



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SALİSİLİK ASİT VE STRİGOLAKTON
UYGULAMALARININ SU STRESİ ALTINDAKİ
NANE (*Mentha piperita* L.) FİDELERİNDE
MORFOLOJİK, FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL
PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİLERİ**

SEMRA ARIKAN

**DOKTORA TEZİ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2022

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SALİSİLİK ASİT VE STRİGOLAKTON
UYGULAMALARININ SU STRESİ ALTINDAKİ
NANE (*Mentha piperita* L.) FİDELERİNDE
MORFOLOJİK, FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL
PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİLERİ**

SEMRA ARIKAN

DOKTORA TEZİ
Biyoloji Anabilim Dalı

KAHRAMANMARAŞ 2022

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm

Semra ARIKAN



Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**SALİSİLİK ASİT VE STRİGOLAKTON UYGULAMALARININ SU STRESİ
ALTINDAKİ NANE (*Mentha piperita* L.) FİDELERİNDE MORFOLOJİK,
FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİLERİ
(DOKTORA TEZİ)**

SEMRA ARIKAN

ÖZET

Su eksikliği, bitkilerin büyüme ve gelişimini olumsuz etkileyen önemli abiyotik faktörlerden olup hormonlar ve büyüme düzenleyiciler stres şartlarında bitkilerin çevreye uyumunu sağlayan önemli sinyal molekülleridir. Tez kapsamında nane (*Mentha piperita* L.) fidelerine salisilik asitin (SA) ve sentetik strigolakton (SL) analogu olan GR24'ün farklı konsantrasyonları ayrı ayrı ve birlikte uygulanarak su eksikliği şartlarındaki rolleri incelenmiştir. İklim odasında farklı zamanlarda yürütülen denemelerde ilk aşamada 0, 0.05, 0.25 mM SA ve 0, 0.5, 1 µM GR24 nane fidelerine uygulanmış ve fideler 3 ve 6 gün aralıklı olmak üzere farklı sıklıklarda sulanarak uygulamaların fidelerin morfolojik ve fizyolojik parametreleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Son olarak birinci aşamada belirlenen etkin SA konsantrasyonu olan 0.05 mM SA ile GR24 kombine olarak fidelere uygulanmış (0 mM SA-0 µM GR24; 0.05 mM SA-0.5 µM GR24; 0.05 mM SA-1 µM GR24) ve birlikte uygulamanın su stresi şartlarında olası sinerjik etkileri incelenmiştir.

Deneme sonucu tüm uygulamalar istatistiksel analize tabii tutulmuş, 6 gün aralıklı sulamalarda herhangi bir uygulamanın olmadığı kontrol gruplarında verim değerlerinin düştüğü, yaprak dökümü ve senesensin başladığı ve bitkilerin strese girdiği görülmüştür. SA, GR24 ve SA+GR24 uygulamaları konsantrasyona bağlı olarak farklı parametrelerde stres şartlarında olumlu etki göstermiştir. SA uygulamasının diğer uygulamalara göre toplam fenol, flavonoid, prolin miktarını, CAT ve POX enzimlerinin aktivitesini daha fazla artırdığı tespit edilmiştir. GR24 uygulaması ile EC oranının, H₂O₂ içeriğinin, MDA seviyesinin düştüğü, RWC oranının, mineral madde, fotosentetik pigment miktarının ve DPPH aktivitesinin arttığı gözlenmiştir. SA+GR24 birlikte uygulaması ile EC oranının düştüğü, RWC oranının, fotosentetik pigment miktarının, karotenoid, azot miktarının, prolin içeriğinin, toplam protein miktarının, flavonoid, DPPH aktivitesinin arttığı gözlenmiştir.

Denemede uygulanan konsantrasyonların etkisi değerlendirildiğinde SA uygulamalarında 0.05 mM, GR24 uygulamalarında 1 µM ve SA+GR24 uygulamalarında 0.05 mM SA+1 µM GR24 uygulamalarının su eksikliğinde daha etkili olduğu ve diğer uygulamalara göre onarıcı etkisinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çalışmada en iyi uygulamanın seçiminde varyans analizi sonuçlarıyla birlikte temel bileşen (PCA) ve ısı haritası (Heatmap) analizleri de değerlendirilmiş ve 3 gün aralıklı sulanan fidelerde 1 µM GR24 uygulamasının daha etkili olduğu ancak 6 gün aralıklı sulanan stres şartlarındaki fidelerde 0.5 µM GR24 uygulamasının daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak *M. piperita*'nın uzun aralıklı sulamalardan etkilendiği ve stresin yıkıcı etkilerinin ekzojen olarak uygulanan SA, GR24 ve SA+GR24 uygulamaları ile hafifletilebileceği, özellikle 0.5 µM GR24 uygulamasının, diğer uygulamalara kıyasla su stresinin olumsuz etkilerini azaltmada daha etkili olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Su stresi, Salisilik asit, Strigolakton, GR24, *Mentha piperita* (nane)

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Ana Bilim Dalı, Temmuz/2022

Danışman: Prof. Dr. Şengül KARAMAN

Sayfa sayısı: 185

**THE EFFECT OF SALICYLIC ACID AND STRIGOLACTONE APPLICATIONS
ON MORPHOLOGICAL, PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL
PARAMETERS OF PEPPERMINT (*Mentha piperita* L.) UNDER WATER STRESS
(Ph.D. THESIS)**

Semra ARIKAN

ABSTRACT

Water deficiency is one of the important abiotic factors that negatively affects the growth and development of plants, and hormones and growth regulators are important signal molecules that enable plants to adapt to the environment under stress conditions. Within the scope of the thesis, different concentrations of salicylic acid (SA) and synthetic strigolactone (SL) analogue GR24 were applied separately and together to peppermint (*Mentha piperita* L.) seedlings and their roles in water deficiency conditions were investigated. In the experiments carried out at different times in the climate chamber, at the first stage, 0, 0.05, 0.25 mM SA and 0, 0.5, 1 μ M GR24 were applied to peppermint seedlings and the seedlings were irrigated at different frequencies, with intervals of 3 and 6 days, and the effects of the applications on the morphological and physiological parameters of the seedlings were evaluated. Finally, 0.05 mM SA, the effective SA concentration determined in the first step, and GR24 were applied to the seedlings in combination (0 mM SA-0 μ M GR24; 0.05 mM SA-0.5 μ M GR24; 0.05 mM SA-1 μ M GR24) and the possible synergistic effects of the co-application under water stress conditions were investigated.

As a result of the experiment, all applications were subjected to statistical analysis, and it was observed that the yield values decreased, leaf fall and senescence started, and the plants were stressed in the control groups where there was no application in 6-day irrigations. SA, GR24 and SA+GR24 applications showed positive effects in different parameters depending on the concentration under stress conditions. It was determined that SA application increased the total amount of phenol, flavonoid, proline and the activity of CAT and POX enzymes more than other applications. With GR24 application, it was observed that EC ratio, H₂O₂ content, MDA level decreased, RWC ratio, mineral substance, photosynthetic pigment amount and DPPH activity increased. With SA+GR24 co-administration, it was observed that the EC ratio decreased, RWC ratio, photosynthetic pigment amount, carotenoid, nitrogen amount, proline content, total protein amount, flavonoid, DPPH activity increased.

When the effect of the concentrations applied in the experiment was evaluated, it was seen that 0.05 mM in SA applications, 1 μ M in GR24 applications, and 0.05 mM SA+1 μ M GR24 applications in SA+GR24 applications were more effective in water deficiency and their restorative effect was higher than other applications.

In the study, principal component (PCA) and heat map analyzes were also evaluated together with the results of variance analysis in the selection of the best application, and it was determined that 1 μ M GR24 application was more effective in seedlings irrigated with 3 days intervals, but 0.5 μ M GR24 application was more effective in seedlings irrigated 6 days apart under stress conditions.

As a result, it can be said that *M. piperita* is affected by long-term irrigation and the destructive effects of stress can be alleviated by exogenously applied SA, GR24 and SA+GR24 applications, especially 0.5 μ M GR24 application is more effective in reducing the negative effects of water stress compared to other applications.

Keywords: Water stress, Salicylic acid, Strigolactone, GR24, *Mentha piperita* (peppermint)

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Institute in Science
Department of Biology, July / 2022

Supervisor: Prof. Dr. Şengül KARAMAN

Pagenumber: 185

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından tezin yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Şengül KARAMAN'a,

Bilgi ve görüşleriyle yol gösteren yardımlarını esirgemeyen tez izleme komitesi üyesi Dr. Öğr. Üyesi Emel DIRAZ YILDIRIM'a, akademik tecrübelerinden ve değerli fikirlerinden istifade ettiğim Prof. Dr. Ahmet KORKMAZ'a, tez komitesinde yer alan tezime katkı sağlayan Doç. Dr. Hakan ÇETİNKAYA ve Dr. Öğr. Üyesi Muhittin KULAK'a,

Tezimin her aşamasında her türlü desteğinden dolayı laboratuvar arkadaşlarım Bulutkan GEÇKALAN, Betül TOPBİLEK ve Emine Betül TEMİZTÜRK'e,

Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü'nden bitkiyi temin etmemizi sağlayan Biyolog Yalçın KAYA'ya,

ÜSKİM çalışanlarına ve ÜSKİM'in imkanlarını kullanırken yardımcı olan Öğr. Gör. İbrahim Seyfettin ÇELİK ve Uzman Biyolog Feridun KOÇER'e,

Çalışmalarım süresince her türlü laboratuvar imkânını sağlayan Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Laboratuvar'ına ve laboratuvar çalışmalarımda bilgi ve desteklerini sunan Dr. Öğr. Üyesi Aygül KARACA, Zir. Yük. Müh. Şebnem KÖKLÜ, Zir. Yük. Müh. Muhammed ASSAF ve Arş. Gör. Abdullah HAVAN'a,

Eğitim hayatım boyunca her zaman desteklerini hissettiğim, her konuda beni cesaretlendiren sevgili aileme en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Semra ARIKAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
EK ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
Genel Bilgiler	3
1.1. Bitkilerde Stres.....	3
1.1.1. Su stresi.....	3
1.1.2. Su stresine karşı bitkinin gösterdiği fizyolojik ve morfolojik tepkiler.....	4
1.1.3. Su stresinde mineral maddeler	6
1.1.4. Su stresinin fotosentetik pigmentlere ve antioksidan sisteme etkisi	7
1.1.5. Su stresinde diğer organik bileşikler	10
1.1.6. Su stresinde bitkisel hormonların ve bitki büyüme düzenleyicilerin rolü	11
1.2. Strigolakton (SL).....	12
1.3. Salisilik asit (SA)	16
1.4. Nane (<i>Mentha</i> spp.)	18
1.4.1. İngiliz nanesi (<i>Mentha piperita</i> L.)	19
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	20
2.1. Su Stresinin Lamiaceae üyelerine Etkisi Üzerine Önceki Çalışmalar	20
2.2. Strigolakton ve GR24 Uygulamaları ile İlgili Önceki Çalışmalar	24
2.3. Salisilik Asit Uygulamaları ile İlgili Önceki Çalışmalar.....	28
2.4. Salisilik Asit ve Strigolaktonun Diğer Hormonlar ile Birlikte Uygulanması ile İlgili Önceki Çalışmalar	35
3. MATERYAL ve METOD.....	38
3.1. Materyal.....	38
3.1.1. Deneme materyali.....	38
3.1.2. Deneme yeri ve yılı	40
3.2. Metod.....	40
3.2.1. Nane Fidelerinin Yetiştirilmesi	40
3.2.2. Su stresi ve SA-GR24 uygulamaları.....	41

3.2.3. İncelenen Özellikler.....	45
3.2.3.1. Büyüme parametrelerinin ölçülmesi.....	45
3.2.3.2. Yaprak Alanı (cm ²).....	45
3.2.3.3. Elektriksel iletkenlik (EC) (%).....	46
3.2.3.4. Bağıl su içeriklerinin belirlenmesi (RWC) (%).....	47
3.2.3.5. Mineral Madde Miktarının Ölçümü (mg/g).....	47
3.2.3.6. Fotosentetik pigmentlerin miktarı (klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil ve karoteneid) (mg/g Taze Ağırlık).....	47
3.2.3.7. Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) içeriğinin belirlenmesi (μmol g ⁻¹ TA).....	48
3.2.3.8. Lipid peroksidasyon seviyelerinin belirlenmesi (μmol g ⁻¹ TA).....	49
3.2.3.9. Yapraklardaki prolin miktarının ölçülmesi (μmol g ⁻¹ TA).....	50
3.2.3.10. Enzim ekstraktlarının hazırlanması ve aktivitelerinin belirlenmesi	52
Katalaz (CAT) enzim aktivitesi (U mg ⁻¹ protein).....	52
Peroksidaz (POX) enzim aktivitesi (U mg ⁻¹ protein).....	52
Toplam fenol, flavonoid ve antioksidan aktivitenin tayini	52
Bitki Ekstraksiyonu.....	52
3.2.3.11. Toplam fenolik madde analizi (mg GAE/g TA)	53
3.2.3.12. Toplam flavonoid analizi (mg QE/g TA).....	55
3.2.3.13. Antioksidan Aktivite (DPPH) Tayini (%).....	56
3.2.3.14. Nane uçucu yağının elde edilmesi ve bileşenlerinin tespiti	57
3.3. Verilerin istatistiksel analizi	58
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	59
4.1. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde büyüme parametreleri üzerine etkisi.....	59
4.1.1. SA uygulamalarının büyüme parametreleri üzerine etkisi	59
4.1.1.1. Bitki boyu, dal sayısı, yaprak alanı.....	59
4.1.1.2. Taze-kuru yaprak ve taze-kuru gövde ağırlıkları	61
4.1.2. GR24 uygulamalarının büyüme parametreleri üzerine etkisi	63
4.1.2.1. Bitki boyu, dal sayısı, yaprak alanı.....	63
4.1.2.2. Taze-kuru yaprak ve taze-kuru gövde ağırlıkları	66
4.1.3. SA+GR24 uygulamalarının büyüme parametreleri üzerine etkisi	68
4.1.3.1. Bitki boyu, dal sayısı, yaprak alanı.....	68
4.1.3.2. Taze-kuru yaprak ağırlıkları ve taze-kuru gövde ağırlıkları	69
4.2. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde elektriksel iletkenlik (EC) ve bağıl su içeriği (RWC) üzerine etkisi.....	71
4.2.1. SA uygulamalarının elektriksel iletkenlik (EC) ve bağıl su içeriği (RWC) üzerine etkisi.....	71
4.2.2. GR24 uygulamalarının elektriksel iletkenlik (EC) ve bağıl su içeriği (RWC) üzerine etkisi.....	73
4.2.3. SA+GR24 uygulamalarının elektriksel iletkenlik (EC) ve bağıl su içeriği (RWC) üzerine etkisi	75
4.3. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde mineral madde (magnezyum, fosfor, potasyum ve azot) miktarı üzerine etkisi.....	77
4.3.1. SA uygulamalarının mineral madde miktarı üzerine etkisi	77
4.3.2. GR24 uygulamalarının mineral madde miktarı üzerine etkisi	80
4.3.3. SA+GR24 uygulamalarının mineral madde miktarı üzerine etkisi.....	83
4.4. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde fotosentetik pigmentler (klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil, karoteneid) üzerine etkisi	86

4.4.1. SA uygulamalarının fotosentetik pigmentler üzerine etkisi	86
4.4.2. GR24 uygulamalarının fotosentetik pigmentler üzerine etkisi	88
4.4.3. SA+GR24 uygulamalarının fotosentetik pigmentler üzerine etkisi	90
4.5. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) içeriği, lipid peroksidasyon seviyesi (MDA) ve prolin miktarı üzerine etkisi.....	93
4.5.1. SA uygulamalarının hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) içeriği, lipid peroksidasyon seviyesi (MDA) ve prolin miktarı üzerine etkisi	93
4.5.2. GR24 uygulamalarının hidrojen peroksit içeriği (H ₂ O ₂), lipid peroksidasyon seviyesi (MDA), prolin miktarı üzerine etkisi.....	95
4.5.3. SA+GR24 uygulamalarının hidrojen peroksit içeriği (H ₂ O ₂), lipid peroksidasyon seviyesi (MDA), prolin miktarı üzerine etkisi	98
4.6. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde toplam protein miktarı ve enzim aktivitesi üzerine etkisi	100
4.6.1. SA uygulamalarının toplam protein miktarı ve enzim aktivitesi üzerine etkisi	100
4.6.2. GR24 uygulamalarının toplam protein miktarı ve enzim aktivitesi üzerine etkisi	103
4.6.3. SA+GR24 uygulamalarının toplam protein miktarı ve enzim aktivitesi üzerine etkisi	105
4.7. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde toplam fenol, flavonoid ve DPPH temizleme aktivitesi üzerine etkisi	107
4.7.1. SA uygulamalarının toplam fenol, flavonoid ve DPPH temizleme aktivitesi üzerine etkisi.....	107
4.7.2. GR24 uygulamalarının toplam fenol, flavonoid ve DPPH temizleme aktivitesi üzerine etkisi.....	110
4.7.3. SA+GR24 uygulamalarının toplam fenol, flavonoid ve DPPH temizleme aktivitesi üzerine etkisi.....	112
4.8. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde uçucu yağ bileşenleri üzerine etkisi	115
4.8.1. SA uygulamalarının uçucu yağ bileşenleri üzerine etkisi.....	115
4.8.2. GR24 uygulamalarının uçucu yağ bileşenleri üzerine etkisi	120
4.8.3. SA+GR24 uygulamalarının uçucu yağ bileşenleri üzerine etkisi	123
4.9. SA ve GR24 uygulanan su stresi altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde incelenen tüm özelliklerin karşılaştırılması.....	127
4.10. SA ve GR24 uygulanan <i>M. piperita</i> fidelerinde incelenen parametrelerin temel bileşen analizi (principal component analysis, PCA) ve ısı haritası (heat map clustering) yardımı ile kümelenmesi.....	129
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	133
KAYNAKLAR.....	137
EKLER	168
EK ŞEKİLLER.....	169
ÖZGEÇMİŞ.....	185

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Su stresi altında bitkilerde görülen stres etkileri.....	5
Şekil 1.2. Streste antioksidan maddeler ve etkileri.....	7
Şekil 1.3. SL'lerin yapıları ve sınıflandırılması.....	13
Şekil 1.4. SL'lerin biyosentetik yolu: strigolün ve orobanşolun oluşumu	14
Şekil 1.5. Bitkiler, arbusküler mikorizal mantar ve parazit bitkiler arasındaki iletişim	15
Şekil 1.6. Salisilik asitin kimyasal yapısı.....	17
Şekil 1.7. Bitkilerde salisilik asidin biyolojik fonksiyonları.....	18
Şekil 3.1. Nane stolonlarının dikimi.....	41
Şekil 3.2. Bitkilerin etiketlenmesi, uygulamalar için hazırlanması.....	42
Şekil 3.3. SA uygulanan 3 ve 6 gün aralıklarla sulanan nane fideleri.....	44
Şekil 3.4. GR24 uygulanan 3 ve 6 gün aralıklarla sulanan nane fideleri.....	44
Şekil 3.5. SA ve GR24 birlikte uygulanan 3 ve 6 gün aralıklarla sulanan nane fideleri	45
Şekil 3.6. Bitki yaprak örnekleri.....	45
Şekil 3.7. Elektriksel iletkenlik	46
Şekil 3.8. Klorofil miktar tayini	48
Şekil 3.9. Hidrojen peroksit içeriğinin belirlenmesi.....	49
Şekil 3.10. Hidrojen peroksit standart eğrisi.....	49
Şekil 3.11. Malondialdehit (MDA) seviyesi ölçümü.....	50
Şekil 3.12. Yapraklardaki prolin miktarının ölçülmesi.....	51
Şekil 3.13. Prolin standart eğrisi.....	51
Şekil 3.14. Bitki ekstraktlarının elde edilmesi	53
Şekil 3.15. Nane ekstraktlarında toplam fenol analizi	54
Şekil 3.16. Gallik asit standart eğrisi	54
Şekil 3.17. Flavonoid analizinde spektrofotometrede okuma yapılması için hazırlanan örnekler	55

Şekil 3.18. Kuarsetin standart eğrisi	56
Şekil 3.19. DPPH analizinde spektrofotometre okunma yapılması için hazırlanan örnekler	57
Şekil 3.20. Clevenger aparatı ile bitki uçucu yağının elde edilmesi.....	58
Şekil 4.1. PCA sonuçlarına göre incelenen özelliklerin etkisine ilişkin değişimler.....	130
Şekil 4.2. Temel bileşen analizi (principal component analysis, PCA).....	131
Şekil 4.3. Isı haritası (heat map clustering).....	132



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. <i>Mentha piperita</i> L.'nin taksonomik sınıflandırılması	39
Çizelge 3.2. Kimyallar çizelgesi.....	39
Çizelge 3.3. Cihazlar çizelgesi	40
Çizelge 3.4. Deneysel düzenleme ve uygulamalar	43
Çizelge 3.5. GC/MS cihazının çalışma şartları	57
Çizelge 4.1. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde bitki boyu, dal sayısı ve yaprak alanı ortalamalarına etkisi	59
Çizelge 4.2. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde bitki başına taze-kuru yaprak ve taze-kuru gövde ağırlık ortalamalarına etkisi (g/bitki)	61
Çizelge 4.3. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde bitki boyu, dal sayısı ve yaprak alanı ortalamalarına etkisi	64
Çizelge 4.4. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde bitki başına taze-kuru yaprak ve taze-kuru gövde ağırlık ortalamalarına etkisi (g/bitki)	66
Çizelge 4.5. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde bitki boyu, dal sayısı ve yaprak alanı ortalamalarına etkisi.....	68
Çizelge 4.6. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde bitki başına taze-kuru yaprak ve taze-kuru gövde ağırlık ortalamalarına etkisi (g/bitki).....	70
Çizelge 4.7. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde elektriksel iletkenliği ve bağıl su içeriği oranlarına etkisi (%).....	72
Çizelge 4.8. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde elektriksel iletkenliği ve bağıl su içeriği oranlarına etkisi (%).....	74
Çizelge 4.9. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki nane <i>M. piperita</i> fidelerinde elektriksel iletkenliği ve bağıl su içeriği oranlarına etkisi (%)	76
Çizelge 4.10. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde mineral madde miktarına etkisi (mg/g).....	78
Çizelge 4.11. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde mineral madde miktarına etkisi (mg/g).....	81
Çizelge 4.12. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde mineral madde miktarı ortalamalarına etkisi (mg/g).....	84

Çizelge 4.13. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde fotosentetik pigmentler üzerine etkisi (mg/g TA)	86
Çizelge 4.14. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde fotosentetik pigmentler üzerine etkisi (mg/g TA)	88
Çizelge 4.15. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde fotosentetik pigmentler üzerine etkisi (mg/g TA).....	91
Çizelge 4.16. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde H ₂ O ₂ , MDA ve prolin miktarına etkisi (μmol g ⁻¹ TA).....	93
Çizelge 4.17. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde H ₂ O ₂ , MDA ve prolin miktarına etkisi (μmol g ⁻¹ TA).....	96
Çizelge 4.18. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde H ₂ O ₂ , MDA ve prolin miktarına etkisi (μmol g ⁻¹ TA)	98
Çizelge 4.19. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde toplam protein miktarı, CAT ve POX enzim ortalamalarına etkisi	101
Çizelge 4.20. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde toplam protein miktarı, CAT ve POX enzim ortalamalarına etkisi	103
Çizelge 4.21. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde toplam protein miktarı, CAT ve POX enzimi ortalamalarına etkisi	105
Çizelge 4.22. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde toplam fenol, flavonoid ve DPPH oranına etkisi	107
Çizelge 4.23. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde toplam fenol, flavonoid ve DPPH oranına etkisi	110
Çizelge 4.24. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde toplam fenol, flavonoid ve DPPH oranına etkisi	113
Çizelge 4.25. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde uçucu yağ bileşenlerinin oranına etkisi (%)	116
Çizelge 4.26. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> uçucu yağının ana bileşenlerine etkisi (%).....	117
Çizelge 4.27. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde uçucu yağ bileşenlerinin oranına etkisi (%)	120
Çizelge 4.28. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> uçucu yağının ana bileşenlerine etkisi (%).....	121
Çizelge 4.29. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> fidelerinde uçucu yağ bileşenlerinin oranına etkisi (%).....	124

Çizelge 4.30 SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki <i>M. piperita</i> uçucu yağının ana bileşenlerine etkisi (%).....	125
Çizelge 4.31 Öz değerler (Eigenvalue) ve varyans yüzdeleri	130



EK ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Ek Şekil 1. Bitki boyunun üç uygulamada karşılaştırılması.....	169
Ek Şekil 2. Dal sayısının üç uygulamada karşılaştırılması.....	169
Ek Şekil 3. Yaprak alanının üç uygulamada karşılaştırılması	170
Ek Şekil 4. Taze yaprak ağırlığının üç uygulamada karşılaştırılması	170
Ek Şekil 5. Kuru yaprak ağırlığının üç uygulamada karşılaştırılması.....	171
Ek Şekil 6. Taze gövde ağırlığının üç uygulamada karşılaştırılması	171
Ek Şekil 7. Kuru gövde ağırlığının üç uygulamada karşılaştırılması.....	172
Ek Şekil 8. Elektriksel iletkenliğin üç uygulamada karşılaştırılması.....	172
Ek Şekil 9. Bağlı su içeriğinin üç uygulamada karşılaştırılması	173
Ek Şekil 10. Magnezyum (Mg) içeriğinin üç uygulamada karşılaştırılması	173
Ek Şekil 11. Fosfor (P) içeriğinin üç uygulamada karşılaştırılması.....	174
Ek Şekil 12. Potasyum (K) içeriğinin üç uygulamada karşılaştırılması.....	174
Ek Şekil 13. Azot (N) içeriğinin üç uygulamada karşılaştırılması	175
Ek Şekil 14. Klorofil-a miktarının üç uygulamada karşılaştırılması.....	175
Ek Şekil 15. Klorofil-b miktarının üç uygulamada karşılaştırılması	176
Ek Şekil 16. Toplam klorofil miktarının üç uygulamada karşılaştırılması	176
Ek Şekil 17. Karotenoid miktarının üç uygulamada karşılaştırılması.....	177
Ek Şekil 18. Hidrojen peroksit içeriğinin (H ₂ O ₂) üç uygulamada karşılaştırılması.....	177
Ek Şekil 19. MDA seviyesinin üç uygulamada karşılaştırılması.....	178
Ek Şekil 20. Prolin miktarının üç uygulamada karşılaştırılması.....	178
Ek Şekil 21. Toplam protein miktarının üç uygulamada karşılaştırılması	179
Ek Şekil 22. Katalaz (CAT) enzim aktivitesinin üç uygulamada karşılaştırılması.....	179
Ek Şekil 23. Peroksidaz (POX) enzim aktivitesinin üç uygulamada karşılaştırılması.....	180
Ek Şekil 24. Toplam fenol miktarının üç uygulamada karşılaştırılması	180

Ek Şekil 25. Flavonoid miktarının üç uygulamada karşılaştırılması	181
Ek Şekil 26. DPPH temizleme aktivitesinin üç uygulamada karşılaştırılması	181
Ek Şekil 27. 1.8-Sineol uçucu yağ bileşeninin üç uygulamada karşılaştırılması.....	182
Ek Şekil 28. Mentofuran uçucu yağ bileşeninin üç uygulamada karşılaştırılması	182
Ek Şekil 29. Menton uçucu yağ bileşeninin üç uygulamada karşılaştırılması	183
Ek Şekil 30. Mentol uçucu yağ bileşeninin üç uygulamada karşılaştırılması	183
Ek Şekil 31. Pulegon uçucu yağ bileşeninin üç uygulamada karşılaştırılması	184



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ark	: Arkadaşları
%	: Yüzde
BBD	: Bitki büyüme düzenleyici
°C	: Santigrad derece
cm	: Santimetre
cm ²	: Santimetre kare
CAT	: Katalaz
DPPH	: 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
EC	: Elektrik İletkenliği
EDTA	: Ethylenediaminetetraacetic Acid
g	: Gram
GA	: Gallik asit
GAE	: Gallik asit eşdeğeri
GC	: Gas Chromatography
GR24	: Sentetik strigolakton
KE	: Kuersetin eşdeğeri
MDA	: Malondialdehid
mL	: Mililitre
mM	: Milimol
mg/g	: Miligram/gram
Ö.D.	: Önemli değil
PEG	: Polietilen glikol
POX	: Peroksidaz
ROS	: Reaktif oksijen türleri
RWC	: Bağlı su içeriği
SA	: Salisilik asit
SL	: Strigolakton
TA	: Taze ağırlık
TBA	: Thiobarbütirik asit
TCA	: Trikloroasetik asit
ÜSKİM	: Üniversite-Sanayi-Kamu İşbirliği Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi
µL	: Mikrolitre
µmol/g	: Mikromol/gram

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artışı ve küresel iklim değişikliğine bağlı olarak su kaynaklarına ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Su eksikliği dünya çapında tarımı etkileyen ve ürün veriminde düşüslere neden olan önemli çevresel faktörlerden biridir. Bitkiler için de doğal bir tehlike olan su eksikliği sadece bitki fizyolojisi dengesini bozmakla kalmamakta, çeşitli biyokimyasal reaksiyonların doğası ve seyrini de değiştirmektedir. Bu yüzden kurak ve yarı kurak bölgelerde yaşamını devam etmek için ortama adapte olacak kuraklığa dayanıklı bitkilere talep artmaktadır. Normal şartlarda su alımı ve transpirasyon arasında denge bulunmakta olup su alımı kısıtlandığında, transpirasyon yolu ile bitkinin kaybettiği su miktarı, topraktan alınan su miktarından daha fazla olmakta ve bitkide su eksikliği başlamaktadır (Erken, 2012). Bitkiler oluşan stresin verdiği zararı hafifletmek, engellemek ya da stresten kurtulmak için çeşitli morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlar oluşturmaktadır. Bitkide strese karşı oluşan yanıtlar bitkinin türü, yaşı, gelişim dönemi, su eksikliğinin seviyesi ile çeşitli fiziksel faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Babalık, 2012).

Çeşitli uygulamalar ile bitkinin strese karşı savunma mekanizmalarını güçlendirmek, ürün kaybını asgari seviyeye çekmek son derece önemlidir. Bitkide strese cevapta görevli bileşiklerden en önemlileri bitki büyüme düzenleyicileri (BBD) ve hormonlardır (Thakur ve ark., 2019). Bitkinin tüm gelişim aşamalarında etki gösteren bu bileşikler birbirleri ile iş birliği yaparak bitkiye destek sağlamaktadır. BBD ve hormonlar bir sinyal ağı oluşturmakta olup hem bitki gelişimi hem de biyotik ve abiyotik streslere karşı bitki tepkileri için gerekli olan çeşitli sinyal ve metabolik sistemleri birlikte düzenlemektedir (Munné-Bosch ve Müller, 2013). Endojen olarak üretilen bu moleküller ekzojen olarak da bitkiye verilerek optimum olmayan şartlarda stres hafifletilerek bitki korunmaktadır. Bu iletişim hakkında detaylı bilgi edinmek için BBD ve hormonların stres karşısında pozitif etkinliği kombine uygulamalar ile araştırılmaktadır (Sedaghat ve ark., 2017b; Faizan ve ark., 2020; Shirani Bidabadi ve Sharifi, 2021).

Salisilik asit (SA), bir dizi fizyolojik sürece dahil olarak çevresel streslere karşı bitki direncini artırmaktadır (Azooz ve Youssef, 2010). SA uygulaması, bitkilerde antioksidan sistemini uyarmakta, membran bütünlüğünün korunmasını desteklemekte ve yaprak kıvrılmasına yardımcı olarak su kaybını azaltmaktadır bu da su stresinin olumsuz etkilerini hafifletmektedir (Costa ve ark, 2021; Jahani ve ark., 2021).

Strigolakton (SL) bitkinin toprak üstü kısmının ve kök gelişiminin düzenlenmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. SL'ler diğer fitohormonlarla birlikte abiyotik streslere verilen tepkiler de dahil olmak üzere birçok fizyolojik süreçlerde yer almaktadır. Ekzojen SL'lerin zorlu çevre koşullarında bitkilerin hayatta kalmasına yardımcı olduğu bildirilmektedir (Ma ve ark., 2017). Sentetik SL olan GR24'ün uygulanan konsantrasyon ve yonteme bağılı olarak, fotosentez ve terleme hızını, stoma iletkenliğini, yaprak su potansiyelini, antioksidan enzim aktivitelerini düzenlemede ve su eksikliğinde stres toleransını artırmada son derece etkili bir hormon olduğu bildirilmektedir (Van Ha ve ark., 2014; Min ve ark., 2019; Sedaghat ve ark., 2021).

Literatür verileri ışığında bu çalışma ile önemli bir tıbbi ve aromatik bitki olan *Mentha piperita* (nane) fidelerine SA ve GR24 ayrı ayrı ve birlikte uygulanarak uygulamaların su stresi karşısındaki onarıcı etkisini değerlendirmek hedeflenmiştir. Çalışmada ilk olarak SA (0, 0.05, 0.25 mM) ve ikinci olarak GR24 (0, 0.5, 1 µM) topraktan su ile birlikte fidelere uygulanmış ve fideler farklı aralıklarla sulanıp (3 gün, 6 gün) yetiştirilmiş ve çiçeklenme öncesi hasat edilmiştir. Üçüncü aşamada ise diğer aşamalar sonucunda yüksek verim elde edilen SA ve GR24 konsantrasyonları kombinlenerek aynı sulama koşullarında yetiştirilen nane fidelerine uygulanmış ve SA+GR24 kombinasyonunun su eksikliği karşısında olası sinerjik etkisi incelenmiştir. Tüm uygulamalarda su eksikliğinin etkilerini net bir biçimde ortaya koyabilmek amacıyla hasadın hemen öncesi yaprak alanı, bağıl su içeriği (RWC) ve doku elektriksel iletkenliği (EC), hasat sırasında morfolojik veriler (bitki boyu, dal sayısı, gövde-yaprak taze-kuru ağırlıkları), hasat sonrası antioksidan enzim aktiviteleri (CAT ve POX), toplam protein, prolin, malondialdehit (MDA), hidrojen peroksit (H₂O₂), fotosentetik pigment içerikleri (klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil, karotenoid), mineral madde miktarı (maneyum, fosfor, potasyum, azot), toplam fenol içeriği, toplam flavonoid miktarı, DPPH aktivitesi ve uçucu yağ bileşenleri belirlenmiştir.

