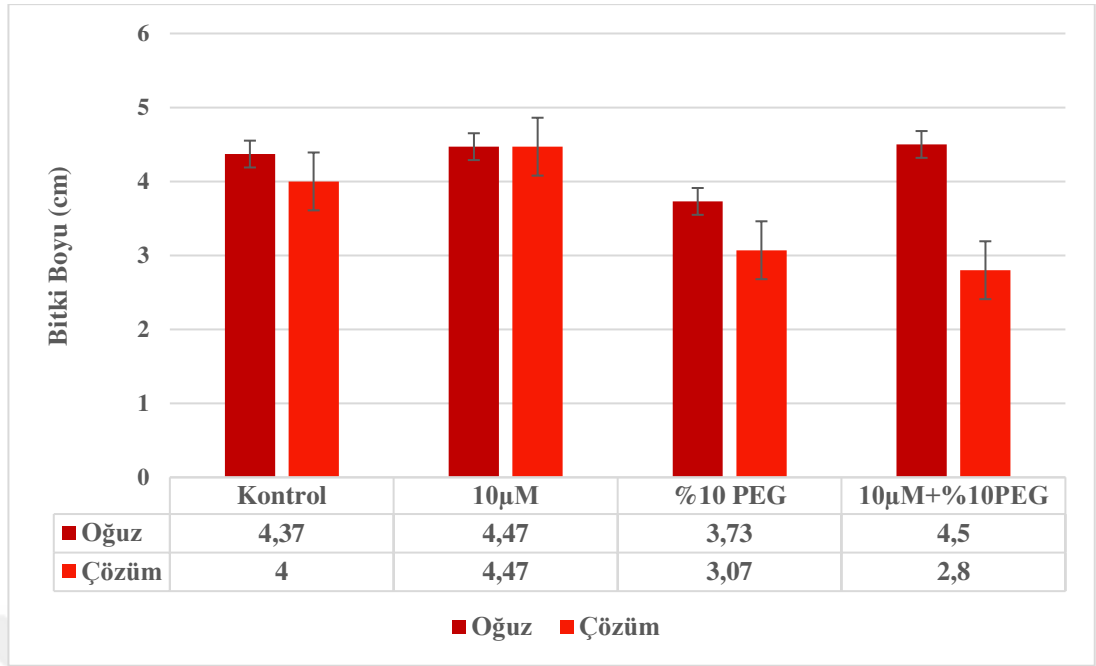
C. annuum L. Oğuz ve Çözüm çeşitlerinin kontrol grubu fidelerinde yapılan fizyolojik değerlendirmeler sonucunda kök uzunluğunun sırasıyla 2.20 cm ve Çözüm 2.13 cm iken, eksojen kuraklık stresi uygulaması sonucunda Oğuz çeşidinin kök uzunluğu 2.20 cm ve Çözüm çeşidinin kök uzunluğu ise 1.87 cm olarak ölçümlenmiş ve kök uzunluğunun kuraklık stresi uygulamasının olumsuz etkilediği belirlenmiştir (Şekil 4.1).

Buna karşın, veriler istatistik açıdan değerlendirildiğinde, yalnızca strigolakton ve kuraklık stresinin birlikte uygulandığı uygulama grubunda Çözüm ve Oğuz çeşitleri arasında anlamlı bir ilişki belirlenememiştir.



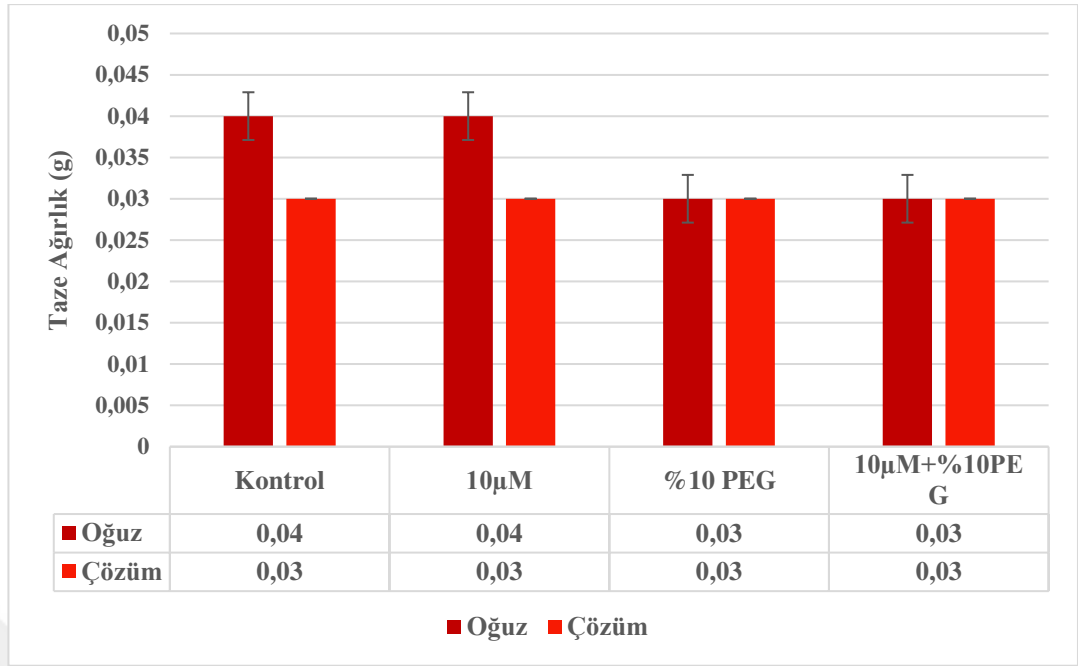
Şekil 4.1. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde kök uzunluğu üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri

C. annuum L. Oğuz ve Çözüm çeşitlerinin fideleri bitki boyu özelliği bakımından değerlendirildiğinde, kontrol grubu uygulamasında sırasıyla bitki boyunun 4.37 cm ve Çözüm 4 cm olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresi uygulaması sonucunda ise, Oğuz 3.73 cm ve Çözüm 3.07 cm bitki boyu ile kontrol grubuna oranla yaklaşık %15 ve %23 oranında azalma göstermiştir. Eksojen strigolakton uygulaması sonucunda Oğuz 4.47 cm ve Çözüm 4.47cm bitki boyu uzunluğu ile kuraklık stresi uygulamasına göre bitki boyu üzerinde olumlu bir etki gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.2.). Yine, yalnızca kuraklık stresi bakımından istatistik fark ortaya konulmuş olsa da, yalnızca strigolakton uygulaması ile kuraklık stresi ve strigolaktonun birlikte uygulandığı uygulama gruplarında Çözüm ve Oğuz çeşitleri arasında istatistik açıdan anlamlı bir fark ortaya konulamamıştır.



Şekil 4.2. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde bitki boyu üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri

Yapılan çalışmada her iki çeşidin de taze ağırlık özelliği bakımından, birbirine yakın taze ağırlığa sahip olduğu belirlenmiştir. Taze ağırlık ölçümü sonucunda Çözüm çeşidinin tüm uygulama gruplarında taze ağırlık 0.03 g ile aynı ağırlıkta ölçülürken istatistiksel anlamda kuraklık stresi uygulanan grup ile kuraklık stresi+GR24 grubu kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede fark göstermiştir. Oğuz çeşidine ait bireylerin taze ağırlıkları sonucunda, kuraklık stresi uygulaması ve kuraklık stresi+GR24 uygulaması gruplarının taze ağırlığı 0.03 g ile aynı sonuçları verirken, Oğuz kontrol ve sadece hormon uygulamaları da 0.04 g ağırlıkları ile eşit değerlerde bulunmuştur. Oğuz kuraklık stresi uygulaması ile Oğuz kuraklık stresi+GR24 uygulamasında, kontrol grubuna göre istatistiksel anlamda anlamlı bir fark görülmüştür (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde taze ağırlık üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri

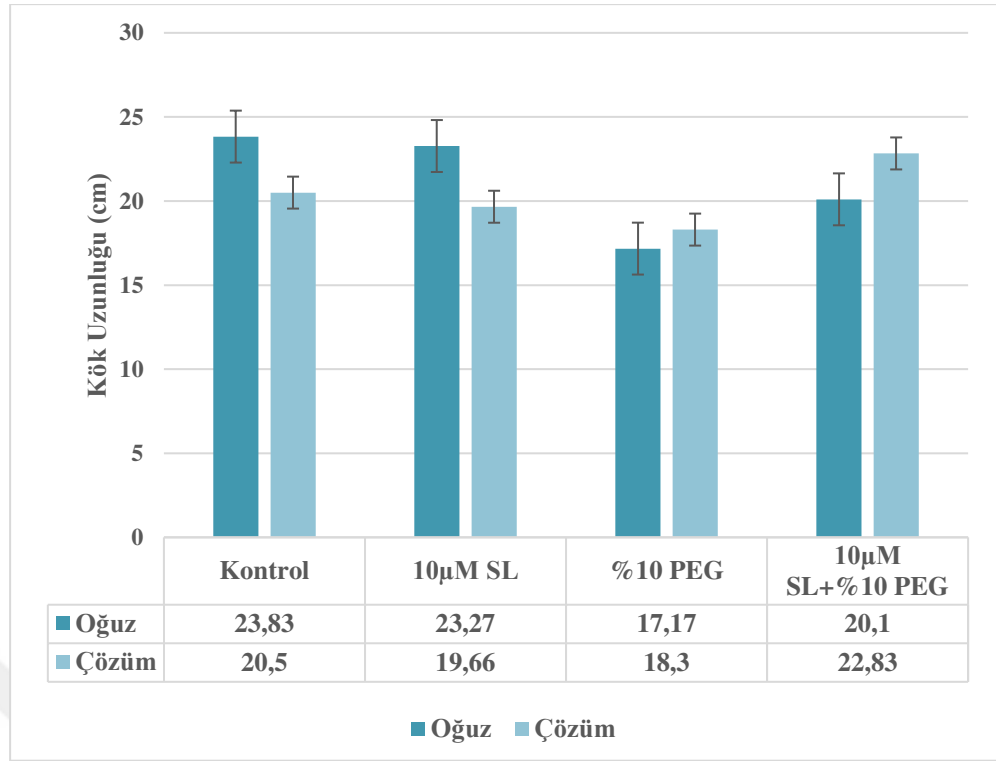
C. annuum L. Oğuz ve Çözüm çeşitlerine ait 35 gün boyunca normal koşullarda yetiştirilen fidelerin, %10 PEG-6000 ile kuraklık stresi ve yapraktan spreyleme yoluyla eksojen strigolakton uygulamasının ardından elde edilen fizyolojik bulguları Çizelge 4.5’de sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerine ait fizyolojik karşılaştırmalar

Uygulama	Kök Uzunluğu (cm)	Gövde Uzunluğu (cm)	Dallanma Sayısı	Bitki Boyu (cm)	Yaprak Genişliği (cm)	Gövde Çapı (mm)
Oğuz Kontrol	23,83 ± 4,80 ^b	11,00 ± 1,00 ^a	2,00 ± 0,00 ^a	48,66 ± 5,13 ^d	5,26 ± 0,25 ^b	0,50 ± 0,01 ^{bc}
Çözüm Kontrol	20,50 ± 3,50 ^{ab}	11,66 ± 0,76 ^a	2,00 ± 0,00 ^a	43,00 ± 0,50 ^{abc}	5,00 ± 0,50 ^b	0,46 ± 0,05 ^{abc}
Oğuz 10µM SL	23,27 ± 2,40 ^b	11,93 ± 0,40 ^a	2,33 ± 0,58 ^a	47,33 ± 2,52 ^c	5,20 ± 0,66 ^b	0,47 ± 0,03 ^{abc}
Çözüm 10µM SL	19,66 ± 5,03 ^a	11,33 ± 1,76 ^a	2,33 ± 0,58 ^a	43,00 ± 5,24 ^{abc}	5,07 ± 0,38 ^b	0,53 ± 0,06 ^c
Oğuz %10 PEG	17,17 ± 1,61 ^a	11,03 ± 0,25 ^a	2,66 ± 0,58 ^a	35,66 ± 4,93 ^a	4,10 ± 1,18 ^{ab}	0,50 ± 0,01 ^{bc}
Çözüm %10 PEG	18,30 ± 1,51 ^a	10,90 ± 1,66 ^a	2,00 ± 0,00 ^a	40,83 ± 2,65 ^{abc}	4,40 ± 0,26 ^{ab}	0,43 ± 0,06 ^{ab}
Oğuz 10µM SL+ %10 PEG	20,10 ± 5,18 ^{ab}	11,30 ± 0,98 ^a	2,00 ± 0,00 ^a	39,00 ± 6,08 ^{ab}	4,77 ± 0,06 ^{ab}	0,41 ± 0,02 ^a
Çözüm 10µM SL+ %10 PEG	22,83 ± 4,80 ^b	11,80 ± 1,77 ^a	2,33 ± 0,58 ^a	44,00 ± 6,08 ^{bc}	3,80 ± 0,85 ^a	0,45 ± 0,04 ^{ab}

*Her bir parametre sütununda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark ($p \leq 0,05$) düzeyinde önemsizdir. $\pm$ Standart sapma

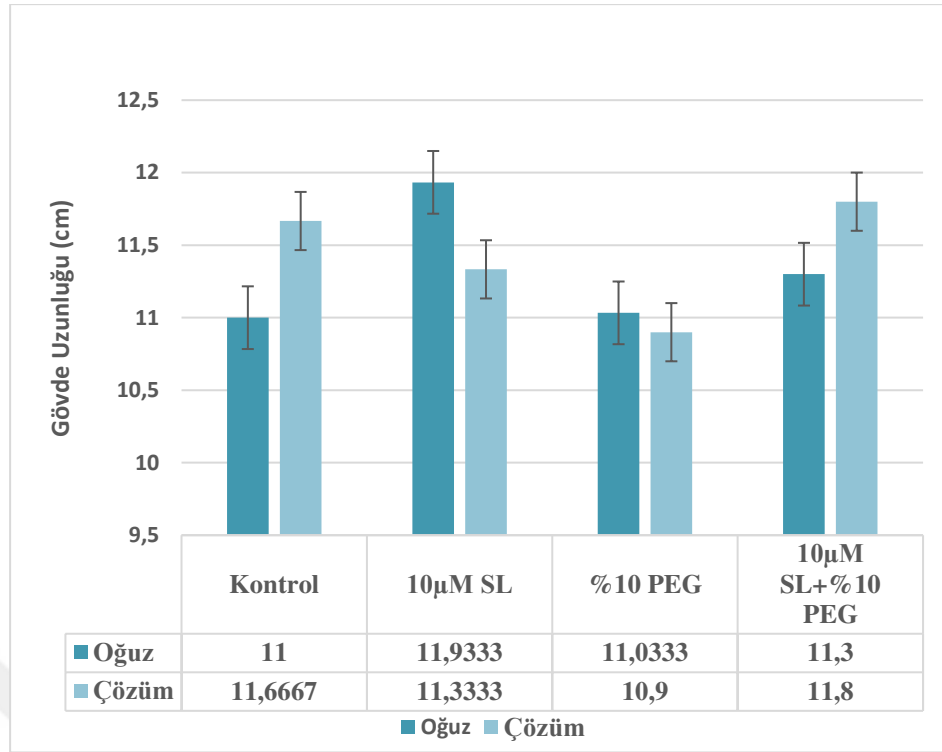
C. annuum L. Oğuz ve Çözüm çeşitlerinin kontrol grubu fidelerinde yapılan fizyolojik değerlendirmeler sonucunda kök uzunluğunun sırasıyla 23.83 cm ve Çözüm 20.5 cm iken, eksojen kuraklık stresi uygulaması sonucunda Oğuz çeşidinin kök uzunluğu 17.17 cm ve Çözüm çeşidinin kök uzunluğu ise 18.3 cm olarak ölçümlenmiş ve kök uzunluğunun kuraklık stresi uygulamasının olumsuz etkilediği istatistik olarak da anlamlı farklar ile ortaya konulmuştur. Aynı şekilde stressiz koşullar altında uygulanan strigolakton hormonunun kök uzunlukları 23.27 cm ve 19.66 cm olarak belirlenmiştir ki değerler arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu göstermektedir (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde kök uzunluğu üzerine spreyleme yoluyla eksojen strigolakton uygulamasının etkileri

Kuraklık stresi altında yetiştirilen fidelere uygulanan eksojen strigolakton hormonu, stresin olumsuz etkilediği kök gelişimini iyileştirici bir etki göstermiştir. Çözüm çeşidinde 10µMSL+%10PEG uygulaması 22.83 cm kök uzunluğuna ulaşarak kontrol grubuna oranla kök uzunluğunu %11.37 oranında artırmıştır (Şekil 4.4.).

Strigolaktonun gövde uzunluğu üzerine etkilerini incelediğimizde, kontrol grubunda gövde uzunluğunun Oğuz çeşidinde 11 cm ve Çözüm çeşidinde ise 11.6 cm olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresi uygulaması sonucunda Çözüm 10.9 mm gövde uzunluğu ile kontrole göre az bir fark ile azalma göstermiştir. Strigolakton uygulaması sonucunda Oğuz 11.3 mm ve Çözüm 11.8 mm gövde uzunluğu ile stresin neden olduğu olumsuz etkiyi iyileştirmiş (Şekil 4.5.) ise de veriler arasındaki fark istatistik açıdan anlamlı bulunmamıştır ($p < 0.05$).