Strigolaktonların ekzojen uygulamaları ile ilgili çalışmalar son yıllarda daha fazla dikkat çekmektedir. Ancak SL ve SA'nin birlikte uygulaması ile ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Streste etkili bu iki hormonun muhtemel sinerjik etkisi sayesinde bitkinin stresle başa çıkmasının daha kolay olabileceği hipotezi tezin ana amacını oluşturmaktadır. Tıbbi ve aromatik bitkilerde ekzojen GR24 ile ilgili birkaç çalışma olmasına karşın SA+GR24 uygulaması ile ilgili çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma GR24'ün su eksikliği karşısındaki tepkisi hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlarken literatürde katkı sağlayacaktır.

Genel Bilgiler

1.1. Bitkilerde Stres

Kaliteli bir ürün için bitki çeşidine bağlı olarak bitkilerin tamamı optimum çevre koşuluna ihtiyaç duyar. Bu optimum çevre koşullarındaki her türlü olumsuzluk bitkinin gelişimini etkileyip bitkide strese sebep olur (Morgil, 2019). Stres biyotik ve abiyotik olarak iki çeşittir. Hastalık oluşturan mantar, böcek, bakteri, yabancı ot, virüs biyotik faktörler olup; su (eksik, fazla), sıcaklık (düşük, yüksek), tuzluluk, radyasyon, kimyasallar (pestisitler, ağır metaller), besin elementlerinin eksiklik veya fazlalıkları, manyetik ve elektriksel alanlar abiyotik strese örnektir (Özdüven, 2016; Aksu, 2020). Dünya üzerindeki ekim yapılabilecek olan arazinin sadece %10'u çevresel bir stres etmenine maruz değilken %90'lık kısmı çeşitli stresler ile karşı karşıya kalmaktadır. Strese maruz kalan arazilerin %26'sı su stresi, %20'si tuz stresi, %15'i soğuk stresi ve %29'u diğer tüm streslerden etkilenmektedir (Mutlu, 2009). Su stresine maruz kalan tarım alanları yaklaşık %50 oranında ürün kaybına uğramaktadır (Çevik, 2009). Bitkiler strese karşı yaşamlarını devam ettirmek için çeşitli cevaplar oluşturmakta, bu cevaplar genotiple birlikte değişmektedir. Bitkinin koruyucu mekanizmalarını kullanarak şiddetli stresin olumsuz etkilerini atlatıp hayatta kalması, zararı azaltması ve hasarı onarması yani strese dayanma kapasitesi tolerans olarak tanımlanmaktadır (Taiz ve Zeiger, 2008; Mutlu, 2009; Aksu, 2020). Bitkiler herhangi bir stres türü ile karşı karşıya kaldıklarında bitkinin genotipi, yaşı, adaptasyon derecesi, yetiştiği toprak özellikleri, gelişimini devam ettirdiği bölgenin iklim ve mevsimsel değişikliği gibi özelliklere bağlı olarak farklı stres tepkisi geliştirirler (Babalık, 2012).

1.1.1. Su stresi

Canlıların yaşamını sürdürebilmesi için ihtiyaç duyduğu en önemli dışsal faktörlerden birisi de sudur. Canlılığın devamı için oldukça önemli olan su sınırlı miktarda bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarından (Coşkun, 2013). Ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 2000 yılında 1652 m³, 2009 yılında 1544 m³, 2020 yılında ise 1346 m³ olmuştur. Türkiye'de, kişi başına kullanılabilir su potansiyeline bakıldığında suyun tasarruflu ve optimum bir şekilde kullanılması önem arz etmektedir. Su kayıplarının önüne geçilerek suyun daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Anonim). Normal koşullarda su alımı ve terleme arasında bir denge bulunmaktadır. Su stresi bu dengenin bozulduğu, su alımının azalıp buhar şeklinde yitirilen

su miktarının (transpirasyonun) fazla olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır (Erken, 2012). Bu iki şekilde açıklanabilir. İlk olarak toprakta kullanılacak yararlı su miktarının olmaması, ikinci neden olarak da çeşitli sebeplerden dolayı bitkinin kökleriyle yeterli suyu alamamasıdır. Bazen toprakta suyun bulunması halinde de bitkinin su alımı gerçekleşmeyebilir ki buna fizyolojik kuraklık denir. Bu durum havanın çok soğuk olduğu durumlarda yer altı sularının donması sonucu bitkinin bu suyu alamaması veya topraktaki tuzun fazla olması sebebiyle yüksek osmotik basınçtan dolayı suyun alınamamasından dolayıdır (Gürbüz Kılıç, 2005; Köşkeröğlu, 2006; Kuru, 2017). Hayatın devamı için son derece önemli olan suyun eksikliğinde, bitki metabolizması yavaşlamakta veya tamamen durmaktadır (Çamoğlu, 2010; Baba, 2016). Su stresine maruz kalan bitkiler farklı gelişme döneminde farklı şekilde etkilenebilir. Çiçeklenmeden önceki evrede su stresi ile karşılaşan bitkilerin büyüme ve gelişimleri etkilenirken çiçeklenme sırasında ya da tohum oluşum döneminde su eksikliğine maruz kalan bitkilerde ise ürün verimi etkilenmektedir (Kuru, 2017). Su stresine karşı bitkide fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler değişimler görülerek bitki bünyesinde karmaşık bir durum oluşmaktadır (Morgil, 2019).

1.1.2. Su stresine karşı bitkinin gösterdiği fizyolojik ve morfolojik tepkiler

Bitki gelişimi bitki dokularındaki su dengesi ile doğrudan ilişkilidir. Bitkiler, yaşamlarını devam ettirebilmek için bulunduğu ortamdan su ve suda çözülmüş besin maddeleri alırlar. Su bitkinin metabolik reaksiyonlarda, hücre büyüme ve genişlemesinde, besin maddelerini almasında, besinlerin taşınmasında, terleme gibi fizyolojik olaylarda önemli ve baskın rol oynamaktadır (Anjum ve ark., 2011). Su eksikliği durumunda bitki fizyolojisindeki düzen bozulmaktadır. Su stresine karşı tepkiler belirlenerek sınırlı su koşullarında bitki direnç mekanizmaları bütünsel bir şekilde algılanmaktadır (Avşar, 2019).

Bitkilerde stresin neden olduğu zarar; bitki türüne, o bitkinin tolerans ve çevreye adaptasyon yeteneğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Tiryaki, 2018). Bitkilerin su eksikliğine alışması, bitki yapısındaki, büyüme hızındaki, doku ozmotik potansiyelindeki ve antioksidan savunmadaki değişiklikler gibi bitki büyümesinde ve fizyo-biyokimyasal süreçlerde değişikliklere yol açan farklı olayların sonucudur (Anjum ve ark., 2011) (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Su stresi altında bitkilerde görülen stres etkileri

Su stresinin birincil etkileri arasında iyon düzenindeki bozukluk kabul edilmektedir. Su kaybına bağlı olarak gerçekleşen iyon-birikimi, membran bütünlüğünün ve proteinlerin yapısının bozulmasına yol açarak hücreye zarar vermektedir (Erdoğan Bayram, 2018). Hücre ve hücre duvarı büyümesinde azalma, hücre bölünmesinde gerileme, tohumlarda çimlenme yeteneğini kaybetme, meyvelerde gelişememe, fotosentez ve solunumda azalma su stresinin bitki üzerine etkileri arasında yer almaktadır (Gürbüz Kılıç, 2005). Su stresinde meyve verim ve kalitesinin düşüşü fotosentezdeki azalma yüzünden sentezlenemeyen şekerden kaynaklanmaktadır (Koç, 2020). Su stresi altında bitkinin bir kısmında gerçekleşen hasar bitkinin tüm kısımlarını etkileyerek verimi azaltmaktadır (Köşkeröğlu, 2006). Su stresi bitki büyümesinin başladığı sırada ilk olarak hem boyca uzamayı hem de ence genişlemeyi engellemekte böylece önemli kısıtlayıcı etki olarak rol oynamaktadır (Kireççi, 2012). Su stresi; birçok bitkide yaprak senesensini ve yaşlı yaprakların ayrılmasını hızlandırır, suyun kök sisteminde kullanılmasından dolayı kökün suya ulaşabilmek için toprakta derine doğru uzamasına neden olur (Çetinkaya, 2015). Genel olarak, su mevcudiyeti sınırlı olduğunda, bitki su kaynaklarına erişebilmek için kök gelişimini hızlandırarak gövde gelişimini yavaşlatmaktadır, böylece bitkilerde kökün sürgüne oranı artmaktadır (Yüksel ve Aksoy, 2017). Çünkü kökler, düşük su potansiyelleri tarafından büyümenin engellenmesine sürgünlerden daha az duyarlıdır (Wu and Cosgrove, 2000). Streste yaprak ve gövde daha düşük kuru madde ağırlığı göstermekte ve internod oluşumu azalmakta (Anjum ve ark., 2011), yaprak sayısı ve alanı azalmakta (Çırak ve Esendal, 2006), kutikula kalınlığı artmakta (Deligöz ve Bayar, 2017), tane verim ve sayısı azalmakta (Yavaş ve ark., 2016), tarak ve

meyve dökümü gözlenmektedir (Avşar,2019). Çiçeklenme döneminde oluşan su stresi bitkide kısırlık oluşturmaktadır (Yadav ve ark., 2004). Bağlı su içeriği ve ozmotik potansiyel değeri, bitkisel dokularda doğrudan su durumunu ifade eden parametrelerdir. Bitkilerdeki su eksikliğinde bitki su potansiyeli ve bununla birlikte oransal su içeriğinin düşmesi olağan bir durumdur. (Gürbüz Kılıç, 2005; Kuru, 2017). Bu durumun ardından yaprak canlılığını yitirmekte ve yaprak solmaya başlamaktadır. Bitkinin yapraklarındaki canlılığını kaybetmesi ve solmaya başlaması su stresinin gözlemlenebilen ilk belirtisidir (Çamoğlu, 2010).

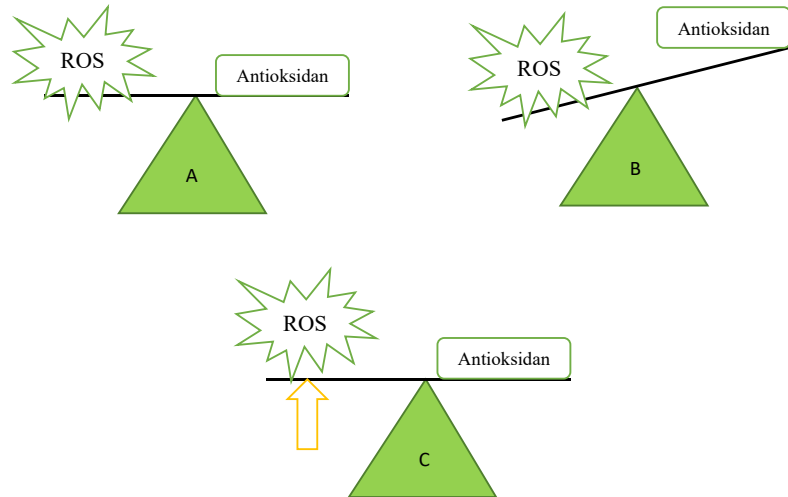
1.1.3. Su stresinde mineral maddeler

Artan su stresi ile bitki biyokütlesi ve boyu azalmaktadır (Ahmad ve ark., 2009). Bitki büyümesi ve gelişmesi üzerindeki belirgin etkisine ilaveten su stresi, ikincil etkilere yol açan bitkilerin mineral beslenmesinde dengesizliklere neden olmaktadır. Su stresi, terleme oranlarını azaltarak ve zar taşıyıcılarının işlevini değiştirerek mineral besin maddelerinin kökten sürgüne taşınmasını azaltmaktadır. Mineral besinler arasında, makro besinler bitkilerin önemli yapısal bileşenlerini oluşturur ve bitkilerde noksanlığa bağlı hassasiyetleri kolaylıkla gözlemlenebilir (Singh ve Sale, 1998). Mineral besinler, öncelikle topraktan inorganik iyonlar şeklinde elde edilen, bitki büyümesi ve üremesi için gerekli kimyasal elementlerdir. Potasyum ve kalsiyum dışında, tüm makro besinler, amino asitler ve proteinlerin (azot ve kükürt), nükleik asitlerin (azot ve fosfor), fosfolipidlerin (fosfor) ve klorofilin (magnezyum) yapısında önemli organik bileşikler olarak görev almaktadır (Amtmann ve Blatt 2009; Silva ve ark., 2011). Potasyum iyonu enzim aktivasyonu, protein sentezi, fotosentez, ozmoregülasyon, hücre uzantısı, stoma hareketi gibi birçok fizyolojik süreçte yer almaktadır. Potasyum bu işlevleri sayesinde bitkilerin su stresine karşı direncini artırmaktadır (Farooq ve ark., 2009; Silva ve ark., 2011; Kulak, 2016). Magnezyum klorofil moleküllerinde temel element olarak görev almakta ancak magnezyum aynı zamanda enerji korunumu ve dönüşümünde rol oynamaktadır. Bitki kökleri normal bitki büyümesini sürdürmek için magnezyumu topraktan almaktadır. Su eksikliğinde yeteri kadar Mg alınamaması klorofil miktarının azalmasına neden olmaktadır (Sepahvand ve ark., 2021). Azot bitkide protein, amino asit, ATP, ADP, nükleik asit, enzim ve klorofil gibi birçok önemli organik bileşiğin yapısına katılmaktadır (Bolat ve Kara, 2017). Su stresi azotlu bileşiklerin bitkiler için yararlı şekilde dönüştürülmesini engellemektedir (Çırak ve Esendal, 2006). Nükleik asitlerin, fosfolipidlerin ve ATP'nin bir bileşeni olan fosfor, enerjinin depolanması ve transferi, fotosentez, bazı enzimlerin düzenlenmesi ve karbonhidratların

taşınması gibi işlemler için gereklidir (Waraich ve ark., 2011). Su stresi, topraktan köke fosfor alımını ve ardından gövdeye iletimini azaltır. Kuru toprakta fosfor hareketliliği esas olarak difüzyon yoluyla hareket ettiği için su stresi ile birlikte azalır. Bu nedenle, toprakta yeterli su bulunması, hareketliliği ve fosfor alımını artıran önemli bir faktördür (Ahanger ve ark., 2016).

1.1.4. Su stresinin fotosentetik pigmentlere ve antioksidan sisteme etkisi

Su stresinin sonucunda bitki yapraklarındaki stomaların kapanması oldukça önemlidir (Koç, 2020). Bitkilerin yeterli su alamaması durumunda stomalar kapanınca bitki karbondioksit alımını azaltmakta böylece gaz alışverişi sınırlanmakta sonuç olarak da net fotosentez miktarı düşmektedir (Çamoğlu, 2010). Bitkilerde fotosentezin engellenmesi klorofil içeriği ve pigmentlerde değişikliklere neden olmaktadır (Çetinkaya, 2015). Fotosentetik pigmentlerden olan klorofil-a ve b nin su stresi altındaki değişimi; bazen her iki pigmentin miktarında birlikte artma ya da azalma, bazen de her ikisinde ters olarak artma ya da azalma şeklinde gözlenmektedir (Kuru, 2017). Kloroplastlarda yardımcı pigment olarak görev alan karotenoidlerin artışı antioksidan savunma sisteminin etkisini artırarak reaktif oksijen türlerini (ROS) berteraf ettiği ileri sürülmektedir (Yavaş ve İlker, 2020). Su stresine maruz kalan bitkinin bünyesindeki stres kaynaklı aksamalar sonucu hücrelerde ROS birikir bu yüzden de ROS ile antioksidan savunma mekanizmaları arasındaki denge bozulur (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Streste antioksidan maddeler ve etkileri

A: Bitki normal ortamda, B: Bitki stresli ortamda, C: Antioksidan miktarını artırmak için bitkiye uygulanan ekzojen maddenin devreye girmesi (Kuru, 2017).

Su stresinin şiddet ve süresine bağlı olarak bitki hücrelerinde oksijenin tam olarak indirgenememesi reaktif oksijen türlerinin (veya serbest radikallerin) oluşumuna neden olmaktadır. ROS'lar arasında singlet oksijen (1O_2), süperoksit radikali ($O_2^{\cdot-}$) hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali ($\cdot OH$) en çok bilinenleridir (Mutlu, 2009). ROS'ların savunma sisteminin koruyamayacağı düzeye ulaşması durumunda, hücre oksidatif strese girmektedir (Doğru, 2006; Kulak, 2016). ROS'ların miktarındaki artış sonucunda ortaya çıkan oksidatif stres bitkilerde diğer streslerde olduğu gibi su stresinin sekonder etkisi olarak kabul edilmektedir. Yapılan araştırmalarda su stresi altındaki çeşitli bitki türlerinin dokularında H_2O_2 ve $O_2^{\cdot-}$ miktarının belirgin şekilde arttığı belirlenmiştir (Doğru, 2020). H_2O_2 , demir ve bakır gibi metal iyonlarının varlığında $OH^{\cdot}$ radikalini oluşturmaktadır. Canlı sistemlerde $OH^{\cdot}$ radikalini etkisiz hale getirebilen herhangi bir enzimatik mekanizma bulunmadığı için tüm biyolojik moleküller ile reaksiyona girebilmekte ve dokulardaki fazla birikimi hücre ölümüne neden olmaktadır. Oksitleyici özelliği nedeniyle biyolojik sistemlerde oluşan H_2O_2 'nin derhal ortamdaki uzaklaştırılması gerekmektedir (Doğru, 2006; Büyük ve ark., 2012). Serbest oksijen radikalleri, hücrel membranlara lipid peroksidasyonu yolu ile zarar vermektedir. Lipid peroksidasyonu membran bütünlüğünün yok olmasına, hücrenin elektrolitlere geçirgenliğinin artmasına neden olmaktadır. Bunu da zar proteinlerine hasar, reseptörleri, enzimleri ve iyon kanallarını inaktif hale getirerek etkilemektedir (Yalçınkaya, 2019). Serbest radikaller ve lipid peroksidasyonu hücre ve doku hasarını oluşturmaktadır (Mutlu, 2009). Bitkilerde stresin öncelikli etkilerinden biri olarak gösterilen lipid peroksidasyonun en reaktif ve son ürünlerinden biri olan, hücre zarının yağ asitlerinin zarar görmesi durumunda oluşan malondialdehid (MDA) (Chiappero ve ark., 2019), hücre yapısındaki bileşiklerin çapraz bağlanmasına yol açmaktadır. MDA miktarı yani lipid peroksidasyonu stresle birlikte birçok bitkide artmaktadır (Babalık, 2012; Büyük ve ark., 2012).

Bitkilerde antioksidanlar; su stresi sonucu oluşan ROS'ların oksidatif hasara dönüşümünü engelleyen en önemli savunma mekanizmaları olarak görülmektedir (Çevik, 2009). Su stresi maruziyetinde bitkiler oksidatif stres ile başa çıkabilmek için antioksidan koruma sistemlerin bir kısmını veya hepsini kullanmaktadır (Kireççi, 2012). Stres koşulları altında bitkiler, enzimatik veya enzimatik olmayan antioksidan savunma mekanizmalarını etkin bir şekilde kullanarak hasarı azaltarak ya da önleyerek hayatta kalmaya çalışırlar. Bunlardan enzimatik olan antioksidanların en önemlileri arasında süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APOX), glutatyon redüktaz (GR), katalaz (CAT) ve peroksidaz

(POX) gibi enzimler sıralanırken; enzimatik olmayanların arasında ise vitamin E, fenoller, flavonoidler, vitamin C, askorbat, glutatyon ve karotenoidler yer almaktadır (Çaylak, 2011; Çetinkaya, 2015). Su eksikliği koşullarına karşı oldukça hassas olan enzimatik antioksidanlar bitkiler stres ile karşılaştığında stres belirteçleri olarak görev almaktadır (Kuru, 2017). Antioksidan enzimler arasında ilk olarak tespit edilen CAT'dır (Yalçınkaya, 2019). Bitki dokusundaki hasarın etkisini en aza indirebilmek için CAT aktivitesini artırarak olası H_2O_2 'nin toksik etkisini inhibe ettiği düşünülmektedir (Kireççi, 2018). En önemli enzimatik antioksidanlardan biri olan CAT; stres koşulları altında oluşan zararlı H_2O_2 'i H_2O ve O_2 'ye dönüştürmekte, böylece hücreleri strese karşı korumaktadır (Büyük ve ark., 2012). Peroksidaz (POX), CAT, APOX ve SOD enzimleri birlikte hareket ederek serbest radikalleri süpürme sürecinde önemli koruyucu bir rol oynamaktadır. POX enzimi, SOD enzimi ile üretilen H_2O_2 'yi H_2O 'ya dönüştürmektedir (Jaleel ve ark., 2008; Yalçınkaya, 2019). Son yıllarda yapılan çalışmalarda antioksidan sistemin tüm bitki hücrelerinde bulunmasına rağmen bu sistemin türe ve dokuya has bir özellik gösterdiği belirtilmiştir (Çevik, 2009). Yapılan çeşitli çalışmalarda su stresi de dahil tüm stres türlerinin antioksidan enzimlerin aktivitelerinde değişikliklere yol açtığı belirlenmiştir. Bu yüzden stres altındaki bitkilerde antioksidan sistemde meydana gelen değişimlerin incelenmesi oldukça önemlidir (Doğru, 2006).

Enzimatik olmayan antioksidanlar arasında, bitkilerin hayatta kalmasını sağlayan bitki sekonder metabolitlerinin çeşitli bir grubu olan fenolik bileşikler dikkat çekmektedir (Kulbat, 2016). Bu bileşikler, hücre zarı hasarını, protein denatürasyonunu ve bitki büyümesinin engellenmesini önlemek için antioksidan savunma mekanizması olarak sentezlenir (Albergaria ve ark., 2020). Fenolik bileşiklerin ve flavonoidlerin antioksidan savunmaya etkisi, $OH^\cdot$ radikali, $O_2^{\cdot-}$ radikali, lipid peroksit radikalleri gibi serbest radikal zincirlerinin sonlanması sağlamak ve lipid peroksidasyonunu katalizleyen metal iyonlarını bağlamaktır. Diğer antioksidanlarla etkileşime girerek bitki hücrelerindeki H_2O_2 'nin temizlenmesi için reaksiyonlarına katılmaktadırlar (Çaylak, 2011; Kireççi, 2018; Elmas ve Elmas, 2021). Böylece serbest radikallerin zararlı etkilerini engelleyebilir veya kısıtlayabilirler.

Travma, yaralanma, kuraklık ve patojen saldırısı gibi çeşitli iç ve dış faktörler fenoliklerin sentezini ve birikimini etkiler. Çevresel faktörler ve stres koşullarında fenolik bileşik miktarlarında artış meydana geldiği farklı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Bhattacharya ve ark., 2010; Büyük ve ark., 2012; Del Rosario Cappellari ve ark., 2017).

Parida ve ark. (2004) su eksikliğine tepki olarak fenolik bileşiklerin sentezinin arttığını belirtmiştir. Bununla birlikte, kuraklık toleransı ve stres yoğunluğuna bağlı olarak su stresinin yapraklardaki polifenol konsantrasyonunu farklı şekilde etkileyebileceği de araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Sánchez-Rodríguez ve ark., 2011). Antioksidan kapasitesinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır; bunlar arasında oksijen radikal absorpsiyon kapasitesi yöntemi (ORAC), toplam radikal tuzaklayıcı antioksidan parametre yöntemi (TRAP), karotenoid (krosin) ağartma yöntemi, Folin-Ciocalteu ayırıcı ile toplam fenolik yöntemi (FCR), troloks eşiti antioksidan kapasite (TEAC), demir iyonu indirgeyici antioksidan güç (FRAP), oksidan olarak bakır (II) kullanan toplam antioksidan potansiyel yöntemi (CUPRAC) ve 1,1-difenyl-2-pikril-hidrazil (DPPH) radikalinin temizlenmesi yöntemleri sayılmaktadır (Albayrak ve ark., 2010; Büyüktuncel, 2013). Canlıda oluşan oksidan ürünlerin temizlenmesi hatta bu ürünlerin oluşmasının engellenmesine yönelik en etkili yöntemlerden biri DPPH radikalinin temizlenmesi aktivitesinin tespit edilmesidir (Kulak, 2016). Bitki içeriğindeki fenolik bileşik zenginliği ile DPPH temizleme aktiviteleri arasındaki korelasyon çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Dıraz, 2015; Kulak, 2016; Bilginer, 2019). Oda sıcaklığında kararlı bir serbest radikal olan DPPH kararlı bir molekül olmak için bir elektron veya hidrojen radikalini kabul eder, bir antioksidan molekül varlığında indirgenir (Ayar-Kayalı ve ark., 2009; Taş, 2019).

1.1.5. Su stresinde diğer organik bileşikler

Su stresi ile başa çıkabilmek için bitkiler antioksidan savunma sistemlerinin yanı sıra farklı yöntemler de geliştirirler. Su stresi ile birlikte bitkiler hücrelerindeki turgor basıncını (su potansiyelini) değiştirmektedir (Soltekin, 2019). Su stresine maruz kalan bitki hücreleri turgor durumlarını koruyabilmek adına bazı organik bileşikleri (prolin, glisin-betain, glutamat gibi aminoasitler; mannitol ve sorbitol gibi şeker alkolleri) biriktirirler. Stres faktörüne cevap olarak hücrede biriken bu bileşikler, hücre su potansiyelini düşürerek dış ortamdan su alımını kolaylaştırdıkları, protein ile hücre yapısının stabilizasyonunda ve ROS'in etkisizleştirilmesinde görev aldıkları bildirilmektedir (Kuru, 2017; Yediyıldız, 2019; Aljemaa, 2020). Prolin, hücresel hasarı azaltması açısından bitkinin oluşturduğu ilk cevap olduğu için su stresi toleransında araştırılması gerekli bir ozmolittir (Morgil, 2019). Prolin suda çözünebilen organik bir amino asittir ve hücrede birikimi su stresi toleransında önemli bir belirteçtir (Gürbüz Kılıç, 2005). Hücre altı yapıların (örneğin zarlar ve proteinler) stabilize edilmesine, serbest radikallerin temizlenmesine ve stres koşulları altında hücresel redoks potansiyelinin tamponlanmasına katkıda bulunur (Ashraf ve Foolad, 2007). Prolinin

hücre içi temel görevi, lipid oksidasyonunu engelleyerek membran sistemlerini ve oluşturdıkları bileşikler aracılığıyla da protein yapılarını korumaktır (Öztürk, 2015). Prolin, elektron kaçaklarının önlenmesinde, makromoleküllerin kararlılığının korunmasında, ozmotik düzenlemede azot ve karbon kaynağı sağlayarak plazma zarının bütünlüğünün korunmasında oldukça önemlidir (Kuru, 2017).

Bitki sekonder metabolitler sınıfında yer alan uçucu yağlar da çevresel stresten etkilenmektedir. Uçucu yağlar bitkide ısıyı ayarlayıcı etki yaparak su kaybını önlemektedir. Şiddetli bir şekilde buharlaşarak uçucu hale geçme özelliklerinden dolayı bitkiden ısı çeker ve böylece bitkinin doğal su dengesini korunmasına yardım ederler (Mammadov, 2014). Hafif ve orta derecede su stresleri, uçucu yağ içeriğini değiştirmektedir. Hafif strese maruz kalan nane bitkilerinin uçucu yağ içeriği artarken, orta düzeyde su stresi uygulaması, farklı bitki büyüme evrelerinde uçucu yağ içeriğinde önemli bir azalmaya neden olmuştur (Abdi ve ark., 2019b). Bitkilerin uçucu yağ verimini ve içeriğini stres faktörleri ile birlikte bitkinin yetiştirildiği veya toplandığı bölge, bitkinin çeşidi, hasat öncesi veya sonrası uygulamalar etkilemektedir (Ayaz, 2021).

1.1.6. Su stresinde bitkisel hormonların ve bitki büyüme düzenleyicilerin rolü

Bitki hormonları, biyotik ve abiyotik strese ve diğer hayati faaliyetlere karşı bitki cevabını modüle eden biyolojik olarak aktif maddelerdir. Önceki araştırmalar, bitki hormonlarının strese karşı bitki direncini düzenlemede önemli roller oynadığını göstermiştir (Yuan ve ark., 2014). Su yetersizliğinde absisik asit (ABA) hormonunun anahtar rol oynadığı ortaya konmuştur (Gürbüz Kılıç, 2005; Çetinkaya, 2015). Su stresi ve osmotik stres altındaki bitki yapraklarında turgor basıncı düşmekte ve ABA konsantrasyonu 50 kat artmaktadır. ABA'nın su stresinde potasyum iyon (K^+) akışını değiştirerek stomaların kapanmasını sağladığı böylece olumsuz şartlara karşı bitkide direnç geliştirdiği belirtilmektedir (Öztürk, 2015; Soltekin, 2019). Su stresi altındaki fidelere ekzojen olarak ABA uygulanması klorofil ve karotenoid birikimini arttırmaktadır. (Haisel ve ark., 2006). Su stresinde ABA sentezi artarken sitokinin seviyesi azalır (Koç, 2020). Sitokininler köklerden sürgünlere ilerleyen önemli bir sinyal aracı olarak kabul edilmektedir (Anjum ve ark., 2011). Su stresi altında, sitokininin erken yaprak yaşlanmasını ve ölümünü geciktirdiği bildirilmektedir (Basu ve ark., 2016). Etilen, yaprak yaşlanmasını teşvik ederek ve kök büyümesini ve gelişimini, sürgün/yaprak genişlemesini ve fotosentezi engelleyerek su stresinde negatif düzenleyici olarak görev alır (Basu ve ark., 2016). Araştırmalar oksinin, kök gelişimini, ABA'ya yanıt

veren genlerin ekspresyonunu, ROS metabolizması ve metabolik homeostazı düzenleyerek su stresine dirençte katkıda bulunduğunu göstermiştir (Shi ve ark., 2014). Giberellik asitin (GA) su stresi altındaki bitkinin adaptasyonunu düzenlemede yardımcı olduğu, strese maruz kalan bitkilerde büyümenin engellenmesi ile birlikte endojen GA seviyelerinde hızlı bir düşüş gözlemlendiği bildirilmiştir (Wang ve ark., 2008). Su stresine maruz kalan domates bitkilerine ekzojen brassinosteroid uygulamasının bitkinin, H₂O₂ içeriği ve lipid peroksidasyon seviyesini azalttığı, prolin, çözülebilir protein içeriği ve antioksidatif enzim aktivitesini arttırdığı bildirilmiştir (Surgun ve ark., 2012).

Strigolaktonların su stresinde bitkide aktif bir rol oynadığı, su stresi altındaki çeltikte kökte SL üretiminin, sürgünde ABA üretiminin ve SL biyosentetik genlerinin ekspresyonunun aynı anda uyarıldığı bildirilmiştir (Haider ve ark., 2018). Ayrıca, GR24 uygulaması düşük strigolakton içeren *Arabidopsis* mutantlarının su stresine karşı direncini geri kazandırabilmekte hatta yabani türlerde kuraklık direncini iyileştirebilmektedir (Van Ha ve ark., 2014). Bitkisel hormonlara ek olarak salisilik asit (SA), jasmonik asit (JA), poliamin gibi büyüme düzenleyicilerin su stresine toleransta önemli rol oynadığı bildirilmiştir (Basu ve ark., 2016; Morgil, 2019; Yavaş ve İlker, 2020). Stres faktörlerini tolere edebilen bitkilerde SA üretiminde bir artış gözlemlendiği hatta ekzojen SA uygulamaları sayesinde de strese karşı tolerans mekanizmalarının faaliyete geçtiği saptanmıştır (Özdüven, 2016). SA uygulaması bitki hücrelerinde su stresine bağlı oksidatif zararı azaltan antioksidan enzimleri tetiklemekte, klorofil içeriği, net fotosentez oranı ve stoma iletkenliği dikkat çekici bir yükseliş göstermektedir (Yavaş ve İlker, 2020).

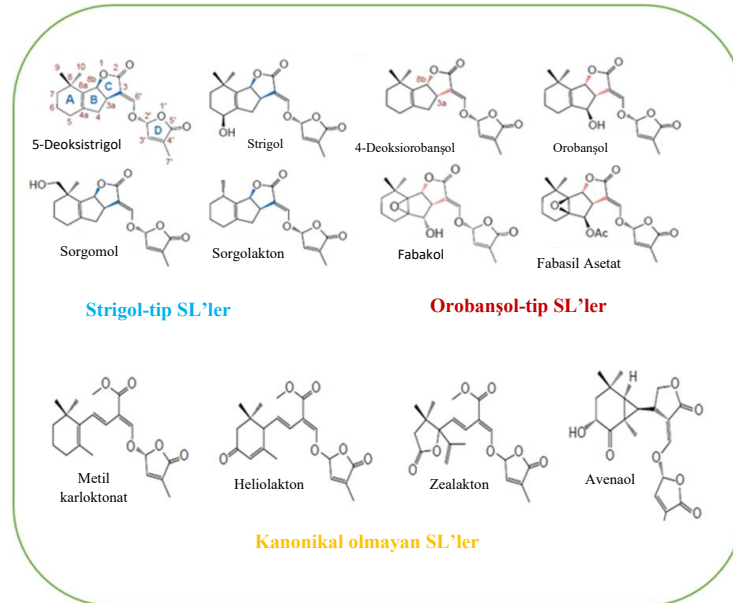
Çalışmanın amacını oluşturan SL ve SA uygulamaları ile ilgili geniş bilgi aşağıda özetlenmiştir.