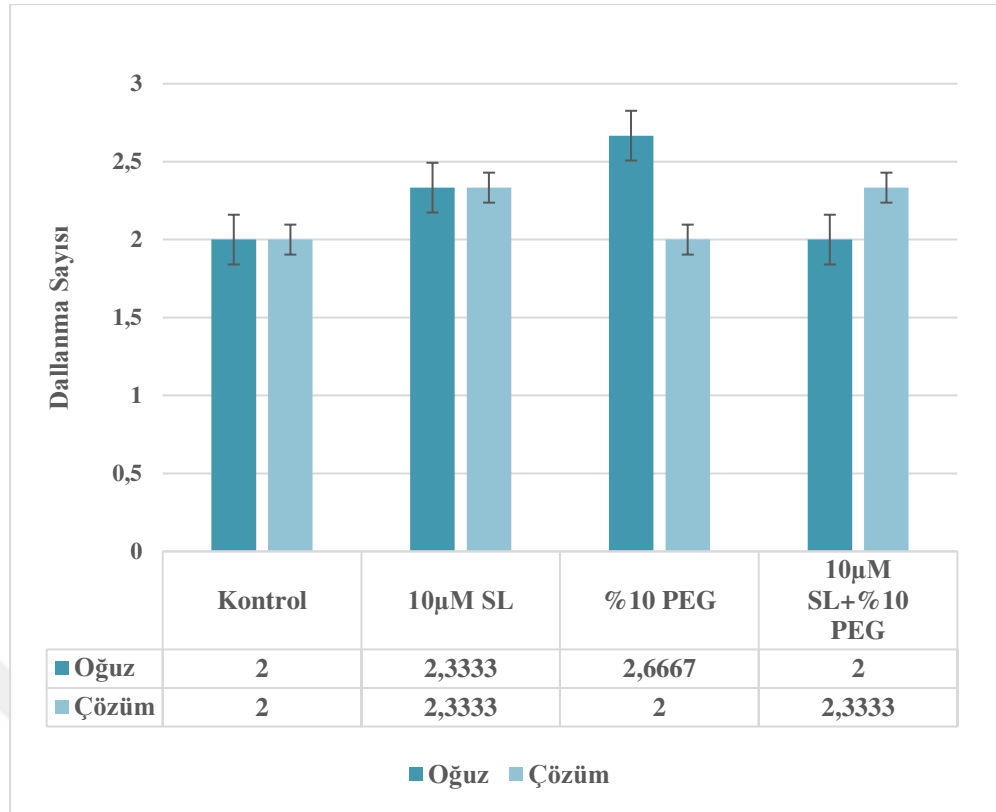


Şekil 4.5. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv.

Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde gövde uzunluğu üzerine spreyleme yoluyla eksojen strigolakton uygulamasının etkileri

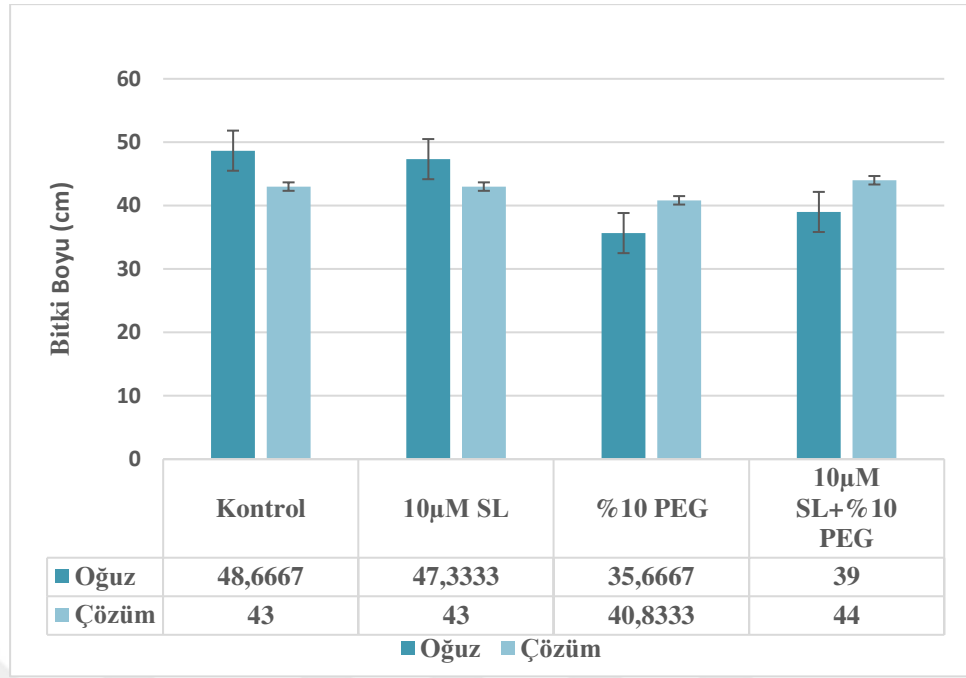
Yapılan çalışmada her iki çeşidin de dallanma sayısı özelliği bakımından, birbirine yakın sayıda dal sayısına sahip olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresi uygulaması sonucunda Çözüm çeşidinin kontrol grubunda iki dal mevcut iken Oğuz çeşidine ait bireylerin ortalaması da 2.6 ile kontrol grubundan yüksek olmasına rağmen istatistik olarak tüm uygulama grupları aynı grup ile temsil edilmektedir.

Strigolakton uygulaması sonucunda Oğuz çeşidi iki dallanma sayısı ile kuraklık stresi uygulamasına göre daha az, ancak kontrol grubu ile aynı iken, Çözüm 2.3 dallanma sayısı ortalama değeri ile kuraklık stresi uygulamasına göre daha yüksek dallanma sayısı göstermiştir (Şekil 4.6.). Bu durum ise, sınırlı süre aralığında 7 gün süreli uygulama yapılan bitkinin dal gelişimine katkısının düşük seviyede olacağı, uygulama durumunun bitkinin yaşam periyodu süresine yayıldığında bitki bünyesinde yeterli etki gösterebileceğini düşündürmektedir.



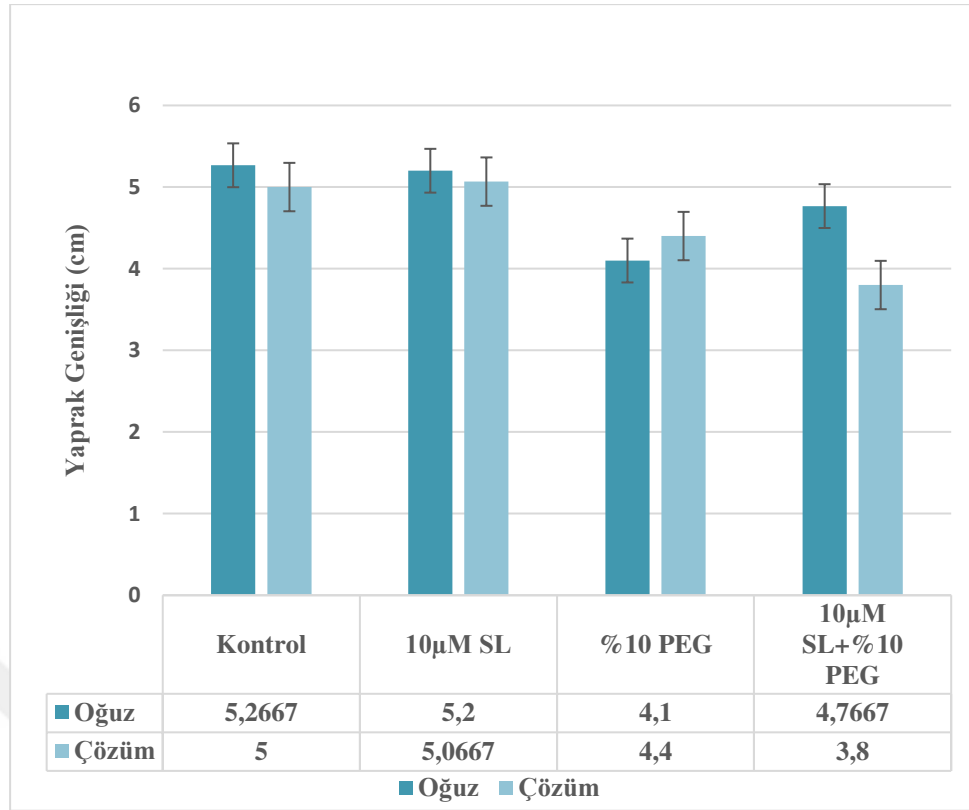
Şekil 4.6. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde dallanma sayısı üzerine spreyleme yoluyla eksojen strigolakton uygulamasının etkileri

C. annuum L. Oğuz ve Çözüm çeşitlerinin fideleri total bitki boyu özelliği bakımından değerlendirildiğinde, kontrol grubu uygulamasında sırasıyla bitki boyunun 48.6 cm ve Çözüm 43 cm olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresi uygulaması sonucunda ise, Oğuz 35.6 cm ve Çözüm 40.8 cm bitki boyu ile kontrol grubuna oranla yaklaşık %28 ve %5 oranında azalma göstermiştir. Eksojen strigolakton uygulaması sonucunda Oğuz 39 cm ve Çözüm 44 cm bitki boyu uzunluğu ile kuraklık stresi uygulamasına göre bitki boyu üzerinde olumlu bir etki gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.7.). Buna karşın tek başına strigolakton uygulamasının bitki boyu üzerindeki herhangi bir etkisinin olmadığı, kontrol grubu bitkileri ile benzer etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.7. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde çeşitlerinde bitki boyu üzerine spreyleme yoluyla eksojen strigolakton uygulamasının etkileri

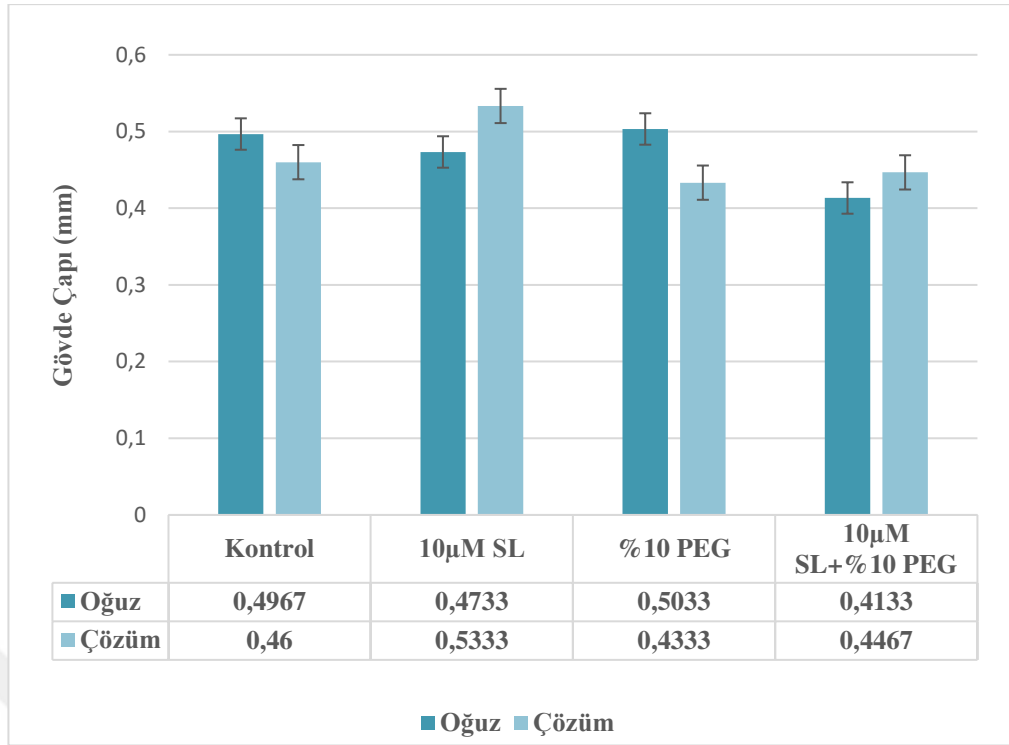
C. annuum L. Oğuz ve Çözüm çeşitlerinde kuraklık stresi altında bitkisel organizmaların fotosentetik aktivitelerini sınırlandırıcı bir faktör olan yaprak genişliğinde meydana gelen değişiklikler bakımından değerlendirildiğinde, kontrol grubunda Oğuz'un yaprak genişliği 5.2 cm iken Çözüm 5 cm olarak tespit edilmiştir. Kuraklık stresi uygulaması sonrası Oğuz çeşidine ait bireylerin yaprak genişliği ortalaması 4.1 cm'ye düşerken Çözüm çeşidinin bireylerinin yaprak genişliği ortalaması 4.4 cm olarak ölçümlenmiş ve kuraklık stresinin özellikle Oğuz çeşidinde yaprak genişliğini neredeyse %22 oranında azalttığı belirlenmiştir. Strigolakton uygulaması ise diğer fizyolojik sonuçlar ile benzerlik göstererek tek başına uygulandığında kontrol grubu ile neredeyse aynı etkiyi göstermiş bunun aksine kuraklık stresi altında strigolakton uygulaması yalnızca Oğuz çeşidinde 4.7 cm yaprak genişliği değeri ile kuraklık stresinin olumsuz etkisini hafifletmede başarılı olmuştur (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. özüm çeşitlerinde yaprak genişliği üzerine spreyleme yoluyla eksojen strigolakton uygulamasının etkileri

Strigolaktonun gövde çapı üzerine etkileri değerlendirildiğinde, kontrol grubu bitkilerinde gövde apı Oğuz çeşidinde 0.49 mm çözüm çeşidinde ise 0.46 mm olarak tespit edilmiştir. Kuraklık stresi uygulaması sonucunda, çözüm çeşidi bireylerinde 0.43 mm ortalama değeri ile kontrol grubuna oranla gövde çapının azaldığı belirlenmiştir.

Strigolakton uygulaması sonucunda ise Oğuz 0.41 mm değeriyle kuraklık stresi uygulaması sonuçlarına göre daha düşük gövde çapına sahipken, çözüm 0.44 mm genişliğindeki gövde çapı ile kuraklık stresi uygulamasına göre artış göstermiştir (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde gövde çapı üzerine spreyleme yoluyla eksojen strigolakton uygulamasının etkileri

4.3. Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Biberde Eksojen Strigolakton Uygulamasının Biyokimyasal Aktiviteler Üzerine Etkileri

Strese maruz bırakılmayan kontrol grubu ve kuraklık stresine maruz bırakılan Oğuz ve Çözüm biber çeşitlerinde eksojen strigolakton uygulamasının biyokimyasal aktivite üzerine etkileri Çizelge 4.6.6-11’de sunulmuştur.

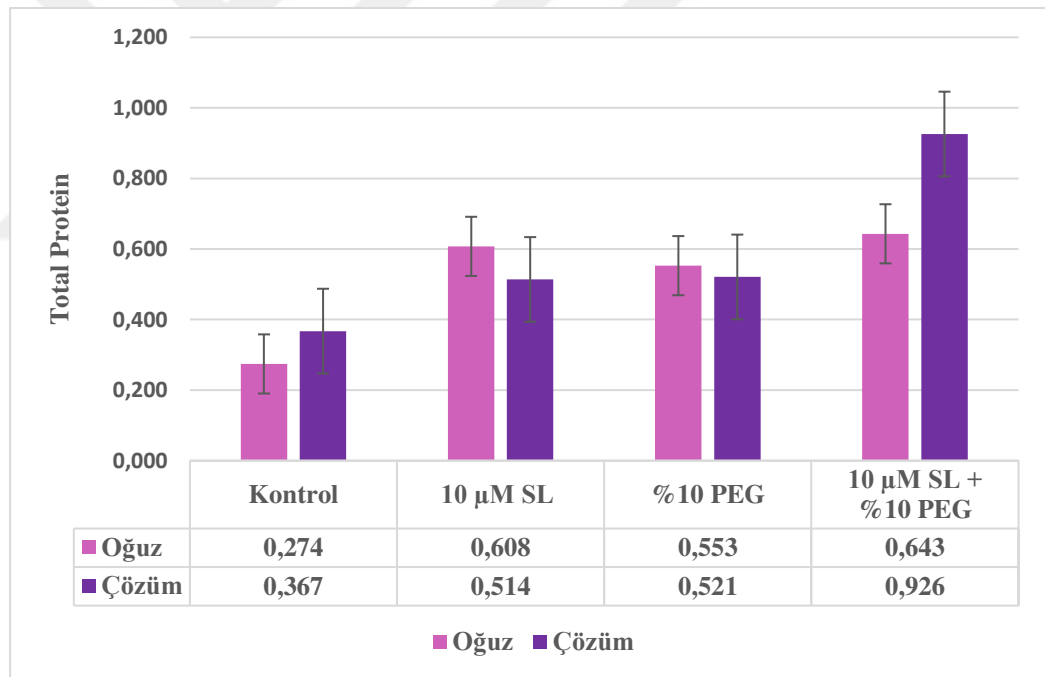
Çizelge 4.6. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde total protein miktarı

Biber Çeşidi	Total Protein Miktarı (mg/mL)			
	Kontrol	10µM SL	%10 PEG	%10 PEG+10µM SL
Oğuz	0,27 ± 0,07 ^a	0,61 ± 0,07 ^c	0,55 ± 0,03 ^{bc}	0,64 ± 0,10 ^c
Çözüm	0,37 ± 0,03 ^{ab}	0,51 ± 0,01 ^{bc}	0,52 ± 0,11 ^{bc}	0,93 ± 0,25 ^d

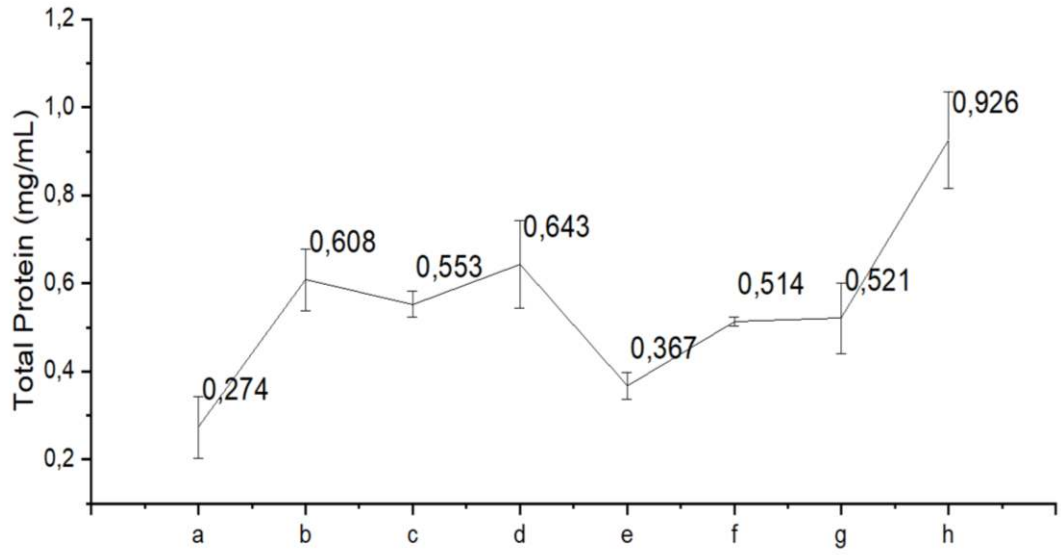
*Her bir parametre sütununda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark ($p \leq 0,05$) düzeyinde önemsizdir. ± Standart sapma

C. annuum cv. Oğuz fidelerinde total protein miktarı incelendiğinde kontrol grubunda 0,27 mg/ml seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Stressiz ortamda uygulanan strigolakton total protein miktarını iki katından fazla oranda artırarak teşvik edici bir etki göstermiştir. Kuraklık stresi uygulaması sonrası total protein miktarı yine kontrol grubuna oranla 2 kata yakın bir artış göstererek 0.55 mg/ml seviyesinde belirlenmiştir. Kuraklık stresi altında uygulanan strigolakton, kontrol grubu ve tek başına strigolakton uygulamasına göre 0.64 mg/ml ile artış göstermiştir (Şekil 4.10.).