1.2. Strigolakton (SL)

Strigolakton ismini bitkilerde parazitik bitki cadı otu (Orobanchaceae familyası) *Striga*’dan ve kimyasal yapısını ifade eden lakton kelimesinden almaktadır (Önay, 2019). SL’ler ilk olarak parazitik bitki olan *Striga lutea*’nın (cadı otu) çimlenmesinin bir uyarıcısı olarak pamuğun (*Gossypium hirsutum*) kök sızıntısından tespit edilmiştir (Zwanenburg ve Pospíšil, 2013). Sonraki çalışmalarda tütün, mısır, çeltik, kırmızı yonca, sorgum, petunya, bezelye ve domates gibi birçok monokotil ve dikotil bitki kök salgılarından SL’lerin varlığı ortaya çıkarılmıştır (Xie ve ark., 2009; Akiyama ve ark., 2010; Kohlen ve ark., 2011; Brewer,

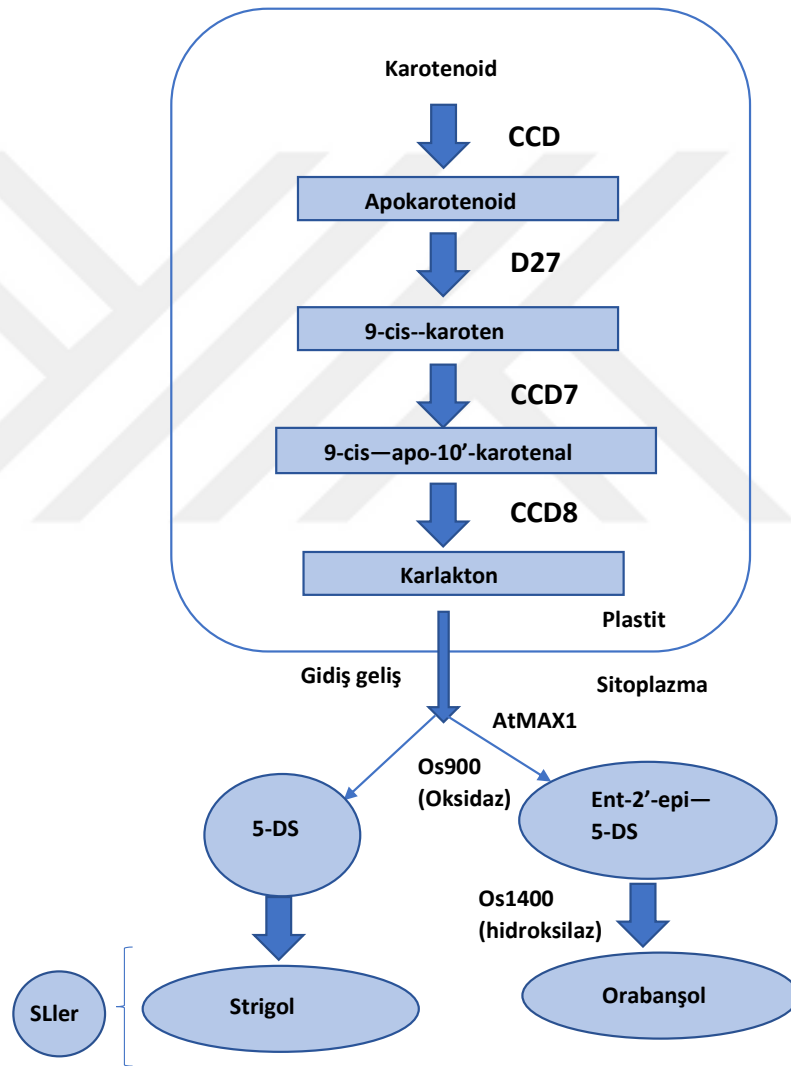
2013; Eroğlu, 2017; Cardinale ve ark., 2018). SL'ler, birer trisiklik lakton (ABC halkası) ve metil butenoloidinin (D halkasının) enol eter köprüsü ile bağlandığı bir grup terpenoid laktonlardır (Boyer ve ark., 2012). Kanonikal ve kanonikal olmayan SL'ler olmak üzere Strigolaktonlar iki gruba ayrılmaktadır. Kanonikal SL'ler, bir enol eter köprüsü aracılığıyla ABC halka sistemine bağlı butenolid D halkasını içermekte, ilk olarak ve bugüne kadar tespit edilen birçok SL'i kapsamaktadır. Strigol-tip ve Orobanşol-tip olarak sınıflandırılmaktadır. Kanonikal olmayan SL'ler ise ABC halka sistemini içermeyip enol eter-D halka yapısını içerir (Şekil 1.3) (Yoneyama ve ark., 2019; Bürger ve Chory, 2020).

Strigolaktonlar bitkide sentezlendiği yerden diğer bölgelere taşınması, bitki fizyolojisini kontrol etmesi ve fizyolojik strese yanıt vermesi gibi bitki yaşamı için oldukça önemli görevleri yerine getirmesinden dolayı 2008 yılında bitkisel hormon sınıfına dahil edilmiştir (Gomez-Roldan ve ark., 2008; Umehara ve ark., 2008; Sapmaz, 2019). Şimdiye kadar strigol, sorgolactone, 5-deoksistrigol, sorgomol, orobanşol gibi doğal olarak oluşan yaklaşık 25 SL tespit edilmiştir. Bitkideki miktarlarının çok düşük olması sebebiyle Nijmegen-1, GR5, GR7, GR24 gibi sentetik analogları üretilmiştir. SL'in sentetik analogları biyolojik çalışmalarda önemli bir role sahiptir (Sato ve ark., 2003; Umehara ve ark., 2015; Xie ve ark., 2017; Issah, 2021). Laboratuvar çalışmalarında günümüzde en yüksek aktiviteye sahip olduğu için yaygın olarak kullanılan sentetik strigolakton GR24, ismini Gerry Roseberry adlı araştırmacının isminin baş harflerinden almıştır (Thuring ve ark., 1997; Cardinale ve ark., 2018; Ling ve ark., 2020).



Şekil 1.3. SL'lerin yapıları ve sınıflandırılması
(Jia ve ark., 2019)

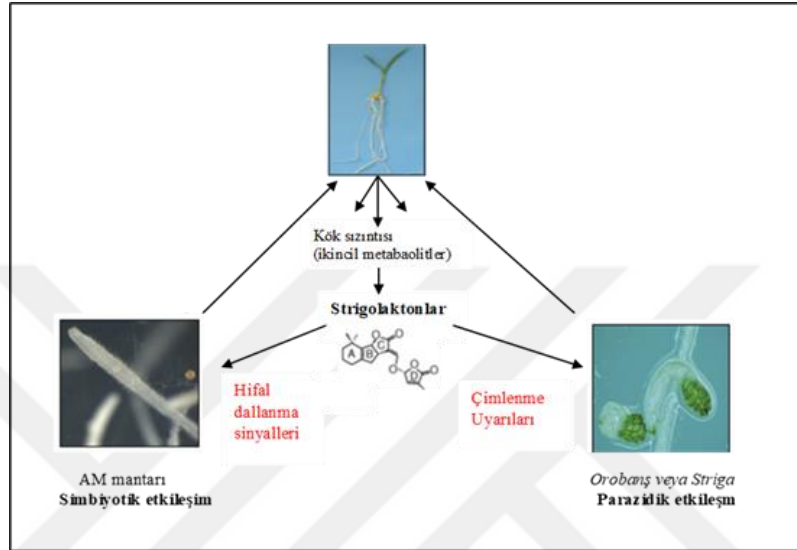
SL biyosentezleri plastid ve sitoplazma olmak üzere iki ayrı bölümde meydana gelir. Terpen sentez yolağından oluşan SL'in karotenoid kökenli metabolit olmasından dolayı biyosentezinin ilk basamakları plastidlerde gerçekleşir. Karotenoidden karlaktona kadar geçen sentez basamaklarında karotenoid cleavage dioksigenaz (CCD, CCD7, CCD8) ve D27 enzimleri görev alır. Karlaktonun sitoplazmada parçalanması sonunda aktif SL oluşumu gerçekleşir. Böylece diğer SL türevlerine dönüşebilen en basit SL yapısı olan 5-deoksistrigol oluşmuş olur (Şekil 1.4) (Alder ve ark., 2012; Banerjee ve Roychoudhury, 2018; Özbilen, 2019).



Şekil 1.4. SL'lerin biyosentetik yolu: strigolün ve orabañşolun oluşumu (Banerjee and Roychoudhury, 2018)

SL'ler kökte sentezlenir ve ksilem aracılığıyla sürgünlere doğru taşınırlar (Kohlen ve ark. 2011; Xie ve ark. 2015). Karotenoidlerden sentezlenen SL'ler endojen ve ekzojen sinyal molekülü olarak görev yapmaktadırlar (Pandey ve ark., 2016). SL'lerin ekzojen etkisine

Striga, *Orobanch* ve *Pelipanchi* spp gibi parazit bitkilerin tohumlarının çimlenme uyarıcısı olması ve arbusküler mikorizal (AM) mantarların dallanmasında etkili olması; endojen etkisine aksiller tomurcukların büyümesini engellemesi ve sürgün dallanmasının önlemesi sayılabilir (Şekil 1.5) (Gomez ve ark., 2008; Umehara ve ark., 2008; Koltai ve Beveridge, 2013; Zwanenburg ve Pospíšil, 2013). Bugüne kadar onlarca bitki üzerindeki rolü tespit edilmiş olup araştırmalar devam ettikçe sayı gittikçe artmaktadır.



Şekil 1.5. Bitkiler, arbusküler mikorizal mantar ve parazit bitkiler arasındaki iletişim (Bouwmeester ve ark., 2007)

Strigolaktonların bitki gelişimindeki bazı rolleri şu şekilde sıralanabilir; bitkinin primer köklerinde artış sağlaması, lateral köklerin oluşumunun bastırılması ve kök tüylerinin uzamasını teşvik etmesi (Kapulnik ve ark., 2011; Ruyter-Spira ve ark., 2011; Koltai, 2015; Sun ve ark., 2016), sap kalınlığını artırması ve ikincil büyümeyi tetiklemesi (Agusti ve ark., 2011), internod uzamasını teşvik etmesi ve sürgünlerin sekonder büyümesini düzenlemesi (Gomez-Roldan ve ark., 2008; Scaffidi ve ark., 2014; Umehara ve ark., 2015), yaprak uzamasını teşvik etmesi, yaprak şeklini kontrol etmesi ayrıca yaprak yaşlanmasını hızlandırmasıdır (Stirnberg ve ark., 2002; Yamada ve ark., 2014).

SL'lerin çevresel uyaranlara karşı bitkide dayanıklılığı artırması, ağır metal stres toleransını teşvik etmesi, tuzluluk, su, ışık, sıcaklık, soğuk ve besin stresi gibi stres türlerine karşı direnci artırması bitkinin hayatta kalmasını kolaylaştırmaktadır (Tsuchiya ve ark., 2010; Toh ve ark., 2012; Van Ha ve ark., 2014; Marzec, 2016; Visentin ve ark., 2016; Min ve ark., 2019). Diğer streslere ilaveten bitki için son derece önemli olan fosfat ve azot eksikliği SL biyosentezini etkilemektedir. Fosfat ve azot eksikliğinde bitki SL üretimini

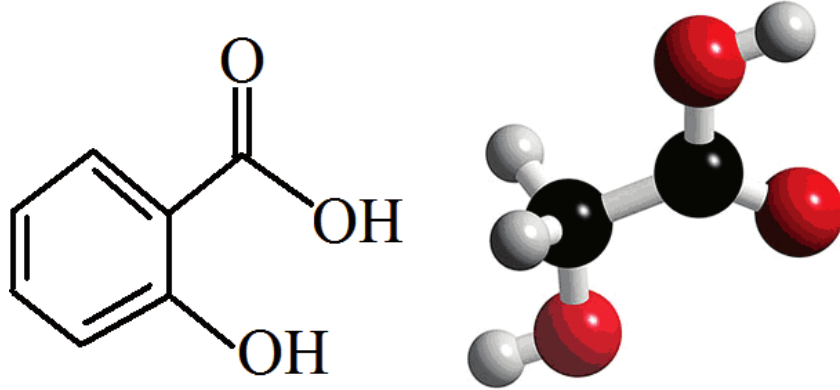
artırarak besin eksikliğinin giderilebilmesi için AM mantarlarını uyarmakta, AM mantarının hifal dallanmayı artırarak bitki için gereken fosfatı topraktan sağladığı görülmektedir, böylece bitki ihtiyacı olan minerali mantardan sağlamış olmaktadır (Bouwmeester ve ark., 2007; Koltai, 2015; Saeed ve ark., 2017; Bouwmeester ve ark., 2019).

SL'ler çeşitli abiyotik streslere karşı etkili olmasının yanı sıra oksin, sitokinin, giberellik asit, metil jasmonat, absisik asit ve brasinosteroidler gibi BBD ve hormonlar ile etkileşim halindedir (Van Ha ve ark., 2013; Ma ve ark., 2017; Sedaghat ve ark., 2020; Shirani Bidabadi ve Sharifi, 2021). SL'lerin bitki gelişimini diğer bitki hormonları ve büyüme düzenleyiciler ile iş birliği yaparak gerçekleştirdiğini vurgulayan çeşitli çalışmalar mevcuttur. Oksin+SL birlikteliği bitkinin yan sürgün dallanmasını baskılayarak, yanal köklenme ve kök tüylerinin gelişimini düzenlemekte ve kök-gövde oranını etkilemektedir (Kapulnik ve ark., 2011; Bartoli ve ark., 2013; Kürtür, 2018). Sitokininler, sürgün dallanmasında, aksiller tomurcuk büyümesinin düzenlenmesinde ve karanlıkta mezokotil uzamasının düzenlenmesinde SL'lere antagonist etki yapmaktadır (Cline, 1991; Foo ve ark., 2005; Gomez ve ark., 2008; Umehara ve ark., 2008; Dun ve ark., 2012; Hu ve ark., 2014; Issah, 2021). SL'ler *Arabidopsis* tohumlarının çimlenmesinde giberellik asit ile sinerjistik etki göstermiştir (Toh ve ark., 2012). Araştırmalar sonucunda SL'in etilen üretimini etkileyerek yaprak senesensini artırdığı tespit edilmiştir (Özel, 2019). Ekzojen olarak uygulanan GR24'ün, su stresi hasarını azalttığı, kuraklığa duyarlı genotiplerde, stoma iletkenliğini artırdığı ve ABA'nın teşvik ettiği stoma kapanmasını azalttığı, SL ve ABA'nın ortaklığının bitkinin abiyotik stres ile baş etmede önemli bir role sahip olduğu bildirilmiştir (Van Ha ve ark., 2013; Önay, 2019). SL ve brassinosteroid hormonunun pirinçte dallanmayı birbirinin antagonisti olarak hareket ederek düzenlediği genetik ve moleküler mekanizmalar ile ortaya konulmuştur (Wang ve ark., 2013; Faizan ve ark., 2020). *Arabidopsis*'te SL ve karrikin antosiyanin birikimini, stoma kapanmasını, hücre zarı bütünlüğünü ve kütikula oluşumunu ayarlayarak kuraklığa karşı direnci düzenlemektedirler (Li ve ark., 2020).

1.3. Salisilik asit (SA)

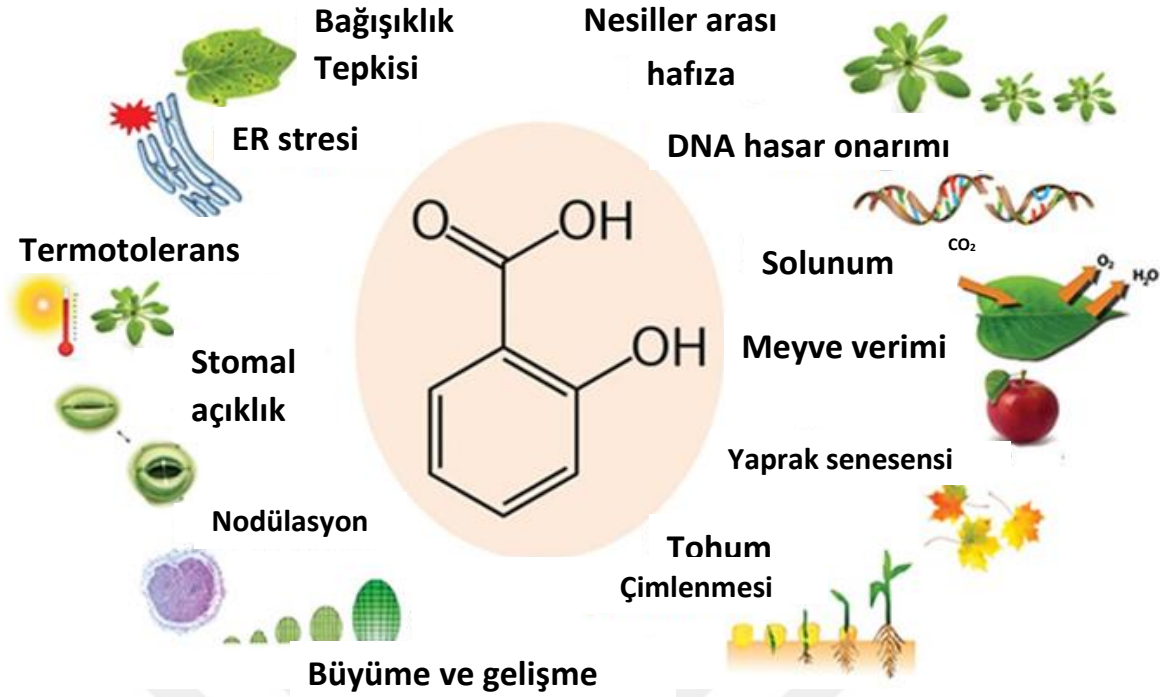
Bitki büyüme düzenleyicisi olarak salisilik asit (SA), bir hidroksil grubu veya türevi ile aromatik bir halka içeren fenolik grubundan bir organik bileşiktir (Şekil 1. 6) (Klessig-Malamy, 1994; Kaur ve ark., 2017). SA'nın biyotik ve abiyotik streslere karşı bitkideki savunma bileşiklerini aktive eden, bitki gelişiminin düzenlenmesi ve diğer organizmalarla

etkileşiminde önemli bir katkı sağlayan hormon benzeri doğal bir sinyal molekülü olduğu bildirilmektedir (Mutlu, 2009; Öztürkci, 2016; Li ve ark., 2019).



Şekil 1.6. Salisilik asitin kimyasal yapısı
(Kaur ve ark., 2017)

SA, çiçeklenmeyi artırmak, adventif köklenmeyi uyarmak, yaprak dökümünü azaltmak, yaşlanmayı geciktirmek ve proteinlerin miktarını değiştirmek gibi farklı etkilere sahiptir (Özeker, 2005; Öztürkci, 2016). Salisilik asitin bitkilerde iyon alımı ve taşınmasını sağlama, etilen biyosentezini engelleme, fotosentez düzeyini, zar ve stoma geçirgenliğini ayarlama, vegetatif gelişmeyi hızlandırma, protein miktarında ve içeriğinde değişikliklere neden olma, çimlenme ve çiçeklenmeyi uyarma gibi fizyolojik rolleri sıralanabilir (Sevimay, 2009; Torun, 2012; Kulak, 2016). Su stresinde SA'nın, redoks durumunu dengelemek için metabolitleri ve antioksidan enzimleri artırdığı, ozmotik sistemi ayarladığı ve bazı durumlarda büyümeyi teşvik ederek üretkenliği ve verimi artırdığı görülmektedir (Hernández-Ruiz ve Arnao, 2018). SA'nın bitkideki savunma tepkileri yanı sıra, termotolerans (ısıya karşı tolerans), nodülasyon, endoplazmik retikulum (ER) stresi, DNA hasarının onarımı ve nesiller arası hafızada etkinliği gibi yeni işlevleri gün ışığına çıkmaktadır (Guilfoyle ve ark., 2015) (Şekil 1. 7).



Şekil 1.7. Bitkilerde salisilik asidin biyolojik fonksiyonları
(Guilfoyle ve ark., 2015)

Bitkiye ekzojen olarak uygulanan SA aktif bir şekilde ihtiyaç duyulan yere iletilir, iletildiği yerde metabolizmaya katılır böylece bitkinin farklı bölgelerine kolaylıkla taşınabilir (Mutlu, 2009). Ekzojen olarak verilen SA'nın bitkilerde stoma kapanması, tohum çimlenmesi, meyve verimi ve glikoliz dahil olmak üzere çok çeşitli prosesleri etkilediği gösterilmiştir (Cutt ve Klessig, 1992). Stres durumunda bitkinin zararını asgari düzeye indirmek için SA uygulaması yapmadan önce, bitkiye ait çeşitli faktörlere (bitkinin türü, yaşı, gelişme dönemi gibi) ve SA ya ait özelliklere (verilecek konsantrasyon ve uygulama şekli) dikkat edilmelidir (Sevimay, 2009). Doğru şekilde uygulandığında SA, bitkilerde antioksidan savunmayı artırmakta, poliaminler gibi bazı düzenleyicilerin sentezine katkı sağlamakta, bitkilerde oksidatif stres seviyesini düşürebilmektedir (Köseoğlu, 2019).

1.4. Nane (*Mentha L. spp.*)

Nane Lamiaceae familyasına ait, geniş tür zenginliği olan, ülkemizde ve dünyada kültürü yapılan, tıbbi aromatik değeri yüksek, son derece önemli uçucu yağ ve baharat bitkisidir (Baydar, 2016; Abdi ve ark., 2019a). Ülkemizde 7 farklı *Mentha* türü tespit edilmiş olup kültürü yapılan en önemli 3 nane türünü *Mentha piperita*, *Mentha spicata* ve *Mentha arvensis* oluşturmaktadır (Baydar, 2016; Kaya, 2017). Nane türleri yüz yıllardır gıda ve ilaç

olarak kullanılmakta olup dünya literatüründe “peppermint” ve Türkçede “İngiliz nanesi” olarak bilinen *M. piperita* L. son yüzyılda yoğun olarak kullanılmaktadır (Yılmaz, 2018).

1.4.1. İngiliz nanesi (*Mentha piperita* L.)

Çalışmada materyal olarak kullanılan *Mentha piperita* L. (Lamiaceae) tıbbi ve aromatik değeri oldukça yüksek ve dünyada uçucu yağından en fazla yararlanılan nane türüdür (Can, 2020). *M. piperita* yüksek fenolik madde miktarına ve oldukça güçlü antioksidan etkiye sahiptir (Nickavar ve ark., 2008; Deveci ve ark., 2016). *M. piperita*'da fenolik olarak (%1-3), kafeik asit türevleri (rosmarinik asit) ve flavonoid (apigenin, diosmetin, luteolin 7-glikosit, rutin, hesperidin, eriyositrin) bulunur (Demirez, 2013; Chiappero ve ark., 2019). İngiliz nanesi uçucu yağının ana bileşeni mentol, menton, metil asetat, mentofuran ve 1,8-Sineol 'dür (Agarwal, 2008; Baydar, 2016; Ayaz, 2021). Mentol, α -pinen, 1,8-sineol iyi bir antioksidan etkiye (Riachi ve De Maria, 2015), limonen ise antibakteriyel ve antifungal etkiye sahiptir (Kayahan ve ark., 2013). Terpenler grubunda yer alan bazı uçucu bileşikler oksidatif ve farklı abiyotik streslere karşı bitkide toleransı oluşturmaktadırlar (Loreto ve ark. 2006). Uçucu yağlar sentezlendikleri bitkilerde biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı koruma görevi üstlenme, bazı stres şartlarına karşı bitkiye dayanıklılık sağlama ve çeşitli kimyasal savunma sinyallerini uyarma gibi birçok fonksiyona sahiptir (Şanlı ve ark., 2016). Nane su ve tuz stresi, ışık kalitesi ve miktar gibi farklı çevresel şartlara tepki olarak metabolik profilini değiştirmektedir (Rahimi ve ark., 2017). Hafif su stresine maruz kalan nane bitkilerinin uçucu yağ içeriği artarken, orta düzeyde su stresi farklı bitki büyüme evrelerinde uçucu yağ içeriğinde önemli bir azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca su stresinde mentol ve menton üretimini arttığı belirtilmektedir (Abdi ve ark., 2019a).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Su Stresinin Lamiaceae üyelerine Etkisi Üzerine Önceki Çalışmalar

Khorasaninejad ve ark. (2010) nane (*Mentha piperita*) fidelerini su stresine maruz bırakıp büyüme parametrelerine, uçucu yağ bileşenlerine ve uçucu yağ verimine stresin etkisini incelemişlerdir. Çeşitli tarla kapasitesi (TK) (%100, %85, %70, %60, %45 TK) ile sulanan fidelerde su stresinin tüm büyüme parametrelerinde, uçucu yağ veriminde ve yüzdesinde önemli bir azalmaya neden olduğunu ve en yüksek büyüme parametreleri, uçucu yağ yüzdesi ve verim değerlerinin %100 TK'de elde edildiğini bildirmişlerdir. Ayrıca en yüksek menton ve mentofuran değerleri %100 TK'da, en yüksek mentol değerleri ise %70 TK'da elde edilmiştir.

Ghanbari ve Arıafar (2013) nane'de (*Mentha piperita*) zeolit (0, 1.5, 2 ve 2.5 g/kg toprak) ve su stresinin (%70, %50 ve %30 TK) etkisini incelemek için yaptıkları araştırmada su stresinin yağ yüzdesi hariç tüm büyüme parametrelerinde önemli bir azalmaya neden olduğunu, su stresinde zeolit uygulamasının tüm özelliklerin ortalamalarını arttırdığını tespit etmişlerdir. En yüksek yağ veriminin %50 TK ve 2.5 g zeolit ile yapılan uygulamaya ait olduğunu belirtmişlerdir.

Németh-Zámbori ve ark. (2016) *Mentha piperita* (nane), *Majorana hortensis* (mercanköşkü), *Melissa officinalis* (limon otu) ve *Thymus vulgaris* (kekik)'in su stresinde verim, uçucu yağ içeriği ve bileşimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Tüm türler için biyokütle ve uçucu yağ konsantrasyonu, TK'sinin %40'ında yetiştirilenlerin %70'dekilere kıyasla önemli ölçüde azaldığını belirtmişler. Uçucu yağ veriminde en büyük değişiklikler limon otu, en küçük değişiklikler mercanköşkünde tespit edilmiştir. Hem kekik hem de mercanköşkün uçucu yağında karakteristik bileşenleri su stresi ile artarken limon otu ve nane bileşenlerinin önemli değişiklikler göstermediğini belirtmişlerdir.

Moradi ve ark. (2017) iki kekik türünün (*T. vulgaris*, kuraklığa duyarlı ve *T. serpyllum*, kuraklığa tolerant) su eksikliğinde ana metabolitlerini inceledikleri çalışmada, toleranslı ve hassas popülasyonların su stresine hem fizyolojik hem de metabolik seviyelerde farklı tepkiler verdiğini bildirmişler ayrıca su potansiyeli ve sürgün kuru ağırlığı değerleri yönünden *T. vulgaris* popülasyonunu su harcayan ve *T. serpyllum*'u su tasarrufu yapan tür olarak belirlemişlerdir.

Németh-Zámbori ve ark. (2017) limon otu, mercanköşk, nane, kekik bitkilerini %70 TK ve %40 TK'si ile yetiştirdikleri denemede %40 ile sulanan fidelerin tüm türlerde toplam biyokütle üretimini azalttığını, nane ve limon otunun sürgün kütlesini düşürdüğünü belirtmişlerdir. Su eksikliğinde çalıştıkları türlerin toprak üstü kısımlarında toplam fenolik içeriğinde artış gözlemişler ve en büyük artışı ise limon otunda tespit etmişlerdir. Su eksikliğinde kekik, mercanköşk ve nane fidelerinin rosmarinik asit (RA) içeriğinde önemli bir artış belirlemişlerdir.

Rahimi ve ark. (2017) *M. piperita* bitkilerini su stresine maruz bıraktıktan sonra mentol biyosentez yolunda yer alan genlerin ekspresyonunu analiz etmişler ve ayrıca morfolojik ve fizyolojik özelliklerini değerlendirmişler. Su stresi pulegon, mentofuran içeriğinin artmasına ve mentol yüzdelерinin azalmasına neden olmuştur. Limonen sentaz gen ekspresyon seviyelerinin artması daha fazla uçucu yağ verimine neden olabilirken, mentofuran sentaz gen ekspresyon seviyelerindeki düşüşün uçucu yağ kalitesinin iyileşmesine neden olduğunu bildirmişlerdir.

Karimzadeh Asl ve ark. (2018) *Dracocephalum moldavica* 'de su stresi altında, zeolit ve biyo-gübre uygulamalarının morfolojik özellikler ve uçucu yağ bileşenleri üzerindeki etkilerini inceledikleri araştırmalarında fidelere %90, %60 ve %30 TK'de, zeolit (0 ve 2 g/kg) ve biyo-gübreler (kontrol, nitroksin, fosfat barvar-2 ve nitroksin×fosfat barvar-2) uygulamışlardır. Zeolit uygulamasından %90 TK'de yüksek bitki boyu, yaprak alanı, kuru madde ve çiçekli dal verimi elde edilirken, uçucu yağ yüzdesi ve verimi %60 TK'de yüksek tespit edilmiştir. *D. moldavica*'da nitroksin+fosfat barvar-2 + zeolit kombinasyonundan, incelenen özellikler yönünden en yüksek değerlerin elde edildiğini bildirmişlerdir.

Rahimi ve ark. (2018) su stresinin (1, 0.75, 0.5 ve 0.25 TK) *M. piperita* üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında nane bitkilerinin 0.25 TK ile sulanması ile yapılan uygulamada maksimum uçucu yağ yüzdesi, en yüksek H₂O₂ ve MDA içeriğini ve SOD aktivitesini tespit etmişlerdir. En yüksek polifenol oksidaz (PPO) aktivitesini ve yüksek flavon içeriğini 0.5 TK'de gözlemişlerdir. Bununla birlikte, su stresinin toplam fenol içeriği ve flavonoid içeriği üzerinde 0.25 TK uygulamalarının düşüşe neden olduğunu belirtmişlerdir.

Abdi ve ark. (2019a) *M. piperita* bitkilerini üç farklı sulama şartlarında [stresiz, hafif stres (%60±5 TK) ve orta stresli (%40±5 TK)] yetiştirmişler ve bitkinin ana bileşenlerinin kantitatif değişikliklerini ve uçucu yağ içeriğini değerlendirmişlerdir. Deneme sonunda nanede uçucu yağ bileşimi ve birikiminin bitkinin büyüme evresine bağlı olarak farklılık

gösterdiğini, hafif stres şartlarının uçucu yağ yüzdesini artırdığını, orta düzeyde stresin uçucu yağ içeriğini azalttığını bildirmişlerdir. Orta düzey strese menton içeriği azalıp mentofuran içeriği artarak uçucu yağ profilinin değiştiğini ayrıca su stresinin seskiterpenlerin nispi oranlarını artırdığını belirtmişlerdir.

Caser ve ark. (2019) adaçayı bitkisinde iki farklı sulama uygulamasının (orta, şiddetli) bitkinin metabolik profiline etkisini araştırmışlardır. Orta derecede kuraklık şartları, yaprak su potansiyelinde, büyüme ve stoma iletkenliğinde düşüşe neden olmuştur. Şiddetli su stresi altındaki bitkilerde fotosentez ve terlemede düşüş, endojen absisik asitte ve seskiterpen üretiminde artış meydana gelmiştir. Her iki su stresi koşulları uçucu yağ biyosentezini ve metabolik profilde yer alan bazı genlerin ekspresyonunu artırmıştır.

Chiappero ve ark. (2019) bitki büyümesini teşvik eden rizobium bakterileri (PGPR) suşu ile kök aşılması yapılan ve orta ve şiddetli seviyedeki su stresi altında yetiştirilen *M. piperita* fidelerindeki değişimi araştırmışlardır. PGPR'nin nane bitkisinde su stresinin etkilerini iyileştirme, MDA seviyelerini düşürme, ROS birikimini önleme, antioksidan enzimlerin aktivitelerini ve antioksidan içeriği artırma ve ayrıca bitki büyümesinin ve biyokütlesinin devamını sağlama da yeteneğini ortaya koymuşlardır.

Da Silva ve ark. (2019) farklı seviyelerde su eksikliğinde (100, 80, 60 ve 40TK) yetiştirilen *M. piperita* 'nin vejetatif büyümesini, kimyasal bileşimini ve uçucu yağın antioksidan aktivitesini araştırmışlardır. Su stresinin artmasıyla birlikte kök, yaprak ve gövde kuru maddesinde önemli bir azalma gözlemlemişlerdir. Su mevcudiyetine göre uçucu yağın kimyasal bileşiminde farklılıklar gözlemlemişler ve toplam antioksidan aktivitenin ilerleyen su stresi ile birlikte artış gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Elansarya ve El-Abedin (2019) çalışmalarında %100, %70 ve %50 TK'da yetiştirdikleri *M. piperita* üzerine haftalık 0, 10, 50, 100 veya 200 µM omeprazolün (su stresine toleransı artıran kimyasal bileşik) uygulamalarının etkisini araştırmışlardır. Daha yüksek dozlarda omeprazol alan nane hem %100 TK hem su stresinde artan bitki boyu, yaprak sayısı, yaprak alanı ve kuru ağırlık göstermiştir. Omeprazol uygulanan bitkilerde, kontrol bitkilerine göre yapraklarda klorofil, prolin miktarlarında, CAT ve APOX enzimlerinin aktivitesinde, uçucu yağ oranında artış; reaktif oksijen türlerinin hidrojen peroksit birikiminde azalış ve uçucu yağ bileşiminde iyileşme gözlenmiştir. Omeprazol ile muamele edilmiş bitkilerde, kontrol bitkilerine göre daha yüksek mentol ve menton oranları gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

García-Caparrós ve ark. (2019) su stresinin etkilerini değerlendirmek için *Lavandula latifolia*, *M. piperita*, *Salvia sclarea*, *Salvia lavandulifolia*, *Thymus capitatus* ve *Thymus mastichina* bitkilerini iki farklı sulama uygulamasında bir yıl süreyle yetiştirmişlerdir. Denemenin sonunda, *L. latifolia*, *M. piperita* ve *T. capitatus* bitkilerinde su stresi koşulları altında taze ağırlık değerlerinin önemli bir düşüş gösterdiğini, diğer türlerde değişmediğini belirtmişlerdir. *L. latifolia* bitkisinin kuru ağırlığının ve *L. latifolia* ve *S. sclarea* bitkilerinin uçucu yağ içeriğinin su eksikliği koşullarında azalma gösterdiğini belirtmişlerdir.

Alhaithloul ve ark. (2020) yaptıkları çalışmalarında *M. piperita* ve *Catharanthus roseus* bitkilerini kullanarak yedi ve on dört gün boyunca su ve/veya sıcaklık stresine (35 °C) (tek başına ve birlikte) maruz bırakmışlar ve araştırmayı takiben fizyolojik, biyokimyasal ve metabolik etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar bitki boyu ve ağırlığının (hem taze hem de kuru ağırlık) stres ile önemli ölçüde azaldığını, her iki stresin birlikte uygulanması ile düşüşün daha fazla olduğu bildirilmiştir. Birleşik strese tepki olarak maksimum seviyede ozmolit tespit edilmiştir. Toplam fenol, flavonoid ve saponin içerikleri her iki bitkide su ve/veya sıcaklık stresine tepki olarak yedi ve on dört günde azalmış; bununla birlikte, tanenler, terpenoidler ve alkaloidler dahil olmak üzere diğer ikincil metabolitlerin seviyeleri strese artmıştır. Araştırmacılar su ve sıcaklık stresinin bitkilerin antimikrobiyal ve antikanser aktivitelerini önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir.

Kulak (2020) yürütmüş olduğu çalışmasında biberiye, adaçayı, lavanta ve fesleğen yapraklarının uçucu yağ bileşikleri üzerine su stresinin etkisini araştırmış ve α -pinen, D-limonen, 1.8-Sineol ve kafur gibi ortak bileşenlerin değişimini değerlendirmiştir. Bu bileşenlerden α -pinen biberiyede su stresi ile azalırken lavantada artmıştır. D-limonen biberiye ve fesleğende ilk ve tekrarlanan su stresi ile artmıştır. 1.8-Sineol, tüm bitkilerde su stresi ile artmıştır. Kafur yüzdesi tüm bitkilerde ilk stresle birlikte artmış ancak tekrarlanan kuraklık etkileri tüm bitkiler için farklı olmuştur. Sekonder metabolitlerin birikimi strese yanıtta bitki stratejisi olarak kabul edildiğinden tekrarlayan kuraklığın bitkilerin uçucu yağ bileşen miktarında farklılık oluşturduğunu belirtmiştir.

Mohammadzadeh ve Pirzad (2021) araştırmalarında farklı sulama seviyelerinde mikorizal mantar ile aşılama yapılan lavanta (*Lavandula officinalis* L.), biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) ve kekik (*Thymus vulgaris*) bitkilerinin strese karşı fizyolojik tepkilerini değerlendirmişlerdir. Kolonileşmiş bitkilerin strese karşı daha iyi adapte olduğunu, ozmotik uyumu (toplam çözünür şekerler ve prolin) daha fazla desteklediğini

belirtmişler ayrıca bu sayede bitkilerin yaprak klorofil miktarının, DPPH radikal süpürücü aktivite, toplam fenolik ve flavonoid içeriğinin daha fazla arttığını bildirmişlerdir.

Hazrati ve ark. (2022) toprak nemi ve azot (N) miktarının tıbbi bitkilerin üretimine etkilerini incelemek için yaptıkları çalışmalarında farklı sulama rejimlerinde (mevcut toprak suyunun %30 ve %60 azı) ve farklı N miktarında (0, 75 ve 150 kg Nha⁻¹) *S. officinalis* bitkisine zeolit (Z) (0 ve 10 ton ha⁻¹) uygulamışlardır. Çalışmaları sonucunda farklı sulama rejimlerinde Z'nin N ile birlikte uygulanması daha yüksek uçucu yağ içeriği ve verimi elde etmek için toprak koşullarını iyileştirirken, su eksikliği stresinden kaynaklanan olumsuz etkileri azalttığını belirtmişlerdir.

Mulugeta ve Radácsi (2022) kuraklık stresinin *Ocimum* türlerinin (*O. basilicum* 'Genovese', *O. africanum* ve *O. americanum*) büyümesi ve sekonder bileşik birikimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için üç sulama seviyesi (%70, %50 ve %30 TK) ile yaptıkları çalışmalarında şiddetli kuraklık koşullarında nispi su içeriğinin önemli ölçüde düştüğünü, bitkilerin daha kısa boylu olduğunu, yaprakların daha küçük oluştuğunu ve bunun da %50 taze ve kuru bitki verimi kaybıyla sonuçlandığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca şiddetli kuraklık stresinin, uçucu yağ içeriğini (*O. africanum* hariç), uçucu yağ verimini ve antioksidan kapasitesini olumsuz etkilediğini tespit etmişlerdir. Çalıştıkları fesleğen türlerinde daha yüksek biyokütle ve uçucu yağ verimi üretimi için daha yüksek su temini gerektiğini belirtmişlerdir.

2.2. Strigolakton ve GR24 Uygulamaları ile İlgili Önceki Çalışmalar

Van Ha ve ark. (2014) SL biyosentezine yanıt vermeyen mutant bitkiler ile yaptıkları çalışmalarında incelenen tüm bitkilerde SL bulunmadığı için bitkilerin kuraklık ve tuz stresine karşı duyarlı olduğunu tespit etmişlerdir. Tuz ve su stresinde ekzojen olarak uygulanan SL'in ABA ile sinyal iletimi sağlayarak stoma gelişimini ve işlevini düzenlemek için stres sinyallerinin entegre edilmesinde önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. *Arabidopsis*'de su ve tuz stresine cevabın SL arabuluculuğuyla olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ruiz-Lozano ve ark. (2016) arbusküler mikoriza (AM)'ya sahip ve AM'ye sahip olmayan marul ve domates fidelerinde kuraklığın bitki performansı ve hormon düzeyleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. AM'ye sahip bitkilerde, bitki kolonizasyonunun çok erken aşamalarından itibaren kuraklık altındaki AM'ye sahip olmayan bitkilere göre fotosistem II'nin ve büyüme hızının daha verimli olduğunu tespit etmişlerdir. Kuraklık koşulları altında,

bitkilerin stresle başa çıkarken simbiyoz oluşumunu teşvik etmek için SL üretimini artırabileceğini belirtmişlerdir.

Ma ve ark. (2017) tuz stresi altında sentetik strigolakton olan GR24'ün etkisini incelemek için, kolza bitkisine fide aşamasında 7 gün boyunca üç farklı tuz konsantrasyonunda (0, 100 ve 200 mM NaCl), 0.18 μ M GR24 vermişlerdir. Sonuçlarında tuzluluğun sürgün ve kök büyümesini baskıladığını GR24'ün tuz stresi altında büyümeyi iyileştirdiğini göstermişlerdir. Yaprak klorofil içeriği ve gaz değişim parametreleri (stoma iletkenliği, hücreler arası CO₂ konsantrasyonu ve terleme hızı) artan tuzluluk ile önemli ölçüde azalmıştır, ancak bu parametreleri GR24 uygulaması kısmen artırmıştır. GR24 uygulamasına bağlı olarak POX ve SOD aktivitelerinde artış, MDA ile lipid peroksidasyon düzeyinde düşüş olduğunu belirtmişlerdir.

Tai ve ark. (2017) hidrofonik ortamda kadmiyum (Cd) (10 mol L⁻¹) stresine maruz bırakılarak yetiştirilen şalgam otu (*Panicum virgatum*) bitkisine ekzojen olarak GR24 uygulayarak bitkinin fizyolojik tepkilerini incelemişlerdir. Cd stresi, bitki büyümesi ve kök morfolojisi üzerinde önemli ölçüde olumsuz etkilere neden olmuş, fotosentezi azaltmış, lipid peroksidasyonunu artırmıştır. Cd stresinin neden olduğu olumsuz etkilerini 1 mol L⁻¹ GR24'ün uygulanması önemli ölçüde hafifletmiş, ayrıca sürgün biyokütlesini, bağıl su içeriğini, kök gelişimini, klorofil içeriğini, antioksidan enzimlerin aktivitelerini, besin alımını iyileştirmiştir. Ekzojen GR24'ün Cd toksisitesini hafifletmesinin nedeni olarak endojen SL'lerin içeriğini desteklediğini böylece temel elementlerden olan Fe, Zn, Mn ve Cu alımının arttığını ve Cd alımının azaldığını belirtmişlerdir.

Haider ve ark. (2018) yürüttükleri çalışmalarında pirinç SL mutantlarının (d; dwarf d10, d17, d27 ve d3 genleri eksik) kuraklık toleransını test etmek için mutant ve yabani tip bitki tohumlarını, Murashige ve Skoog (MS) besi ortamında çimlendirmişlerdir. Çeltikte kuraklığın kökte SL üretimini, sürgünde ABA üretimini ve SL biyosentetik genlerinin ekspresyonunu aynı anda uyardığını ayrıca SL'lerin kuraklık fizyolojisinde aktif bir rol oynadığını göstermişlerdir. SL ve ABA yolları arasında bir bağlantı olduğunu ve çeltikte ABA ve SL içeriğinin belirlenmesinde D27'nin çok önemli bir rol oynadığını ve bu genin tahıllarda kuraklığın iyileştirilmesi için umut verici bir hedef olabileceğini belirtmişlerdir.

Özel (2018) kum zambağı (*Pancratium maritimum*) fidelerine sentetik strigolakton GR24'ün farklı konsantrasyonlarını (0, 10 ve 20 μ M) spreyleme yöntemi ile uygulamış ardından tuz stresine (0, 150 ve 300 mM NaCl) maruz bırakmış ve uygulama sonrası bitkinin

morfolojisi, SOD, CAT, POX aktivitesi ve H₂O₂ içeriklerinde meydana gelen değişimleri saptamıştır. Çalışmasının sonucunda 20 µM GR24 ön uygulamasının kum zambağı bitkilerinde yüksek tuz şartlarında antioksidan savunma sistemini uyarak tolerans seviyesini arttırabilme potansiyeli oluşturduğunu tespit etmiştir.

Zhang ve ark. (2018) SL'lerin stoma kapanması üzerindeki etkisinin *Arabidopsis* ile sınırlı olmadığını ve bu nedenle SL'lerin stoma açıklıklarının modülasyonunda ortak düzenleyiciler olarak hizmet edebileceğini kanıtlamak için *Vicia faba* bitkisine ekzojen GR24 ve TIS108 uygulayarak yaptıkları çalışmalarında SL-biyosentetik inhibitörü olan TIS108'in, stoma açıklıkları üzerinde hiçbir etki göstermediğini, SL mutantlarının kuraklık stresine karşı aşırı duyarlılık sergilediğini belirtmişlerdir. Strese toleransta ortak düzenleyiciler olarak SL'lerin güçlü rollerini vurgulamışlardır.

Aflaki (2019) yürüttüğü doktora tezinin bir bölümünde tuz (250 mM NaCl) ve kuraklık stresi şartlarında yetiştirdiği on günlük şeker pancarı (*Beta vulgaris*) fidelerine iki hafta boyunca günde bir veya iki kez 10 µM sentetik SL hormonu (rac-GR24, strigol, 5-deoksistrigol) püskürtmüştür. Hasattan sonra, morfoloji, CAT enzim aktivitesi, klorofil içeriği ve MDA içeriğine bakmıştır. Tüm hormon uygulamalarının bitkilerin tuz ve su streslerine karşı toleransını arttırdığını bildirmiştir. Araştırmacı sentetik SL uygulamalarının bitkilerde klorofil-a ve toplam klorofil miktarını artırdığını MDA miktarını azalttığını rapor etmiştir.

Lu ve ark. (2019) sentetik SL analogu GR24'ü düşük ışık stresi koşullarında yetiştirilen domates fidelerine yapraktan spreyleyerek GR24'ün etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak GR24 uygulamasının domates bitkilerinin taze ve kuru ağırlığını, klorofil içeriğini, net fotosentez oranını, fotosistemin fotokimyasal verimini, antioksidan enzimlerin aktivitesini ve gen ekspresyonunu arttırdığını ayrıca MDA ve H₂O₂ içeriğini azalttığını bildirmişlerdir.

Min ve ark. (2019) SL'lerin kuraklık stresi altındaki üzüm fideleri üzerine etkisini araştırmışlardır. İki yaşındaki üzüm fidelerine (*Vitis vinifera*), 3 doz rac-GR24 (1 µM, 3 µM ve 5 µM) püskürtülmüş ve kuraklık stresine tabii tutulmuştur. Sentetik GR24 ile muamele edilmiş bitkilerden, daha düşük elektrolit sızıntısı, stoma açıklığı, ROS ve daha yüksek bağıl su içeriği, klorofil içeriği, fotosentez hızı ve MDA içeriği elde edilmiş böylece kuraklık stresine daha yüksek tolerans elde edilmiştir. GR24 uygulaması ayrıca kuraklık stresi altında hem köklerde hem de yapraklarda indolasetik asit (IAA) ve zeatin ribozit düzeylerini düşürürken ABA düzeyini de artırmıştır.

Li ve ark. (2020) yaptıkları çalışmalarında *Arabidopsis thaliana*'da SL ve karrikin genleri Dwarf14 (D14) ve Karrikin Insensitive 2 (KAI2)'nin, ABA tepkisini, antosiyanin birikimini, stoma kapanmasını, hücre zarı bütünlüğünü ve kütikula oluşumunu modüle ederek kuraklık tepkisini pozitif olarak düzenlediklerini rapor etmişlerdir. SL sinyalinin, glukozinolatlar ve trehaloz biyosentezlerini teşvik ettiğini, sitokinin bozulmasını indükleyerek, brassinosteroid biyosentezini ve fotosentezi engelleyerek kuraklık direncini artırabileceğini vurgulamışlardır.

Özel (2020) yüksek lisans çalışmasında tuz stresine (150 mM NaCl) maruz bıraktığı ayçiçeği (*Helianthus annuus*) fidelerinin yaprak yüzeyine püskürtme tekniği ile ekzojen olarak IAA ve sentetik strigolakton GR24 uygulamış ve kotiledonların taze ağırlıkları, pigment içerikleri, toplam protein, MDA ve prolin miktarları, POX enzim aktivitelerini tespit etmiştir. Stresiz Hoagland ortamında yetişen fidelerin kotiledonlarında senesensi IAA ve kısmen GR24 uygulamaları teşvik ederken tuz ortamında yetişenlerde ise senesensi IAA ve kısmen GR24 uygulamaları belirgin bir şekilde geciktirmiştir. IAA in ve GR24 ün genel olarak tuzun toksik etkisini hafifletici etkiye sahip olduğunu gözlemiştir.

Sharifia ve Bidabadi (2020) Adaçayı (*Salvia nemorosa*) bitkisinin tuz stresine tepkisini değerlendirmek için fideleri dört farklı tuz konsantrasyonuna (0, 100, 200 ve 300 mM NaCl) tabi tutup beş farklı konsantrasyonda GR24 ile (0, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 μ M) yapraktan spreylemişlerdir. Sonuçlar, tuzluluğun bitki büyüme oranını azalttığını ve yapraktan uygulanan SL'nin tuzluluk stresinin neden olduğu büyüme kaybını önemli ölçüde önlediğini göstermiştir. Artan tuzluluk, yaprak klorofil içeriğini, fotosistem II (PS II) maksimum enerji verimini (Fv/Fm) ve gaz değişim parametrelerini önemli ölçüde azaltmış ve bu olumsuz etkiler SL uygulaması ile azalmıştır. En yüksek uçucu yağ verimi (0.4 g bitki⁻¹) 0.3 μ M SL uygulaması ile 100 mM NaCl uygulanan bitkilerden elde etmişlerdir.

Hudu (2021) tıbbi ve aromatik bitki olan İzmir kekiği (*Origanum onites* L.) bitkisine in vitro ortamda SL uygulamalarının kallus oluşumu ve uçucu yağ bileşenleri (karvakrol ve timol) üzerine etkisini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada SL uygulamalarının *O. onites*. 'in in vitro çalışmalarında olumlu bir etkiye sahip olduğunu ve kallus oluşumu, uçucu yağ ve fenolik bileşiklerin üretimini artırmada etkili bir şekilde kullanılabileceğini tespit etmiştir.

Wani ve ark. (2022) farklı konsantrasyonlarda GR24'ün (0, 0.5, 1, 2, 4 ve 8 μ M) spreyleme yöntemi ile *Artemisia annua* üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kontrol

grubuyla karşılaştırıldığında, sprey şeklinde uygulanan GR24'ün büyüme, fotosentez ve diğer fizyolojik parametreler üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ve en iyi sonuçları 4 µM GR24 uygulaması ile elde ettiklerini belirtmişlerdir. GR24 uygulamasının bitki biyokütlesi, toplam klorofil içeriği, klorofil floresansı, stoma iletkenliği, içsel CO₂ miktarı ve net fotosentez hızı gibi bitkinin çeşitli özelliklerini arttırdığını göstermişlerdir. Ayrıca GR24'ün karbonik anhidraz, nitrat redüktaz ve RuBisCO gibi fotosentez ile ilgili çeşitli enzimlerin aktivitesini artırdığını belirtmişlerdir.

Zhang ve ark. (2022) çalışmalarında, salatalık fidelerinde tuz stresindeki hasarın iyileştirilmesinde ekzojen GR24'ün etkisini fizyolojik, biyokimyasal ve RNA-seq gibi analiz yöntemleri ile tespit etmişlerdir. Tuz stresi altında GR24 ile ön işleme tabi tutulmuş bitkilerde, GR24 ile ön işleme tabi tutulmamış bitkilere göre daha yüksek klorofil içeriği, stoma iletkenliği ve daha yüksek fotosentetik verimliliği gözlemişlerdir. Ek olarak, ekzojen GR24 ön işleminin tuz kaynaklı fotohasarı hafiflettiğini, askorbat-glutatyon (AsA-GSH) döngüsünün verimliliğini artırdığını ve ROS'ları temizlediğini böylece salatalıkta tuz stresi altında oksidatif stresi hafiflettiğini belirtmişlerdir.

2.3. Salisilik Asit Uygulamaları ile İlgili Önceki Çalışmalar

Rowshan ve ark. (2010) SA'nın (0, 200 ve 400 mg/L) erken çiçeklenme döneminde ekzojen uygulamasının adaçayının (*Salvia macrosiphon*) uçucu bileşenleri üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. SA adaçayı uçucu yağının kalitesini ve miktarını etkilemiş ve yağ verimini arttırmıştır. SA ile muamele edilmiş bitkilerde on yedi bileşen tanımlanmış ayrıca linalool miktarını artırdığı tespit edilmiş ve α-pinene ve 1.8-Sineol gibi bazı bileşenler yalnızca SA ile muamele edilen bitkilerde saptanmıştır.

Yazdanpanah ve ark. (2011) *Satureja hortensis*'te su stresi ile SA ve askorbik asit arasındaki etkileşimi incelemek için üç farklı sulama seviyesi (1/3, 2/3 ve toplam tarla kapasitesi), üç farklı SA (0, 1 ve 3 mM) ve askorbik asit (0, 1 ve 3 mM) konsantrasyonlarında sera koşullarında yürüttükleri çalışmalarında su stresi altında bitkide şeker içeriği ve protein içeriğinin azaldığını; bununla birlikte, prolin ve lipid miktarının arttığını ve her iki ekzojen uygulamanın bitkinin su stresine tolerans kabiliyetini artırdığını tespit etmişlerdir.

Awate ve Gaikwad (2014) bir yaşındaki *Simarouba glauca* fidelerini 4, 8, 12 ve 16 gün boyunca su stresine maruz bırakmışlar ve su stresinden önce ve sonra olmak üzere 50 ppm SA ve 10 ppm putresin, gama amino butirik asit ve ABA yapraklara sprey şeklinde

uygulamışlardır. Araştırmacılar artan su stresi uygulamaları ile polifenoller, tanenler, alkaloid ve flavonoid içeriklerinin arttığını gözlemişlerdir. Büyüme düzenleyicilerinin yapraktan uygulanmaları su stresinin olumsuz etkilerini iyileştirmiş ve kumarinler, steroller, ksantoproteinler, kardiyak glikozitler ve saponinler gibi ikincil metabolitlerin miktarında artışa sebep olmuştur.

Figueroa Pérez ve ark. (2014) çalışmalarında SA (0.5, 1 ve 2 mM) ve H₂O₂'yi (0.05, 0.1, 0.5 mM) nane (*M. piperita*) bitkilerine yapraktan uygulamışlar ve metabolit profili ve antioksidan kapasitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bitki büyüme parametrelerini ve metabolit profilini (karbonhidratlar ve amino asitler) 2 mM SA iyileştirirken, fenolik bileşik miktarını 0.5 ve 1 mM SA arttırmıştır. Sinamik asit, rutin ve naringin sadece SA uygulamalarında tespit edilirken SA uygulamasının antioksidan kapasitesini de geliştirdiğini belirtmişlerdir.

Pirbalouti ve ark. (2014) *Thymus daenensis* Celak subsp. *daenensis* Celak'e yapraktan SA uyguladıkları çalışmalarında uçucu yağ verimi, kimyasal bileşenleri, antibakteriyel ve antioksidan aktiviteleri üzerine ekzojen uygulamanın etkisini araştırmışlardır. Fideleri %100 TK ve %50 TK ile sulayarak bitkilere çiçeklenme başlangıcında ve iki hafta sonrasında yapraktan SA (0.0, 1.5 ve 3.0 M) püskürtme şeklinde uygulamışlardır. Yapraktan 1.5 ve 3.0 M SA uygulanması, *T. daenensis*'te uçucu yağ içeriğini ve verimi sırasıyla %27 ve %60 oranında artırırken karvakrol, a-thujene, a-pinene ve p-cymene gibi sekonder metabolitleride önemli ölçüde artırmıştır. Timol bileşeni üzerindeki stresin olumsuz etkisini SA uygulamasının düzenlediğini belirtmişlerdir.

Shabrangi ve Beigijazi (2014) 7 haftalık nane (*M. piperita*) fidelerine 50-100 µM SA uyguladıktan sonra uçucu yağ miktarı, toplam fenolik madde, flavonoid bileşikleri ve antioksidan aktivitelerini değerlendirmişlerdir. SA uygulaması uçucu yağ miktarını, antioksidan aktiviteyi ve toplam fenolik miktarını artırmış fakat flavonoid üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır.

Saharkhiz ve Goudarzi (2014) SA'nın farklı konsantrasyonlarının (0, 75, 150, 300 ve 450 mg/L) nane (*M. piperita*) uçucu yağ içeriği ve bileşenleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için yaptıkları çalışmanın sonucunda 150 mgL⁻¹ SA uygulamasının kontrol bitkilerine kıyasla yağ içeriğini önemli ölçüde arttırdığını belirtmişlerdir. Farklı SA konsantrasyonlarının uçucu yağ bileşenlerini büyük ölçüde değiştirmediğini tespit

etmişlerdir. Uçucu yağ bileşenlerini menton (%15.8-18.1), mentol (%46.3-47.4), metil asetat (%8.5-9.7) ve 1,8-sineol (%4.3-4.6) şeklinde sıralamışlardır.

Bahari ve ark. (2015) *Thymus daenensis*'te üç farklı sulama seviyesi (%100, %70 ve %30 TK) ve dört SA konsantrasyonunun (0, 0.1, 1 ve 2 mM) beş antioksidan enziminin (CAT, APOX, GR, POX ve PPO) aktivitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. SA uygulamalarının toplam antioksidan kapasitesini artırdığını belirtmişlerdir. En yüksek APX, PPO (orta su eksikliği şartlarında), CAT ve POX (şiddetli su eksikliği şartlarında) değerleri 2 mM SA'dan elde edilirken, maksimum GR miktarı (orta su eksikliği şartlarında) 1 mM SA'dan elde edilmiştir.

Karaliya ve Parić (2017) fesleğen (*Ocimum basilicum*) bitkisine spreyleme yöntemi ile uygulanan SA farklı konsantrasyonlarının (0, 0.01, 0.1 ve 1.0 mM) morfolojik parametreler, fotosentetik pigmentler, protein, prolin, toplam karbonhidratlar ve ikincil metabolit içeriği ile POX aktivitesi üzerindeki etkisini analiz etmişler. SA'nın yaprağa uygulanmasının bitki büyümesi ve metabolizmasında uzun vadeli pozitif yönde değişikliklere, yaprak alanında, sekonder metabolitlerde ve POX aktivitesinde artışa, toplam şeker ve prolin içeriğinde azalmaya neden olduğunu kaydetmişlerdir.

Kaya ve İnan (2017) fesleğen (*O. basilicum*) fidelerine yapraktan püskürtme yöntemi ile 0.5 mM SA vererek sonra tuz stresine maruz bıraktıkları bitkilerde bitki boyu, dal sayısı, taze ve kuru herba ağırlıkları ile pigment içerikleri genel olarak değişmezken, MDA içeriği, uçucu yağ oranları ve antioksidan enzim aktiviteleri arttığını bildirmişlerdir.

Khanam ve Mohammad (2017) *M. piperita* yağının verim ve kalite özelliklerini en üst düzeye çıkaran BBD'leri belirlemek için yapraklara 5×10^{-6} M 6-benzilaminopurin (BAP), kloromequat (CCC), giberellik asit (GA_3), indol-3-asetik asit (IAA) ve indol-3- butirik asit (IBA), kinetin (Kn), metil jasmonat (MeJA), SA ve triacontanol (Tria) fideler şaşırtıldıktan 60 gün sonra püskürtülmüş ve BBD'ler uygulandıktan 30 gün sonra bitkiler hasat edilmiştir. Menton oranı için BAP, menton verimi için Tria, mentil asetat verimi için SA'in daha etkili olduğu tespit edilmiştir. SA'in nane yağ içeriğini, yağ verimini, mentol konsantrasyonunu ve mentol verimini arttırmada en iyisi olduğunu belirtmişlerdir.

Ahmad ve ark. (2018) Cd stresi altındaki *M. piperita*'da büyümenin iyileştirilmesi, fotosentezin korunması ve uçucu yağ üretiminin iyileştirilmesi için SA'nın (10^{-4} M) etkisini incelemişlerdir. Cd uygulaması oksidatif strese belirgin yükselmeye neden olmuş buna ek olarak karbon ve nitrat asimile edici enzimler, büyüme, fotosentez, verim ve uçucu yağın

aktif bileşenleri üzerinde dikkate değer derecede zararlı etkiler gösterdiği tespit edilmiştir. SA uygulaması nanede Cd kaynaklı toksisiteyi başarılı bir şekilde hafifletmiş; RuBisCo ve karbonik anhidrazın aktivitesini artırarak fotosentezi iyileştirmiş, serbest radikallerin üretimini azaltarak oksidatif stresi en aza indirmiş, uçucu yağ verimini ve mentol konsantrasyonunu artırdığı bildirilmiştir.

Khalil ve ark. (2018) çalışmalarında %100, %75, %50 ve %25 TK ile sulanan *Thymus vulgaris* bitkisine uygulanan SA farklı konsantrasyonlarının (0, 1, 2 ve 3 mM) bitki üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında %25 TK ile sulanan ve 3 mM SA uygulanan fidelerin flavonoid içeriği, toplam fenolik içerik, gallik asit, rosmarinik asit yüzdesi yüksek bulunmuşlardır. En yüksek uçucu yağ verimi %25 TK ile sulanan 2 mM SA uygulamasından elde etmişlerdir. Uçucu yağdaki thymol içeriğinin su stresi ile arttığını, p-simen içeriğinin ise azaldığını SA uygulaması sonucunda p-simen miktarının arttığını bildirmişlerdir.

Açıkgöz ve ark. (2019) yaptıkları çalışmalarında endemik *Achillea gypsicola*'nın hücre süspansiyon kültüründe MeJA ve SA kullanarak kafur ve fenolik bileşiklerin üretimini ve hücre büyümesini artırmayı amaçlamışlardır. Çalışmalarında 8 günlük hücre kültürlerine çeşitli konsantrasyonlarda (0, 10, 50 ve 100 µM) MeJA ve SA uygulamışlar sonuç olarak da artan MeJA ve SA dozlarının, genel olarak kafur ve fenolik bileşiklerin birikimini önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir.

Damalas, (2019) yapmış olduğu çalışmasında fesleğen (*O. basilicum*) bitkilerini %100 ve %40 tarla kapasitesinde yetiştirmiş ve 200 ppm spreyleme yöntemi ile SA uygulayarak su stresindeki rolünü incelemiştir. Fesleğenin gelişimi su eksikliğinden ciddi şekilde zarar görmüş olmasına rağmen SA uygulamasının, su eksikliği koşulları altında bitki büyüme parametrelerini, fotosentetik pigmentleri, prolin ve oransal su içeriği miktarını artırarak ve bitki dokularında su tutulmasını koruyarak fizyolojik süreçleri iyileştirdiğini belirtmiştir.

Elhakem (2019) yürüttüğü çalışmasında nane (*M. arvensis*) bitkisinin tohumlarını SA (0.05 M) ile ön ıslatmaya almış ve kuraklık koşulları altında yetiştirerek morfolojik parametrelerin (bitki boyu, kök uzunluğu, taze ve kuru ağırlık), fotosentetik pigmentlerin (klorofil-a ve b, karotenoidler ve toplam pigmentler) ve bazı organik ozmolitlerin (prolin, toplam çözünür şeker ve toplam çözünür azot) miktar tayinlerini yapmıştır. Elde edilen veriler, kuraklık stresinin büyüme parametrelerinde ve fotosentetik pigmentlerde büyük ölçüde düşüşe, kök uzunluğunda ve organik ozmolitlerde dikkate değer bir artışa neden

olduğunu göstermiştir. Ölçülen tüm parametrelerde en yüksek değerleri SA ile muamele edilmiş bitkilerde gözlemlemiştir.

Köseoğlu (2019) yürüttüğü doktora çalışmasında, mısır (*Zea mays*) bitkisinde SA'yı yaprakтан ve kökten uygulayarak tuz stresi altındaki etkilerini araştırmıştır. SA uygulaması antioksidan enzim aktivitesini azaltmış; büyüme parametrelerini artırmıştır. Aynı zamanda fotosentetik pigment miktarlarına da olumlu etkileri olmuştur. Yaptığı çalışma sonucunda tuz stresine karşı ekzojen SA uygulamasının mısırdaki özellikle yaprak uygulaması ile daha yüksek tuz toleransı sağlamaya yardımcı olduğunu ortaya koymuştur.

Mohammadi ve ark. (2019) çalışmalarında su stresi koşullarında yetiştirdikleri iki kekik türüne (*T. vulgaris* ve *T. kotschyanus*) farklı konsantrasyonlarda SA (0, 100 ve 150 ppm) uygulayarak uçucu yağ bileşenleri, morfolojik ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemişlerdir. SA'nın yaprağa uygulanmasının H₂O₂, MDA gibi hücresel hasar indekslerinin içeriğini azalttığını; kök ve sürgün kuru ağırlığı, toplam klorofil, karotenoid, prolin ve toplam çözünür karbonhidrat içeriklerini artırdığını tespit etmişlerdir. Su stresinde düşük konsantrasyonda SA ile muamele *T. kotschyanus*'ta Zanzan ve Kerman ekotiplerinin uçucu yağ içeriğinin artmasına sebep olurken, yüksek konsantrasyonda SA, *T. Kotschyanus*'ta batı Azarbaycan ve Zencan ve *T. vulgaris*'te Urmiye kemotiplerinin uçucu yağ içeriğinin iyileşmesine neden olmuştur.

Abdi ve Karami (2020) üç farklı su seviyesi (kontrol, hafif stres ve orta stres sırasıyla %100, 75 ve 50 TK) ile sulanan *M. piperita* bitkilerine dört farklı dozda SA (0, 1, 2 ve 2.5 mM) uygulamışlardır. SA'nın uygulaması, lipid peroksidasyonunu ve membran geçirgenliğini azaltarak ve antioksidan enzim aktivitelerini geliştirerek su eksikliğinin olumsuz etkilerini engellemiştir. Su eksikliğinde yetiştirilen ve SA ile muamele gören bitkilerde uçucu yağ içeriği önemli ölçüde artmıştır. Ekzojen 2 ve 2.5 mM SA uygulaması, herhangi bir toksik etki olmaksızın bitki büyümesini ve gelişimini iyileştirmiş ve stres altındaki bitkilerde toplam fenol içeriği, kuru yaprak ağırlığını ve uçucu yağ içeriğini önemli ölçüde artırmıştır.

Es-sbihi ve ark. (2020) yaptığı çalışmasında SA (0.5 ve 1 mM) püskürtmenin *Salvia officinalis* L. bitkilerinde Cu toksisitesinin (40 mM) olumsuz etkisini iyileştirip iyileştiremeyeceğine incelemişlerdir. Cu stresinin gövde ve kök büyümesini önemli ölçüde azalttığı, yaprak ve köklerde Ca, P, K içeriğini azalttığı gözlenmiştir. Ayrıca Cu stresi, kontrole göre uçucu yağ verimini %16.66 artırmıştır. Öte yandan, stres altındaki bitkilere

SA püskürtme gövde ve kök gelişimini önemli ölçüde iyileştirmiş, Ca, P ve K miktarını, uçucu yağ içeriği ve verimini artırmıştır. Cu stresinde 0.5 mM konsantrasyonda SA uygulandığında iyileşmenin daha belirgin olduğunu bildirmişlerdir.