C. annuum cv. Çözüm fidelerinde total protein miktarı incelendiğinde kontrol grubunda 0.37 mg/ml olduğu belirlenmiştir. Tek başına uygulanan strigolakton ise total protein miktarını 0.51 mg/ml ile yaklaşık 2 kat artırmıştır. Kuraklık stresi uygulanan ortamda protein miktarı ise 0.52 mg/ml seviyesinde iken, eksojen strigolakton uygulandığında total protein miktarının kontrol grubuna kıyasla yaklaşık 3 kat arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.10.).



Şekil. 4.10. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde total protein miktarı üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri



Şekil 4.11. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde çeşitlerinde total protein miktarı üzerine eksojen strigolakton uygulamasının istatistik değerlendirmesi

Kuraklık stresinin prolin miktarı üzerindeki etkileri incelediğinde, kontrol grubunda Oğuz'da 178.95 $\mu\text{M/g}$, Çözüm çeşidinde 196.23 $\mu\text{M/g}$ değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Stresiz koşullarda uygulanan strigolakton ise Oğuz çeşidinde 187.28 $\mu\text{M/g}$ Çözüm 259.51 $\mu\text{M/g}$ prolin miktarı ile her iki çeşitte de kontrole oranla artış göstermiştir.

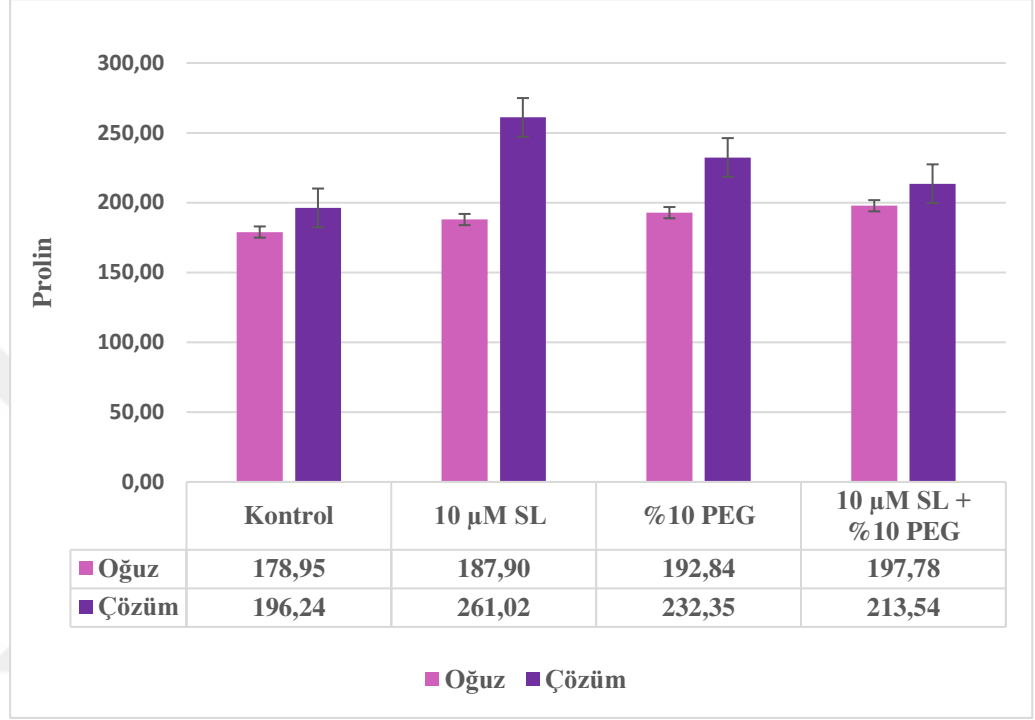
Çizelge 4.7. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde prolin miktarı

Biber Çeşidi	Prolin Miktarı ($\mu\text{M prolin/g doku}$)			
	Kontrol	10 μM SL	%10 PEG	%10 PEG+10 μM SL
Oğuz	178,95 $\pm$ 3,09 ^a	187,28 $\pm$ 1,59 ^b	192,84 $\pm$ 1,01 ^c	197,78 $\pm$ 8,70 ^d
Çözüm	196,24 $\pm$ 2,34 ^d	261,05 $\pm$ 14,54 ^c	232,35 $\pm$ 1,01 ^f	213,54 $\pm$ 1,75 ^e

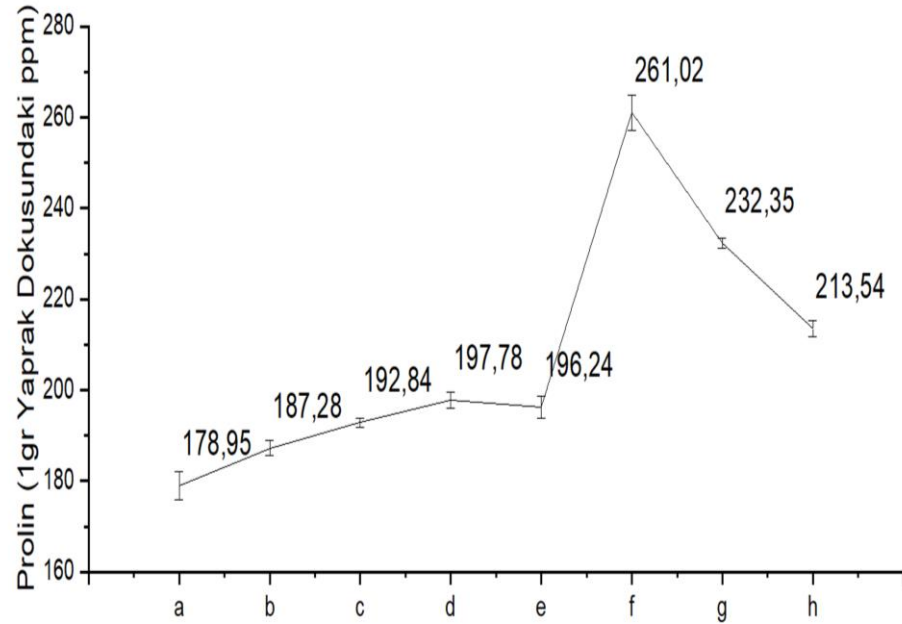
*Her bir parametre sütununda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark ($p \leq 0,05$) düzeyinde önemsizdir. $\pm$ Standart sapma

Kuraklık stresi koşulları altında *C. annuum* cv. Oğuz 192.84 ve Çözüm 232.35 $\mu\text{M/g}$ kontrol gruplarına göre Oğuz %8 Çözüm %19 prolin miktarında artış gösterirken

Çözüm 10 μ M SL uygulaması sonucunda belirlenen prolin miktarının kuraklık stresine göre %12 yüksek olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresi altında eksojen strigolakton uygulaması sonucunda Çözüm çeşidinin prolin miktarının kuraklık stresi uygulamasına oranla 213.54 μ M/g değeri ile %8 oranında azaldığı Oğuz çeşidinin prolin miktarının kuraklık stresi uygulaması prolin miktarına %3 oranla arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde prolin miktarı üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri



Şekil 4.13. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde prolin miktarı üzerine eksojen strigolakton uygulamasının istatistik değerlendirilmesi

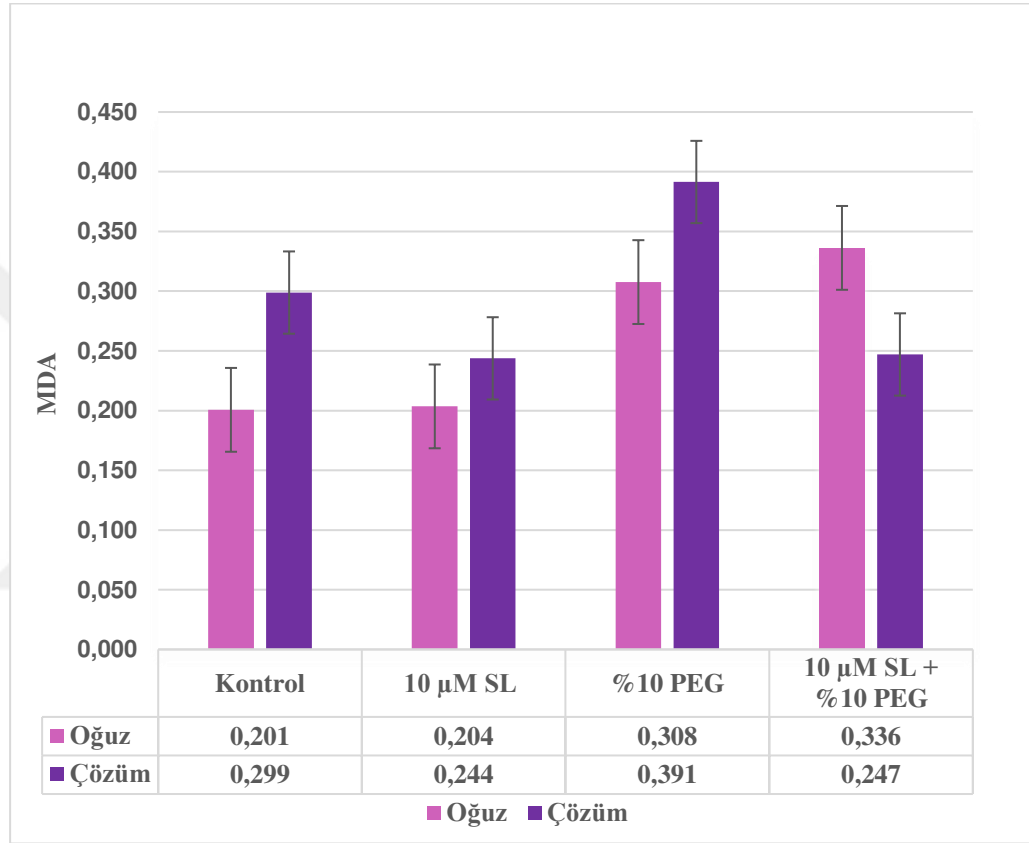
Strigolaktonun kuraklık stresi altında lipid peroksidaz aktivitesi üzerine etkileri incelediğinde, kontrol grubu Oğuz ve Çözüm çeşitlerinin sırasıyla 0.201 ve 0.299 $\mu\text{mol/L}$ MDA miktarına sahip iken kuraklık stresi koşullarında MDA miktarı Oğuz 0.308 Çözüm 0.391 $\mu\text{mol/L}$ verileri ile kontrol grubu uygulamasına kıyasla kuraklık stresi koşullarında MDA içeriğinin sırasıyla %54 ve %31 oranında arttığı belirlenmiştir. Stresiz koşullar altında sadece strigolakton uygulaması incelendiğinde stresli ortamda olduğu gibi bir tepki gösterirlerken hepsinde MDA aktivitesinin arttığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.8.).

Çizelge 4.8. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde malondialdehit miktarı

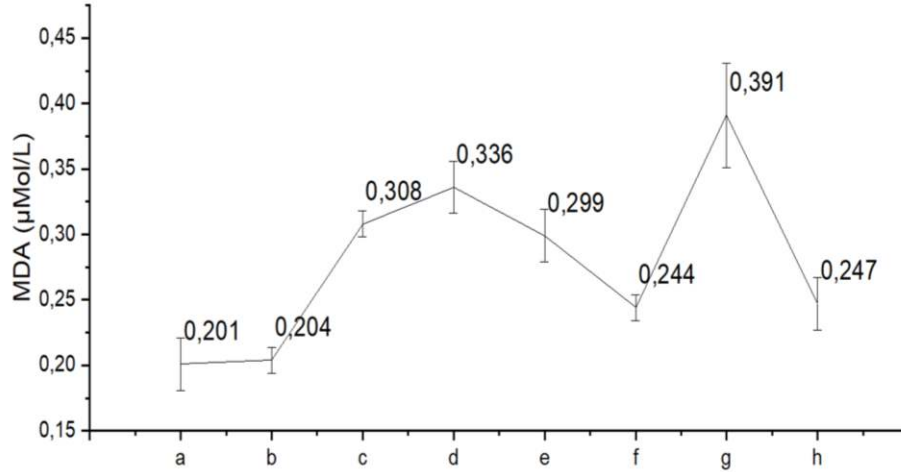
Biber Çeşidi	MDA Miktarı ($\mu\text{mol/L}$)			
	Kontrol	10 μM SL	%10 PEG	%10 PEG+10 μM SL
Oğuz	0,20 $\pm$ 0,02 ^a	0,20 $\pm$ 0,01 ^a	0,31 $\pm$ 0,01 ^c	0,34 $\pm$ 0,02 ^c
Çözüm	0,30 $\pm$ 0,02 ^{bc}	0,24 $\pm$ 0,01 ^{ab}	0,39 $\pm$ 0,08 ^d	0,25 $\pm$ 0,02 ^{ab}

*Her bir parametre sütununda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark ($p \leq 0,05$) düzeyinde önemsizdir. $\pm$ Standart sapma

Kuraklık stresi altında uygulanan strigolakton sonucunda Oğuz çeşidinin 34 ve Çözüm çeşidinin 25 μmol MDA miktarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Kuraklık stresi altında uygulanan 10 μM strigolakton Oğuz çeşidinde yaklaşık %10 artış gösterirken Çözüm çeşidinde %36 oranında bir azalma ile kuraklık stresinin olumsuz etkisini hafifletmede başarılı bir etki göstermiştir (Şekil 4.14.).



Şekil 4.14. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde malondialdehit miktarı üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri



Şekil 4.15. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde malondialdehit (MDA) miktarı üzerine eksojen strigolakton uygulamasının istatistik değerlendirilmesi

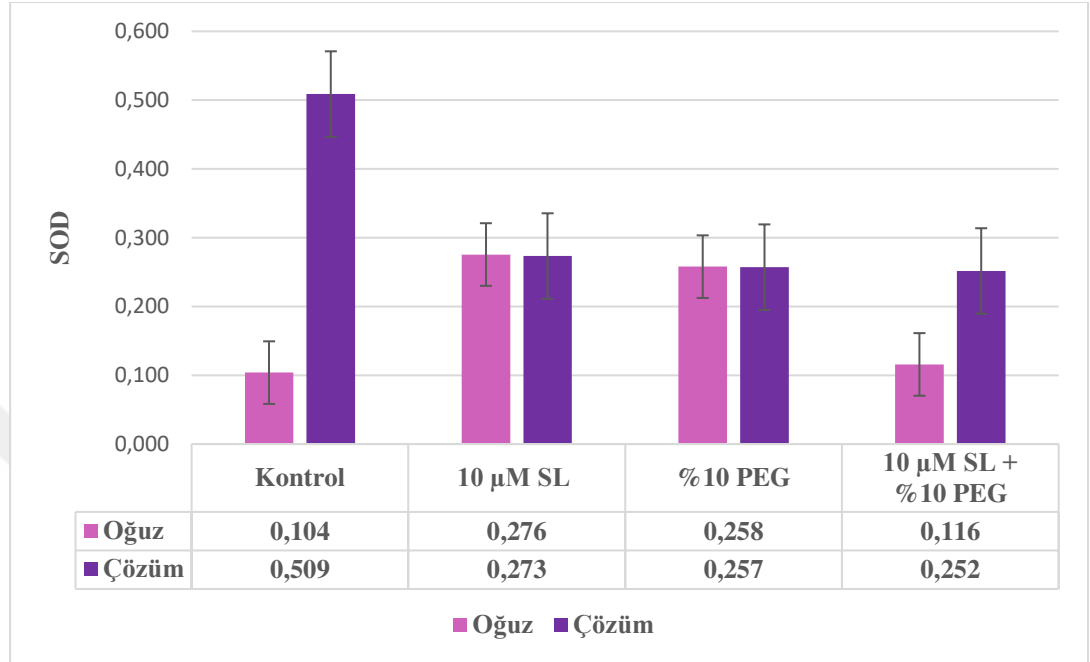
Yapılan çalışmada hem kuraklığa hassas *C. annuum* cv. Oğuz hem de dirençli *C. annuum* cv. Çözüm çeşitlerinde kuraklık stresi altında SOD enzim aktivitesinde artış olduğu tespit edilmiştir. *C. annuum* cv. Çözüm çeşidine ait fidelerde tek başına eksojen strigolakton uygulaması kontrol grubuna göre SOD enzim aktivitesinde azalmaya sebep olmuştur. Aynı çeşitte, %10 PEG-6000 kuraklık stresi uygulamasının tek başına uygulandığı konsantrasyonda SOD enzim seviyesi kontrol grubuna kıyasla %51 oranında azalma göstererek 0,26 μmol/L olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde, kuraklık stresi altında eksojen strigolakton uygulaması sonucunda SOD enzim aktivitesi incelendiğinde %10 PEG-6000 uygulamasına göre her iki çeşitte de azalmaya sebep olmuş ancak Oğuz çeşidinde bu azalma %46 gibi yüksek bir oran ile temsil edilmiştir.