Jahani ve ark. (2021) su stresi altındaki *M. piperita* fidelerine yapraktan çinko (0, 2 ve 4 mg/L) ve SA (0 ve 1 mM) uygulamışlar ve klorofil, fenolik ve flavonoid içeriği, uçucu yağ yüzdesi, yağ verimi, toplam kuru madde ve uçucu yağ bileşimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çinko veya SA uygulamalarının, kuraklık stresinin nane verimi üzerindeki olumsuz etkilerini hafiflettiğini gözlemlemişlerdir. Kuraklık koşullarında antioksidan kapasite, ikincil metabolitlerin üretimi ve kimyasal bileşimleri, mentol ve menton üretiminin arttığını bildirilmiştir.

Kahveci ve ark. (2021) yürüttükleri çalışmalarında fesleğen tohumlarını 0.025 ve 0.05 mM SA, 0.25 ve 1 mM triptofan ve 0.1 ve 0.2 mM β -karoten içinde 24 saat süreyle ısıtıp yetiştirdikleri bitkileri 5-6 yaprak aşamasına ulaştığında tuz stresine (100 mM NaCl) maruz bırakmışlardır. Ön koşullama uygulamaları, tuzluluğun sürgün ve kök uzunluğu, kök, yaprak ve bitki ağırlığı üzerindeki olumsuz etkilerini kısmen hafifletmiş, ancak tuzlu koşullarda yetiştirilen bitkilerde fotosentetik pigmentler üzerine önemli bir etkisi olmamıştır. Tuz stresinde yetiştirilen bitkilerde ön koşullama, uçucu yağ bileşenlerinden linalool ve öjenol yüzdesini arttırırken, metil öjenol yüzdesini azaltmıştır.

Kulak ve ark. (2021) su stresinin olumsuz etkilerini azaltmak için yaptıkları çalışmalarında 0.05 ve 0.1 mM konsantrasyonda SA ile ön koşullanan fesleğen (*Ocimum basilicum*) tohumları su stresi şartlarında yetiştirmişlerdir. SA uygulamasının bağıl su içeriğini, su potansiyelini, Fv/Fm oranı, bitki boyu, gövde çapı, kuru ağırlık, dal sayısı ve yaprak sayısını artırdığını, Ca ve Mg dışındaki elementlerin miktarının su stresi ile azaldığını ancak SA ön koşullaması ile element miktarının arttığını bildirmişlerdir. Su stresi ve SA uygulamasında daha yüksek antioksidan aktivite, fenolik ve flavonoid içeriği elde etmişlerdir. Çalışmada 1,8-sineol, linalool, öjenol ve α -bergamoten tüm uygulamalarda ana uçucu yağ bileşenleri olarak tanımlanmıştır.

Rezaei-Chiyaneh ve ark. (2021) *Dracocephalum moldavica* L.'ya farklı sulama rejimleri uygulanarak (normal sulama, orta düzeyde su stresi ve şiddetli su stresi) yapraktan püskürtülen SA'nın (1 mM), askorbik asit (AA)'nın (10 mM) ve çinkonun (Zn: 3 g/L) etkilerini değerlendirmişlerdir. Su stresinin oksidatif hasarı ve ozmotik yaralanmaları artırdığını, klorofil içeriğini, RWC'yi ve bitki biyokütlesini azalttığını bildirmişlerdir. SA, AA veya

Zn'nin yapraklara uygulanması ile enzimatik aktivite, fotosentetik pigment miktarı, prolin ve toplam çözünür şeker içeriklerinin artarak su stresinin olumsuz etkilerini hafiflettiğini ayrıca stresin *D. moldavica* uçucu yağ verimini ve birikimini önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir. SA ve Zn ile muamele edilen bitkilerin orta düzeyde su stresi altında uçucu yağ verimini önemli ölçüde arttırdığını belirtmişlerdir. Özellikle su stresi altında *D. moldavica*'a ekzojen Zn uygulamasıyla bitki biyokütlesi ve uçucu yağ içeriğinin önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir.

Fatıma ve ark. (2022) SA (0.5 ve 1 mM) spreylemenin *Mentha suaveolens* bitkilerinde bakır (Cu) (40 mM) toksisitesini giderip gideremeyeceğini test etmek için yaptıkları çalışmalarında bu metalin aşırı birikimi Ca, K ve P içeriğini azalttığını tespit etmişler. Bakır stresinin H₂O₂ birikimini ve lipid peroksidasyonunu arttırdığını ancak stresli bitkilere SA uygulamasının bitkinin çeşitli kısımlarındaki Cu konsantrasyonlarını azalttığını belirtmişlerdir. Cu içeriğindeki bu azalmaya K, P ve Ca konsantrasyonlarında bir artışın eşlik ettiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca 0.5 mM SA'nın uçucu yağların performansı üzerinde iyileştirici etki yaptığını bildirmişlerdir.

Nóbrega ve ark. (2022) yaptıkları çalışmalarında tuz stresinin hafifleticisi olarak SA'nın *Mesosphaerum suaveolens*'in büyümesi ve gaz değişimi üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında beş tuz konsantrasyonu (EC_w = 0.5, 1.45, 5.0, 8.55 ve 10.0 dS/m) ve beş SA dozu (0.0, 0.29, 1.0, 1.71 ve 2.0 mM) kullanarak bitki boyunu, yaprak sayısını, gövde çapını, yaprak alanını, kök uzunluğunu, boy/çap oranını ve gaz değişimini değerlendirmişlerdir. Tuzluluğun *M. suaveolens*'in büyümesini ve gaz değişimini azalttığını bildirmişler ayrıca SA uygulamasının, tuz stresinin *M. suaveolens*'in yaprak sayısı ve yaprak alanı üzerindeki olumsuz etkisini hafiflettiğini, yaprak sayısını, bitki boyunu ve kök büyümesini uyardığını fakat gaz değişimini etkilemediğini belirtmişlerdir.

Skrypnik ve ark. (2022) yapraktan 1 mM SA uygulamasının ılıman iklimde yetiştirilen sekiz tür Lamiaceae bitkisinin (*Lavandula angustifolia*, *Salvia officinalis*, *Hyssopus officinalis*, *Agastache foeniculum*, *Thymus serpyllum*, *Mentha × piperita*, *Origanum vulgare*, *Monarda didyma*) fenolik içeriği ve biyolojik aktivitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. SA uygulamasının, kontrol bitkilerine kıyasla bazı bitkilerde hidroksisinamik asit, flavonoid, toplam fenolik bileşik, antioksidan aktivitesinde bir artışa yol açtığını tespit etmişler. SA'nın uyarıcı etkileri üzerine elde ettikleri sonuçları, ılıman iklimlerde yetiştirilen Lamiaceae familyasına ait bitkilerin baharat ve farmakolojik değerini artırmak için kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

2.4. Salisilik Asit ve Strigolaktonun Diğer Hormonlar ile Birlikte Uygulanması ile İlgili Önceki Çalışmalar

Abdou ve Mohamed (2014) bitkisel ve kimyasal gübre verilen nane (*Mentha piperita*) bitkilerine ekzojen SA ve askorbik asit (AsA) 150 ppm SA, 150 ppm AsA, 150 ppm SA+150 ppm AsA şeklinde yapraktan spreylenecek uygulanmıştır. Özellikle hem bitkisel gübre verilen hem de ekzojen SA ve AsA uygulanan nane fidelerinin büyüme ve üretkenliği üzerindeki etkisini, klorofil-a, b ve karotenoid konsantrasyonunu artırdığını, nane verimini iyileştirdiğini bundan yola çıkarak kimyasal gübre kullanımını azaltılabileceğini ve doğal kaynakları koruyabileceğini vurgulamışlardır.

Nazarli ve ark. (2014) su stresi altındaki iki *Matricaria chamomilla* (papatya) türüne SA ve MeJA'nın ekzojen uygulamasının MDA elektrolit sızıntı indeksin, prolin ve çözünür şeker içeriğindeki dalgalanmalar üzerine etkilerini araştırmışlardır. SA+ MeJA uygulaması, papatya bitkilerinde kuraklık toleransını önemli ölçüde iyileştirmiştir. Bu uygulamalar membran bütünlüğünü etkin bir şekilde koruyarak elektrolit sızıntısını ve MDA üretimini geciktirmiştir. SA+MeJA prolin içeriği, çözünür şekerlerin ve antioksidan konsantrasyonların artmasında etkili olmuştur.

Sedaghat ve ark. (2017a) iki kışlık buğday (*Triticum aestivum*) çeşidinde (Sirvan ve Pishtaz), SA ve/veya SL'in tane verimi ve kalitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek için bitkiler iki farklı su rejimi (%80 ve %40 TK) altında yetiştirilmiştir. Her iki çeşidin kuraklık döneminde bin tane ağırlığı ve veriminde (Şirvan'da daha düşük) önemli bir azalma gözlenirken SA+SL'nin ekzojen uygulaması bitkilerde kuraklığın çeşitli etkilerini azaltmıştır.

Sedaghat ve ark. (2017b) kuraklığa duyarlı ve kuraklığa dayanıklı kışlık buğday çeşitlerine kardeşlenme ve çiçeklenme dönemlerinde yapraktan GR24 (0 ve 10 mM) ve SA (0 ve 1 mM) tek veya birlikte uygulanmış ve bitkiler %40 ve %80 TK şartlarında yetiştirilmiştir. SL ve SA ile muamele edilmiş bitkiler daha düşük elektrolit sızıntısı ve daha yüksek nispi su içeriği, stoma faaliyet sınırlaması, zar stabilite indeksi, antioksidan enzim aktiviteleri göstermiştir. Salisilik asit uygulaması buğday bitkilerinde MDA içeriğini azaltmıştır.

Haydari ve ark. (2019) çalışmalarında *M. piperita* ve *Mentha arvensis* 'de uçucu yağların kimyasal profilinde ve antioksidan enzim aktivitesinde (CAT, SOD, POX ve Glutasyon S-transferazlar GST) ısı stresine tepki olarak meydana gelen değişiklikleri

değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Fizyolojik süreçlerin düzenlenmesinde önemli bir rol oynayan SA ve melatonin (M) tek ve birlikte ısı stresini azaltmak için kullanılmıştır. SA ve M hem tek hem de birlikte ısı stresinin etkisini hafifleterek her iki türde de uçucu yağların bileşiminde ve antioksidan enzimatik aktivitesinde olumlu yönde değişikliğe neden olmuştur.

Hu ve ark. (2019) yaptıkları çalışmalarında, yumak otunda (*Festuca arundinacea*) SL uygulamalarının farklı sıcaklık rejimlerinde yaprak uzaması üzerindeki etkilerini araştırmayı ve yaprak büyümesinin düzenlenmesinde SL ve oksin etkileşimlerini belirlemeyi amaçlamışlar. Bitkiler normal sıcaklık (22/18 °C) ve yüksek sıcaklık koşulları (35/30 °C) altında GR24, naftalinasetik asit (NAA, sentetik analog) veya N-1-naftilftalamik asit (NPA, oksin taşıma inhibitörü) ile muamele edilmiştir. GR24 uygulaması, yaprak uzamasını uyarılmış ve yumak otunda sıcaklığın olumsuz etkisini hafifletmiştir. Sonuçlar, SL'lerin hücre bölünmesini uyarıp yumak otunda oksin taşınımına yardım ederek yaprak uzamasını arttırdığını göstermektedir.

Lahari ve ark. (2019) çeltik (*Oryza sativa*) köklerinin kök-ur nematodu *Meloidogyne graminicola* ile SL'lerin rolünü araştırmışlardır. *M. graminicola* ile enfeksiyondan önce çeltiğe 3 µM strigolakton biyosentez inhibitörü (TIS108), 0.1 ve 5 µM GR24 ve 100 µM jasmonik asit inhibitörü (ETYA) uygulamışlardır. Daha sonra nematod performansı değerlendirilmiş ve bitki savunma hormonları ölçülmüştür. GR24'ün düşük dozu nematod enfeksiyonunu arttırmış ve jasmonat birikimini azaltmış böylece çeltik köklerinde JA bazlı savunma bastırılmıştır. SL biyosentez inhibitörü TIS108'in yapraklara uygulaması nematod enfeksiyonunu engellemiş ve pirinç köklerinde artan jasmonat seviyeleri gözlenmiştir.

Sedaghat ve ark. (2020) yürüttükleri çalışmalarında SA (0 ve 1 mM) ve GR24'ün (0 ve 10 mM) yaprakdan uygulanmasının kışlık buğday (*Triticum aestivum*) bitkilerinin su stres toleransını iyileştirip iyileştirmedigini araştırmışlardır. SL ve SA ekzojen uygulaması, buğday bitkilerinin prolin ve çözünür şeker içeriği, stoma iletkenliği, fotosentez ve terleme hızını artırmıştır. Su stresinin neden olduğu membran lipid peroksidasyonundaki, toksisitedeki ve H₂O₂ içeriğindeki artış hormonların uygulanması ile azalmıştır. Her iki hormon birlikte kullanıldığında su stresine karşı toleransın arttığını belirtmişlerdir.

Shirani Bidabadi ve Sharifi (2020) iki sulama rejimi %80 TK (kontrol) ve %40 TK (stres) altında yetiştirdikleri *Dracocephalum kotschy* 'ye yaprakdan spreysel MeJA (0 ve 0.5 mM) ve SL (0 ve 10 µM) uygulamışlar ve uygulamalardan daha düşük elektrolit

sızıntısı, MDA, H₂O₂ içeriğinin yanı sıra daha yüksek taze ve kuru ağırlık, toplam fenol içeriği ve toplam antioksidan aktivite elde etmişlerdir. *D. kotschy* 'nin su stresine toleransı, bu bitki hormonları birlikte kullanıldığında daha güçlü olduğunu ve su stresi yaşayan bitkilerin uçucu yağ bileşenlerinin miktarının en yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Naz ve ark. (2021) su stresi, krom (Cr) ve su + Cr stres koşulları altında yetiştirilen mısırdaki SA ve spermidin (Spd)'nin tek ve kombine uygulamalarının iyileştirici etkilerini büyüme, fizyoloji, fotosentetik pigmentler, ozmolit birikimi, poliamin, oksidatif stres ve antioksidan aktivitelerin ölçümlerini yaparak araştırmışlardır. Su stresi, Cr ve su stresi+Cr uygulamaları, reaktif oksijen türlerinin (H₂O₂, O₂⁻) daha yüksek üretimini, artan MDA içeriğini ve artan bağıl membran geçirgenliğini indükleyerek oksidatif strese neden olmuştur. SA ve Spd'nin ekzojen uygulamaları, ozmolitler, antioksidanlar ve endojen poliaminlerin birikimlerinin yansıttığı su stresinin ve Cr toksisitesinin olumsuz etkilerini hafifletmiştir. Ancak SA + Spd (0.25 mM + 0.05 mM) kombine uygulaması, protein ve su içeriğini, fotosentetik pigmentleri ve karotenoidleri arttırmada daha etkili olmuştur. SA + Spd muamelesi antioksidan enzim aktivitelerini teşvik ederek oksidatif stresi azaltmış ayrıca tek ve birleşik stres koşulları altında prolin, çözünür şekerler ve karbonhidrat içeriği düzeylerini artırmıştır. Sonuçlar, SA + Spd birlikte uygulamasının mısırdaki stres toleransını arttırmak için kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Ghassemi-Golezani ve Samea-Andabjadid (2022) bakla (*Vicia Faba* L.) bitkisine sitokinin (6-benzilaminopurin (50µM BAP)) ve 1 mM SA birlikte ve ayrı ayrı yapraklardan spreyleyerek farklı tuz seviyeleri altında tohumların protein içeriği ve amino asit bileşimindeki değişiklikleri incelemişlerdir. Özellikle BAP+SA uygulaması, kök ve yaprakların Na⁺ içeriğini azaltırken, K⁺ içeriğini ve sürgün büyümesini arttırmıştır. SA ve BAP uygulamaları sırasıyla en yüksek ve en düşük kök büyümesine ve kök/sürgün oranına neden olmuştur. BAP+SA uygulamaları ile bitki başına tohum sayısı ve ağırlığı iyileşmiştir. SA ve BAP+SA, esansiyel ve esansiyel olmayan amino asitleri güçlendirmiştir. Ayrıca SA yüksek tuzluluk altında fenilalanini artırmıştır. Bununla birlikte, ekzojen uygulamalar treonin, metionin, glisin ve prolin içeriklerini azaltmıştır. Ekzojen SA'nın bakla tohumlarında protein miktarını ve kalitesini iyileştirmede daha etkili olabileceğini bildirmişlerdir.

3. MATERİYAL ve METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Deneme materyali

Tez çalışmasında Yalova Atatürk Bahçe Kùltürleri Merkez Araştırma Enstitüsü'nden stolonları temin edilen ve Kahramanmaraş şartlarında yetiştirilen İngiliz nanesi (*Mentha piperita* L.) materyal olarak kullanılmıştır. Bitkinin tıbbi ve ekonomik önemi yanında kolay yetişmesi tercih edilmesinde etkili olmuştur.

Nane (*Mentha* spp.), Lamiaceae familyasından değerli bir uçucu yağ ve baharat bitkisidir. Anavatanı Orta Avrupa ve Asya olmakla birlikte, dünyanın hemen hemen her bölgesinde yayılış gösterir. Nananın geniş bir tür zenginliği vardır. Nane dünya'da 25 tür ve 13 doğal hibrit tarafından temsil edilmektedir. Dünyada kùltürü yapılan en önemli üç nane türü:

- İngiliz nanesi (Peppermint): *Mentha piperita* L.
- Bahçe nanesi (Spermint): *Mentha spicata* L.
- Japon nanesi (Corn mint): *Mentha arvensis* L. şeklindedir.

Tez çalışmasında kullanılmış olan nane türüne ait sistematik ve morfolojik özellikler şöyledir:

***Mentha piperita* L.:** *Mentha piperita* L. Güney Avrupa kökenli, çok yıllık, otsu, 30-100 cm boyunda, tüysüz, *M. aquatica* L. ile *M. spicata* L.'nin melezidir. Kuraklığa karşı duyarlı olan, nemli ve ılıman iklimlerde iyi yetişen bir bitkidir. Çiçekler hermafrodit yapıda ve bitki yoğun ve çok çiçeklidir. Haziran-Eylül aylarında çiçeklenirler. Toprak üstü stolonları ile kolayca üretilebilir. Gövde ve dalları genellikle kırmızımtırak renklidir. Yapraklar basit, karşılıklı, lanseolat veya oblong lanseolat (11-31 x 3-13 mm) sitüpülsüz, kısa saplı, kenarlar dişli ve sık salgı tüylüdür (Davis, 1965; Baytop, 1996; Baydar, 2016; Kaya, 2017; Ulutaş, 2019; Ayaz, 2021). *M. piperita* bitkisinin taksonomik sınıflandırılması Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. *Mentha piperita* L.'nin taksonomik sınıflandırılması

Taksonomik Sınıflandırma	
Alem	: Plantae
Şube	: Spermatophyta
Alt Şube	: Angiospermae
Sınıf	: Dicotyledonae
Alt Sınıf	: Metachlamydeae
Takım	: Tubiflorae
Familya	: Labiatae (Lamiaceae)
Alt Familya	: Nepetoideae
Cins	: <i>Mentha</i> L.
Tür	: <i>Mentha piperita</i> L.

Denemede kullanılan kimyasallar

Denemede kullanılan kimyasallar Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kimyallar çizelgesi

Kimyasallar
✓ 3,3’-diaminobenzedine tetrahydrochloridehydrate (DAB) (Alfa Aessar)
✓ 5-Sulfosalicylic acid dihydrate (Merck)
✓ Acetic Acid (Glacial) 100% Anhydrous (Merck)
✓ Aluminum chloride hydrate (Sigma-Aldrich)
✓ Aseton (Merck)
✓ Brilant Blue G-250 (Fluka)
✓ Dithiothreitol (DTT) (Fisher)
✓ Ethanol CHROMASOLV®, ≥99,9% (Sigma-Aldrich)
✓ Ethylene diamine tetra acetic acid (EDTA) (Sigma-Aldrich)
✓ Folin & Ciocalteu’s phenol reagent (Sigma-Aldrich)
✓ Gallic acid TraceCERT® (Fluka)
✓ Hydrogen peroxide (H ₂ O ₂), %30 (Sigma-Aldrich)
✓ Jelatin (Merck)
✓ Metanol CHROMASOLV®, ≥99,9% (Sigma-Aldrich)
✓ Ninhydrin GR for analysis (Merck)
✓ Ortho-Phosphoric acid 85% (Merck)
✓ Phenyl methanesulfonyl flüoride (PMSF)
✓ Potassium phosphate dibasic (Sigma-Aldrich)
✓ Potassium phosphate monobasic, ACS reagent, ≥99.0% (Sigma-Aldrich)
✓ Potasyum iyodür (IsoLab)
✓ Prolin (Sigma-Aldrich)
✓ Quercetin ≥95%, (Sigma-Aldrich)
✓ Salisilik asit (Sigma-Aldrich)
✓ Sodium phosphate dibasic (Merck)
✓ Sodium phosphate monobasic ReagentPlus® (Sigma-Aldrich)
✓ Strigolakton analogu rac-GR24 (Strigolab, Torino, İtalya)
✓ Thiobarbituric acid (Sigma-Aldrich)
✓ Toluene for analysis (Merck)
✓ Trichloroacetic acid CHROMASOLV®, ≥99,0% (Sigma-Aldrich)
✓ Trisma Base (Sigma-Aldrich)

Denemede kullanılan cihazlar

Denemede kullanılan cihazlar Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Cihazlar çizelgesi

Cihazlar
✓ Clevenger aparatı (İsolab)
✓ Elektronik Terazı, Dikomsan KD-KC
✓ Elektrik iletkenlik ölçer (inolab)
✓ GC-MS (Gaz Kromatografisi / Kütle Spektrometrisi) (Agilent)
✓ Hassas terazi, Kern AEJ 200
✓ Otoklav cihazı (WiseClave)
✓ Saf Su Cihazı, MP Minipure Super High UP
✓ Santrifüj, Hettich Zentrifugen Micro 220 R, Germany
✓ Soxhlet ısıtıcı, MS-EAM Mtops
✓ Spektrofotometre, Agilent Cary 60 UV-Vis
✓ Ultrasantrifüj, Sigma 3K30, Germany
✓ Ultrasonik banyo, United Jewellery Tool Supplies
✓ Yaprak alan ölçüm cihazı, (LI-3100C Area Meter)

3.1.2. Deneme yeri ve yılı

Çalışma 2019-2021 yıllarında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Üniversite-Sanayi-Kamu İş birliği Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (ÜSKİM) bünyesinde bulunan iklimlendirme odası ve laboratuvarları, Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Laboratuvarı ile Biyoloji Bölümü Bitki Fizyolojisi Laboratuvarı’nda yürütülmüştür.

3.2. Metod

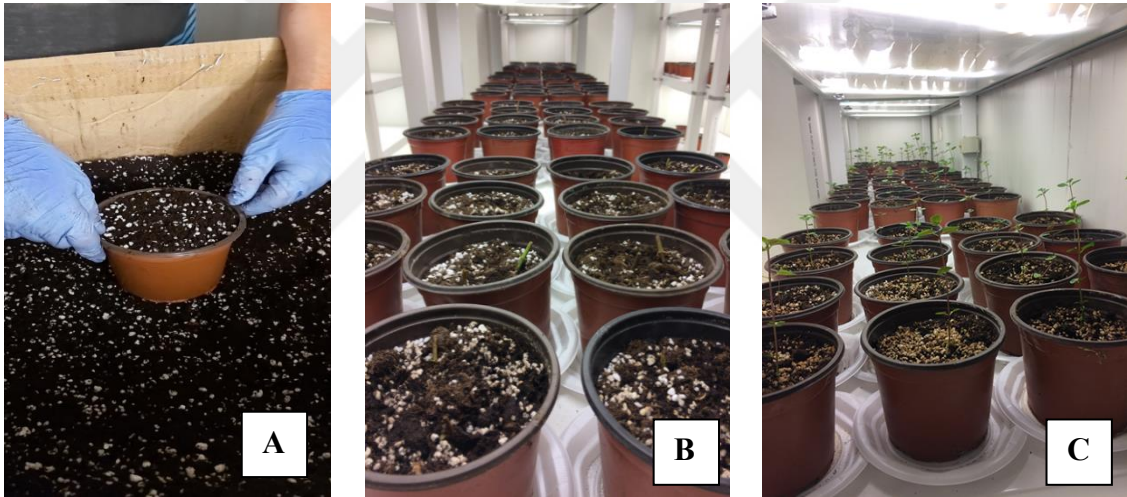
3.2.1. Nane Fidelerinin Yetiştirilmesi

Deneme materyali olan ingiliz nanesi (*Mentha piperita*) stolonları, üzerlerinde en az iki nod içerecek şekilde 10 cm uzunluğunda kesilmiştir (Zohra ve ark., 2016). Büyük bir sterilizasyon tepsisi içerisinde çeşme suyu altında yıkandıktan sonra %1,5’lik sodyum hipoklorit çözeltisinde 5 dk bekletilerek yüzey sterilizasyonu yapılmıştır. İçerisinde 3:1 oranında torf (Klasmann Potgrond P marka), perlit karışımı bulunan 1 L hacimli plastik saksılara her bir saksıya 2 adet stolon gelecek şekilde dikilmiştir. Naneler dikilirken gerekli miktardan daha fazla hazırlanmış yetiştirilen nanelerden homojen gruplar elde edilmeye çalışılmıştır. Nane fideleri 16 saat gündüz 8 saat gece fotoperiyotlu sıcaklığı 25 °C ve nem oranı %65 olan iklimlendirme odası koşullarında yetiştirilmiştir.

Fidelere verilecek su miktarını ayarlamak için tarla kapasitesi belirlenmiştir. Belirli bir miktar (100 g) elenmiş ve fırında kurutulmuş (105 °C) (K.A) toprak saksıya konmuş ve saksı içi su dolu bir kaba batırılmış ve toprağın tamamen ıslanması beklenmiştir. Saksı içerisindeki tüm toprak ıslandığında kaptan çıkarılarak toprağın sızması beklenmiştir. Son damlama da kesildikten hemen sonra ıslak toprak yeniden tartılmıştır (Y.A). Daha sonra aşağıdaki formül yardımıyla tarla kapasitesi belirlenmiştir (Kulak, 2016).

$$\text{Tarla kapasitesi} = (Y.A - K.A) / K.A * 100$$

Nane fideleri bir ay boyunca fide olgunluğuna ulaşmaya kadar tarla kapasitesi ile sulanmıştır (Şekil 3.1). Fideler iki gerçek yaprağa sahip olduklarında 100 ppm (N'a göre) dozunda gübre (20+20+20+İZ) sulama suyuna ilave edilerek hasada kadar üç haftada bir gübrelenmiştir (Kahveci, 2017).



Şekil 3.1. Nane stolonlarının dikimi
(Saksıların hazırlanması (A), ekimin yapılması (B), bitkilerin belirli büyüklüğe ulaşması (ekimden 18 gün sonra) (C))

3.2.2. Su stresi ve SA-GR24 uygulamaları

Fideler 30 günlük olduktan sonra, her uygulamada üç tekerrür ve her tekerrürde 10 bitki olmak üzere toplam 30 bitki olacak şekilde ayrılmış ve saksılar uygulamalara göre etiketlenmiştir. (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Bitkilerin etiketlenmesi, uygulamalar için hazırlanması
(Fidelerin çıkıştan 1 ay sonraki görüntüsü)

Denemede fidelere ilk aşamada 0-0.05-0.25 mM SA, 2. aşamada 0-0.5-1 μ M GR24 ve 3. aşamada ise SA + GR24 (0 mM SA-0 μ M GR24; 0.05 mM SA-0.5 μ M GR24; 0.05 mM SA-1 μ M GR24) birlikte sulama suyuna karıştırılarak uygulanmıştır (Kahveci, 2017; Ma ve ark., 2017; Sedaghat ve ark., 2017b; Ren ve ark., 2018).

Her üç deneme uygun konsantrasyonları tespit edebilmek amacı ile farklı tarihlerde yürütülmüştür. İlk olarak SA, ikinci aşamada GR24 denemesi yapılmıştır. SA + GR24 uygulamasında dozların belirlenmesinde tek başına uygulamalardaki etkili dozlar kullanılması planlanmış ve bu sebeple SA dozlarından daha etkili olan 0.05 mM konsantrasyonu kullanılmıştır. Ancak GR24'e ait her iki konsantrasyonun farklı analizleri olumlu etkilediği ve tıbbi bitkilerle ilgili literatürlerde SA+GR24 ile ilgili bilgiye rastlanmadığı için GR24'ün her iki konsantrasyonu da tercih edilmiştir. Uygulamalar bitkiye sulama suyu ile verilmiş ve hemen sonrasında su stresi uygulamasına başlanmıştır.

Su stresi uygulamaları için bitkiler tarla kapasitesinin %70'i ile farklı günlerde (kontrol için 3 günde bir ve stres için 6 günde bir) sulanmıştır (Hussein ve ark., 2014). Tezin deneysel düzenlemesi ve uygulamalar Çizelge 3.4'te verilmiştir. Deneme boyunca su stresi uygulanmayan kontrol bitkileri 3'er gün aralıklarla musluk suyu ile sulanmaya devam edilmiştir. SA ve GR24 verilip su stresi uygulamasına başladıktan 1 ay sonra çiçeklenme başlangıcından önce bitkiler hasat edilmiştir (Rahimi ve ark., 2018). Hasat edilmeden uygulama yapılan bitkilere ait görüntüler Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te verilmiştir. Hasat öncesinde yaprak alanı ölçülmüş, bağıl su içeriği belirlenmiş ve elektriksel iletkenlik hesaplanmıştır. Hasat sırasında bitkiye ait morfolojik verilerden bitki boyu, dal sayısı,

yaprak ve gövde ağırlıkları ölçülmüştür ayrıca her tekerrürden 4'er tane olmak üzere 12 bitki kuru ağırlık ve uçucu yağ analizleri için kurutmaya bırakılmıştır. Hasat sonrasında kalan bitkiler yapılacak analizlere uygun şekilde poşetlenerek -80 °C'ye bırakılmıştır. Bir uygulama bittikten sonra diğerine geçilmiştir. Bu yüzden her uygulama farklı zamanlarda yapılmıştır.

Çizelge 3.4. Deneysel düzenleme ve uygulamalar

SA ve GR24 Uygulamaları	Tablolardaki Kısaltmalar
SA uygulanmamış fideler	3-0 mM SA
0.05 mM Salisilik asit uygulanmış fideler	3-0.05 mM SA
0.25 mM Salisilik asit uygulanmış fideler	3-0.25 mM SA
0.05 mM Salisilik asit uygulanmış su stresi altındaki fideler	6-0.05 mM SA
0.25 mM Salisilik asit uygulanmış su stresi altındaki fideler	6-0.25 mM SA
SA uygulanmamış su stresi altındaki fideler	6-0 mM SA
GR24 uygulanmamış fideler	3-0 µM GR24
0.5 µM GR24 uygulanmış fideler	3-0.5 µM GR24
1 µM GR24 uygulanmış fideler	3-1 µM GR24
0.5 µM GR24 uygulanmış su stresi altındaki fideler	6-0.5 µM GR24
1 µM GR24 uygulanmış su stresi altındaki fideler	6-1 µM GR24
GR24 uygulanmamış su stresi altındaki fideler	6-0 µM GR24
SA ve GR24 uygulanmamış fideler	3-0 mM SA+0 µM GR24
0.05 mM Salisilik asit ve 0.5 µM GR24 uygulanmış fideler	3-0.05 mM SA+0.5 µM GR24
0.05 mM Salisilik asit ve 1 µM GR24 uygulanmış fideler	3-0.05 mM SA+1 µM GR24
0.05 mM Salisilik asit ve 0.5 µM GR24 uygulanmış su stresi altındaki fideler	6-0.05 mM SA+0.5 µM GR24
0.05 mM Salisilik asit ve 1 µM GR24 uygulanmış su stresi altındaki fideler	6-0.05 mM SA+1 µM GR24
SA ve GR24 uygulanmamış su stresi altındaki fideler	6-0 mM SA+0 µM GR24



Şekil 3.3. SA uygulanan 3 ve 6 gün aralıklarla sulanan nane fideleri



Şekil 3.4. GR24 uygulanan 3 ve 6 gün aralıklarla sulanan nane fideleri

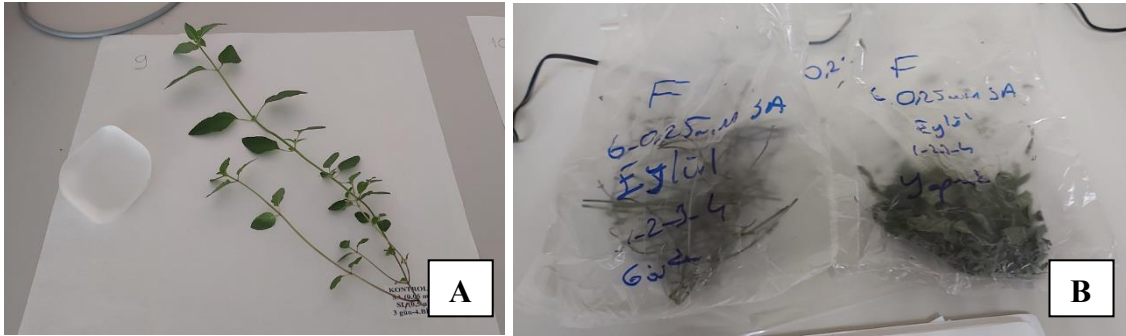


Şekil 3.5. SA ve GR24 birlikte uygulanan 3 ve 6 gün aralıklarla sulanan nane fideleri

3.2.3. İncelenen Özellikler

3.2.3.1. Büyüme parametrelerinin ölçülmesi

Tüm uygulamalardan her tekrerrür için 4 bitki tesadüfen seçilerek bitki boyu, dal sayısı, taze gövde ağırlığı ve taze yaprak ağırlığı ölçülmüş örnekler kurutma kâğıdı üzerinde oda sıcaklığında kurutulduktan sonra da gövde ve yaprak kuru ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 3.6).



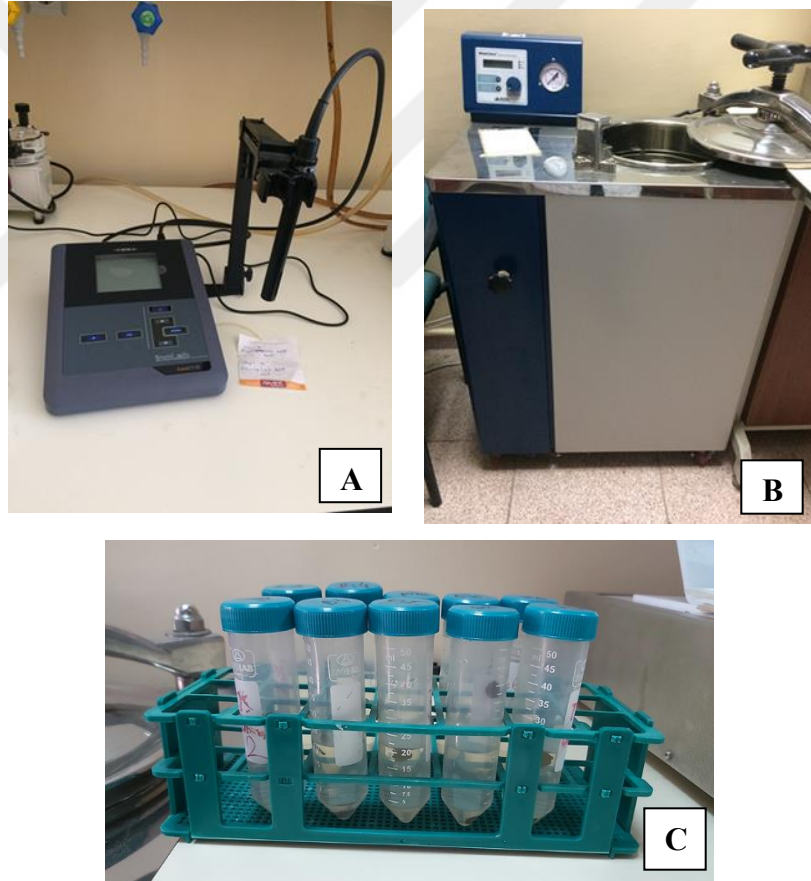
Şekil 3.6. Bitki yaprak örnekleri
(Taze bitki örneği (A), kuru bitki yaprak örneği (B))

3.2.3.2. Yaprak Alanı (cm²)

Her uygulama için 6 bitkinin gerçek yaprak büyüklüğüne erişen ana dal üzerindeki yaprakları alınarak yaprak alan ölçüm cihazı (LI-3100C Area Meter) ile ölçülmüştür.

3.2.3.3. Elektriksel iletkenlik (EC) (%)

Hasar ve membran geçirgenliğini değerlendirmek için kullanılan elektrolit sızıntısı (EC) bir elektrik iletkenlik ölçer (inolab) kullanılarak Korkmaz ve ark. (2007) tarafından önerilen protokol ile hesaplanmıştır. Uygulamaların her tekerrüründen iki bitkiden gelişmiş olan yaprağın orta kısmından rastgele seçilmiştir. Yüzey kirlenmesini gidermek için yapraklar damıtılmış suyla üç kere yıkanmış ve daha sonra yapraklardan 1 cm çapında yaprak diskleri alınmıştır. Diskler sonra 20 mL damıtılmış su içeren falkonlara yerleştirilmiştir. Numunelerin oda sıcaklığında 24 saat boyunca çalkalayıcıda (150 rpm) inkübe edilmiştir ve ilk iletkenlik değeri (EC1) belirlenmiştir. Ardından numuneler 120 °C'de 20 dakika otoklavlanmış, soğutulmuş ve ölçüm yapılarak ikinci iletkenlik değeri (EC2) alınmıştır (Şekil 3.7). Elektrolit sızıntısı $EC1 / EC2$ olarak hesaplanmış ve yüzde olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.7. Elektriksel iletkenlik
(Elektrik iletkenliği ölçüm cihazı (A), otoklav cihazı (B), bitki disklerinin falkonlardaki görüntüsü (C))

3.2.3.4. Bağlı su içeriklerinin belirlenmesi (RWC) (%)

Her uygulamadaki tekerrürlerden rastgele seçilen 6 ayrı bitki örneğinden en genç sürgünlerden sonra gelen lateral yaprakların uç kısımlarından seçilen 6 adet yaprak örneği alınarak yaş ağırlıkları ölçülmüştür. Turgor haline gelmelerini sağlamak için 4 saat boyunca dI-H₂O içinde bekletilmiştir. Etüvde 65°C’de 48 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlıklar saptanmıştır. Her bir gruba ait yaprak örneklerinin bağlı su içeriği aşağıdaki formüle göre % olarak hesaplanmıştır;

$$\text{Bağlı Su İçeriği (\%)} = [(YA - KA) / (TA - KA)] * 100$$

(YA=Yaş Ağırlık, KA=Kuru Ağırlık, TA=Turgorlu Ağırlık) (Sanchez ve ark., 2011).

3.2.3.5. Mineral Madde Miktarının Ölçümü (mg/g)

Kurutulmuş nane örneklerinden 0.3 g alınarak üzerine 3 mL saf su, 2 mL H₂O₂ (%30’luk) ve 5 mL HNO₃ (%65’lik) eklenmiş ve yaş yakma yapılarak hazırlanmıştır. Yakılma işlemi tamamlandıktan sonra örnekler oda sıcaklığına geldiğinde 10 mL’ye kadar saf su ile tamamlanmış filtre kâğıdı yardımıyla süzölmüştür. Elde edilen ekstraktlar cihazda okunana kadar ağzı kapalı kaplarda 4 °C’de muhafaza edilmiştir (Kulak, 2016). K, Mg, N ve P içeriklerinin belirlenmesi üniversitemiz ÜSKİM laboratuvarlarında hizmet alımı şeklinde ICP-OES (İndüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi) analizleri ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.6. Fotosentetik pigmentlerin miktarı (klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil, karotoneid) (mg/g TA)

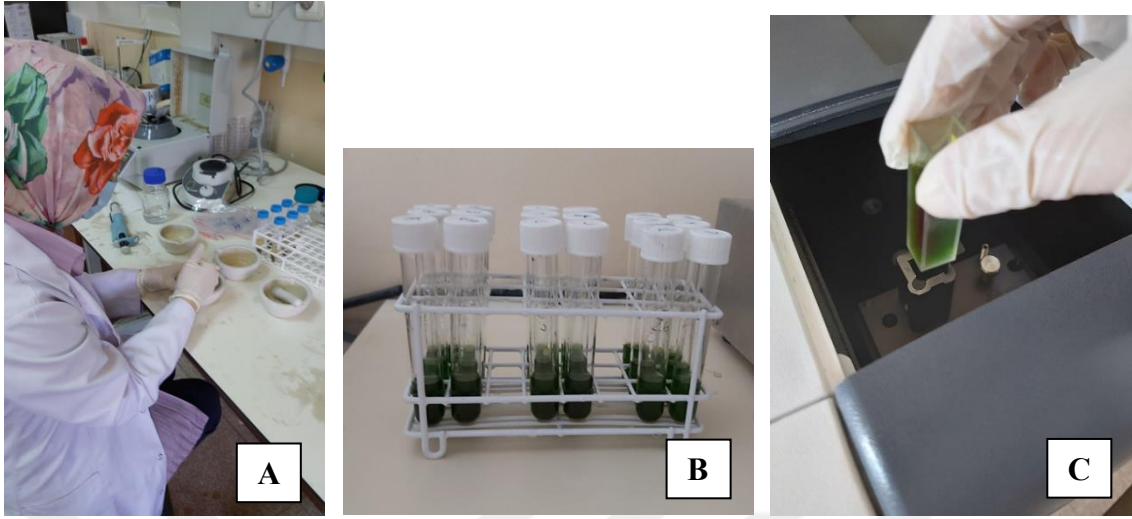
Her uygulamada altı bitkiden alınan 0.04 g yaprak örneği %80’lik (v/v) aseton ile homojenize edildikten sonra homojenat filtre kağıdından süzdürülmüş daha sonra spektrofotometre (Agilent Technologies Carry 60 UV-VIS) cihazında klorofil-a için 662 nm’de, klorofil-b için 645 nm’de, karotenoid için 470 nm’de absorbans değerleri alınmıştır (Şekil 3.8). Fotosentetik pigmentlerin miktarları aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır (Lichtenthaler ve Welburn, 1983).

$$\text{Klorofil-a} = A_{662} * 11.75 - A_{645} * 2.35$$

$$\text{Klorofil-b} = A_{645} * 18.61 - A_{662} * 3.96$$

$$\text{Toplam klorofil} = \text{Klorofil-a} + \text{Klorofil-b}$$

$$\text{Karotenoid} = [(1000 \cdot A_{470}) - (2.27 \cdot \text{klorofil-a}) - (81.4 \cdot \text{klorofil-b})] / 227$$

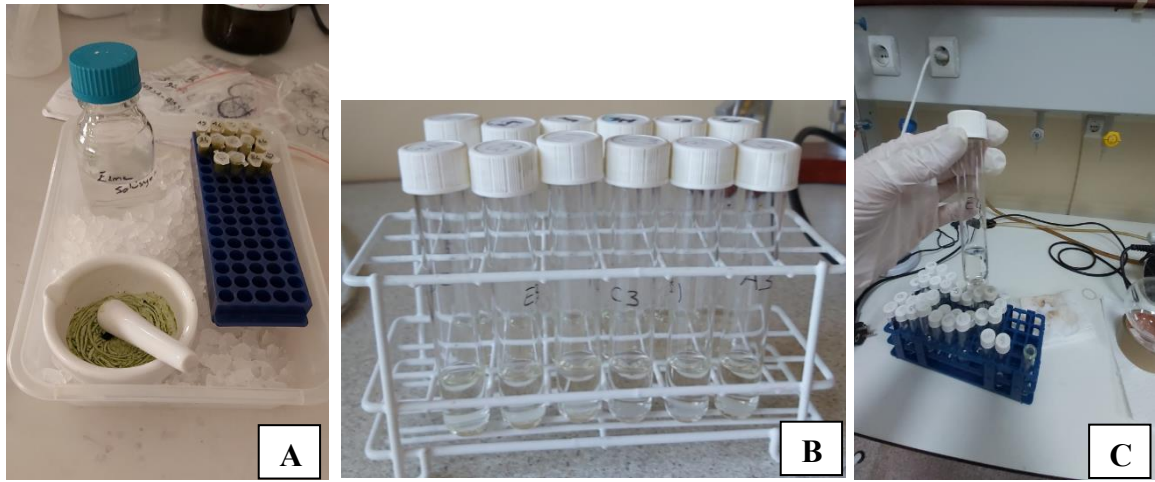


Şekil 3.8. Klorofil miktar tayini

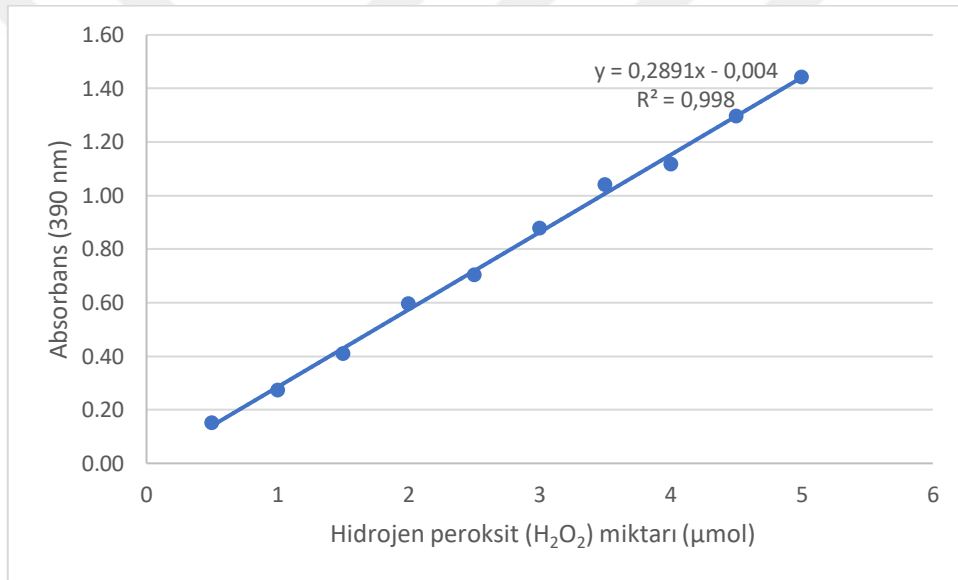
(Klorofil miktarının tayini için bitki örneklerinin havanda ezilmesi (A), numunelerin aseton ile hazırlanması (B), spektrofotometrede numunenin okunması (C))

3.2.3.7. Hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriğinin belirlenmesi (µmol g⁻¹ TA)

Taze yaprak numunelerinden 0.25 g alınarak 3 mL %0.1'lik trikloroasetik asit (TCA) içinde homojenize edilmiştir. Homojenat, 10.000 g'de ve 4 °C'de 10 dk santrifüjlenmiştir. Ardından 0.75 mL süpernatant, 0.75 mL 10 mM potasyum fosfat tamponu (pH 7.0) ve 1.5 mL 1 M KI ile vorteks yardımı ile karıştırılmıştır (Şekil 3.9). Karıştırılarak oluşan çözelti spektrofotometre (Agilent Technologies Carry 60 UV-VIS) cihazında 390 nm'de okunmuştur. Süpernatantın H₂O₂ içeriği, daha önce hazırlanan standart bir kalibrasyon eğrisi ile karşılaştırılarak belirlenmiştir. H₂O₂ miktarı 0-5 µmol aralıklarında olan çözeltiler aynı işlemlere tabi tutularak spektrofotometrede okutulmuş ve absorbans değerleri ile kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur (Şekil 3.10). Numunelerin H₂O₂ içerikleri standart eğriden elde edilen denkleme göre µmol g⁻¹ TA olarak ifade edilmiştir (Köklü, 2016; Zohra ve ark., 2016).



Şekil 3.9. Hidrojen peroksit içeriğinin belirlenmesi (Numunelerin ezilmesi (A), süpernatant ve kimyasalların eklenmesi (B), vortekslendikten sonra okunmaya hazır numuneler (C))



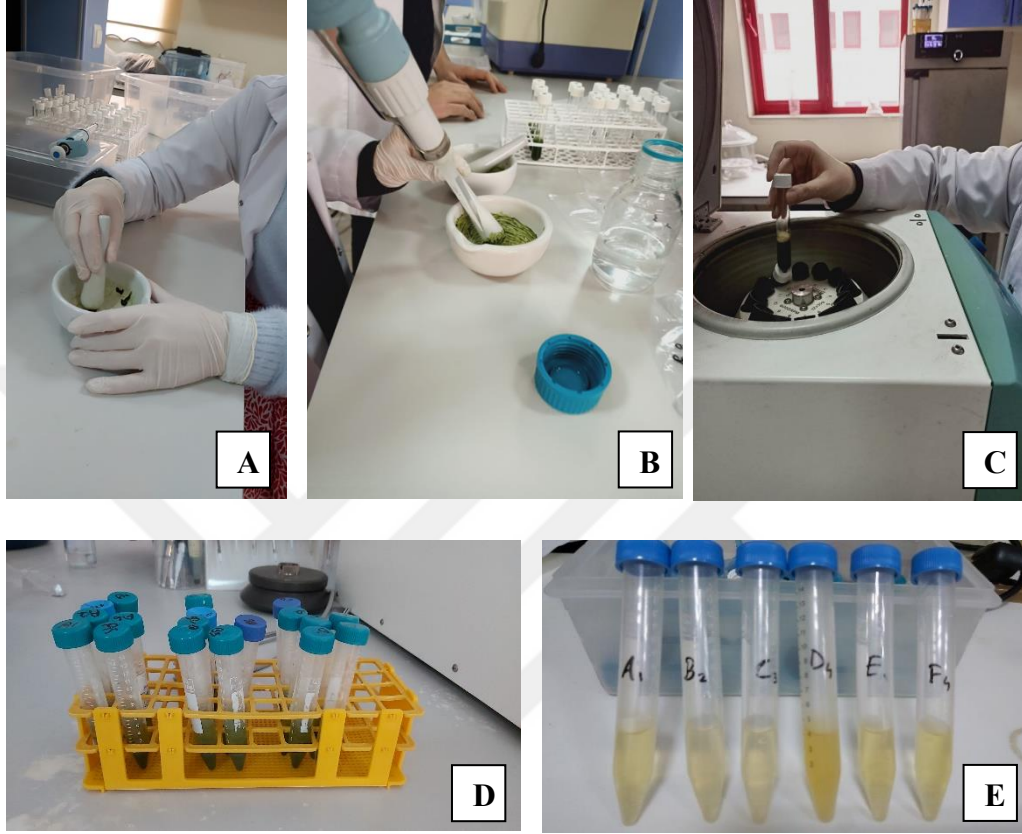
Şekil 3.10. Hidrojen peroksit standart eğrisi

3.2.3.8. Lipid peroksidasyon seviyelerinin belirlenmesi ($\mu\text{mol g}^{-1}$ TA)

Yapraklarda meydana gelen lipid peroksidasyon derecesinin belirlenmesi için, lipid peroksidasyonunun son ürünü olan malondialdehit (MDA) seviyesi ölçülmüştür. MDA miktarı Zhang ve ark. (2005)'e göre belirlenmiştir. 0.25 g taze yaprak örneği (her uygulamanın her bir tekrerründen) sıvı azot ile ezilerek üzerine 5 mL %1'luk TCA ilave edilerek homojenize edilmiş, bu karışım 5.000 g'de 5 dk süre ile santrifüj edilmiştir. Elde edile süpernatanttan 1 mL alınarak içinde %20 TCA bulunan %0.5'lik tiobarbütrik asit (TBA)'den 4 mL ilave edilmiş ve sonrasında 100 °C'de 30 dk kaynatıldıktan sonra hızlıca soğutulmuştur (Şekil 3.11). Karışım tekrar aynı şekilde santrifüjlenip, oluşan süpernatantın

450, 532 ve 600 nM’de absorbans okumaları yapılmış ve MDA içeriği aşağıda belirtilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{MDA } (\mu\text{mol g}^{-1} \text{ TA}) = 6.45 \cdot (\text{A}_{532} - \text{A}_{600}) - 0.56 \cdot \text{A}_{450}$$



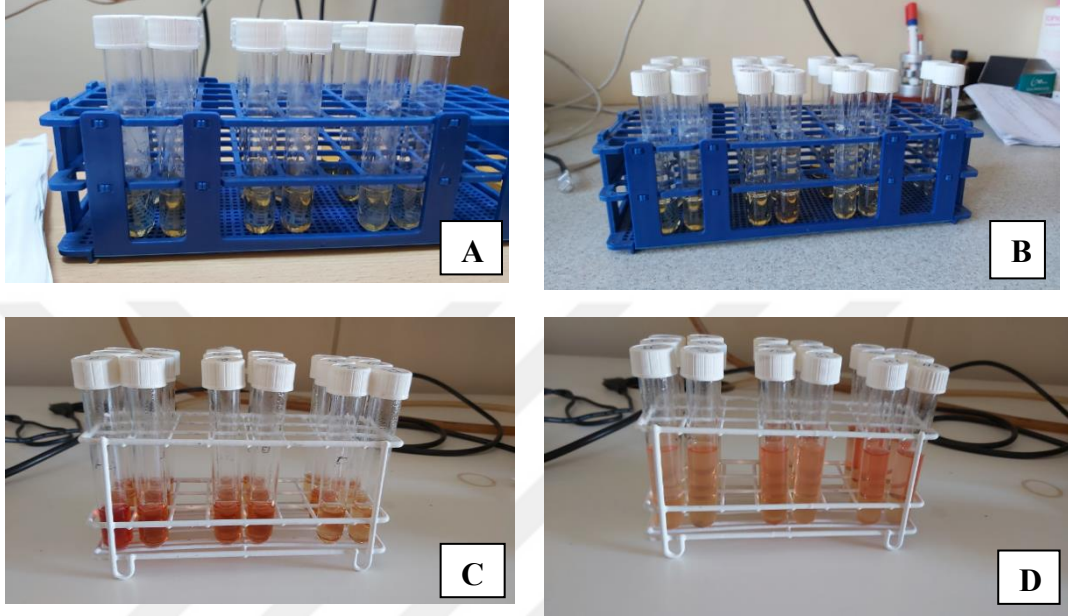
Şekil 3.11. Malondialdehit (MDA) seviyesi ölçümü

(Bitki örneklerinin ezilmesi (A), örneklerle ezme solüsyonunun ilave edilmesi (B), bitki ekstraktlarının santrifüjlenmesi (C), numunelerin ezme solüsyonu ile görüntüsü (D), numunelere reaksiyon sıvısı eklenilmesi (E). A: 3-0 mM SA+0 μ M GR24, B: 3-0.5 mM SA+0.5 μ M GR24, C: 3-0.5 mM SA+1 μ M GR24, D: 6-0 mM SA+0 μ M GR24, E: 6-0.5 mM SA+0.5 μ M GR24, F: 6-0.5 mM SA+1 μ M GR24)

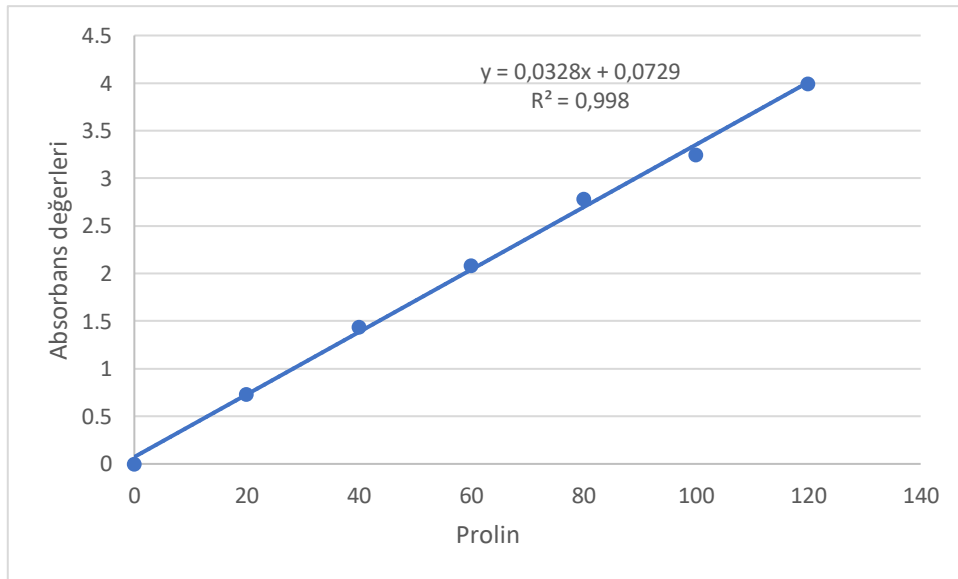
3.2.3.9. Yapraklardaki prolin miktarının ölçülmesi ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{ TA}$)

Prolin tayininde Bates ve ark. (1973)’de verilen yöntem kullanılmıştır. Daha önce hasat edilmiş -80 °C’ye bırakılmış bitki örneklerinden 0.25 g yaş yaprak alınarak porselen havan içerisinde %3’lük 5-sülfosalisilik asit ile ezilmiş, çözelti 5000 g’de 5 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüj edilmiş ekstrakt içerisinde supernatant, asit ninhidrin ve glacial asetik asit 1’er mL ilave edilerek test tüpü içerisinde karıştırılmıştır. Test tüpleri 100 °C’deki 1 saat su banyosuna konulmuş ve test tüpleri sıcak su banyosundan çıkarılarak hızlıca soğutulmuştur. Karışıma 4 mL tolüen eklenmiş, vortekslenmiş ve oda sıcaklığına gelmesi

beklenmiştir. Karışımdan alınan örneğin absorbansı spektrofotometrede 520 nM’de okunmuştur (Şekil 3.12). Kör numune olarak toluen kullanılmıştır. Prolin miktarı 0-120 mmol aralıklarında olan çözeltiler aynı aşamalar ile hazırlanmış ve spektrofotometrede okutularak standart eğri oluşturulmuş ve örneklerin prolin içerikleri bu eğriden elde edilen denklem yardımıyla $\mu\text{mol g}^{-1}$ TA olarak hesaplanmıştır (Yakupoğlu, 2016) (Şekil 3.13).



Şekil 3.12. Yapraklardaki prolin miktarının ölçülmesi
(Kontrol bitkilerinin soğutulduktan sonraki görüntüsü (A), kontrol bitkilerinin toluen eklendikten sonraki görüntüsü (B), stres bitkilerinin soğutulduktan sonraki görüntüsü (C), stres bitkilerinin toluen koyulduktan sonraki görüntüsü (D))



Şekil 3.13. Prolin standart eğrisi

3.2.3.10. Enzim ekstraktlarının hazırlanması ve aktivitelerinin belirlenmesi

Hasat sonrası -80 °C'ye bırakılan bitkilerden alınan 0.25 g yaprak örneği buz üzerine alınan porselen havan içerisinde 1 mM PMSF (phenylmethanesulfonyl fluoride), 0.75 mL 50 mM Trisma Base, 2 mM DTT (dithiothreitol) ve 0.1 mM EDTA (ethylenediaminetetraasetik asit) ile ekstrakt edilmiş ve 4 °C'de 12.000 g'de 30 dk santrifüjlenmiştir. Toplam protein içeriğini belirlemek için Bradford (1976)'a ait yöntem kullanılmıştır. Protein miktarları bovine serum albumin kullanılarak elde edilen standart eğri grafiğinden yararlanılarak hesaplanmıştır (Karaca, 2013).

Katalaz (CAT) enzim aktivitesi (U mg⁻¹ protein)

Karaca (2013)'e göre 240 nm dalga boyunda azami absorpsiyonda hidrojen peroksit miktarındaki azalmaya göre spektrofotometrede okunmuştur. Okuma yapılmadan önce 1 mM EDTA içeren 0.5 mM sodyum fosfat tampon (pH:7) içeren reaksiyon sıvısı hazırlanmıştır. Daha sonra 920 µL reaksiyon sıvısına, 70 µL numune ve son olarak da 10 µL %3 H₂O₂ eklenerek spektrofotometre küvetine koyulmuştur. Kör için numune yerine saf su kullanılmıştır. CAT aktivitesini tayin etmek için spektrofotometrede her 5 saniyede bir toplam 3 dk süresince ölçüm yapılarak CAT enzim aktivitesi belirlenmiştir.

Peroksidaz (POX) enzim aktivitesi (U mg⁻¹ protein)

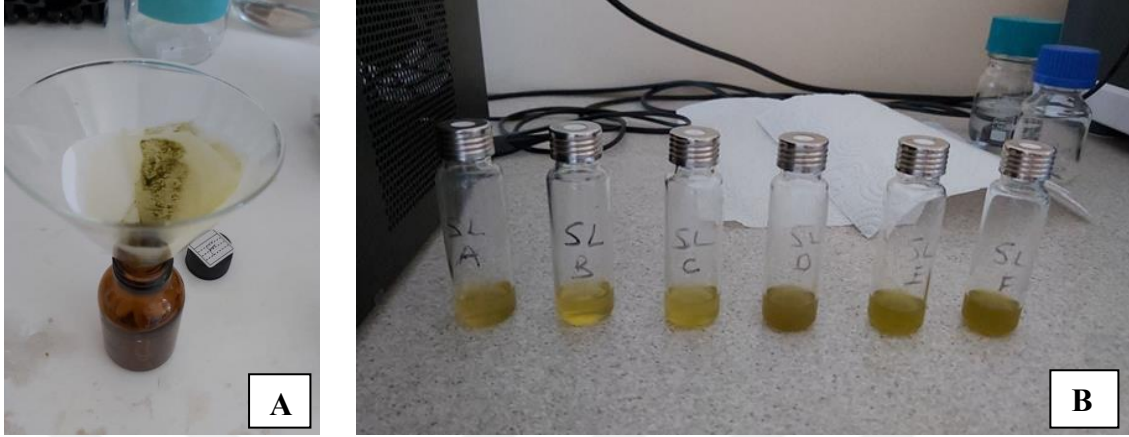
Karaca (2013)'e göre 465 nm dalga boyunda azami absorpsiyonda H₂O₂ miktarındaki artışa göre spektrofotometrede okunmuştur. Okumalar esnasında 3,3'- diaminobenzidine tetrahydrochloride hydrate (DAB) ile okside edilmiş, 0.15 M sodyum fosfat tampon (pH:7) içeren reaksiyon karışımı ve %30'luk H₂O₂ kullanılmıştır. POX aktivitesini belirlemek için her 5 saniyede bir toplam 3 dk boyunca µmol mL⁻¹ H₂O₂ yıkım ölçüm yapılarak POX enzim aktivitesi belirlenmiştir.

Toplam fenol, flavonoid ve antioksidan aktivitenin tayini

Bitki Ekstraksiyonu

-80 °C'de muhafaza edilen 0.5 g yaprak örneklerine 5 mL metanol çözeltisinden (%80'lik metanol-su karışımı+%0.1'lik formik asit) ilave edilerek havanda ezilmiştir. Deney tüplerine alınan ekstraktlar 15 dk ultrasonik su banyosunda homojenize edilmiştir. Süre sonunda koyu renkli şişelere filtre kâğıdı ile süzülerek sıvı kısım aktarılmış ve kalan bitki parçalarına tekrardan 5 mL metanol çözeltisi ilave edilmiş ve 15 dk ultrasonik su banyosunda bekletilerek tekrar süzülmüştür. Toplanan karışım balon jojelere konularak yaklaşık 55

°C’de evaporatörde çözücü uçurulmuştur. Balon jodede kalan karışımın üzerine distile su eklenerek son hacmin 3 mL olması sağlanmıştır (Şekil 3.14). Ekstraktlar analizleri yapılmaya kadar -20 °C muhafaza altına alınmıştır.

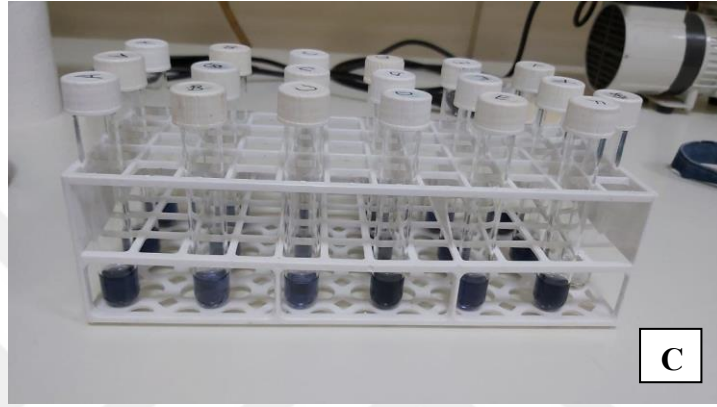
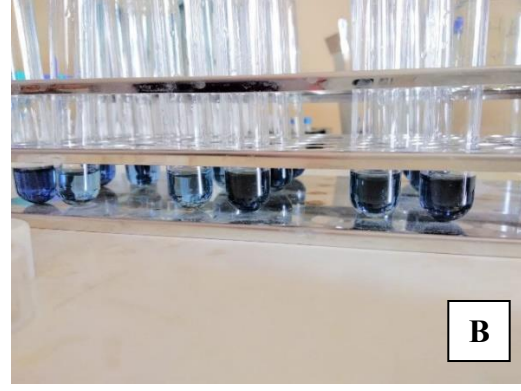
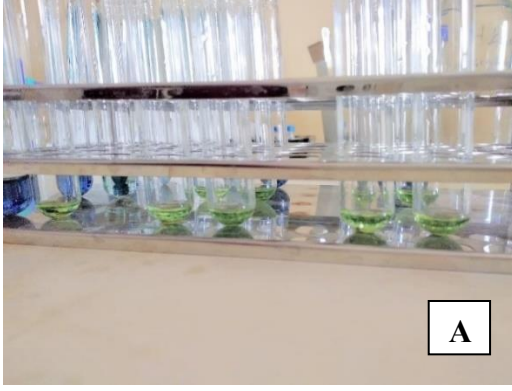


Şekil 3.14. Bitki ekstraktlarının elde edilmesi

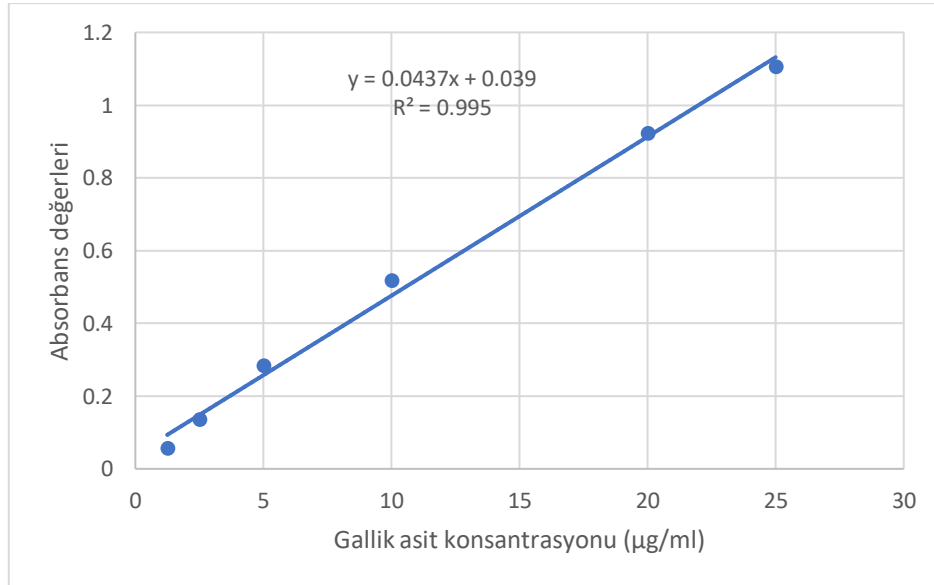
(Bitki ekstraktlarının eldesinde süzme aşaması (A), Bitki ekstraktlarının hazır hali (B) SL A: 3-0 μ M GR24, SL B: 3-0.5 μ M GR24, SL C: 3-1 μ M GR24, SL D: 6-0 μ M GR24, SL E: 6-0.5 μ M GR24, SL F:6-1 μ M GR24)

3.2.3.11. Toplam fenolik madde analizi (mg GAE/g TA)

Toplam fenolik madde analizi Singleton ve Rossi (1965)’un yöntemi modifiye edilip yapılmıştır. 50 μ L bitki ekstraktı deney tüplerine konulmuş, üzerlerine sırasıyla 250 μ L %10’luk Folin-Ciocalteu reaktifi (10 mL FCR (folin ayracı) üzerine 90 mL destile su eklenip 100 mL’ye tamamlanmıştır), 1250 μ L doygün Na_2CO_3 çözeltisi (%7.5’luk Na_2CO_3 alınarak 100 mL distile suda çözülmüştür) ve 450 μ L distile su eklenerek vortekslenmiştir. Elde edilen karışım 45 dk 45 °C sıcaklıkta etüvde bekletilmiştir (Şekil 3.15). Bekletilen süre sonunda numuneler 2 mL lik küvetlere konularak spektrofotometre cihazında 735 nm dalga boyuna karşılık gelen absorbansları ölçülmüştür. Toplam fenol miktarı gallik asit üzerinden hesaplanmış olup gallik asit standardından 1.25-25 μ g/mL aralığında çözeltiler hazırlanmıştır. Standart çözeltiler toplam fenol analizleri için uygulanan yöntemle hazırlanmış ve 735 nm dalga boyunda absorbansları okunmuştur. Elde edilen absorbans değerleri ile oluşturulan eğrinin regresyon eşitliğinden yararlanılarak sonuçlar hesaplanmıştır (Şekil 3.16). Bitki taze yaprakların ekstraktından elde edilen değerler seyreltme faktörleri de hesaba katılarak mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/g ekstrakt şeklinde ifade edilmiştir.