Çizelge 4.9. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde süperoksit dismutaz aktivitesi

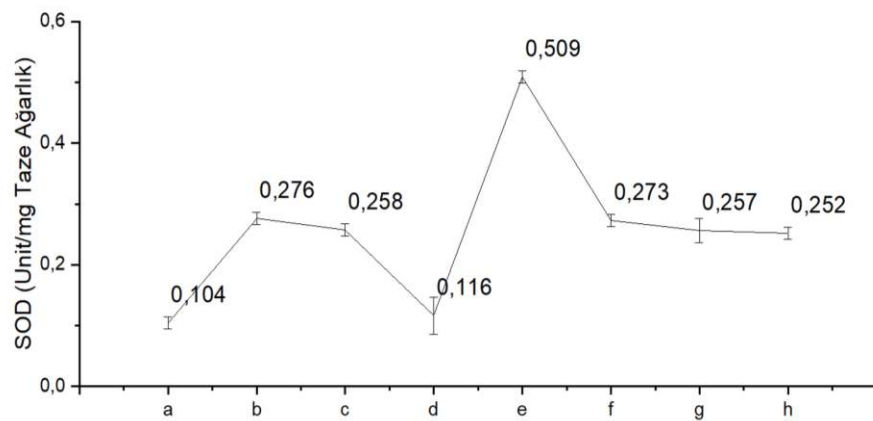
Biber Çeşidi	SOD Aktivitesi (μM/L)			
	Kontrol	10μM SL	%10 PEG	%10 PEG+10μM SL
Oğuz	0,10 ± 0,01 ^a	0,28 ± 0,01 ^d	0,26 ± 0,01 ^{bcd}	0,12 ± 0,03 ^a
Çözüm	0,51 ± 0,01 ^e	0,27 ± 0,01 ^{cd}	0,26 ± 0,02 ^{bc}	0,25 ± 0,01 ^b

*Her bir parametre sütununda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark ($p \leq 0,05$) düzeyinde önemsizdir. ± Standart sapma

Kuraklık stresi altında eksojen olarak uygulanan strigolakton, Çözüm çeşidinde SOD aktivitesini kontrol grubu uygulamasına kıyasla yaklaşık 2 kat, Oğuz'da ise kuraklık stresi uygulamasına kıyasla yine yaklaşık 2 kat oranında iyileşmeye sebep olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.16.).



Şekil 4.16. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri



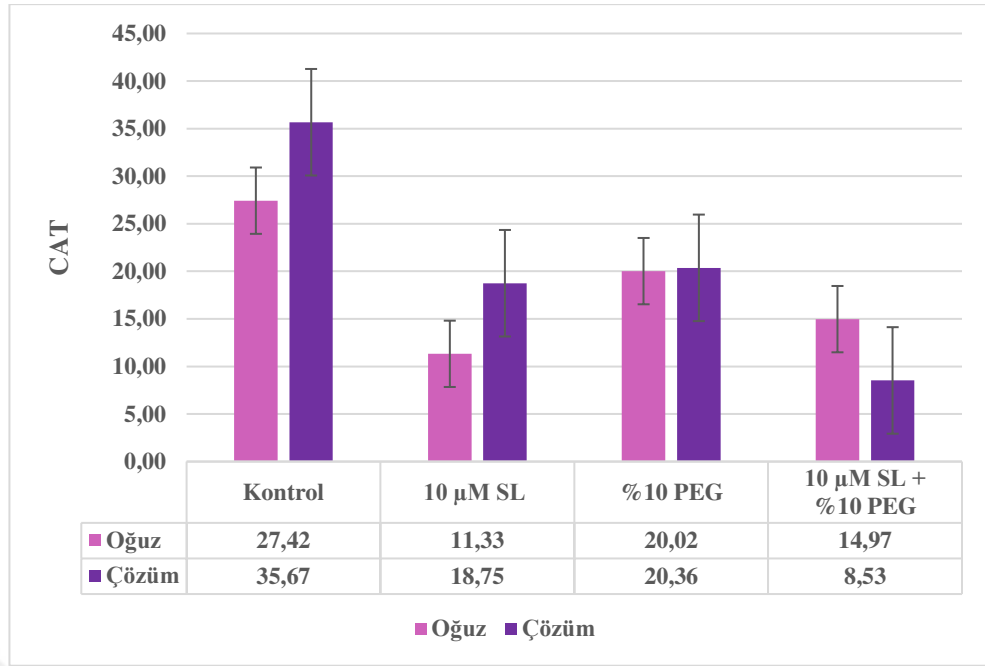
Şekil 4.17. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde süperoksit dismutaz aktivitesi üzerine eksojen strigolakton uygulamasının istatistik değerlendirilmesi

Bir diğ er antioksidan enzim olan katalaz CAT aktivitesi, hem kuraklığa hassas Oğuz hem de kuraklığa dirençli çözüm çeşidinde kuraklık stresi altında CAT enzim aktivitesi stressiz koşullara oranla azalma göstermiştir.   z m  eşidinde, stressiz ortamda tek başına uygulanan 10  M strigolakton ve kuraklık stresi uygulaması altında yapılan değerlendirmeler sonucunda CAT enzim aktivitesinde kontrol grubuna oranla yaklaşık %6 artış olduğu tespit edilmiştir. Yine, kuraklık stresi altında uygulanan strigolaktonun CAT enzim aktivitesi stressiz şartlar altında uygulanan strigolaktona oranla, 2 katından fazla oranda azalma göstermiştir ( izelge 4.10.).

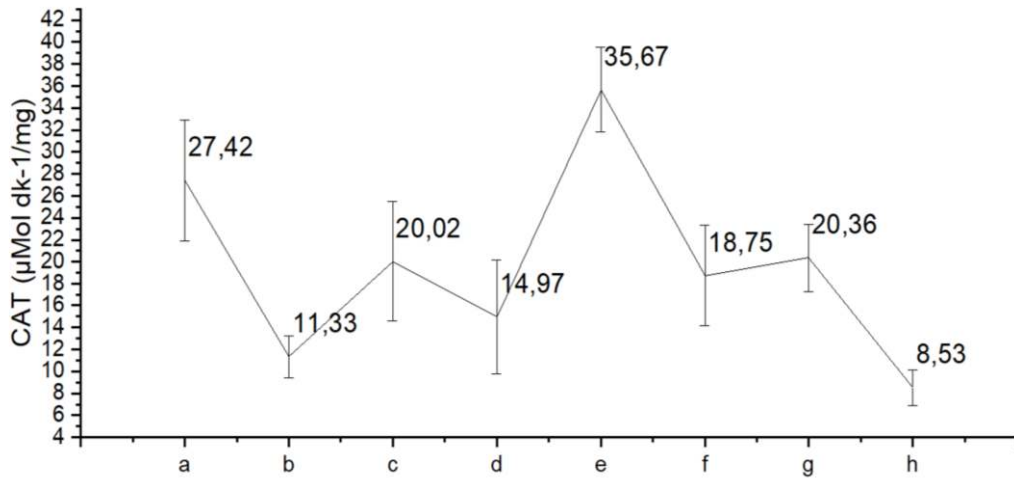
Çizelge 4.10. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv.   z m  eşitlerinde katalaz aktivitesi

Biber �eşidi	CAT Aktivitesi ($\mu\text{mol dk}^{-1} \text{mg}$)			
	Kontrol	10�M SL	%10 PEG	%10 PEG+10�M SL
Oğuz	27,42 $\pm$ 5,49 ^d	11,33 $\pm$ 1,93 ^{ab}	20,02 $\pm$ 5,46 ^c	14,97 $\pm$ 5,17 ^{bc}
��z�m	35,67 $\pm$ 3,85 ^e	18,75 $\pm$ 4,62 ^c	20,36 $\pm$ 3,08 ^c	8,53 $\pm$ 1,64 ^a

*Her bir parametre sütununda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark ($p \leq 0,05$) düzeyinde önemsizdir. $\pm$ Standart sapma



Şekil 4.18. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde katalaz aktivitesi üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri



Şekil 4.19. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde katalaz aktivitesi üzerine eksojen strigolakton uygulamasının istatistik değerlendirilmesi

Kuraklık stresi koşulları altında her iki çeşidin de strese CAT aktivitesi bakımından yanıtı eşdeğer bulunmuştur. Kuraklık stresinde eksojen olarak uygulanan strigolakton kontrol grubu uygulamasına kıyasla Oğuz çeşidinde %45, Çözüm çeşidinde ise yaklaşık %74 oranında CAT aktivitesini azalttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.18).

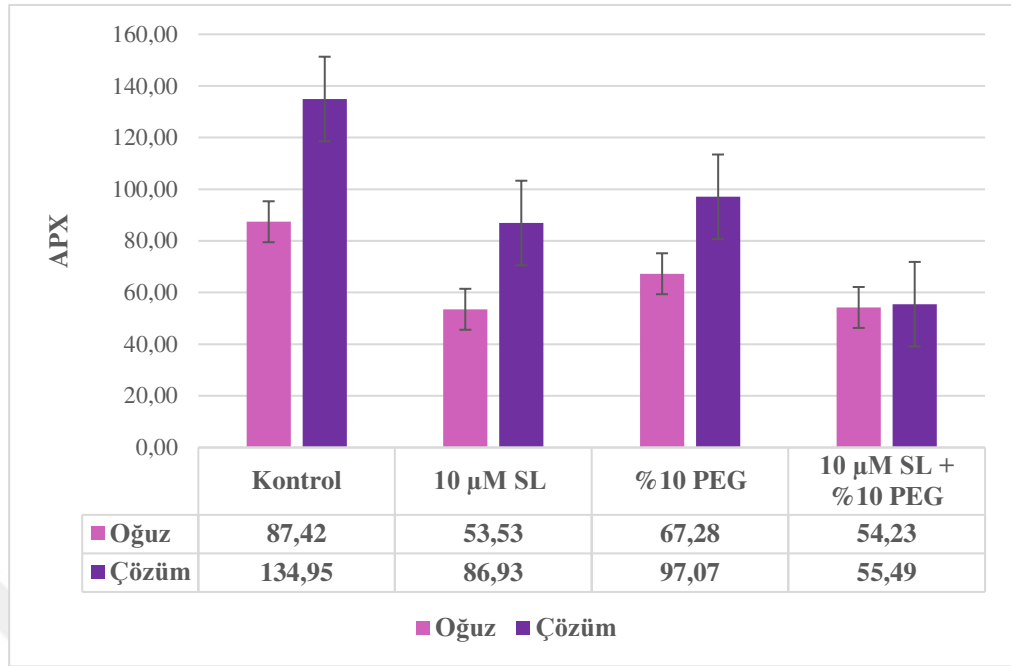
Elde edilen bulgular, askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi bakımından değerlendirildiğinde, Çözüm çeşidinde, Oğuz çeşidine oranla hem stressiz hem de %10 PEG-6000 uygulanmış kuraklık stresi koşullarında, APX aktivitesinin tespitine ilişkin değerlerin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. Stresli ve stressiz koşullar altında spreyleme yoluyla strigolakton uygulamasına maruz bırakılan *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi

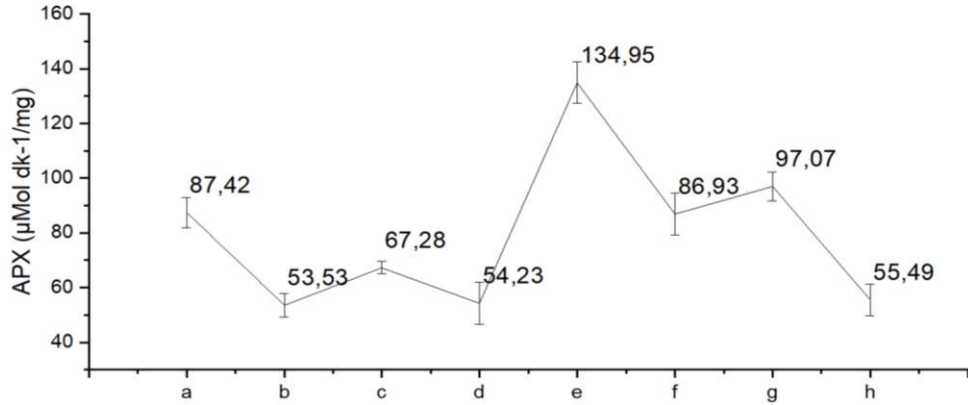
Biber Çeşidi	APX Aktivitesi ($\mu\text{mol dk}^{-1} \text{mg}$)			
	Kontrol	10 μM SL	%10 PEG	%10 PEG+10 μM SL
Oğuz	87,42 $\pm$ 5,46 ^c	53,53 $\pm$ 4,30 ^a	67,28 $\pm$ 2,28 ^b	54,23 $\pm$ 7,66 ^a
Çözüm	134,95 $\pm$ 7,60 ^c	86,93 $\pm$ 7,66 ^c	97,07 $\pm$ 5,27 ^d	55,49 $\pm$ 5,65 ^a

*Her bir parametre sütununda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark ($p \leq 0,05$) düzeyinde önemsizdir. $\pm$ Standart sapma

Stressiz koşullarda uygulanan eksojen strigolaktona kıyasla kuraklık stresi koşullarında APX miktarının arttığı belirlenmiştir. Her iki çeşit ayrı ayrı değerlendirildiğinde, ortamda stres varlığında APX aktivitesinin kontrol grubuna oranla azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Yine her iki çeşitte de kuraklık stresinin olumsuz etkisini hafifletmede strigolakton başarılı olmuş ve APX aktivitesi strigolakton tarafından baskılanmıştır (Şekil 4.20.).



Şekil 4.20. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde askorbat peroksidaz aktivitesi üzerine eksojen strigolakton uygulamasının etkileri



Şekil 4.21. Kuraklık stresi uygulanmış ve stres uygulanmamış *Capsicum annuum* L. cv. Oğuz ve *Capsicum annuum* L. cv. Çözüm çeşitlerinde askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi üzerine eksojen strigolakton uygulamasının istatistik değerlendirilmesi

Abiyotik stres koşullarına karşı bitkilerin toleransını geliştirmek, çevrelerindeki değişikliklere verdiği tepkinin derinlemesine anlaşılmasını gerektirmektedir. Abiyotik stresler, bitki büyümesi, gelişmesi ve üremesinin hemen hemen tüm yönleri üzerinde birçok etkiye sahip olduğundan, bitki büyüme düzenleyici hormonlarının dağılımı ve sentezlenme miktarı üzerinde oldukça etkilidirler. Bitki hormonları, biyotik ve abiyotik streslere karşı metabolizmayı düzenlemeye yardımcı olan, hücrelerde küçük miktarlarda bulunan çeşitli sinyal molekülleridir ve olumsuz çevresel durumlara tepki olarak bitkilerin morfolojik ve fizyolojik olarak dayanıklılık göstermesinde kilit faktör olarak rol oynarlar (Fahad vd., 2015; Zwack ve Rashotte, 2015). Bitkilerin abiyotik streslere karşı tepkileri farklılık göstermektedir. Bu nedenle fitohormonlar, sesil formda yaşamlarını sürdürmek zorunda olan bitkilerin fizyolojik ve moleküler olarak tepkilerini düzenleyerek yaşamlarının devamlılıklarını sağlayabilmeleri için en önemli endojen maddelerdir.

Yapılan çalışmada elde edilen bulgular, kuraklık stresinin kuraklığa hassas ve dirençli çeşit olarak belirlenen *C. annuum* cv. Oğuz ve *C. annuum* cv. Çözüm fidelerine ait bütün fizyolojik parametrelerde engelleyici bir etki gösterdiği tespit edilmiştir. Literatürde, biberde kuraklık stresi uygulanmasının çimlenme yüzdesi, kök uzunluğu, taze ağırlık, bitki boyu, gövde çapı ve yaprak genişliğinde azalmaya sebep olduğunu gösteren çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Leskovar ve Cantliffe, 1992; Davies vd. 2002; Kulkarni ve Phalke 2009; López-Serrano vd. 2017; Macias-Bobadilla vd. 2020; Gisbert-Mullor vd. 2023). Bu çalışmada strigolakton uygulamasının kuraklık stresinin çimlenmeyi engelleyici etkisini her iki çeşitte de %100'ün üzerinde yenerek kuraklık stresinin olumsuz etkisini hafifletmede başarılı olduğu belirlenmiştir. *C. annuum* cv. Çözüm çeşidinde eksojen strigolakton uygulaması 7 günlük çimlenme periyodu sonucunda %52.5 çimlenme yüzdesi gösterirken kontrol grubu tohumları %33.75 ile çimlenmeyi yaklaşık %36 oranında iyileşme sağlamışlardır (Çizelge 4.2.). Her iki çeşit için de kuraklık stresi uygulanmış tüm bireylerde dallanma sayısı üzerinde strigolakton uygulamasının herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Kuraklık stresinin kök uzunluğu, bitki boyu, yaprak genişliği ve gövde çapı özelliklerinde azalma görülürken eksojen strigolakton uygulamasının genel olarak kök uzunluğu, gövde uzunluğu, bitki boyu, yaprak genişliği ve gövde çapı gelişimlerini teşvik etmiştir. Kuraklık stresi altında strigolakton uygulamasının, Çözüm çeşidinde kuraklık stresi koşullarındaki kontrol grubuna oranla değerlendirildiğinde, yaprak genişliği bakımından engelleyici bir etki gösterdiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra Oğuz çeşidinin ise gövde çapı özelliğinde

engelleyici bir etki görülmüştür. Kulkarni ve Phalke (2009), kuraklık stresi uygulamasının çeşitler arasında fizyolojik açıdan varyasyon gösterdiğini ancak kuraklığın kök sayısı, kök uzunluğu ve biomass ile ilişkisinin bulunduğunu bildirmişlerdir. Kapoor vd. (2023) civa (Hg) stresine maruz bırakılan mercimek (*Lens culinaris*) bitkisinde strigolaktonun fizyolojik olarak (kök uzunluğu, gövde uzunluğu) etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada civa konsantrasyonu 150mg/kg toprak ve strigolakton konsantrasyonu 100 μ M püskürtme yöntemiyle uygulanmıştır. Ağır metal stresi sonucunda kontrol grubuna göre azalan kök ve gövde uzunluğu Hg+GR24 uygulaması sonucunda kök uzunluğunu yaklaşık 2 kat artırırken gövde uzunluğunu %25 oranında iyileştirmiştir. Liu vd. (2022) domates fidelerine uyguladıkları nitrik oksitle geliştirilmiş tuz stresinde strigolaktonun bitki boyu, gövde çapı ve kök uzunluğu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada 5, 10, 15 ve 20 μ M konsantrasyonunda GR24 ve 150 mM konsantrasyonunda NaCl kullanılmıştır. Buna göre, tuzluluk stresi bitki boyu ve gövde çapını önemli ölçüde engellemiştir. Tuz stresi uygulamasına kıyasla NaCl+5 μ M GR24, NaCl+10 μ M GR24, NaCl+20 μ M GR24 uygulamaları arasında bitki boyu ve gövde çapı açısından önemli bir fark görülmemiştir. Tuz stresi uygulamasına kıyasla NaCl+15 μ M GR24 uygulaması bitki boyu ve gövde çapını önemli ölçüde artırmıştır. Tuz stresi kontrol grubuna göre kök uzunluğunu önemli ölçüde engellemiştir. NaCl+10 μ M GR24 ve NaCl+20 μ M GR24 toplam kök uzunluğunu artırmada etkili olmasa da, NaCl+5 μ M GR24 ve NaCl+15 μ M GR24 uygulamaları kök uzunluğunun artmasına neden olmuştur ve neredeyse kontrol grubu değerlerine ulaşmıştır.