Şekil 3.15. Nane ekstraktlarında toplam fenol analizi
Bitki ekstraktlarına folin ilave edilmesi (A), çözeltiye sodyum karbonat ilave edilmesi (B),
spektrofotometrede okunmaya hazır örnekler (C)



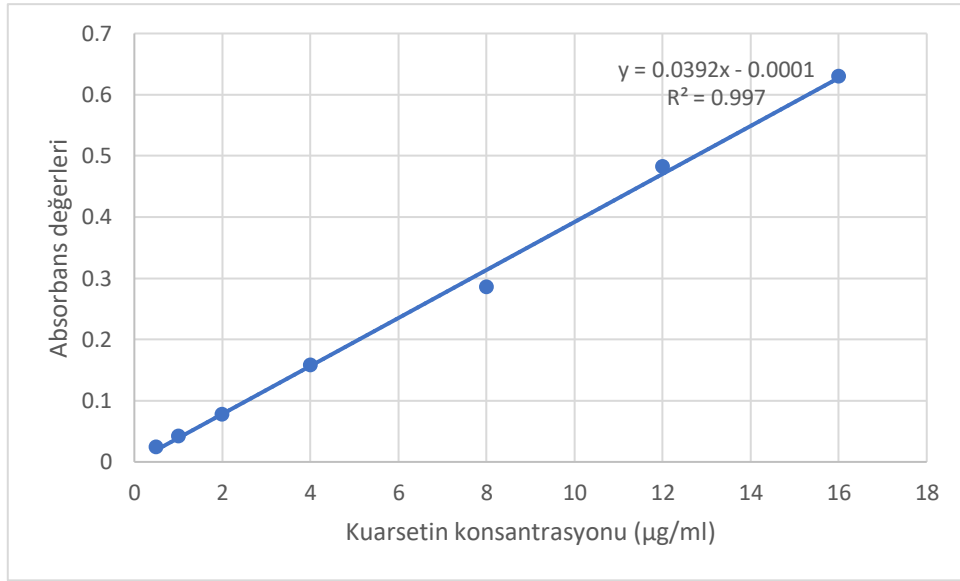
Şekil 3.16. Gallik asit standart eğrisi

3.2.3.12. Toplam flavonoid analizi (mg QE/g TA)

Toplam flavonoid analizi Subedi ve ark., 2014 ve Kulak, 2016'nın kullanmış oldukları yöntemler modifiye edilerek yapılmıştır. Analizler için -20 °C'de muhafaza edilen bitki ekstraktlarından 100 µL deney tüplerine konulmuş ve üzerine sırasıyla 100 µL %20'lik AlCl₃ (3 g AlCl₃ 15 mL metanol içerisinde çözülmüştür) 2'şer damla asetik asit ilave edilmiştir. Deney tüplerindeki çözeltiyi 5 mL'ye tamamlamak için 4.8 mL metanol eklenmiştir. Kör olarak bitki ekstraktı koyulmaksızın sırasıyla 100 µL AlCl₃, 2 damla asetik asit ve en sonunda 4.8 metanol ilave edilerek deney tüpleri 5 mL'ye tamamlanmıştır. Elde edilen karışım etüvde 25 °C yarı karanlık ortamda 40 dk bekletildikten sonra numuneler 2 mL'lik küvetlere konularak spektrofotometrede 415 nm'de okunmuştur (Şekil 3.17). Kuarsetin standart çözeltisi için 0.5-16 µg/mL aralığında stok çözeltisi oluşturulup, çözeltiler hazırlanmıştır. Standart çözeltiler flavonoid analizindeki basamaklarla aynı işlemlere tabii tutularak hazırlanmış ve 415 nm dalga boyunda absorbanları okunmuştur. Elde edilen absorban değerleri ile oluşturulan eğrinin regresyon eşitliğinden yararlanılarak sonuçlar hesaplanmıştır bunun için de her bir uygulamanın absorban değeri kuarsetin standart eğrisinde oluşan formülde yerine konulmuştur (Şekil 3.18). Elde edilen sonuçlar seyreltme miktarı da hesaba katılarak toplam flavonoid miktarı mg kuarsetin eşdeğeri (QE)/g ekstrakt şekline dönüştürülerek hesaplanmıştır.



Şekil 3.17. Flavonoid analizinde spektrofotometrede okuma yapılması için hazırlanan örnekler



Şekil 3.18. Kuarsetin standart eğrisi

3.2.3.13. Antioksidan Aktivite (DPPH) Tayini (%)

DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) serbest radikalleri süpürücü etki tayini Sanchez-Moreno ve ark. (1998) yöntemi modifiye edilerek yapılmıştır. Analizler için -20 °C de muhafaza edilen bitki ekstratlarından 50 µL alınıp deney tüplerine konulmuştur. Üzerine sırasıyla 1450 µL metanol ve 500 µL 0.1 mM DPPH (0.00394 g DPPH 100 mL metanolde çözülmüştür) eklenmiştir. Hazırlanan karışım vortekslenmiştir. 30 dk 30 °C’de karanlık bir ortamda bekletildikten sonra karışım 2 mL lik spektrofotometre küvetlerine alınmış ardından loş ortamda 517 nm dalga boyunda okutulmuştur (Şekil 3.19). Kör olarak metanol kullanılmıştır. Metanolik DPPH çözeltisindeki mor rengin daha fazla açılması antioksidan aktivitenin varlığını belirtmektedir. Reaksiyon karışımının spektrofotometrede okunan absorbans değerinde daha fazla düşme gerçekleşir bu da yüksek radikal süpürme kapasitesi anlamına gelmektedir (Dıraz, 2015). DPPH yüzdesi aşağıda verilen formülle hesaplanmıştır.

Radikal süpürücü etki: $\{(A_0 - A_1 / A_0) \times 100\}$

A₀: DPPH çözeltisi, A₁: Ekstraksiyon içeren DPPH çözeltisini ifade etmektedir.



Şekil 3.19. DPPH analizinde spektrofotometre okunma yapılması için hazırlanan örnekler

3.2.3.14. Nane uçucu yağının elde edilmesi ve bileşenlerinin tespiti

Kurutulmuş nane yapraklarından 10'ar g tartılıp 500 mL'lik balon içerisine konarak üzerine 200 mL su eklenmiştir. Clavenger aparatında su buharı distilasyonu yöntemi ile elde edilen uçucu yağlar ependorflara konularak bileşen analizleri yapılana kadar dondurucuda muhafaza edilmiştir (Şekil 3.20). Uçucu yağ bileşenlerinin analizleri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Bitki Fizyolojisi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan GC-MS (Gaz Kromatografisi / Kütle Spektrometrisi) kullanılarak yapılmıştır (Çizelge 3.5). Bileşenlerin tanımlanması Flavor2, NIST, Wiley ve W10N14 kütüphanelerine göre yapılmıştır (Karaman ve Kireççi, 2008; Karaman ve Aygan, 2013; Kaya, 2017).

Çizelge 3.5. GC/MS cihazının çalışma şartları

Sistem	Agilent GC-6890II GC ve Agilent 5975C MS (Agilent)
GC kapillar kolonu	HP-88 (100mx250 m x 0.20 µm film kalınlıkta)
Taşıyıcı gaz	He, akış hızı 1mL/dk
GC fırın başlangıç sıcaklığı	70 °C (1 dk), dk'da 5 °C artarak 220 °C'de 10 dk ve dk'da 10 °C artarak 230°C 'de 10 dk
Enjeksiyon bloğu sıcaklığı	250 °C
Kütle Spektrofotometresi	El Mode 70 eV
Split oranı	2:1
Kütle oranı	35-400m/z
Tarama hızı	(amu/s):100



Şekil 3.20. Clevenger aparatı ile bitki uçucu yağının elde edilmesi

3.3. Verilerin istatistiksel analizi

Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. Çalışmada morfolojik analizler 12 tekerrür diğer analizler ise en az 3 genelde 6 tekerrür olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucu elde edilen veriler Excel ortamına aktırılarak ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen verilerin istatistiksel analizi faktöriyel deneme desenine göre JMP 13 (SW) istatistik programı ile yapılmıştır. Uygulamalar ve interaksyonlar arasındaki farklılığı ortaya çıkarmak için verilere Tukey testi uygulanmıştır. Analize alınan parametrelerin bağımlılık yapısını yok etme ve boyut indirgeme amacıyla temel bileşen analizi (Principal Component Analysis, PCA; PAST Software) ile Clustvis kullanılarak ısı haritaları yapılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki *M. piperita* fidelerinde büyüme parametreleri üzerine etkisi

4.1.1. SA uygulamalarının büyüme parametreleri üzerine etkisi

4.1.1.1. Bitki boyu, dal sayısı, yaprak alanı

SA uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen bitki boyu, dal sayısı ve yaprak alanına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde bitki boyu, dal sayısı ve yaprak alanı ortalamalarına etkisi

Faktörler		Bitki Boyu (cm)	Dal Sayısı (adet/bitki)	Yaprak Alanı (cm ²)
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	41.45 ± 0.94 ^a	11.43 ± 0.52 ^a	141.04 ± 4.75 ^a
	6 gün	31.38 ± 0.95 ^b	8.09 ± 0.55 ^b	80.78 ± 4.75 ^b
Konsantrasyon (K)	0 mM SA	35.40 ± 1.16	8.96 ± 0.63	110.28 ± 5.82
	0.05 mM SA	38.03 ± 1.17	10.57 ± 0.69	117.92 ± 5.82
	0.25 mM SA	35.83 ± 1.14	10.00 ± 0.65	104.55 ± 5.82
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA	40.46 ± 1.68	10.82 ± 0.93	135.13 ± 8.23
	3-0.05 mM SA	42.29 ± 1.54	11.39 ± 0.86	148.10 ± 8.23
	3-0.25 mM SA	41.45 ± 1.68	12.09 ± 0.93	139.90 ± 8.23
	6-0 mM SA	30.77 ± 1.61	7.39 ± 0.86	85.42 ± 8.23
	6-0.05 mM SA	32.50 ± 1.76	9.25 ± 1.09	87.74 ± 8.23
	6-0.25 mM SA	31.08 ± 1.54	8.08 ± 0.89	69.19 ± 8.23
Anova			p-değeri	
S		0.000	0.000	0.000
K		0.553	0.379	0.301
SxK		0.975	0.606	0.466

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

İncelenen üç özellik ile sulama sıklıkları arasındaki ilişki istatistiksel olarak önemli bulunurken SA konsantrasyonları, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.1). 3 gün aralıkla sulanan fidelerden yüksek bitki boyu ortalaması (41.45 cm), 6 gün aralıkla sulanan fidelerden ise düşük bitki boyu ortalaması (31.38 cm) elde edilmiştir (Çizelge 4.1). Su stresinin bitki metabolizmasını olumsuz etkileyerek bitki boyunun uzamasına engel olduğu görülmektedir (Aksu, 2020; Jahani ve ark., 2021). Ekzojen SA uygulaması bitki boyunu hem stresli hem de stressiz koşullarda bir

miktar uzatsa da bu uzama yeterli olmamıştır. Sonuçlarımızdan farklı olarak Es-sbihi ve ark. (2020) stres altındaki adaçayı bitkilerine uyguladığı SA konsantrasyonlarından (0.5 ve 1 mM) 0.5 mM uygulamasında en yüksek bitki boyu değerinin elde edildiğini bildirmiştir. Elhakem (2019) su stresine maruz bıraktığı nane bitkisinde stres ile azalan bitki boyunun SA uygulandığında arttığını belirtmiştir. Culpan (2015) düşük doz hormon (SA ve GA) uygulamasının bitki boyunu bir miktar artırsa da yüksek dozda hormon uygulamalarının aspir bitkisinin boyunu kısalttığını ifade etmiş ayrıca araştırmasında bizim bulgularımızda olduğu gibi bitki boyunda hormon etkisi ve diğer interaksiyonların etkisinin önemsiz olduğunu tespit etmiştir.

Su stresi altındaki nane fidelerinde fazla dal sayısı ortalaması (11.43 adet/bitki) 3 gün ara ile sulanan fidelerden, düşük dal sayısı ortalaması (8.09 adet/bitki) 6 gün ara ile sulanan fidelerden elde edilmiştir. SA uygulamalarının stres altındaki nane fidelerinde dal sayısına etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.1). Kulak (2016) fesleğen bitkisine uyguladığı su stresi koşullarında dal sayısı özelliği yönünden 0.05 mM SA konsantrasyonunu daha etkili bulmuştur. Araştırmalarda su stresi dal sayısını düşürmüş olsa da (Farouk ve Amany, 2012), SA bitkinin stres ile başa çıkmasına yardımcı olup dal sayısını artırmıştır (Gharib, 2006; Osama ve ark., 2019). Hesami ve ark. (2012) su stresinde yetiştirdikleri kişnişe SA uyguladıkları denemelerinde stressiz bitkilerde 0.01 mM SA ve su stresinde 0.1 mM SA uygulamalarında yüksek dal sayısı değerleri bildirmişlerdir. Yaprak ve kök büyümesinin SA tarafından azaltıldığını belirten Pancheya ve ark. (1996)'nın aksine çalışmamızda verimde ne olumlu ne de olumsuz bir etki gözlenmemiştir. Culpan (2015) aspir bitkisine SA uygulamalarının dal sayısı üzerine önemli bir etki yapmadığını hatta 1 mM SA uygulamasında en düşük dal sayısı elde ettiklerini bildirmiştir.

Çalışmada nane fidelerinde 3 gün aralıkla sulanan fidelerden yüksek yaprak alanı ortalaması (141.04 cm²), 6 gün aralıkla sulanan fidelerden düşük yaprak alanı ortalaması (80.78 cm²) elde edilmiştir. SA uygulamasından elde edilen yaprak alanı değerleri göz önüne alındığında uygulamalar arasındaki fark önemli olmamakla birlikte 3-0.05 mM SA uygulamasından daha yüksek yaprak alanı, 6-0.25 mM SA uygulamasından ise daha düşük yaprak alanı değerleri elde edilmiştir (Çizelge 4.1). Araştırmacılar arpa yapraklarına yüksek konsantrasyonda SA uygulanmasının yaprak genişleme oranını düşürdüğünü, yaprak alanı büyümesini ve tüm yaprak dokusunun kalınlığını azalttığını bildirmişlerdir (Pancheva et al., 1996; Uzunova and Popova, 2000; Khalil ve ark., 2018). Bizim bulgularımızda da streste yaprak genişliği azalmıştır. Bitki yaprak alanının su kaybıyla ilişkili olmasından dolayı

bitkilerin su stresinden kaçmak için yaprak büyümesini yavaşlattığı hatta engellediği ve yeni yaprak oluşumunu en aza düşürmeye çalıştığı bilinmektedir (Aksu, 2020). Araştırmacılar çeşitli stres faktörlerinin yaprak alanını azalttığını fakat SA uygulamasının konsantrasyona göre değişmekle birlikte olumlu etkilediğini bildirmişlerdir (Cornelia ve ark., 2011; Zamaninejad ve ark., 2013; Fahraji ve ark., 2014). Sonuçlarımız *Mentha x piperita* bitkisine çeşitli konsantrasyonlarda SA uyguladıkları çalışmalarında yaprak alanına SA uygulamasının etki etmediğini belirten araştırmacılar ile benzerlik göstermektedir (Gonçalves ve ark., 2020).

4.1.1.2. Taze-kuru yaprak ve taze-kuru gövde ağırlıkları

SA uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen taze yaprak-kuru yaprak ve taze-kuru gövde ağırlıklarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde bitki başına taze-kuru yaprak ve taze-kuru gövde ağırlık ortalamalarına etkisi (g/bitki)

Faktörler		Taze Yaprak Ağırlığı	Kuru Yaprak Ağırlığı	Taze Gövde Ağırlığı	Kuru Gövde Ağırlığı
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	2.54 ± 0.10 ^a	0.69 ± 0.03 ^a	2.71 ± 0.12 ^a	0.57 ± 0.03 ^a
	6 gün	0.75 ± 0.10 ^b	0.33 ± 0.03 ^b	1.03 ± 0.12 ^b	0.33 ± 0.03 ^b
Konsantrasyon (K)	0 mM SA	1.43 ± 0.11 ^b	0.48 ± 0.03	1.64 ± 0.14	0.39 ± 0.03
	0.05 mM SA	1.98 ± 0.13 ^a	0.57 ± 0.04	2.09 ± 0.14	0.53 ± 0.04
	0.25 mM SA	1.67 ± 0.13 ^{ab}	0.50 ± 0.04	1.98 ± 0.16	0.46 ± 0.04
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA	2.23 ± 0.15	0.67 ± 0.05	2.48 ± 0.21	0.50 ± 0.06
	3-0.05 mM SA	2.92 ± 0.18	0.72 ± 0.05	2.88 ± 0.19	0.62 ± 0.04
	3-0.25 mM SA	2.57 ± 0.18	0.70 ± 0.05	2.74 ± 0.21	0.57 ± 0.07
	6-0 mM SA	0.63 ± 0.15	0.29 ± 0.05	0.94 ± 0.19	0.30 ± 0.03
	6-0.05 mM SA	0.91 ± 0.19	0.38 ± 0.06	1.15 ± 0.21	0.41 ± 0.06
	6-0.25 mM SA	0.78 ± 0.18	0.33 ± 0.05	1.04 ± 0.23	0.33 ± 0.02
Anova		p-değeri			
S		0.000	0.000	0.000	0.000
K		0.022	0.462	0.307	0.120
SxK		0.482	0.932	0.882	0.908

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Taze yaprak ağırlığına ait analiz değerleri incelendiğinde sulama sıklıkları ve SA konsantrasyonları önemli, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. 3 gün aralıklarla sulanan uygulamalardan 6 gün aralıklı sulamalara göre daha yüksek taze yaprak ağırlığı (2.54 g/bitki) elde edilmiştir. Uygulamalardan 0.05

mM SA konsantrasyonundan en yüksek taze yaprak ağırlığı (1.98 g/bitki) elde edilmiş olup aralarındaki fark önemsiz olmakla birlikte bu uygulamayı 0.25 mM SA konsantrasyonu (1.67 g/bitki) takip etmiştir (Çizelge 4.2). Khalil ve ark. (2018) kekik bitkisine su stresinde çeşitli konsantrasyonlarda ekzojen SA uygulamış ve konsantrasyon arttıkça verimin düştüğünü konsantrasyon düştükçe daha etkili sonuç elde ettiğini belirtmiştir. Khorasaninejad ve ark. (2011)'nın su stresi altında *M. piperita*'nın büyüme parametrelerinde önemli azalma gözlemledikleri ve SA uygulamasının *M. piperita*' da su stresinin olumsuz etkilerini azaltarak büyüme parametrelerinde iyileşme sağladığını bildiren Abdi ve Karami (2020)'nin sonuçları çalışmamızı kısmen destekler niteliktedir. Kahveci (2017) çalışmamıza benzer şekilde fesleğen bitkisine 0.05 mM SA uygulaması ile yüksek yaprak ağırlığı değeri tespit etmiştir. Khalil ve ark. (2018) kuraklık stresinin kekik bitkisinin taze ağırlığını olumsuz etkilediğini 2 mM'a kadar SA uygulamasının bu etkiyi tersine çevirdiğini ancak 3 mM'de bitkilerin taze ağırlığının azalmaya başladığını belirtmişlerdir.

Kuru yaprak, taze-kuru gövde ağırlığına ait analiz sonuçları incelendiğinde sulama sıklıkları arasındaki ilişki önemli bulunurken konsantrasyonlar, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.2). Kuru yaprak ağırlığı ile ilgili elde edilen değerler incelendiğinde; 3 güne bir sulanan fidelerde daha yüksek yaprak verimi (0.57 g/bitki) ve 6 güne bir sulanan fidelerde düşük yaprak verimi (0.33 g/bitki) elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Damalas (2019) fesleğen üzerine yaptığı çalışmasında su eksikliği koşulları altında büyüme parametrelerinde azalma tespit etmiş ve bu azalmanın ana metabolitlerin bozulmasından kaynaklandığını ifade etmiştir. Su stresi altında SA'nın ekzojen uygulanmasının bitkinin hem yaş hem de kuru ağırlığını artırarak *M. arvensis*'in büyüme potansiyelini iyileştirdiğini bildiren Elhakem (2019)'in aksine Karaliya ve ark. (2017) fesleğen bitkisinin kuru ağırlığında SA uygulamalarının kontrole göre farklılık oluşturmadığını belirtmişlerdir. Çalışmamız Pirbalouti ve ark. (2014)'nın *Thymus daenensis* üzerinde yaptığı çalışma ile benzerlik göstermiş olup araştırmacıların ölçtükleri büyüme indekslerinden kekik kuru ağırlığı üzerine SA uygulamasının anlamlı bir etkisi olmamıştır.

Taze gövde ağırlığı verilerinde en yüksek değerler (2.71 g/bitki) 3 gün aralıklı sulamadan elde edilirken, en düşük değer (1.03 g/bitki) 6 gün aralıklı sulamadan elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Kuru gövde ağırlığı yönünden 3 gün aralıklı sulamadan yüksek (0,62 g/bitki) 6 gün aralıklı sulamadan düşük verimler (0,30 g/bitki) elde edilmiştir. Çeşitli araştırmacılar *Mentha* ile yapılan çalışmalarda su stresinin bitki boyu, gövde yaş-kuru ağırlığı, yaprak yaş-kuru ağırlığı, boğum arası uzunluğu, biyokütle, gövde uzunluğunu

olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir (Khorasaninejad ve ark., 2011; Araghi ve ark., 2019). Mohammadi ve ark. (2019) su stresi koşulları altında SA ile muamele edilmiş kekik bitkileri ile uygulamalarının stresin etkilerini hafiflettiğini bildirmişlerdir. Su eksikliği nane bitkilerinde büyüme ölçümlerini (bitkilerin toprak üstü kısımlarının taze ve kuru ağırlıkları) önemli ölçüde azaltmış ancak SA uygulamaları su stresi altındaki bitkilerde büyüme parametrelerinde azalmayı engellemiştir (Abdi ve Karami, 2020). Azad ve ark. (2021) tuzluluk ve kuraklık stresi altında *Mentha pulegium*'de SA'nın fizyolojik etkisini inceledikleri çalışmalarında SA'nın taze ağırlık üzerindeki iyileştirme etkisinin, kuraklık stresi altındaki bitkilere kıyasla tuz stresi altındaki bitkilerde daha büyük olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmamıza benzer şekilde Pirbalouti ve ark. (2014) su stresi şartlarında yetiştirdikleri kekik bitkisine ekzojen verilen SA'nın verim üzerine etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Yaptığımız çalışmada, ölçülen büyüme parametreleri üzerinde sulama sıklığı ile SA konsantrasyonu arasında beklenen iyileşme saptanmamıştır.

4.1.2. GR24 uygulamalarının büyüme parametreleri üzerine etkisi

4.1.2.1. Bitki boyu, dal sayısı, yaprak alanı

GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen bitki boyu, dal sayısı ve yaprak alanına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde bitki boyu, dal sayısı ve yaprak alanı ortalamalarına etkisi

Faktörler		Bitki Boyu (cm)	Dal Sayısı (adet/bitki)	Yaprak Alanı (cm ²)
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	57.42 ± 0.55 ^a	8.34 ± 0.24 ^a	156.72 ± 3.89 ^a
	6 gün	41.78 ± 0.61 ^b	6.08 ± 0.23 ^b	112.70 ± 4.44 ^b
Konsantrasyon (K)	0 µM GR24	49.61 ± 0.72	7.48 ± 0.29 ^a	137.04 ± 5.00
	0.5 µM GR24	49.29 ± 0.71	6.35 ± 0.29 ^b	139.85 ± 5.33
	1 µM GR24	51.95 ± 0.70	7.64 ± 0.29 ^a	135.70 ± 5.00
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 µM GR24	56.65 ± 0.96 ^b	8.18 ± 0.41	153.25 ± 6.74
	3-0.5 µM GR24	54.30 ± 1.01 ^b	7.64 ± 0.41	161.27 ± 6.74
	3-1 µM GR24	60.68 ± 0.91 ^a	9.30 ± 0.43	155.64 ± 6.74
	6-0 µM GR24	40.81 ± 1.07 ^c	6.83 ± 0.39	117.90 ± 7.38
	6-0.5 µM GR24	44.28 ± 1.01 ^c	5.17 ± 0.39	107.74 ± 8.25
	6-1 µM GR24	39.95 ± 1.07 ^c	6.25 ± 0.39	111.77 ± 7.38
Anova		p-değeri		
S		0.000	0.000	0.000
K		0.285	0.003	0.971
SxK		0.000	0.114	0.483

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Bitki boyuna ait analiz sonuçları incelendiğinde; sulama sıklıkları, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu arasındaki ilişki önemli, GR24 konsantrasyonları önemsiz bulunmuştur. En yüksek bitki boyu ortalaması (57.42 cm) 3 gün aralıkla sulanan fidelerden en düşük bitki boyu ortalaması (41.78 cm) ise 6 gün aralıkla sulanan fidelerden elde edilmiştir (Çizelge 4.3). Sulama sıklığı ile farklı konsantrasyonlarda uygulanan GR24'ün bitki boyu üzerine ortak etkisi incelendiğinde 3-1 µM GR24 uygulamasından 60.68 cm değeri ile en yüksek bitki boyu elde edilmiş, 6-1 µM GR24 uygulamasından 39.95 cm değeri ile en düşük bitki boyu elde edilmiş olsa da 6 günde bir sulanan stres grubundaki tüm uygulamalar istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Önay (2019) buğday çeşitleri üzerine yapmış olduğu çalışmada stres şartlarında GR24'ün gövde uzunluğuna beklenen etkiyi göstermediğini tespit etmiştir. SL'lerin GA ile etkisini karşılaştırmak için de Saint Germain ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada elde ettikleri sonuca göre SL'lerin, bezelye bitkilerinde boğum arası uzamayı uyarmak için hücre uzamasından ziyade hücre bölünmesini etkilediğini belirtmişlerdir. Ling ve ark. (2020) stres durumunda azalan çeltik bitkisinin boyu GR24 konsantrasyonu 1 µM ve üzerine ulaştığında belirli bir seviyeye gelerek kontrol grubunkine benzediğini belirtmişlerdir. Özel (2018)'in iki farklı konsantrasyonda GR24 uygulanan zambak fidelerini tuz stresi ile muamele ettiği ve kontrol bitkilerine kıyasla düşük

konsantrasyonda %6.2 artış ve yüksek konsantrasyonda %3.4 azalma tespit ettiği çalışma bulgularımızla benzerlik göstermektedir.

Dal sayısına ait istatistiksel analiz sonuçlarına göre sulama sıklıkları, GR24 konsantrasyonları arasındaki ilişki önemli, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.3). Sulama sıklıkları değerlendirildiğinde 3 gün ara ile sulanan fidelerden yüksek dal sayısı ortalaması (8.34 adet/bitki), 6 gün ara ile sulanan fidelerden düşük dal sayısı ortalaması (6.08 adet/bitki) elde edilmiştir. Dal sayısına konsantrasyonların etkisi karşılaştırıldığında 0.5 μ M GR24 dal sayısını azaltırken (6.35 adet/bitki) 1 μ M GR24 dal sayısını sabit tutmuştur (7.64 adet/bitki). SL'lerin sürgün dallanması da dahil olmak üzere çeşitli fizyolojik olayların düzenlenmesinde rol aldığı bilinmektedir (Ito ve ark., 2017). Umehara ve ark. (2008) çeltikte ve Gomez-Roldan ve ark. (2008) bezelye üzerine yaptıkları çalışmalarının sonucunda ekzojen SL'nin bitkinin gövde dallanmasını inhibe ettiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde *Arabidopsis* ve bezelye bitkileri üzerine çalışarak sürgün inhibisyonunu tespit eden Sorefan ve ark. (2003) ve Kohlen ve ark. (2011)'in sonuçları bulgularımızı desteklemektedir. SL bitkinin stres ile başa çıkmasına yardımcı olmak için dallanmayı azaltmıştır.

Yaprak alanına ait analiz sonuçlarında sulama sıklıkları arasındaki ilişki önemli bulunmuşken, konsantrasyonlar, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.3). Su stresi altındaki nane fidelerinde yüksek yaprak alanı ortalaması (156.72 cm²) 3 gün aralıkla sulanan fidelerden, düşük yaprak alanı ortalaması (112.70 cm²) 6 gün aralıkla sulanan fidelerden elde edilmiştir. Sonuç olarak su stresinin yaprak alanını azalttığı ve GR24 uygulamalarının yaprak alanına etkisi olmadığı görülmektedir. Su eksikliğinin başlarında hücre genişlemesinin engellenmesi yaprak genişlemesini yavaşlatmaktadır. Yaprak alanı azaldığı için transpirasyonla su kaybı azalmakta olup topraktaki kısıtlı miktardaki su ile bitki hayati faaliyetlerini devam ettirmektedir. Böylece yaprak alanındaki azalma, su kıtlığına karşı oluşturulan önemli bir savunma tepkisi olarak kabul edilmektedir (Taiz ve Zeiger, 2008). Bat ve ark. (2020), Cırık (2020) ve Elmas (2021)'in su stresinde yaprak alanında düşüş gözledikleri çalışmaları sonuçlarımızı desteklemektedir. Ek olarak Cooper ve ark. (2018) soğuk stresi altında *Arabidopsis thaliana*'da GR24 uygulamalarında stres kaynaklı olarak yaprak alanında azalma gözlemişlerdir. Bulgularımıza uyumlu olarak Aflaki, (2019) rac-GR24 ile muamele edilmiş şeker pancarı eksplantlarından, daha düşük yaprak sayısı, toplam yaprak uzunluğu ve toplam yaprak alanı değerleri elde etmiştir.

4.1.2.2. Taze-kuru yaprak ve taze-kuru gövde ağırlıkları

GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen taze-kuru yaprak ve taze-kuru gövde ağırlıklarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde bitki başına taze-kuru yaprak ve taze-kuru gövde ağırlık ortalamalarına etkisi (g/bitki)

Faktörler		Taze Yaprak Ağırlığı	Kuru Yaprak Ağırlığı	Taze Gövde Ağırlığı	Kuru Gövde Ağırlığı
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	4.58 ± 0.06 ^a	0.95 ± 0.02 ^a	5.77 ± 0.15 ^a	1.13 ± 0.03 ^a
	6 gün	2.11 ± 0.07 ^b	0.68 ± 0.02 ^b	2.24 ± 0.19 ^b	0.65 ± 0.04 ^b
Konsantrasyon (K)	0 µM GR24	3.27 ± 0.08	0.79 ± 0.02 ^b	3.79 ± 0.21 ^b	0.79 ± 0.04 ^b
	0.5 µM GR24	3.53 ± 0.08	0.80 ± 0.02 ^b	4.14 ± 0.20 ^b	0.86 ± 0.05 ^b
	1 µM GR24	3.76 ± 0.08	0.86 ± 0.02 ^a	5.33 ± 0.21 ^a	1.09 ± 0.04 ^a
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 µM GR24	4.33 ± 0.10	0.90 ± 0.03	4.76 ± 0.25 ^b	0.92 ± 0.06 ^{bc}
	3-0.5 µM GR24	4.67 ± 0.10	0.93 ± 0.03	5.58 ± 0.27 ^b	1.03 ± 0.06 ^b
	3-1 µM GR24	4.73 ± 0.10	1.02 ± 0.03	6.95 ± 0.25 ^a	1.38 ± 0.05 ^a
	6-0 µM GR24	2.09 ± 0.11	0.66 ± 0.04	1.99 ± 0.34 ^c	0.62 ± 0.06 ^d
	6-0.5 µM GR24	2.11 ± 0.12	0.67 ± 0.03	2.33 ± 0.29 ^c	0.63 ± 0.07 ^d
	6-1 µM GR24	2.14 ± 0.13	0.69 ± 0.03	2.36 ± 0.34 ^c	0.68 ± 0.06 ^{cd}
Anova			p-değeri		
S		0.000	0.000	0.000	0.000
K		0.099	0.046	0.000	0.000
SxK		0.211	0.358	0.010	0.004

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Taze yaprak ağırlığına ait analiz sonuçları incelendiğinde; sulama sıklıkları önemli, GR24 konsantrasyonları, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu önemsiz bulunmuştur. Genel olarak GR24 uygulamalarından daha yüksek yaprak verimi elde edilirken uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Yüksek taze yaprak ağırlığı (4.58 g/bitki) 3 gün arayla sulanan gruptan, düşük ortalama (2.11 g/bitki) ise 6 gün arayla sulanan stres gruplarından elde edilmiştir.