Macias-Bobadilla vd. (2020) kuraklık stresinin bitki boyu, gövde çapı ve yaprak sayısını inhibe ettiğini belirtmişlerdir. Ele alınan tüm parametreler ve elde edilen bulgular ışığında strigolaktonların etkisinin, türün çeşitleri arasındaki genetik varyasyon ve adaptasyona, ve uygulamanın biçimine göre farklılık gösterdiği sonucuna varılmaktadır. Wang ve Xi (2022), strigolaktonların abiyotik stres koşulları altında özellikle kök sistemlerini geliştirmek suretiyle suyun absorpsiyonu ve mineral madde alımının artırılmasını teşvik ettiklerini belirtmişlerdir. Islam vd, (2013) *Arabidopsis thaliana* L. SDG8 transgenik bitkisinde 13 günlük kuraklık stresi sonrası yabancı tip yapraklarında solmanın etkisi %100 iken transgenik bitkilerde 13 gün sonra solma etkisinin %0 olduğunu bildirmişlerdir. Haider vd. (2018), (d10, d17, d27 ve d3) mutant *Oryza sativa* L. cv Shiobari kuraklık stresi altında, vahşi tip yaprak canlılığı %20 iken d10 %85, d17 %75 ve d3 %45 oranlarında yaprak canlılığına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Quain vd. (2014) OCI transgenik soya fasulyesi hatlarına uygulanan kuraklık stresi sonucunda, 18.

haftada yabancı tip yaprakları yaşlanmaya başlarken transgenik bitki yaprakları gözle görülür şekilde canlılığını koruduğunu ve OCI transgenik soya fasulyesi hatlarında kuraklık stresinde protein içeriği tüm genotiplerde benzerlik gösterdiğini bildirmişlerdir. Li vd, (2022) *P. purpureum* fidelerine kuraklık stresi uygulamasından sonra 1, 3, 4, ve 7 μM konsantrasyonlarında püskürtme yöntemi ile uygulanan strigolakton sonucunda, kuraklık stresi grubunun kök uzunluğu kontrole göre önemli ölçüde daha düşükken strigolakton uygulamasının kök sistemi üzerindeki en önemli etkileri ise hormon ilaçlamasından sonra 24, 48 ve 120 saat sonra 3 μM gözlemlenirken ilk 48 saatte 1 μM 'ın kök sistemi üzerindeki etkisi 4 ve 7 μM dan daha iyiyken 4 ve 7 μM konsantrasyonunun kök sistemi üzerindeki etkisi 120 saat sonra 1 μM konsantrasyonundan daha iyi olduğunu rapor etmiştir. Santoro vd. (2020), fosfor (P) eksikliği altındaki domatese (*Solanum lycopersicum*) 5 μM konsantrasyonunda uygulanan strigolaktonun (GR 24) fosfor eksikliğinde yetiştirilen M82 fidelerine göre kök uzunluğunu önemli derecede artırdığını bildirmişlerdir. Genel olarak mevcut literatür ile elde edilen bulgularımız karşılaştırıldığında fizyolojik analiz sonuçları bakımından tutarlılık tespit edilmiştir. Zhou vd. (2022) GR24 uygulaması sonrası artan yaprak genişliği çalışmamızdaki hassas genotip (Oğuz) ile paralel sonuçlara sahipken dirençli genotipte (Çözüm) kuraklık stresi+ GR24 uygulaması sonucunda yaprak genişliği azalmıştır. Dirençli genotipte (Çözüm) kuraklık stresi+ GR24 uygulaması sonucunda elde ettiğimiz gövde çapı değerleri Zhou vd. (2022), Liu vd. (2022) ve Lu vd. (2019) ile benzerlik göstermektedir.

Stres durumunda hücresel ve DNA hasarına yol açan ROS'lerinde de artış meydana gelmektedir ve bitki mevcut su durumunu korumak ve sudan en iyi şekilde yararlanmayı hedeflemektedir. Kuraklık stresine maruz kalan bitkiler hayatlarını devam ettirebilmek için ve stresin yıkıcı etkilerine karşı en az hasarla durumu atlatabilmek için strese karşı enzimatik ve enzimatik olmayan savunma mekanizmaları geliştirmişlerdir.

Enzimatik olmayan savunma mekanizmalarından birisi olan prolin, çözünür şekerler ve protein miktarının stres durumunda devreye girmesinin amacı su alımının düzenlenmesi ve mevcut su durumundan en iyi şekilde yararlanmaktır (Apel ve Hirt., 2004; Foyer ve Noctor, 2009; Godoy vd., 2021).

Enzimatik savunma mekanizmaları, stres durumunda oluşan ROS'lerin temizlenmesinde görev almaktadır. SOD, stres durumunda süperoksit radikallerini ortadan kaldırmak amacıyla süperoksit radikallerini H_2O_2 'ye çevirir ve CAT ortamdaki H_2O_2 'leri O_2 ve H_2O 'ya dönüştürmektedir. APX'de H_2O_2 'yi askorbat glutatyon döngüsüyle suya indirgemektedir. Bu şekilde hücre enzimatik yol yardımıyla

ROS'lerinden arındırılmaya çalışılmaktadır (Apel ve Hirt., 2004; Foyer ve Noctor, 2009; Godoy vd., 2021).

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen bulgular, *C.annuum* L. Oğuz ve Çözüm çeşitlerinde stres durumuna cevap olarak prolin miktarının arttığı kuraklık stresi+GR24 uygulaması sonucunda dirençli genotip Çözüm'de prolin miktarının azaldığı hassas genotip Oğuz'da prolin miktarının da arttığını göstermektedir. Bu durum hormon uygulamasının hassas genotipte ek bir stres faktörü gibi etki ettiğini düşündürmektedir. Yapılan literatür çalışması sonucunda Luqman vd., (2023), Ma vd., (2022) ve Ali vd., (2023) sonuçları bizim hassas genotipte gördüğümüz sonuçlarla benzerlik gösterirken Li vd., (2023) sonuçları dirençli genotipte gördüğümüz sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Luqman vd., (2023) (HY-1898, FH-1046) hibrit mısırdaki (*Zea mays*) kuraklık stresi karşısında sentetik SL GR24'ün etkilerini incelemişlerdir. Kuraklık stresi altında her iki çeşitte de GR24 konsantrasyonuna paralel olarak prolin içeriğinin arttığını bildirmişlerdir. Yine, Ma vd. (2017) üç farklı tuzluluk seviyesinde (0, 100 ve 200 mM NaCl) yetiştirilen kolza tohumlarında (*Brassica napus* L.) fide aşamasına geldiğinde 0.18 µM konsantrasyonunda GR24 uygulamasının antioksidan enzim aktivitesi ve lipid peroksidasyon testi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Tuzluluk stresi altında NaCl konsantrasyonunun artmasıyla birlikte MDA içeriğinin önemli ölçüde arttığını ve en yüksek içerik, kontrole kıyasla %81 artan 200 mM NaCl uygulamasında ortaya çıkmıştır. Beklendiği gibi GR24 uygulaması MDA birikimini uygulanan bütün NaCl konsantrasyonlarında anlamlı bir şekilde azaltmıştır. Süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinin uygulanan tuz konsantrasyonuna paralel olarak arttığı 100 mM ve 200 mM NaCl stresi arasında önemli bir fark bulunmazken her iki grubunda kontrole kıyasla önemli farklılık gösterdiği bildirilmiştir ve tuz stresiyle eşlik eden GR24 uygulamasının tek başına uygulanan tuz stresi gruplarına kıyasla yine aynı şekilde tuz konsantrasyonuna paralel olarak SOD miktarının önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. Ali vd. (2023) ise, (*Brassica rapa*)'da kuraklık stresinde püskürtme yöntemiyle uygulanan 10 µM konsantrasyonunda uyguladıkları GR24'ün etkilerini inceledikleri çalışma sonucunda, kuraklık stresiyle artan MDA miktarının kuraklık stresi+GR24 uygulaması sonucunda kontrol değerlerine ulaştığı ve kuraklık stresi uygulamasına göre kuraklık stresi+GR24 uygulaması sonucunda çözünebilir protein miktarı ve prolin miktarı önemli derecede artmıştır. SOD, CAT ve APX değerleri prolin ve çözünebilir protein verileri ile paralel sonuçlar elde etmişlerdir. Çalışmamız sonucunda elde edilen total protein miktarı değerleri, en yüksek total protein miktarının her iki genotipte de kuraklık stresi+GR24 uygulamasında olduğunu göstermiştir. Ma vd.

(2022), strigolaktonun tuz stresi üzerindeki etkisini incelemek için yaptıkları çalışmada çay çiçek elması (*Malus hupehensis*) fidelerinde 100 mM NaHCO₃ ve NaCl (tuzluluk-alkalinite) stresi uygulanarak püskürtme yöntemiyle farklı konsantrasyonlarda (10, 100 ve 1000 µM) eksojen GR24 uygulamasının MDA, SOD, CAT, prolin ve çözünür protein miktarı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kontrol grubuna kıyasla tuz stresinde yükselen MDA içeriği GR24 uygulaması sonucunda düşmüştür. SOD ve CAT analizleri sonucunda benzer şekilde kontrol grubuna göre tuz stresi sonucunda düşen SOD ve CAT verileri GR24 uygulaması sonucunda tuz stresine göre anlamlı bir şekilde artış göstermiştir. Tuz stresi sonucunda kontrol grubuna göre artış gösteren prolin miktarı GR24 uygulaması sonrası anlamlı şekilde artmıştır. Çözünür protein miktarı kontrol grubuna göre tuz stresi sonucunda artarken GR24 uygulaması sonrası anlamlı şekilde azalmıştır. Farklı olarak, Baltacı vd, (2023) domateste (*Solanum lycopersicum* L.) kuraklık stresi ile mücadelede 0.015mM konsantrasyonunda GR24 uygulaması sonucunda, kontrol grubuna oranla kuraklık stresinde total protein seviyesinde azalma, kuraklık stresi+GR24 uygulaması sonucunda kontrol seviyesine oranla bir iyileşme gözlemlemişlerdir. Kuraklık stresi ile artan APX miktarı kuraklık+GR24 uygulamasıyla önemli derecede azaldığını ve en yüksek CAT değerinin kuraklık stresi+GR24 uygulaması sonucunda elde edildiğini bildirmişlerdir. Buna göre Ali vd., (2023) ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Baltacı vd., (2023) ve Ma vd. (2022), stres+GR24 uygulaması sonucunda total protein miktarında düşüş gözlemlemişlerdir. Ma vd. (2022), Kapoor vd. (2023) ve Li vd. (2023)'nin çalışmalarına benzer olarak en yüksek prolin içeriği stres+GR24 grubunda gözlemlenmiştir. Kapoor vd. (2023) protein içeriği analizi sonuçlarımıza paralel olarak stres+GR24 uygulaması ile artış gösterirken, Ma vd. (2022) strese karşı GR24 uygulaması sonrası sonuçlarımızdan farklı olarak protein içeriğinde düşüş gözlemlemişlerdir. Bunun sebebi olarak da Ma vd. (2022) çalışmalarında bizim çalışmamızdan yaklaşık 5.9 ve 59.8 kat fazla konsantrasyonda GR24 kullanmış olması olarak düşünülmektedir.

Kuraklık stresi altında uygulanan strigolaktonun MDA miktarı üzerindeki etkilerine yönelik yapmış olduğumuz çalışma neticesinde, prolin miktarına paralel olarak Oğuz çeşidinde strigolaktonun MDA miktarında artışa sebep neden olan ek bir stres faktörü gibi çalıştığı ve kuraklığa dirençli Çözüm çeşidinde ise kuraklık stresi altında uygulanan strigolaktonun MDA miktarının kontrol grubu uygulaması MDA miktarına kıyasla iyileştirici bir etki ile kurak stresinin olumsuz etkisini hafifletmede başarılı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan literatür çalışması sonucunda Zhou vd., (2022) ve Ali vd.,

(2023) stres+GR24 uygulamasının stres durumunda artan MDA miktarını düşürdüğünü göstermişlerdir yani bu durum bizim çalışmamızda dirençli genotipte elde ettiğimiz sonuçlara paralellik göstermektedir. Ling vd. (2020) Jinongda 667 pirinç fidesine uyguladıkları tuz stresine GR24'ün etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada tuz stresi 200 mM NaCl ile sağlanırken GR24 0.1, 0.2, 1, 5 μ M konsantrasyonlarında uygulanmıştır. Tuz stresi uygulaması sonrası kontrol grubuna göre azalan bitki boyu ve kök uzunluğu tuz stresi uygulamasına kıyasla uygulanan tüm GR24 konsantrasyonları sonucunda kök uzunluğu ve bitki boyu iyileşmiştir. Tuz stresi uygulaması sonrası kontrol grubuna göre kök, gövde ve yapraklarda artan MDA miktarı uygulanan GR24 konsantrasyonlarına paralel olarak iyileşmiştir. Kontrol grubuna göre tuz stresi sonrası azalan SOD aktivitesi tüm GR24 uygulamaları konsantrasyonlarıyla paralel olarak SOD aktivitesi artış göstermiştir. Yine, Zhou vd. (2022), düşük ışık stresi uygulanan salatalık fidelerine eksojen olarak uygulanan 10 μ M strigolaktonun MDA, APX, bitki boyu, yaprak genişliği, gövde çapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Işık stresi sonrasında kontrol grubuna oranla bitki boyu, yaprak genişliği, gövde çapı azalırken ışık stresi+GR24 uygulaması sonrası ışık stresine göre yaprak genişliği ve gövde çapı anlamlı bir şekilde artmış ve bitki boyunda önemli bir değişim gözlenmemiştir. MDA analizi sonucunda ışık stresinde artan MDA miktarı, ışık stresi+GR24 uygulaması sonrası kök ve yapraklarda azaldığını göstermiştir. APX analizi sonucunda APX miktarı ışık stresi+GR24 uygulaması sonrasında ışık stresine göre önemli artış göstermiştir. Yapmış olduğumuz MDA analizi sonuçlarımıza göre kuraklık stresiyile artış gösteren MDA miktarı kuraklık stres+ GR24 uygulaması sonrası iyileşme göstermiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar ile yapılan literatür araştırmasıyla benzer sonuçlar ortaya koymuştur. Bunun sonucunda GR24 uygulaması farklı abiyotik stres durumlarında ve birbirinden farklı bitkilerde MDA miktarında azalmaya sebep olmaktadır.

Min vd., (2019), Sedagat vd., (2017) ile APX sonuçları Oui vd., (2021)'in çalışmalarında kullandığı dirençli genotip CAT sonuçları ve Baltacı vd., (2023) ile APX sonuçlarımız benzerlik gösterirken Ma vd., (2017) Ma vd., (2022), Li vd., (2023), Lu vd., (2019) ve yaptıkları çalışma sonucunda stres+GR24 uygulaması sonucunda SOD, CAT ve APX miktarının stres durumuna göre artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Sattar vd. (2022), kuraklık stresine maruz bırakılan mısır fidelerine spreyleme yöntemiyle uygulanan 10 ve 20 μ M GR24'ün kök uzunluğu, gövde uzunluğu, SOD, CAT ve APX aktivitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kontrol grubuna göre kuraklık stresi uygulamasıyla azalan kök ve gövde uzunluğu kuraklık stresi uygulamasına göre

uygulanan kuraklık stresi+GR24 konsantrasyonlarına paralel olarak önemli derecede artmıştır. Kontrol grubuna göre kuraklık stresi uygulaması sonrasında artan SOD, CAT ve APX aktivitesi kuraklık stresi uygulamasına göre kuraklık stresi+GR24 uygulaması sonucunda önemli bir artış göstermiştir. Yapılan çalışmamızda, antioksidan enzim aktivitesi testlerinden SOD, CAT ve APX sonuçlarına göre her iki genotipte de SOD, CAT ve APX miktarının kuraklık stresi+GR24 uygulaması sonucunda düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum stres koşullarında hormonun strese karşı iyileştirici etkisi olduğunu düşündürmektedir.

Sedaghat vd., 2020 kışlık buğday (*Triticum aestivum* L. 'Pishtaz') kuraklık stresinde yapraktan uygulanan 10 µM konsantrasyonunda GR24 sonucunda, kuraklık stresi uygulamasına göre kuraklık stresi+GR24 sonucunda prolin miktarı anlamlı olarak değiştiğini rapor etmiştir. Min vd. (2019) %7 PEG-6000 ile kuraklık stresi uyguladıkları üzüm fidelerine (*Vitis vinifera*) GR24'ün 1 µM, 3 µM ve 5 µM konsantrasyonlarının MDA, SOD, CAT ve APX aktivitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kuraklık stresi uygulamasının ardından 2, 72 ve 120 saat sonra gerçekleştirilen analizler sonucunda, 72 saat sonrasına kadar tüm uygulama gruplarında SOD aktivitesinde anlamlı bir fark gözlenmezken, 72. saatte tüm uygulama gruplarında SOD aktivitesi önemli ölçüde artmıştır. 120. saatte kontrol grubuna göre kuraklık stresi grubunda SOD aktivitesi anlamlı bir şekilde artış gösterirken, kuraklık stresi grubuna göre kuraklık stresi+GR24 uygulama gruplarında SOD aktivitesi azalmıştır. 120. saatte SOD aktivitesi tüm GR24 uygulamalarında kontrol grubuna göre anlamlı bir artış göstermiştir. Kontrol grubuna oranla kuraklık stresi uygulanan grupta en yüksek CAT ve APX aktivitesi 72. saatte gözlenmiştir. 72. saatte ve 120. saatte kuraklık stresi grubuna kıyasla tüm GR24 uygulamaları sonucunda CAT ve APX aktivitesi anlamlı bir azalış göstermiştir. En yüksek MDA miktarı 120. saatte kuraklık stresi grubunda gözlemlenmiştir ve tüm kontrol gruplarına kıyasla kuraklık stresi uygulaması MDA miktarında artışa sebep olmuştur. 120. saatte tüm GR24 uygulamaları sonucunda kuraklık stresiyle artan MDA miktarı önemli ölçüde azalmıştır. Qui vd. (2021) kadmiyum stresine duyarlı (W6nk2) ve dirençli (Zhenong8) arpa (*Hordeum vulgare* L.) tohumlarına 10µM konsantrasyonunda kadmiyum stresi uyguladıktan sonra eksojen 1 µM GR24 uygulamasının kök ve sürgünlerdeki MDA, SOD, CAT, APX etkilerini incelemiş ve kadmiyum stresi altında her iki genotipte de hem köklerde hem sürgünde MDA miktarı artış gösterirken strigolakton uygulaması sonrası MDA miktarı kadmiyum stresi seviyesine göre düşüş göstermiştir. Kadmiyum stresi sonucunda SOD aktivitesi kontrole kıyasla kök ve

sürgünlerde her iki genotipte de azalmış strigolakton uygulaması sonucunda SOD aktivitesi tüm kadmiyum stresi verilerine göre artış göstermiştir. CAT aktivitesi sürgünlerde strigolakton uygulaması sonucunda kadmiyum stresi uygulanmış gruba kıyasla artış gösterirken, köklerde strigolakton uygulaması sonucunda CAT aktivitesi kadmiyum stresi verilerine göre hassas genotipte artış göstermesine rağmen dirençli genotipte anlamlı bir fark göstermemiştir. APX aktivitesi kadmiyum stresi sonucunda kontrol grubuna göre azalırken strigolakton uygulaması sonucunda kök ve sürgünlerde her iki genotipte de artış göstermiştir. Yine, Li vd. (2023) salatalık (*Cucumis sativus* L.' Xinchun NO.4') tohumlarına uyguladıkları (0, 1, 10, 50 ve 100 mM) konsantrasyonunda tuz stresine karşı strigolaktonun (1, 5, 10 ve 20 μ M) konsantrasyonlarındaki etkisini SOD, CAT, APX, MDA, prolin ve kök uzunluğu analizleriyle açıklamışlardır. Çimlendirme çalışmaları sonucunda en uygun NaCl konsantrasyonu olan 50 mM NaCl+1 μ M GR24 ve 50 mM NaCl+5 μ M GR24 uygulamaları sonrası kontrol grubuna göre önemli bir düşüş gösteren kök uzunluğu 50 mM NaCl+10 μ M GR24 ve 50 mM NaCl+20 μ M GR24 uygulaması sonrası kontrol grubuyla aynı kök uzunluklarına sahip olmuştur. Kontrol grubuna göre tuz stresi ile artan MDA ve prolin miktarı tuz stresi+GR24 uygulaması sonrası kontrol grubu seviyesinde iyileşme göstermiştir. Kontrol grubuna göre tuz stresinde azalan SOD, CAT ve APX miktarı tuz stresi+ GR24 uygulaması sonrası SOD ve CAT miktarı kontrole göre anlamlı bir artış gösterirken APX miktarında bir farklılık gözlenmemiştir. Elde ettiğimiz bulgulara göre %10 PEG uygulamasına kıyasla %10PEG+10 μ M GR24 uygulaması sonucunda azalan SOD ve CAT aktivitesi Min vd. (2019) sonuçları ile benzerlik gösterirken yapılan literatür çalışmalarındaki diğer tüm sonuçlarda kuraklık stresine kıyasla stres+SL uygulaması sonrası SOD ve CAT aktivitesi artış göstermiştir. Benzer şekilde, Min vd. (2019) çalışmasında kuraklık stresini %7'lik PEG-6000 konsantrasyonu ile sağlamışlar ve çalışmamıza yakın değerler etmişlerdir. Yine, Kooper vd (2023) yaptıkları çalışmada, stres durumunda oluşan APX aktivitesi seviyesi stresle birlikte GR24 uygulaması sonrası indirgenmiştir. Li vd (2023) ve Qiu (2021) yaptıkları çalışma sonucunda kontrol grubuna göre stres durumunda azalan APX miktarı sonuçlarımızla uyum göstermiştir. Ancak Li vd. (2023), Liu vd. (2022), Qiu vd. (2021), Sattar vd. (2022), Sedaghat vd. (2017) ve Zhou vd. (2022) yapmış olduğumuz çalışmadan farklı olarak stres uygulaması durumundaki APX aktivitesinin seviyesi stres+GR24 uygulaması sonrası artış göstermiştir aynı şekilde Min vd. (2019), Sattar vd. (2022), Sedaghat vd. (2017) ve Zhou vd. (2022) stres durumunda APX aktivitesinin kontrol grubuna göre artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Mevcut çalışmalar ile elde edilen

bulgularımız arasında genel olarak benzerlik bulunsa da, biberde kuraklık stresinin olumsuz etkisinin strigolaktonlar aracılığıyla indirgenmesine yönelik literatürde bir çalışma bulunmadığından dolayı elde edilen bulgular literatürde bu alandaki eksikliğin giderilmesine olanak sağlamıştır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim faktörlerinde meydana gelen değişimler, bitkisel organizmalarda adaptasyon ve verimi etkileyen; toprakta azalan makro/mikro elementlerin, mikroorganizmaların, doğrudan/dolaylı etkileşimleri olan böcek populasyonlarının durumunu da etkilemektedir. Günümüzde tarımsal ekosistemler ve bitkisel üretim, iklim değişikliği ile a/biyotik stresler de dahil olmak üzere birçok farklı çevresel strese maruz kalmaktadır. Her zaman var olan doğal afet olarak adlandırılan kuraklık, bitkilerin morfolojilerini, ekolojilerini, metabolizmalarını ve moleküler mekanizmalarını uyarmak suretiyle bitki gelişimini olumsuz etkileyen çok boyutlu bir strestir. FAO 2021 raporuna göre bitkisel üretimde kuraklık, hayvancılıkta üretimin %34'ünü etkileyerek bu sektörün 37 milyar dolar zarar görmesine neden olmuştur. 2050 yılına kadar yaklaşık 9 milyar nüfusun talebini karşılamak için yıllık 3 milyar ton ürün üretim hedefine ulaşmak, mevcut ve beklenen kuraklık koşulları nedeniyle neredeyse imkânsız hale gelmiştir. Bu nedenle, araştırmacılar, kuraklık stresine adaptasyon gösterebilen bitki türlerini geliştirmek için karmaşık özellikleri moleküler düzeyde incelemekte ve bitkilerin stres toleransını veya duyarlılığını anlamaya çalışmaktadırlar. Bitkiler kuraklık stresi şartlarına uyum sağlamak amacıyla ortamda bulunan suyun etkili kullanabilmesi için çeşitli mekanizmalar geliştirirken, bitki metabolizmasında da biyokimyasal ve morfolojik değişimler meydana gelmektedir. Kuraklık stresi altında çözünür şekerler, organik asitler, fenolikler, amino asitler, yağ asitleri, nükleotidler, peptitler gibi bitki savunma sisteminde hayati öneme sahip metabolomiklerin miktarlarında da değişim meydana gelmektedir. Sonuç olarak kuraklık stresine verilen fizyolojik tepkiler, metabolizmanın ve gen ekspresyonunun yeniden programlanmasıyla sonuçlanmaktadır.

Kuraklık periyodu küresel iklim değişikliğinden dolayı dünya genelinde sıklıkla dile getirilen bir durum haline gelmiştir. Bu nedenle de endüstriyel üretimde bitkilerin verim ve kalite özelliklerinin artırılmasına yönelik kuraklık stresine direnç ve toleransın geliştirilmesi modern tarımın en önemli çalışma alanı olarak yerini almıştır. Biber (*Capsicum annuum* L.) dünya genelinde kültüre edilen en önemli tarım bitkilerinden biri olup çok sayıda ticari çeşidi bulunmaktadır. Ancak biyotik ve özellikle en önemli abiyotik streslerden biri olan kuraklık stresi biberde meyve kalitesi ve verimini azaltmaktadır. Zira türlerde yetiştiriciler her zaman spesifik streslere dirençli, ürün ve kalite özellikleri iyileştirilmiş genotipleri yetiştirme eğilimindedirler.

Bu çalışmada; *C. annuum* L. Oğuz ve Çözüm çeşitleri %10 PEG ile kuraklık stresine maruz bırakıldıkları ortamda çimlendirilmişlerdir ve kuraklık stresinin çimlenme üzerindeki olumsuz etkileri belirlenmiştir. Eksojen olarak uygulanan sentetik bir strigolakton olan 10 µM konsantrasyonunda GR24 hem ön uygulamaya tabi tutulmak suretiyle fizyolojik hem de yapraktan spreyleme yöntemiyle uygulanmak suretiyle fizyolojik ve biyokimyasal aktivite bakımından değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular ile, kuraklığa dirençli ve hassas çeşitlerin belirlenmesinin yanı sıra yeni çeşitlerin geliştirilmesinde bitki ıslahında ihtiyaç duyulan fizyolojik ve biyokimyasal tepkilere yönelik yanıtların tanımlanmış olması açısından çalışmamız oldukça değerlidir. Gelecekte, ülkemiz için spesifik olarak kuraklık stres direnci yüksek, verim ve kalite özellikleri bakımından değerli bir çeşidin geliştirilmesine destek olacak ve biber araştırmacıları açısından literatüre oldukça önemli bulgular ile katkı sağlayacaktır. Bu durumun çevresel ve insan sağlığı açısından büyük bir kazanım olacağı ve dolayısı ile yaşam kalitesine olumlu bir katkı sunacağı düşünülmektedir. Sonuç olarak, kuraklık stresinin biber büyüme/gelişmesi üzerindeki olumsuz etkilerinin indirgenmesinde eksojen strigolakton uygulamasının etkilerinin ortaya konulması açısından oldukça önemli bir çalışmadır. İklim değişikliği senaryolarında oluşacak olan gıda güvenliği tehdidinde gıda verimliliğin korunmasında bir yol gösterici niteliğinde olacaktır. Strigolaktonların kuraklık stresinde *C. annuum* L. fizyolojisinde yarattığı etkileri ve bu etkilerin metabolik yollarda ortaya çıkardığı değişikliklerin transkriptomik analizler ile gen ifade seviyesinde meydana gelen değişikliklerin tanımlanması noktasında gelecekte yapılacak çalışmalara kaynak oluşturacaktır. Bir ülkenin ekonomik bağımsızlığı, kendi tarım ürünlerini üretebilmesi ve Dünya'ya pazarlayabilmesi ile eş zamanlıdır. Bu bağlamda, ülkemize ait biberdeki mevcut çeşitlerin taranması ve biber üretiminin artırılması, tarım boyutunda biberde ekonomik kazanımların elde edilmesi açısından birincil önceliklidir. İklim değişikliği kaynaklı kuraklık stresi nedeniyle her geçen yıl yeni ve dirençli genotiplere ihtiyaç duyduğumuz tarımsal endüstride modern biyoteknolojik yöntemler ile kısa sürede adaptif yeni çeşitlerin geliştirilmesinin tasarlanmasının ekonomimize sunacağı katkı yadsınamaz bir gerçektir.

KAYNAKLAR

- Agarwal, P. K., Shukla, P. S., Gupta, K., ve Jha, B. (2013). Bioengineering for salinity tolerance in plants: State of the art. *Molecular Biotechnology*, 54(1), 102–123. <https://doi.org/10.1007/s12033-012-9538-3>.
- Akiyama, K., Matsuzaki, K. I., ve Hayashi, H. (2005). Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature*, 435(7043), 824–827. doi:10.1038/nature03608.
- Akiyama, K., Ogasawara, S., Ito, S., ve Hayashi, H. (2010). Structural requirements of strigolactones for hyphal branching in AM fungi. *Plant and Cell Physiology*, 51(7), 1104–1117. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcq058>.
- Al-Babili, S., ve Bouwmeester, H. J. (2015). Strigolactones, a novel carotenoid-derived plant hormone. *Annual Review of Plant Biology*, 66, 161–186. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043014-114759>.
- Alder, A., Jamil, M., Marzorati, M., Bruno, M., Vermathen, M., Bigler, P., Ghisla, S., Bouwmeester, H., Beyer, P., ve Al-Babili, S. (2012). The path from β -carotene to carlactone, a strigolactone-like plant hormone. *Science*. Mar 16;335(6074):1348–51. doi: 10.1126/science.1218094.
- Ali, A., Shah, T., Haider, G., Awan, M. I., Gohar, M., Munsif, F., ve Ahmad, I. (2023). Strigolactone-mediated oxidative stress alleviation in *Brassica rapa* through upregulating antioxidant system under water deficit conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-10925-0>.
- Anfang, M., ve Shani, E. (2021). Transport mechanisms of plant hormones. *Current Opinion in Plant Biology*, 63, 102055. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2021.102055>.
- Apel, K., ve Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55(May), 373–399. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>.
- Ashraf, M. Y., ve Wu, L. (1994). Breeding for salinity tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 13(1), 17–42. doi10.1080/07352689409701906.
- Atkinson, N. J., ve Urwin, P. E. (2012). The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of experimental botany*, 63(10), 3523–3543.
- Austin, R. B. (1989). 13 Prospects for improving crop production in stressful environments. *Plants under stress: biochemistry, physiology, and ecology and their application to plant improvement*, 39, 235.
- Avery Jr., G. S. (1937). The Growth Hormones Found in Plants. *The Ohio Journal of Science*, 37(6), 317–332. <http://hdl.handle.net/1811/2894>.

- Baillo, E. H., Kimotho, R. N., Zhang, Z., ve Xu, P. (2019). Transcription factors associated with abiotic and biotic stress tolerance and their potential for crops improvement. *Genes*, 10(10), 1–23. <https://doi.org/10.3390/genes10100771>.
- Bakthavatsalam, N. (2016). Semiochemicals. *Ecofriendly Pest Management for Food Security*, 563–611. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803265-7.00019-1>.
- Balbi, V., ve Devoto, A. (2008). Jasmonate signalling network in *Arabidopsis thaliana*: Crucial regulatory nodes and new physiological scenarios. *New Phytologist*, 177(2), 301–318. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02292.x>.
- Baltacıer, G., Donat, S., ve Acar, O. (2023). The effects of exogenous salicylic acid and strigolactone applications on seedling growth and antioxidant activity in tomato seedlings under short-term drought stress. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 89–101. <https://doi.org/10.21597/jist.1179027>.
- Barboza, G. E., de Bem Bianchetti, L., ve Stehmann, J. R. (2020). *Capsicum carassense* (Solanaceae), a new species from the Brazilian Atlantic Forest. *PhytoKeys*, 140, 125–138. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.140.47071>.
- Barboza, G. E., García, C. C., González, S. L., Scaldaferrro, M., ve Reyes, X. (2019). Four new species of *Capsicum* (Solanaceae) from the tropical Andes and an update on the phylogeny of the genus. *PLoS ONE*, 14(1), 1–26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209792>.
- Bari, R., ve Jones, J. D. G. (2009). Role of plant hormones in plant defence responses. *Plant Molecular Biology*, 69(4), 473–488. <https://doi.org/10.1007/s11103-008-9435-0>.
- Bates, L.S., Waldren, R.P., ve Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205–207.
- Beauchamp, C., Fridovich, I., (1971). Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, 1, 276–287.
- Beers, R.F., ve Sizer, I.W. (1952). A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Journal of Biological Chemistry*, 133–140.
- Bomle, D. V., Kiran, A., Kumar, J. K., Nagaraj, L. S., Pradeep, C. K., Ansari, M. A., Alghamdi, S., Kabrah, A., Assaggaf, H., Dablood, A. S., Murali, M., Amruthesh, K. N., Udayashankar, A. C., ve Niranjana, S. R. (2021). Plants saline environment in perception with rhizosphere bacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 22, Issue 21). <https://doi.org/10.3390/ijms222111461>.

- Bottner, P., Coûteaux, M. M., ve Vallejo, V. R. (1995). Soil organic matter in Mediterranean-type ecosystems and global climatic changes: a case study—the soils of the Mediterranean Basin. In *Global Change and Mediterranean-Type Ecosystems*, 117, 306–325. New York, NY: Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4186-7_15.
- Boursiac, Y., Lérans, S., Corratgé-Faillie, C., Gojon, A., Krouk, G., ve Lacombe, B. (2013). ABA transport and transporters. *Trends in Plant Science*, 18(6), 325–333. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.01.007>.
- Boyer, F. D., De Saint Germain, A., Pouvreau, J. B., Clavé, G., Pillot, J. P., Roux, A., Rasmussen, A., Depuydt, S., Lauressergues, D., Frei Dit Frey, N., Heugebaert, T. S. A., Stevens, C. V., Geelen, D., Goormachtig, S., ve Rameau, C. (2014). New strigolactone analogs as plant hormones with low activities in the rhizosphere. *Molecular Plant*, 7(4), 675–690. <https://doi.org/10.1093/mp/sst163>.
- Bradford, MM., (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 258–254.
- Broekaert, W. F., Delauré, S. L., De Bolle, M. F. C., ve Cammue, B. P. A. (2006). The role of ethylene in host-pathogen interactions. *Annual Review of Phytopathology*, 44, 393–416. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143440>.
- Bueno, P., Piqueras, A., Kurepa, J., Savouré, A., Verbruggen, N., Van Montagu, M., ve Inzé, D. (1998). Expression of antioxidant enzymes in response to abscisic acid and high osmoticum in tobacco BY-2 cell cultures. *Plant Science*, 138(1), 27–34. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(98\)00154-X](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(98)00154-X).
- Bürger, M., ve Chory, J. (2020). The many models of strigolactone signaling. *Trends in Plant Science*, 25(4), 395–405. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.12.009>.
- Cao, X., Zhu, C., Zhong, C., Hussain, S., Zhu, L., Wu, L., ve Jin, Q. (2018). Mixed-nitrogen nutrition-mediated enhancement of drought tolerance of rice seedlings associated with photosynthesis, hormone balance and carbohydrate partitioning. *Plant Growth Regulation*, 84(3), 451–465. <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0352-6>.
- Carrizo García, C., Barfuss, M. H. J., Sehr, E. M., Barboza, G. E., Samuel, R., Moscone, E. A., ve Ehrendorfer, F. (2016). Phylogenetic relationships, diversification and expansion of chili peppers (*Capsicum*, Solanaceae). *Annals of Botany*, 118(1), 35–51. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw079>.
- Carvalho, M., Castro, I., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Egea-Cortines, M., Matos, M., Rosa, E., Carnide, V., ve Lino-Neto, T. (2019). Evaluating stress responses in cowpea under drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 241(June), 153001. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.153001>.

- Chan, K. X., Wirtz, M., Phua, S. Y., Estavillo, G. M., ve Pogson, B. J. (2013). Balancing metabolites in drought: The sulfur assimilation conundrum. *Trends in Plant Science*, 18(1), 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.07.005>.
- Chen, W.P., Li, P.H., ve Chen, T.H.H. (2000). Glycinebetaine increases chilling tolerance and reduces chilling-induced lipid peroxidation in *Zea mays* L. *Plant, Cell & Environment*, 6, 609–618.
- Chirkova T.V. (2002). *Physiologicheskiye osnovy ustojchivosti rastenii. Izdatelstvo Sankt-Peterburgskogo Universiteta*: Saint Petersburg, Russia, 1–244.
- Cohen, S. P., ve Leach, J. E. (2019). Abiotic and biotic stresses induce a core transcriptome response in rice. *Scientific reports*, 9(1), 6273.
- Cook, C.E., Whichard, L.P., Turner, B., Wall, M.E., ve Egley, G.H. (1966). Germination of witchweed (*Striga lutea* Lour.): Isolation and properties of a potent stimulant. *Science*.154:1189–1190. doi:10.1126/science.154.3753.1189.
- Davies Jr, F. T., Olalde-Portugal, V., Aguilera-Gomez, L., Alvarado, M. J., Ferrera-Cerrato, R. C., ve Boutton, T. W. (2002). Alleviation of drought stress of Chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L. cv. San Luis) with arbuscular mycorrhiza indigenous to Mexico. *Scientia Horticulturae*, 92(3-4), 347–359.
- De Azevedo Neto, A. D., Prisco, J. T., Enéas-Filho, J., Abreu, C. E. B. De, ve Gomes-Filho, E. (2006). Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, 56(1), 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.01.008>.
- de Pinto, M. C., Locato, V., Sgobba, A., Romero-Puertas, M. del C., Gadaleta, C., Delledonne, M., ve De Gara, L. (2013). S-nitrosylation of ascorbate peroxidase is part of programmed cell death signaling in Tobacco bright yellow-2 cells. *Plant Physiology*, 163(4), 1766–1775. <https://doi.org/10.1104/pp.113.222703>.
- Deikman, J., Petracek, M., ve Heard, J. E. (2012). Drought tolerance through biotechnology: Improving translation from the laboratory to farmers' fields. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 243–250. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.11.003>.
- Efeoğlu, B., Ekmekçi, Y., ve Çiçek, N. (2009). Erratum to Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *South African Journal of Botany*, 75 (2009) 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2009.02.177>.
- Eshbaugh, W. H. (2012). The taxonomy of the genus *capsicum*. *Peppers: Botany, Production and Uses*, February 2012, 14–28. <https://doi.org/10.1079/9781845937676.0014>.

- Fahad, S., Hussain, S., Bano, A., Saud, S., Hassan, S., Shan, D., Huang, J. 2015. Potential role of phytohormones and plant growth-promoting rhizobacteria in abiotic stresses: consequences for changing environment, *Environmental Science and Pollution Research*, 22(7), 4907-4921.
- Fishel, F. M. (2006). Plant growth regulators. *Pesticide Information Office, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida*. PI-102.
- Flematti, G. R., Scaffidi, A., Waters, M. T., ve Smith, S. M. (2016). Stereospecificity in strigolactone biosynthesis and perception. *Planta*, 243, 1361–1373. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2523-5>.
- Flowers, T. J. (2004). Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 55(396), 307–319. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh003>.
- Foyer, C. H., Rasool, B., Davey, J. W., ve Hancock, R. D. (2016). Cross-tolerance to biotic and abiotic stresses in plants: a focus on resistance to aphid infestation. *Journal of experimental botany*, 67(7), 2025-2037.
- Foyer, C. H., ve Noctor, G. (2009). Redox regulation in photosynthetic organisms: signaling, acclimation, and practical implications. *Antioxidants & redox signaling*, 11(4), 861-905.
- Gisbert-Mullor, R., Martín-García, R., Bažon Zidarić, I., Pascual-Seva, N., Pascual, B., Padilla, Y. G., Calatayud, Á., ve López-Galarza, S. (2023). A water stress-tolerant pepper rootstock improves the behavior of pepper plants under deficit irrigation through root biomass distribution and physiological adaptation. *Horticulturae*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030362>.
- Glazebrook, J. (2005). Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 43, 205–227. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.040204.135923>.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., ve Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812–818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>.
- Godoy, F., Olivos-Hernández, K., Stange, C., ve Handford, M. (2021). Abiotic stress in crop species: Improving tolerance by applying plant metabolites. *Plants*, 10(2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/plants10020186>.
- Golldack, D., Li, C., Mohan, H., ve Probst, N. (2014). Tolerance to drought and salt stress in plants: Unraveling the signaling networks. *Frontiers in Plant Science*, 5(APR), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00151>.
- Graeber, K., Nakabayashi, K., Miatton, E., Leubner-Metzger, G., ve Soppe, W. J. J. (2012). Molecular mechanisms of seed dormancy. *Plant, Cell and Environment*, 35(10), 1769–1786. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02542.x>.

- Guo, R., Shi, L. X., Jiao, Y., Li, M. X., Zhong, X. L., Gu, F. X., Liu, Q., Xia, X., ve Li, H. R. (2018). Metabolic responses to drought stress in the tissues of drought-tolerant and drought-sensitive wheat genotype seedlings. *AoB PLANTS*, 10(2), 1–13. <https://doi.org/10.1093/aobpla/ply016>.
- Ha, C. Van, Leyva-Gonzalez, M. A., Osakabe, Y., Tran, U. T., Nishiyama, R., Watanabe, Y., Tanaka, M., Seki, M., Yamaguchi, S., Dong, N. Van., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., Herrera-Estrella, L., ve Tran, L. S. P. (2014). Positive regulatory role of strigolactone in plant responses to drought and salt stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(2), 851–856. <https://doi.org/10.1073/pnas.1322135111>.
- Haider, I., Andreo-Jimenez, B., Bruno, M., Bimbo, A., Floková, K., Abuauf, H., Ntui, V. O., Guo, X., Charnikhova, T., Al-Babili, S., Bouwmeester, H. J., ve Ruyter-Spiral, C. (2018). The interaction of strigolactones with abscisic acid during the drought response in rice. *Journal of Experimental Botany*, 69(9), 2403–2414. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery089>.
- Hamiaux, C., Drummond, R. S. M., Janssen, B. J., Ledger, S. E., Cooney, J. M., Newcomb, R. D., ve Snowden, K. C. (2012). DAD2 is an α/β hydrolase likely to be involved in the perception of the plant branching hormone, strigolactone. *Current Biology*, 22(21), 2032–2036. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.08.007>.
- Hopkins, W.G. (1999). *Introduction to Plant Physiology*. 2nd ed.; John Wiley & Sons: New York, NY, USA.
- [Http://1.Https://www.un.org/en/global issues/population#:~:text=The%20world's%20population%20is%20expected,billion%20in%20the%20mid%2D2080s](https://www.un.org/en/global/issues/population#:~:text=The%20world's%20population%20is%20expected,billion%20in%20the%20mid%2D2080s).
- Huseynova, I. M. (2012). Photosynthetic characteristics and enzymatic antioxidant capacity of leaves from wheat cultivars exposed to drought. *Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics*, 1817(8), 1516–1523. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2012.02.037>.
- Islam, S., Griffiths, C. A., Blomstedt, C. K., Le, T. N., Gaff, D. F., Hamill, J. D., ve Neale, A. D. (2013). Increased biomass, seed yield and stress tolerance is conferred in *Arabidopsis* by a novel enzyme from the resurrection grass *Sporobolus stapfianus* that glycosylates the strigolactone analogue GR24. *PLoS ONE*, 8(11), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080035>.
- Kapoor, R. T., Ahmad, A., Shakoor, A., Paray, B. A., ve Ahmad, P. (2023). Nitric oxide and strigolactone alleviate mercury-induced oxidative stress in *Lens culinaris* L. by modulating glyoxalase and antioxidant defense system. *Plants*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/plants12091894>.

- Kapulnik, Y., ve Koltai, H. (2014). Strigolactone involvement in root development, response to abiotic stress, and interactions with the biotic soil environment. *Plant Physiol* 166:560–569. <https://doi.org/10.1104/pp.114.244939>.
- Kasim, W. A., Osman, M. E., Omar, M. N., Abd El-Daim, I. A., Bejai, S., ve Meijer, J. (2013). Control of drought stress in wheat using plant-growth-promoting bacteria. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(1), 122–130. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9283-7>.
- Kato, M., ve Shimizu, S. (1987). Chlorophyll metabolism in higher plants. VII. Chlorophyll degradation in senescing tobacco leaves; phenolic-dependent peroxidative degradation. *Canadian Journal of Botany*, 65.
- Kulkarni, M. ve Phalke, S. (2009). Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum annuum* L.) under water stress. *Scientia Horticulturae*, 120: 159-166, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.10.007>.
- Lakshmi Sahitya, U., Krishna, M. S. R., Sri Deepthi, R., Shiva Prasad, G., ve Peda Kasim, D. (2018). Seed antioxidants interplay with drought stress tolerance indices in chilli (*Capsicum annuum* L) seedlings. *BioMed Research International*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1605096>.
- Landi, S., De Lillo, A., Nurcato, R., Grillo, S., ve Esposito, S. (2017). In-field study on traditional Italian tomato landraces: The constitutive activation of the ROS scavenging machinery reduces effects of drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.06.011>.
- Leskovar, D. I., ve Cantliffe, D. J. (2019). Pepper Seedling Growth Response to Drought Stress and Exogenous Absciscic Acid. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(3), 389–393. <https://doi.org/10.21273/jashs.117.3.389>.
- Li, C., Lu, X., Liu, Y., Xu, J., ve Yu, W. (2023). Strigolactone alleviates the adverse effects of salt stress on seed germination in cucumber by enhancing antioxidant capacity. *Antioxidants*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/antiox12051043>.
- Li, L., Gu, W., Li, J., Li, C., Xie, T., Qu, D., Meng, Y., Li, C., ve Wei, S. (2018). Exogenously applied spermidine alleviates photosynthetic inhibition under drought stress in maize (*Zea mays* L.) seedlings associated with changes in endogenous polyamines and phytohormones. *Plant Physiology and Biochemistry*, 129(May), 35–55. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.017>.
- Li, Y., Li, S., Feng, Q., Zhang, J., Han, X., Zhang, L., Yang, F., ve Zhou, J. (2022). Effects of exogenous strigolactone on the physiological and ecological characteristics of *Pennisetum purpureum* Schum. seedlings under drought stress. *BMC Plant Biology*, 22(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03978-y>.
- Ling, F., Su, Q., Jiang, H., Cui, J., He, X., Wu, Z., Zhang, Z., Liu, J., ve Zhao, Y. (2020). Effects of strigolactone on photosynthetic and physiological characteristics in salt-stressed rice seedlings. *Scientific Reports*, 10(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63352-6>.

- Liu, H., Li, C., Yan, M., Zhao, Z., Huang, P., Wei, L., Wu, X., Wang, C., ve Liao, W. (2022). Strigolactone is involved in nitric oxide-enhanced the salt resistance in tomato seedlings. *Journal of Plant Research*, 135(2), 337–350. <https://doi.org/10.1007/s10265-022-01371-2>.
- Loake, G., ve Grant, M. (2007). Salicylic acid in plant defence-the players and protagonists. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(5), 466–472. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.08.008>.
- López-Serrano, L., Penella, C., Bautista, A. S., López-Galarza, S., ve Calatayud, A. (2017). Physiological changes of pepper accessions in response to salinity and water stress. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15(3). <https://doi.org/10.5424/sjar/2017153-11147>.
- Lorenzo, O., ve Solano, R. (2005). Molecular players regulating the jasmonate signalling network. *Current Opinion in Plant Biology*, 8(5), 532–540. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2005.07.003>.
- Lu, T., Yu, H., Li, Q., Chai, L., ve Jiang, W. (2019). Improving plant growth and alleviating photosynthetic inhibition and oxidative stress from low-light stress with exogenous GR24 in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 10(April), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00490>.
- Luqman, M., Shahbaz, M., ve Waraich, E. A. (2023). Effect of different concentrations of Gr24 as seed priming treatment on physio-chemical and yield related attributes of maize (*Zea mays*) hybrids under drought stress. *Pakistan Journal of Botany*, 55(4), 1257–1266. [https://doi.org/10.30848/PJB2023-4\(24\)](https://doi.org/10.30848/PJB2023-4(24)).
- Ma, C., Bian, C., Liu, W., Sun, Z., Xi, X., Guo, D., Liu, X., Tian, Y., Wang, C., ve Zheng, X. (2022). Strigolactone alleviates the salinity-alkalinity stress of *Malus hupehensis* seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 13(July), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.901782>.
- Ma, N., Hu, C., Wan, L., Hu, Q., Xiong, J., ve Zhang, C. (2017). Strigolactones improve plant growth, photosynthesis, and alleviate oxidative stress under salinity in rapeseed (*Brassica napus* L.) by regulating gene expression. *Frontiers in Plant Science*, 8(September), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01671>.
- Macar, T. K., ve Ekmekçi, Y. (2008). PSII photochemistry and antioxidant responses of a chickpea variety exposed to drought. *Zeitschrift Fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences*, 63(7–8), 583–594. <https://doi.org/10.1515/znc-2008-7-820>.
- Macias-Bobadilla, I., Vargas-Hernandez, M., Guevara-Gonzalez, R. G., Rico-Garcia, E., Ocampo-Velazquez, R. V., ve Torres-Pacheco, I. (2020). Differential response to water deficit in chili pepper (*Capsicum annuum* L.) growing in two types of soil under different irrigation regimes. *Agriculture (Switzerland)*, 10(9), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090381>.

- Mahmood, T., Khalid, S., Abdullah, M., Ahmed, Z., Shah, M. K. N., Ghafoor, A., ve Du, X. (2020). Insights into drought stress signaling in plants and the molecular genetic basis of cotton drought tolerance. *Cells*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/cells9010105>.
- Mangnus, E. M., Stommen, P. L. A., ve Zwanenburg, B. (1992). A standardized bioassay for evaluation of potential germination stimulants for seeds of parasitic weeds. *Journal of Plant Growth Regulation*, 11(2), 91–98. <https://doi.org/10.1007/BF00198020>.
- Mangnus, E. M., ve Zwanenburg, B. (1992). Tentative molecular mechanism for germination stimulation of Striga and Orobanche seeds by strigol and its synthetic analogs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(6), 1066–1070. <https://doi.org/10.1021/jf00018a032>.
- Mardani, S., Tabatabaei, S. H., Pessarakli, M., ve Zareabyaneh, H. (2017). Physiological responses of pepper plant (*Capsicum annuum* L.) to drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 40(10), 1453–1464. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1269342>.
- Mavi, K. (2020). Interspecific hybridization in pepper species. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 3(3), 386–406. <https://doi.org/10.38001/ijlsb.722036>.
- Mejía-Teniente, L., Duran-Flores, F. de D., Chapa-Oliver, A. M., Torres-Pacheco, I., Cruz-Hernández, A., González-Chavira, M. M., Ocampo-Velázquez, R. V., ve Guevara-González, R. G. (2013). Oxidative and molecular responses in *Capsicum annuum* L. after hydrogen peroxide, salicylic acid and chitosan foliar applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 10178–10196. <https://doi.org/10.3390/ijms140510178>.
- Min, Z., Li, R., Chen, L., Zhang, Y., Li, Z., Liu, M., Ju, Y., ve Fang, Y. (2019). Alleviation of drought stress in grapevine by foliar-applied strigolactones. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135(November 2018), 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.037>.
- Miransari, M., ve Smith, D. L. (2014). Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, 99, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.005>.
- Mosa, K. A., Ismail, A., Helmy, M., Mosa, K. A., Ismail, A., ve Helmy, M. (2017). Introduction to plant stresses. *Plant Stress Tolerance: An Integrated Omics Approach*, 1-19.
- Moscone, E. A., Scaldaferrro, M. A., Grabiele, M., Jarret, R., Ducasse, D. A., Gloria, E., Ehrendorfer, F., Universitaria, C., ve Resources, P. G. (2007). The evolution of chili peppers (*Capsicum* - *Solanaceae*): a cytogenetic perspective. *Acta Horticultureae*, 745, 137–170.

- Murali, M., ve Amruthesh, K. N. (2015). Plant growth-promoting fungus *Penicillium oxalicum* enhances plant growth and induces resistance in pearl millet against downy mildew disease. *Journal of Phytopathology*, 163(9), 743-754.
- Murali, M., Singh, S. B., Gowtham, H. G., Shilpa, N., Prasad, M., Aiyaz, M., ve Amruthesh, K. N. (2021). Induction of drought tolerance in *Pennisetum glaucum* by ACC deaminase producing PGPR-*Bacillus amyloliquefaciens* through antioxidant defense system. *Microbiological Research*, 253, 126891.
- Mushtaq, N., Wang, Y., Fan, J., Li, Y., ve Ding, J. (2022). Down-regulation of cytokinin receptor gene SIHK2 improves plant tolerance to drought, heat, and combined stresses in tomato. *Plants*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/plants11020154>.
- Nadeem, S. M., Zahir, Z. A., Naveed, M., ve Ashraf, M. (2010). Microbial ACC-deaminase: prospects and applications for inducing salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29(6), 360-393.
- Nakamura, H., Xue, Y. L., Miyakawa, T., Hou, F., Qin, H. M., Fukui, K., Shi, X., Ito, E., Ito, S., Park, S. H., Miyauchi, Y., Asano, A., Totsuka, N., Ueda, T., Tanokura, M., ve Asami, T. (2013). Molecular mechanism of strigolactone perception by DWARF14. *Nature Communications*, 4. <https://doi.org/10.1038/ncomms3613>.
- Napieraj, N., Janicka, M., ve Reda, M. (2023). Interactions of polyamines and phytohormones in plant response to abiotic stress. *Plants*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/plants12051159>.
- Nayyar, H., ve Gupta, D. (2006). Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*, 58(1-3), 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.06.021>.
- Osmolovskaya, N., Shumilina, J., Kim, A., Didio, A., Grishina, T., Bilova, T., Keltsieva, O. A., Zhukov, V., Tikhonovich, I., Tarakhovskaya, E., Frolov, A., ve Wessjohann, L. A. (2018). Methodology of drought stress research: Experimental setup and physiological characterization. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(12). <https://doi.org/10.3390/ijms19124089>.
- Park, J., Lee, Y., Martinoia, E., ve Geisler, M. (2017). Plant hormone transporters: What we know and what we would like to know. *BMC Biology*, 15(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s12915-017-0443-x>.
- Pereira, J. S., ve Chaves, M. M. (1993). Plant water deficits in Mediterranean ecosystems. *Water deficits: Plant response from cell to community*. OxfordBIOS Scientific 237-251.
- Pereira, J. S., ve Chaves, M. M. (1995). Plant responses to drought under climate change in Mediterranean-type ecosystems. In *Global change and Mediterranean-type ecosystems*. 117, 140-160. New York, NY: Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4186-7_7.

- Pieterse, C. M. J., Van Der Does, D., Zamioudis, C., Leon-Reyes, A., ve Van Wees, S. C. M. (2012). Hormonal modulation of plant immunity. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 28, 489–521. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-092910-154055>.
- Qiu, C. W., Zhang, C., Wang, N. H., Mao, W., ve Wu, F. (2021). Strigolactone GR24 improves cadmium tolerance by regulating cadmium uptake, nitric oxide signaling and antioxidant metabolism in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environmental Pollution*, 273, 116486. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116486>.
- Quamruzzaman, M., Manik, S. M. N., Shabala, S., ve Zhou, M. (2021). Improving performance of salt-grown crops by exogenous application of plant growth regulators. *Biomolecules*, 11(6), 1–22. <https://doi.org/10.3390/biom11060788>.
- Quain, M. D., Makgopa, M. E., Márquez-García, B., Comadira, G., Fernandez-Garcia, N., Olmos, E., Schnaubelt, D., Kunert, K. J., ve Foyer, C. H. (2014). Ectopic phytocystatin expression leads to enhanced drought stress tolerance in soybean (*Glycine max*) and *Arabidopsis thaliana* through effects on strigolactone pathways and can also result in improved seed traits. *Plant Biotechnology Journal*, 12(7), 903–913. <https://doi.org/10.1111/pbi.12193>.
- Rademacher, W. (2015). Plant growth regulators: Backgrounds and uses in plant production. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34(4), 845–872. <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6>.
- Rehman, S., Harris, P.J.C., Ashraf, M., (2005). Stress environments and their impact on crop production. *Abiotic Stresses: Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches*, 3-15.
- Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., Wetterstrand, H., DeClerck, F., Shah, M., Steduto, P., de Fraiture, C., Hatibu, N., Unver, O., Bird, J., Sibanda, L., ve Smith, J. (2017). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46(1), 4–17. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0793-6>.
- Rodríguez-Calzada, T., Qian, M., Strid, Å., Neugart, S., Schreiner, M., Torres-Pacheco, I., ve Guevara-González, R. G. (2019). Effect of UV-B radiation on morphology, phenolic compound production, gene expression, and subsequent drought stress responses in chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 134(June 2018), 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.06.025>.
- Ruyter-Spira, C., Kohlen, W., Charnikhova, T., van Zeijl, A., van Bezouwen, L., de Ruijter, N., Cardoso, C., Lopez-Raez, J.A., Matusova, R., ve Bours, R. (2011). Physiological effects of the synthetic strigolactone analog GR24 on root system architecture in *Arabidopsis*: another belowground role for strigolactones? *Plant Physiol* 155:721–734. <https://doi.org/10.1104/pp.110.166645>.

- Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. del M., Blasco, B., Leyva, R., Romero, L., ve Ruiz, J. M. (2012). Antioxidant response resides in the shoot in reciprocal grafts of drought-tolerant and drought-sensitive cultivars in tomato under water stress. *Plant Science*, 188–189, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.12.019>.
- Santner, A., ve Estelle, M. (2009). Recent advances and emerging trends in plant hormone signalling. *Nature*, 459(7250), 1071–1078. <https://doi.org/10.1038/nature08122i>
- Santoro, V., Schiavon, M., Gresta, F., Ertani, A., Cardinale, F., Sturrock, C. J., Celi, L., ve Schubert, A. (2020). Strigolactones control root system architecture and tip anatomy in *Solanum lycopersicum* L. plants under P starvation. *Plants*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/plants9050612>.
- Sattar, A., Ul-Allah, S., Ijaz, M., Sher, A., Butt, M., Abbas, T., Irfan, M., Fatima, T., Alfarraj, S., ve Alharbi, S. A. (2022). Exogenous application of strigolactone alleviates drought stress in maize seedlings by regulating the physiological and antioxidants defense mechanisms. *Cereal Research Communications*, 50(2), 263–272. <https://doi.org/10.1007/s42976-021-00171-z>.
- Sedaghat, M., Sarvestani, Z. T., Emam, Y., Bidgoli, A. M., ve Sorooshzadeh, A. (2020). Foliar-applied GR24 and salicylic acid enhanced wheat drought tolerance. *Russian Journal of Plant Physiology*, 67(4), 733–739. <https://doi.org/10.1134/S1021443720040159>.
- Sedaghat, Mojde, Tahmasebi-Sarvestani, Z., Emam, Y., ve Mokhtassi-Bidgoli, A. (2017). Physiological and antioxidant responses of winter wheat cultivars to strigolactone and salicylic acid in drought. *Plant Physiology and Biochemistry*, 119, 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.08.015>.
- Seto, Y., Sado, A., Asami, K., Hanada, A., Umehara, M., Akiyama, K., ve Yamaguchi, S. (2014). Carlactone is an endogenous biosynthetic precursor for strigolactones. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(4), 1640–1645. <https://doi.org/10.1073/pnas.1314805111>.
- Seto, Y., ve Yamaguchi, S. (2014). Strigolactone biosynthesis and perception. *Current Opinion in Plant Biology*, 21, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2014.06.001>.
- Shabek, N., Ticchiarelli, F., Mao, H., Hinds, T.R., Leyser, O., ve Zheng, N. (2018). Structural plasticity of D3–D14 ubiquitin ligase in strigolactone signalling. *Nature* 563, 652–656. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0743-5>.
- Shindo, M., Nagasaka, S., Kashiwada, S., Shimomura, K., ve Umehara, M. (2021). Shoot has important roles in strigolactone production of rice roots under sulfur deficiency. *Plant Signaling and Behavior*, 16(4), 1–4. <https://doi.org/10.1080/15592324.2021.1880738>.
- Shinozaki, K., ve Yamaguchi-Shinozaki, K. (2007). Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *Journal of Experimental Botany* 58(2):221–27.

- Shiotani, N., Wakabayashi, T., Ogura, Y., Sugimoto, Y., ve Takikawa, H. (2021). Studies on strigolactone BC-ring formation: Chemical conversion of an 18-hydroxycarlactonoate derivative into racemic 4-deoxyorobanchol/5-deoxystrigol via the acid-mediated cascade cyclization. *Tetrahedron Letters*, 68, 152922. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2021.152922>.
- Shirani Bidabadi, S., ve Sharifi, P. (2021). Strigolactone and methyl jasmonate-induced antioxidant defense and the composition alterations of different active compounds in *Dracocephalum kotschyi* boiss under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(2), 878–889. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10157-6>.
- Sofo, A., Scopa, A., Nuzzaci, M., ve Vitti, A. (2015). Ascorbate peroxidase and catalase activities and their genetic regulation in plants subjected to drought and salinity stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(6), 13561–13578. <https://doi.org/10.3390/ijms160613561>.
- Sugimoto, Y., Wigchert, S. C., Thuring, J. W. J., ve Zwanenburg, B. (1998). Synthesis of all eight stereoisomers of the germination stimulant sorgolactone. *The Journal of Organic Chemistry*, 63(4), 1259-1267. <https://doi.org/10.1021/jo9718408>.
- Suzuki, N., Rivero, R. M., Shulaev, V., Blumwald, E., ve Mittler, R. (2014). Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytologist*, 203(1), 32–43. <https://doi.org/10.1111/nph.12797>.
- Szalai, G., Kellos, T., Galiba, G., ve Kocsy, G. (2009). Glutathione as an antioxidant and regulatory molecule in plants under abiotic stress conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(1), 66–80. <https://doi.org/10.1007/s00344-008-9075-2>.
- Tai, Z., Yin, X., Fang, Z., Shi, G., Lou, L., ve Cai, Q. (2017). Exogenous GR24 alleviates cadmium toxicity by reducing cadmium uptake in switchgrass (*Panicum virgatum*) seedlings. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph14080852>.
- Tester, M., ve Langridge, P. (2010). Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*, 327(5967), 818-822.
- Thuring, J. W. J., Nefkens, G. H., ve Zwanenburg, B. (1997). Asymmetric synthesis of all stereoisomers of the strigol analogue GR24. Dependence of absolute configuration on stimulatory activity of *Striga hermonthica* and *Orobancha crenata* seed germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(6), 2278-2283. doi:10.1021/jf960466u.
- TÜİK, 2021. Bitkisel üretim istatistikleri (<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-1.Tahmini-2021-37247>).
- Umehara, M., Cao, M., Akiyama, K., Akatsu, T., Seto, Y., Hanada, A., Li, W., Takeda-Kamiya, N., Morimoto, Y., ve Yamaguchi, S. (2014). Structural requirements of strigolactones for shoot branching inhibition in rice and *Arabidopsis*. *Plant and Cell Physiology*, 56(6), 1059–1072. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcv028>.

- Umehara, M., Hanada, A., Yoshida, S., Akiyama, K., Arite, T., Takeda- Kamirya, N., Magome, H., Kamiya, Y., Shirasu, K., ve Yoneyama, K. (2008). Inhibition of shoot branching by new terpenoid hormones. *Nature* 455:195–200. <https://doi.org/10.1038/nature07272>.
- Uzilday, B., Turkan, I., Sekmen, A. H., Ozgur, R., ve Karakaya, H. C. (2012). Comparison of ROS formation and antioxidant enzymes in *Cleome gynandra* (C 4) and *Cleome spinosa* (C 3) under drought stress. *Plant Science*, 182(1), 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.03.015>.
- Verma, V., Ravindran, P., ve Kumar, P. P. (2016). Plant hormone-mediated regulation of stress responses. *BMC Plant Biology*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0771-y>.
- Verslues, P. E., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J., ve Zhu, J. K. (2006). Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *Plant Journal*, 45(4), 523–539. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2005.02593.x>.
- Vinocur, B., ve Altman, A. (2005). Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: Achievements and limitations. *Current Opinion in Biotechnology*, 16(2), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2005.02.001>.
- Vurukonda, S. S. K. P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., ve Skz, A. (2016). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological Research*, 184, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003>.
- Wang, B., Yang, X., Chen, L., Jiang, Y., Bu, H., Jiang, Y., Li, P., ve Cao, C. (2022). Physiological mechanism of drought-resistant rice coping with drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(7), 2638–2651. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10456-6>.
- Wang, D. W., ve Xi, Z. (2022). Strigolactone agonists/antagonists for agricultural applications: New opportunities. *Advanced Agrochem*, 1(1), 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.aac.2022.09.002>.
- Wang, L., ve Ruan, Y. L. (2016). Shoot–root carbon allocation, sugar signalling and their coupling with nitrogen uptake and assimilation. *Functional Plant Biology*, 43(2), 105–113.
- Wang, X., Cai, X., Xu, C., Wang, Q., ve Dai, S. (2016). Drought-responsive mechanisms in plant leaves revealed by proteomics. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/ijms17101706>.
- Waqas, M. A., Kaya, C., Riaz, A., Farooq, M., Nawaz, I., Wilkes, A., ve Li, Y. (2019). Potential mechanisms of abiotic stress tolerance in crop plants induced by thiourea. *Frontiers in plant science*, 10, 1336.

- Wassie, W. A., Andualem, A. M., Molla, A. E., Tarekegn, Z. G., Aragaw, M. W., ve Ayana, M. T. (2023). Growth, physiological, and biochemical responses of ethiopian red pepper (*Capsicum annum* L.) cultivars to drought stress. *Scientific World Journal*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/4374318>.
- Wehner, G. G., Balko, C. C., Enders, M. M., Humbeck, K. K., ve Ordon, F. F. (2015). Identification of genomic regions involved in tolerance to drought stress and drought stress induced leaf senescence in juvenile barley. *BMC Plant Biology*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0524-3>.
- Willekens, H., Langebartels, C., Tiré, C., Van Montagu, M., Inzé, D., ve Van Camp, W. (1994). Differential expression of catalase genes in *Nicotiana plumbaginifolia* (L.). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91(22), 10450–10454. <https://doi.org/10.1073/pnas.91.22.10450>.
- Wu, S., Hu, C., Tan, Q., Li, L., Shi, K., Zheng, Y., ve Sun, X. (2015). Drought stress tolerance mediated by zinc-induced antioxidative defense and osmotic adjustment in cotton (*Gossypium Hirsutum*). *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(8). <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1919-3>.
- Xie, X., Yoneyama, K., Kisugi, T., Uchida, K., Ito, S., Akiyama, K., Hayashi, H., Yokota, T., Nomura, T., ve Yoneyama, K. (2013). Confirming stereochemical structures of strigolactones produced by rice and tobacco. *Molecular Plant*, 6(1), 153–163. <https://doi.org/10.1093/mp/sss139>.
- Xie, Y. F., Zhang, R. X., Qin, L. J., Song, L. la, Zhao, D. G., ve Xia, Z. min. (2022). Genome-wide identification and genetic characterization of the CaMYB family and its response to five types of heavy metal stress in hot pepper (*Capsicum annum* cv. CM334). *Plant Physiology and Biochemistry*, 170(November 2021), 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.024>.
- Yang, X., Chen, X., Ge, Q., Li, B., Tong, Y., Zhang, A., Li, Z., Kuang, T., ve Lu, C. (2006). Tolerance of photosynthesis to photoinhibition, high temperature and drought stress in flag leaves of wheat: A comparison between a hybridization line and its parents grown under field conditions. *Plant Science*, 171(3), 389–397. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2006.04.010>.
- Yang, Y., Gu, M., Lu, J., Li, X., Liu, D., ve Wang, L. (2023). Metabolomic analysis of key metabolites and their pathways revealed the response of alfalfa (*Medicago sativa* L.) root exudates to rac-GR24 under drought stress. *Plants*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/plants12051163>.
- Yousfi, N., Slama, I., Ghnaya, T., Saviouré, A., ve Abdelly, C. (2010). Effects of water deficit stress on growth, water relations and osmolyte accumulation in *Medicago truncatula* and *M. laciniata* populations. *Comptes Rendus - Biologies*, 333(3), 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2009.12.010>.

- Yu, Z., Duan, X., Luo, L., Dai, S., Ding, Z., ve Xia, G. (2020). How plant hormones mediate salt stress responses. *Trends in Plant Science*, 25(11), 1117–1130. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.06.008>.
- Zafar, S. A., Patil, S. B., Uzair, M., Fang, J., Zhao, J., Guo, T., Yuan, S., Uzair, M., Luo, Q., Shi, J., Schreiber, L., ve Li, X. (2020). Degenerated panicle and partial sterility 1 (DPS1) encodes a cystathionine β -synthase domain containing protein required for anther cuticle and panicle development in rice. *New Phytologist*, 225(1), 356–375. <https://doi.org/10.1111/nph.16133>.
- Zhang, L., Peng, J., Chen, T. T., Zhao, X. H., Zhang, S. P., Liu, S. D., Dong, H. L., Feng, L., ve Yu, S. X. (2014). Effect of drought stress on lipid peroxidation and proline content in cotton roots. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 24(6), 1729–1736.
- Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J. K., ve Shabala, S. (2020). Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *Innovation*, 1(1), 100017. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017>.
- Zheng, X., Li, Y., Xi, X., Ma, C., Sun, Z., Yang, X., Li, X., Tian, Y., ve Wang, C. (2021). Exogenous Strigolactones alleviate KCl stress by regulating photosynthesis, ROS migration and ion transport in *Malus hupehensis* Rehd. *Plant Physiology and Biochemistry*, 159 (August 2020), 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.12.015>.
- Zhou, X., Tan, Z., Zhou, Y., Guo, S., Sang, T., Wang, Y., ve Shu, S. (2022). Physiological mechanism of strigolactone enhancing tolerance to low light stress in cucumber seedlings. *BMC Plant Biology*, 22(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03414-7>.
- Zwack, P. J., ve Rashotte, A. M. (2015). Interactions between cytokinin signalling and abiotic stress responses. *Journal of Experimental Botany*, 66(16), 4863–4871. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv172>.
- Zwanenburg, B., Mwakaboko, A. S., Reizelman, A., Anilkumar, G., ve Sethumadhavan, D. (2009). Structure and function of natural and synthetic signalling molecules in parasitic weed germination. *Pest Management Science*, 65(5), 478–491. <https://doi.org/10.1002/ps.1706>.
- Zwanenburg, B., Pospíšil, T., ve Čavar Zeljković, S. (2016). Strigolactones: new plant hormones in action. *Planta*, 243(6), 1311–1326. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2455-5>.