Kuru yaprak ağırlığına ait istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde; sulama sıklıkları, SL konsantrasyonları önemli, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu ise önemsiz bulunmuştur. Su stresi altındaki nane fidelerinde yüksek kuru yaprak ağırlık ortalaması (0.95 g/bitki) 3 gün aralıkla sulanan fidelerden, düşük kuru yaprak ağırlık ortalaması (0.68 g/bitki) 6 gün aralıkla sulanan fidelerden elde edilmiştir. Sonuçlarımızda 1

μM GR24 konsantrasyonundan daha yüksek (0.86 g/bitki) kuru yaprak verimi elde edildiği görülmektedir (Çizelge 4.4). Kong ve ark. (2017) *Sesbania cannabina* bitkisine GR24 uygulamasının taze ve kuru ağırlıkta artış sağladığını belirtmişlerdir. Çalışmamıza benzer şekilde Ling ve ark. (2020) stres durumunda azalan çeltik bitkisinin boyunu 1 μM ve üzeri GR24 konsantrasyonunu kontrol grubundan daha yüksek bulmuşlardır. Sharifi ve Bidabadi (2020) tuz stresinde yetiştirdikleri adaçayı bitkisine farklı konsantrasyonlarda (0, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 μM) GR24 uygulamışlar ve konsantrasyonlar arttıkça bitkinin stresi daha iyi tolare ettiğini ve bitki taze ağırlığının arttığını bildirmişlerdir. Zulfiqar ve ark. (2021a) tuz stresine maruz bırakılan ayçiçeğine (*Helianthus annuus* L.) ekzojen GR24 verdikleri çalışmalarında uygulama ile strese karşı etkili sonuç elde ederek stres ile azalan bitki biyokütlesini ekzojen uygulamanın artırdığını tespit etmişlerdir. Çalışmalar GR24 uygulamasının bitkiler üzerine stresin zararlı etkilerini azaltmak için etkili bir yaklaşım olabileceğini göstermektedir.

Taze ve kuru gövde ağırlığına ait istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde; sulama sıklıkları, konsantrasyon, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.4). Sulama sıklıklarında hem taze hem de kuru gövde ağırlığında 3 güne bir sulamada daha yüksek sonuçlar (sırasıyla 5.77 g/bitki ve 1.13 g/bitki) elde edilmiştir. Taze ve kuru gövde ağırlığında GR24 uygulamalarında konsantrasyon arttıkça ağırlıkta artış gözlenmiş olup 1 μM GR24 ile daha yüksek ağırlık değerleri (5.33-1.09 g/bitki) elde edilmiştir. Çalışmada en yüksek taze ve kuru gövde ağırlığı değerleri (6.95 g/bitki ve 1.38 g/bitki) 3-1 μM GR24 uygulamasından, en düşük taze ve kuru gövde değerleri (1.99 g/bitki ve 0.62 g/bitki) ise 6-0 μM GR24 uygulamasından elde edilmiştir. (Çizelge 4.4). Prerostova ve ark. (2018), fosfor eksikliğinde *Arabidopsis* bitkisine uyguladığı GR24'ün gövde ağırlığını artırdığını belirtmişlerdir. Sarwar ve Shahbaz (2019) tuz stresine maruz bıraktığı ve GR24 ile muamele ettiği ayçiçeği bitkisinin gövde yaş ve kuru ağırlığında, GR24 uygulanmayan stres bitkilerine kıyasla artış tespit etmişlerdir. Benzer şekilde Lu ve ark. (2019) GR24 uygulamasının düşük ışık altında yetişen domates bitkilerinin stresini etkili bir şekilde azalttığı ve taze ve kuru ağırlığını artırdığı yönündeki çalışmaları sonuçlarımızı destekler niteliktedir. Sedaghat ve ark. (2021) su stresi şartlarında GR24 ile muamele edilmiş buğday bitkilerinin de kontrol gruplarından daha yüksek bir verime elde ettiklerini belirtmişlerdir. Ma ve ark. (2017) GR24 uygulamasının stressiz şartlarda bitki büyümesini sağladığını ve bitkilerin tuz stresinin üstesinden gelmesine yardımcı olduğunu belirttikleri çalışmalarında GR24'ün kolza bitkisinin tuz stresine toleransı artırdığını

belirtmişlerdir. Çalışmamızla ekzojen GR24'ün kontrol şartlarında taze ve kuru gövde ağırlığını artırdığı, stresli şartlarda da bir miktar iyileşme sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

4.1.3. SA+GR24 uygulamalarının büyüme parametreleri üzerine etkisi

4.1.3.1. Bitki boyu, dal sayısı, yaprak alanı

SA+GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen bitki boyu, dal sayısı ve yaprak alanına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde bitki boyu, dal sayısı ve yaprak alanı ortalamalarına etkisi

Faktörler		Bitki Boyu (cm)	Dal Sayısı (adet/bitki)	Yaprak Alanı (cm ²)
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	58.47 ± 0.89 ^a	6.94 ± 0.31 ^a	124.02 ± 3.30 ^a
	6 gün	34.08 ± 0.83 ^b	2.92 ± 0.36 ^b	79.16 ± 3.22 ^b
Konsantrasyon (K)	0 mM SA+0 µM GR24	42.48 ± 1.12 ^b	6.27 ± 0.46	94.83 ± 4.18
	0.05 mM SA+0.5 µM GR24	47.54 ± 1.06 ^a	4.90 ± 0.39	102.86 ± 3.96
	0.05 mM SA+1 µM GR24	48.07 ± 0.98 ^a	4.86 ± 0.39	103.61 ± 3.81
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA+0 µM GR24	55.79 ± 1.58	7.55 ± 0.58	118.14 ± 5.91
	3-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	58.18 ± 1.58	6.67 ± 0.50	123.74 ± 5.28
	3-0.05 mM SA+1 µM GR24	61.12 ± 1.49	6.25 ± 0.50	130.25 ± 5.91
	6-0 mM SA+0 µM GR24	29.16 ± 1.58	3.33 ± 0.71	71.52 ± 5.91
	6-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	36.90 ± 1.41	2.80 ± 0.58	76.77 ± 5.91
	6-0.05 mM SA+1 µM GR24	35.02 ± 1.29	3.00 ± 0.58	85.85 ± 4.82
	Anova		p-değeri	
	S	0.000	0.000	0.000
	K	0.000	0.106	0.084
	SxK	0.156	0.394	0.968

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Bitki boyu değerleri incelendiğinde sulama sıklıkları ve konsantrasyon arasındaki ilişki önemli, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. 3 gün ara ile sulanan gruplardan daha yüksek (58.47 cm) bitki boyu değerleri elde edilirken 6 gün ara ile sulanan fidelerde daha düşük (34.08 cm) değerler elde edilmiştir. Her iki konsantrasyonun da bitki boyunu olumlu etkilediği ve kontrolden yüksek bitki boyu değerleri (47.54 cm ve 48.07 cm) elde edildiği görülmektedir (Çizelge 4.5).

Birlikte uygulamanın nane bitkisinin dal sayısına ve yaprak alanına ait etkileri değerlendirildiğinde; sulama sıklıkları arasındaki ilişki önemli bulunmuşken,

konsantrasyon, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.5). SA+GR24 uygulamalarında en yüksek dal sayısı ortalamasının (7.55 adet/bitki) 3 günde bir sulanan fidelerden elde edildiği, en düşük dal sayısı ortalamasının (2.80 adet/bitki) ise 6 günde bir sulanan fidelerden elde edildiği görülmektedir. *Melissa* bitkisinde su stresi arttıkça dal sayısının azaldığını belirtmişlerdir (Öztürk ve ark., 2004; Abbaszadeh ve ark., 2009; Radácsı ve ark., 2016). Çeşitli araştırmacılar da *Mentha* bitkisinin hem tuz hem su stresi ile bitki dal sayısının azaldığını bildirmişlerdir (Yu ve ark., 2015; Rahimi ve ark., 2018).

SA+GR24 uygulamasının yaprak alanına etkisi incelendiğinde 3 gün ara ile sulanan fidelerden yüksek yaprak alanı ortalaması (124.02 cm²), 6 gün ara ile sulanan fidelerden ise düşük yaprak alanı ortalaması (79.16 cm²) elde edilmiştir. Su stresinde toplam yaprak alanı azalmakta aynı zamanda fotosentez de yavaşlamaktadır (Özdüven, 2016). Hu ve ark. (2019) GR24 ‘ün yumak otunda yaprak uzaması üzerine yüksek sıcaklığın engelleyici etkilerini azaltabildiğini bildirdiği çalışma streste daha yüksek yaprak alanı elde ettiğimiz GR24 sonuçlarımız ile kısmende olsa desteklenmektedir.

4.1.3.2. Taze-kuru yaprak ağırlıkları ve taze-kuru gövde ağırlıkları

SA+GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen taze-kuru yaprak ve taze-kuru gövde ağırlıklarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.6’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde bitki başına taze-kuru yaprak ve taze-kuru gövde ağırlık ortalamalarına etkisi (g/bitki)

Faktörler		Taze Yaprak Ağırlığı	Kuru Yaprak Ağırlığı	Taze Gövde Ağırlığı	Kuru Gövde Ağırlığı
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	2.37 ± 0.04 ^a	0.48 ± 0.02 ^a	2.63 ± 0.06 ^a	0.53 ± 0.02 ^a
	6 gün	0.45 ± 0.04 ^b	0.24 ± 0.02 ^b	0.49 ± 0.06 ^b	0.23 ± 0.02 ^b
Konsantrasyon (K)	0 mM SA+0 µM GR24	1.49 ± 0.05	0.36 ± 0.02	1.56 ± 0.07	0.33 ± 0.03 ^b
	0.05 mM SA+0.5 µM GR24	1.34 ± 0.04	0.37 ± 0.02	1.54 ± 0.07	0.38 ± 0.03 ^{ab}
	0.05 mM SA+1 µM GR24	1.64 ± 0.05	0.39 ± 0.02	1.52 ± 0.08	0.45 ± 0.03 ^a
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA+0 µM GR24	2.26 ± 0.06	0.46 ± 0.03	2.48 ± 0.10	0.45 ± 0.04
	3-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	2.40 ± 0.07	0.47 ± 0.03	2.69 ± 0.10	0.54 ± 0.03
	3-0.05 mM SA+1 µM GR24	2.45 ± 0.06	0.51 ± 0.03	2.76 ± 0.11	0.62 ± 0.04
	6-0 mM SA+0 µM GR24	0.39 ± 0.08	0.21 ± 0.04	0.41 ± 0.11	0.20 ± 0.04
	6-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	0.46 ± 0.06	0.24 ± 0.03	0.48 ± 0.09	0.22 ± 0.04
	6-0.05 mM SA+1 µM GR24	0.49 ± 0.08	0.26 ± 0.03	0.55 ± 0.10	0.28 ± 0.04
Anova		p-değeri			
S		0.000	0.000	0.000	0.000
K		0.098	0.308	0.123	0.015
SxK		0.835	0.877	0.744	0.531

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Taze-kuru yaprak ağırlıkları ile sulama sıklıkları arasındaki ilişki istatistiksel olarak önemli bulunurken SA+GR24 konsantrasyonları, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.6). Hem taze hem de kuru yaprak ağırlığı değerleri incelendiğinde 3 gün aralıklarla sulanan uygulamalarda daha yüksek verim elde edilmiştir. En yüksek taze ve kuru yaprak ağırlık ortalamaları (2.45 g/bitki ve 0.51 g/bitki) 3 güne bir sulanan fidelerden, en düşük verim ortalamaları (0.39 g/bitki ve 0.21 g/bitki) ise 6 güne bir sulanan fidelerden elde edilmiştir (Çizelge 4.6). Su stresi şartlarında hem yaş hem de kuru yaprak ağırlıklarının düşüşü bitkinin metabolik olaylarındaki azalma ile ilişkilendirilebilir.

Taze gövde ağırlıkları ile sulama sıklıkları arasındaki ilişki istatistiksel olarak önemli bulunurken SA+GR24 konsantrasyonları, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Kuru gövde ağırlığı değerlendirildiğinde sulama sıklıkları, konsantrasyonlar önemli, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.6). Hem taze hem de kuru gövde ağırlığı değerleri incelendiğinde 3 gün aralıklarla sulanan uygulamalardan 6 gün aralıkla sulanan uygulamalara göre daha yüksek gövde ağırlık ortalamaları (2.63 g/bitki ve 0.53 g/bitki) elde edilmiştir. Kuru gövde ağırlıkları uygulanan konsantrasyonlar ile birlikte artmış en düşük

kuru gövde ağırlığı 0.33 g/bitki değeri ile 0 mM SA+0 μ M GR24'ten tespit edilmiştir (Çizelge 4.6). Sedaghat ve ark. (2017a) su stresinde buğday bitkilerine uyguladığı ekzojen SL ve SA uygulamalarında daha fazla ürün verimi elde etmişlerdir. Shirani Bidabadi ve Sharifi (2021) farklı tarla kapasitesinde suladıkları *Dracocephalum kotschy*'e MeJA ve GR24'ü birlikte vererek yaptıkları çalışmalarında iki hormonun bir arada verilmesi ile bitkinin su stresi ile daha iyi başa çıktığını hem taze hem de kuru ağırlıklarında artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ma ve ark. (2017) GR24 uygulamasının stres olmayan şartlarda bitki büyümesini iyileştirdiğini ve bitkilerin tuz stresinin üstesinden gelmesine yardımcı olduğunu belirttikleri çalışmalarında sürgün taze ağırlık ve kuru ağırlıkta GR24 ile kombine edilmiş 100 mM ve 200 mM NaCl arasında önemli bir fark olmadığını belirtmişlerdir. Bizim bulgularımızda da bitkilere SA ve GR24 birlikte verilen uygulamalardan daha yüksek değerler elde edilmiş GR24 konsantrasyonu arttıkça değerler artmış olsa da kontrol ve stres uygulamalarından anlamlı sonuçlar alınamamıştır. Araştırmamız ile elde ettiğimiz SA+GR24 uygulamaları biyokütle miktarında çok fazla artış göstermemiştir.

4.2. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki *M. piperita* fidelerinde elektriksel iletkenlik (EC) ve bağıl su içeriği (RWC) üzerine etkisi

4.2.1. SA uygulamalarının elektriksel iletkenlik (EC) ve bağıl su içeriği (RWC) üzerine etkisi

SA uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen elektriksel iletkenlik ve bağıl su içeriği oranlarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde elektriksel iletkenliği ve bağıl su içeriği oranlarına etkisi (%)

Faktörler		Elektriksel İletkenlik	Bağıl Su İçeriği
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	31.19 ± 3.50 ^b	96.19 ± 1.06 ^a
	6 gün	63.68 ± 4.01 ^a	45.03 ± 1.01 ^b
Konsantrasyon (K)	0 mM SA	60.25 ± 4.44 ^a	65.20 ± 1.33
	0.05 mM SA	37.90 ± 4.80 ^b	66.49 ± 1.33
	0.25 mM SA	44.28 ± 4.59 ^{ab}	77.28 ± 1.13
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA	38.6 ± 5.13	97.26 ± 2.01
	3-0.05 mM SA	24.92 ± 7.26	94.14 ± 2.01
	3-0.25 mM SA	26.04 ± 5.62	96.68 ± 1.42
	6-0 mM SA	81.90 ± 7.26	41.15 ± 1.74
	6-0.05 mM SA	50.88 ± 6.28	45.74 ± 1.74
	6-0.25 mM SA	62.52 ± 7.26	48.19 ± 1.74
Anova		p-değeri	
S		0.000	0.000
K		0.008	0.167
SxK		0.430	0.080

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Çizelge 4.7'den elektriksel iletkenlik sonuçları değerlendirildiğinde sulama sıklıkları, konsantrasyonlar arasındaki ilişki önemli, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksiyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Sulama sıklıklarında yüksek EC ortalaması %63.68 ile 6 güne bir sulanan fidelerden, düşük EC ortalaması ise %31.19 ile 3 gün aralıkla sulanan fidelerden elde edilmiştir. Hem 3 gün hem de 6 günlük sulamalarda SA uygulaması EC'yi düşürmüştür. Konsantrasyonlar değerlendirildiğinde 0.05 mM SA'in %37.90 ile EC değerini daha fazla düşürerek daha etkili olduğu görülmüştür. Su stresi, membran hasarına neden olabilmekte negatif su dengesi nedeniyle elektrolit sızıntısını artırabilmektedir. SA bitkide membran stabilitesinde etkili bir düzeltme sağlamıştır. Zulfıqar ve ark. (2021) su stresi altında fesleğen (*Ocimum basilicum*) bitkisine SA uygulamasının elektrolit sızıntısını azalttığını ve antioksidan aktivitelerini artırdığını bildirmiştir. Su stresi EC oranında iyi sulanmış bitkilerde görülen seviyelere göre 1.9 kat artışa neden olmuştur. Çalışmamızda da benzer şekilde ekzojen uygulamaların EC değerini azaltarak bitkide destekleyici görev aldıkları görülmektedir. Kulak ve ark. (2021) şiddetli kuraklığın EC'yi etkilediğini ancak SA ön koşullandırılma ile yapılan uygulamaların EC'yi anlamlı olarak azaltmadığını belirtmişlerdir.

Bağıl su içeriği analiz sonuçları incelendiğinde sulama sıklığı önemli, konsantrasyonlar, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.7). Çalışmamızda 3 gün arayla sulanan fidelerden yüksek RWC oranı (%96.19), 6 gün arayla sulanan fidelerden düşük RWC oranı (%45.03) elde edilmiştir (Çizelge 4.7). RWC'nin azalması sonucunda bitki hücreleri turgor durumunu kaybeder hücre böylece büzülür ve ozmotik dengeyi korumak için koruyucu mekanizmalar devreye girer sonuç olarak hücre hacmini korumaya çalışır. García-Caparrós ve ark. (2019) Lamiaceae familyasındaki 6 farklı bitki ile yaptıkları çalışmalarında *M. piperita* ve *Thymus capitatus* bitkilerinin su stresi şartlarında oransal su içeriğini azalttığını tespit etmişlerdir. Nor ve ark. (2021) *M. arvensis*'e farklı sulama sıklığı uyguladıkları çalışmalarında 2 gün aralıklı sulanan kontrol bitkilerinin en yüksek RWC oranına (%83), diğer sulama aralıklarının ise daha düşük RWC oranına (4 gün %80 ve 6 gün %59) sahip olduklarını belirtmişlerdir. Sonuçlarımıza benzer şekilde Karalija ve ark. (2107) ekzojen SA uygulamalarının fesleğenin bağıl su içeriğini etkilemediğini bildirmiştir. Kulak ve ark. (2021) su stresinde SA ile ön koşullama yapılarak yetiştirilen fesleğen fidelerinde en yüksek oransal su içeriğini tarla kapasitesiyle sulanan 0.05 mM SA konsantrasyonunda elde etmişlerdir. Ancak bizim bulgularımıza uyumlu olarak Azad ve ark. (2021) su ve tuz stresine maruz kalan nane bitkilerinde SA ile yaptıkları işlemlerin kontrol bitkilerinde RWC üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

4.2.2. GR24 uygulamalarının elektriksel iletkenlik (EC) ve bağıl su içeriği (RWC) üzerine etkisi

GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen elektriksel iletkenliğe ve bağıl su içeriği oranlarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde elektriksel iletkenliği ve bağıl su içeriği oranlarına etkisi (%)

Faktörler		Elektriksel İletkenlik	Bağıl Su İçeriği
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	31.89 ± 0.44 ^b	94.60 ± 1.07 ^a
	6 gün	70.77 ± 0.45 ^a	82.02 ± 1.23 ^b
Konsantrasyon (K)	0 µM GR24	57.24 ± 0.45 ^a	88.10 ± 1.46
	0.5 µM GR24	47.54 ± 0.52 ^b	88.54 ± 1.31
	1 µM GR24	45.30 ± 0.64 ^c	90.75 ± 1.46
Sulama sıklığı* konsantrasyon (SxK)	3-0 µM GR24	39.54 ± 0.64 ^c	96.60 ± 1.85 ^a
	3-0.5 µM GR24	27.57 ± 0.70 ^d	93.82 ± 1.85 ^{ab}
	3-1 µM GR24	23.77 ± 0.90 ^e	93.36 ± 1.85 ^{ab}
	6-0 µM GR24	74.93 ± 0.64 ^a	75.34 ± 2.26 ^d
	6-0.5 µM GR24	67.50 ± 0.78 ^b	83.25 ± 1.85 ^{cd}
	6-1 µM GR24	66.82 ± 0.90 ^b	86.84 ± 2.26 ^{bc}
Anova		p-değeri	
S		0.000	0.000
K		0.000	0.150
SxK		0.000	0.004

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Elektriksel iletkenliğe ait analiz sonuçları değerlendirildiğinde her üç faktörde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Çizelge 4.8'e göre yapılan analizlerin sulama sıklığına etkisi değerlendirildiğinde 3 gün aralıklı sulanan fidelerde düşük (%31.89) EC oranı, 6 gün aralıklı sulanan fidelerde yüksek (%70.77) EC oranı tespit edilmiştir. GR24'ün konsantrasyonu arttıkça EC oranı daha fazla azalmış en düşük oran %45.30 ile 1 µM GR24'ten elde edilmiştir. EC değerleri için en yüksek değer (%74.93) 6-0 µM GR24 uygulamalarından, en düşük EC değeri (%23.77) 3-1 µM GR24 uygulamalarından elde edilmiştir. Stres şartlarında EC ortalaması artmış ayrıca hem stres hem de kontrol gruplarında GR24 uygulanmayan gruplardan yüksek değerler elde edilmiş ve GR24 uygulamaları EC'yi azaltarak bitkinin stres toleransına yardımcı olmuştur (Çizelge 4.8). Sharifi ve Bidabadi (2020) tuz stresinde SL uygulamalarından daha düşük EC değeri elde edildiğini göstererek SL uygulamalarının adaçayı fidelerini tuz stresine karşı koruduğunu belirtmişlerdir. Asma fidanlarında GR24'ün kuraklık stresinde EC ve RWC üzerindeki etkilerini inceleyen Min ve ark., (2019), GR24 uygulanmayan stres gruplarında EC'nin arttığını ve su stresinin ilerlemesiyle artmaya devam ettiğini, GR24'ün ekzojen uygulamasının, özellikle uzun süre su stresi altında kalan bitkilerde EC'yi azalttığını

bildirmişlerdir. Wang ve ark. (2021) ekzojen SL'in kuraklık stresi altındaki asma yapraklarında stresin 10. gününde SL uygulanan grupta daha yüksek nispi su içeriği ve daha düşük elektrik iletkenliği elde edildiğini, SL'in kuraklık hasarını önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir. Literatür sonuçlarına benzer şekilde sonuçlarımızda SL'in nane fidelerinde su stresi koşullarında EC değerini düzenleyerek strese dayanmada yardımcı olduğu görülmektedir.

Bağıl su içeriğine (RWC) ait analiz sonuçları incelendiğine sulama sıklıkları, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunurken GR24 konsantrasyonları arasındaki ilişki önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.8). Çizelge 4.8'deki bağıl su içeriğine sulama sıklıklarının etkisi değerlendirildiğinde 3 gün aralıklı sulanan bitkilerde yüksek (%94.60) su içeriği, 6 gün aralıklı sulanan bitkilerde düşük (%82.02) su içeriği görülmektedir. Bağıl su içeriğine ait değerler incelendiğinde en yüksek (%96.60) su içeriği 3-0 μ M GR24 uygulamasından en düşük (%75.34) su içeriği ise 6-0 μ M GR24 uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.8). Min ve ark. (2019) SL'lerin kuraklık stresi altındaki asma fidanları üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında GR24 ile muamele edilmiş bitkilerden daha düşük stoma açıklığı, daha yüksek bağıl su içeriği tespit etmiş, böylece kuraklık stresine karşı daha yüksek toleransa sahip olduklarını bildirmişlerdir. Hücre turgorunda azalmaya yol açan su eksikliği koşulları altında su kaybını azaltmaya yardımcı olabilmek için stomalar kapanır, terleme oranı azalır ayrıca su emilimi düşer sonuç olarak RWC azalma eğilimi gösterir. GR24 kuraklık koşullarında su kaybını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Ruiz-Lozano ve ark. (2016) ve Siddiqi ve Husen (2017) su stresi koşulları altında bitkilerin SL üretimini artırarak stres koşullarının yıkıcı etkilerini hafiflettiğini bildirmiştir. Aflaki (2019), Lu ve ark. (2019) ve Omoarelojie ve ark. (2020) GR24'ün su stresi üzerindeki olumsuz etkisini hafifletebildiğini belirttikleri çalışmalarına paralel olarak uygulamış olduğumuz GR24 nane bitkisinde bağıl su içeriğini artırarak stresi tolere etmede bitkiye katkı sağlamıştır.

4.2.3. SA+GR24 uygulamalarının elektriksel iletkenlik (EC) ve bağıl su içeriği (RWC) üzerine etkisi

SA+GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen elektriksel iletkenliğe ve bağıl su içeriği oranlarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki nane *M. piperita* fidelerinde elektriksel iletkenliği ve bağıl su içeriği oranlarına etkisi (%)

Faktörler		Elektriksel İletkenlik	Bağıl Su İçeriği
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	25.39 ± 2.82 ^b	97.68 ± 0.99 ^a
	6 gün	55.51 ± 2.47 ^a	49.77 ± 0.90 ^b
Konsantrasyon (K)	0 mM SA+0 µM GR24	55.16 ± 2.86 ^a	69.48 ± 1.25 ^b
	0.05 mM SA+0.5 µM GR24	34.67 ± 3.23 ^b	74.81 ± 1.25 ^a
	0.05 mM SA+1 µM GR24	33.70 ± 3.62 ^b	68.73 ± 1.14 ^{ab}
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA+0 µM GR24	23.66 ± 4.43 ^b	97.81 ± 1.77 ^a
	3-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	27.53 ± 5.11 ^b	98.50 ± 1.58 ^a
	3-0.05 mM SA+1 µM GR24	25.58 ± 5.11 ^b	96.51 ± 1.77 ^a
	6-0 mM SA+0 µM GR24	76.16 ± 3.61 ^a	41.15 ± 1.77 ^c
	6-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	38.96 ± 3.96 ^b	55.07 ± 1.45 ^b
	6-0.05 mM SA+1 µM GR24	41.82 ± 5.11 ^b	50.21 ± 1.45 ^b
Anova		p-değeri	
S		0.000	0.000
K		0.000	0.000
SxK		0.001	0.002

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Elektriksel iletkenlik ve bağıl su içeriği ile ilgili incelenen her üç faktörde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.9). 3 gün aralıklarla sulanan fidelerden 6 gün aralıkla sulanan fidelere göre daha düşük (%25.39) EC değeri elde edilmiştir. SA+GR24'ün her iki konsantrasyonun kontrol grubuna göre düşük EC değeri tespit edilmiştir. En yüksek (%76.16) EC değeri 6-0 mM SA+0 µM GR24 uygulamasından, en düşük (%23.66) EC değeri ise 3-0 mM SA+0 µM GR24 uygulamasından elde edilmiştir. Stres şartlarında SA+GR24 uygulamalarının EC oranlarını düşürdüğü gözlenmiştir. Böylece ekzojen uygulamaların EC'yi azaltarak bitkinin stres toleransına yardımcı olduğu söylenebilir. Elektrolit sızıntısı, stresin plazmalemmaya verdiği zararı tespit etmek için kullanılabilir (Guo ve ark., 2006). Stresiz koşullarda bitkilere MeJA, SL ve her ikisinin kombinasyonu verildiğinde EC'de herhangi bir değişikliğe neden olmadığı, su stresi uygulandığında ekzojen MeJA uygulamasının SL uygulamasından daha düşük EC sonucu verdiği, EC değerinin bu iki fitohormon birlikte kullanıldığında daha da düştüğü bildirilmiştir (Shirani Bidabadi ve Sharifi, 2021). Su stresine tolerant kış buğdayı çeşidine SA ve GR24 yapraktan uygulanması sonucunda kontrol bitkilerinde elektrolit sızıntısı streste bitkilerden daha düşük bulmuştur. SA ve GR24'in ekzojen uygulaması, su stresi

altında her iki çeşitte elektrolit sızıntısını azaltmıştır (Sedaghat ve ark., 2017b). ROS temizleme mekanizmaları hücre zarı stabilitesi ile ilişkili olduğundan, su stresi koşulları altında azaltılmış elektrolit sızıntısı, SA ve GR24'ün ROS'u sonlandırma rolüne bağlanabilmektedir (Sedaghat ve ark., 2020).

Çizelge 4.9 değerlendirildiğinde bağıl su içeriği yönünden 3 günde bir sulanan bitkilerin 6 günde bir sulanan bitkilere göre daha yüksek bağıl su oranına (%97.68) sahip olduğu görülmektedir. Konsantrasyonlar değerlendirildiğinde 0.05 mM SA + 0.5 μ M GR24'ün daha yüksek ortalamaya (%74.81) sahip olduğu görülmektedir. Stres ile birlikte bağıl su içeriğinde azalma meydana gelmiştir. En yüksek bağıl su içerikleri 3 gün aralıklı sulanan bitkilerdeki uygulamalardan elde edilirken en düşük bağıl su içeriği %41.15 oranıyla 6-0 mM SA+0 μ M GR24 uygulamasından elde edilmiştir. Su yoksunluğu ozmotik strese ve toprak su potansiyelinin azalmasına yol açmakta ayrıca kökün topraktan su almasını zorlaştırmaktadır (Rameau ve ark., 2019). Su eksikliği yaprak su potansiyelini ve stoma açılmasını azaltarak bitki büyüme ve gelişimi üzerinde olumsuz etki göstermektedir (Chrysargyris ve ark., 2016). Bitkiler, stresten kaçmak, kaçınmak veya stresi tolere etmek için bir dizi morfolojik ve moleküler strateji geliştirmektedir. BBD ve hormonlar bu tepkilerin merkezi bileşenleridir (Rameau ve ark., 2019). GR24 ve SA ile muamele edilen buğday bitkileri, su stresi koşulları altında daha yüksek RWC'ye sahip iken stressiz şartlarda hormonların RWC üzerine önemli bir etkileri olmamıştır (Sedaghat ve ark., 2017b). Mısırdaki SA+spermidin (Spd)'nin kombine uygulaması da su stresi, krom (Cr) stresi ve su+Cr stresi altında RWC'de artış sağlamıştır (Naz ve ark., 2021). Sonuçlarımızda da GR24 + SA uygulamaları ile bağıl su miktarında bir miktar iyileşme olduğu görülmektedir. Burada GR24 ve ABA arasındaki sinyal iletişimin de etkisi olabileceği göz ardı edilmemelidir (Sedaghat ve ark., 2021).

4.3. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki *M. piperita* fidelerinde mineral madde (magnezyum, fosfor, potasyum ve azot) miktarı üzerine etkisi

4.3.1. SA uygulamalarının mineral madde miktarı üzerine etkisi

SA uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen mineral madde miktarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde mineral madde miktarına etkisi (mg/g)

Faktörler		Magnezyum (Mg)	Fosfor (P)	Potasyum (K)	Azot (N)
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	0.353 ± 0.00 ^a	0.327 ± 0.00 ^b	2.157 ± 0.02 ^a	2.553 ± 0.00 ^a
	6 gün	0.333 ± 0.00 ^b	0.358 ± 0.00 ^a	2.031 ± 0.02 ^b	1.645 ± 0.00 ^b
Konsantrasyon (K)	0 mM SA	0.312 ± 0.00 ^c	0.326 ± 0.00 ^b	2.006 ± 0.02 ^b	1.932 ± 0.00 ^c
	0.05 mM SA	0.341 ± 0.00 ^b	0.351 ± 0.00 ^a	2.353 ± 0.02 ^a	2.161 ± 0.00 ^b
	0.25 mM SA	0.376 ± 0.00 ^a	0.351 ± 0.00 ^a	1.922 ± 0.02 ^b	2.204 ± 0.00 ^a
Sulama sıklığı* konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA	0.319 ± 0.00	0.330 ± 0.00 ^b	2.090 ± 0.03 ^{bc}	2.224 ± 0.00 ^c
	3-0.05 mM SA	0.353 ± 0.00	0.328 ± 0.00 ^b	2.164 ± 0.03 ^b	2.496 ± 0.00 ^b
	3-0.25 mM SA	0.385 ± 0.00	0.323 ± 0.00 ^b	2.216 ± 0.03 ^b	2.940 ± 0.00 ^a
	6-0 mM SA	0.304 ± 0.00	0.322 ± 0.00 ^b	1.922 ± 0.03 ^c	1.640 ± 0.00 ^c
	6-0.05 mM SA	0.329 ± 0.00	0.374 ± 0.00 ^a	2.542 ± 0.03 ^a	1.827 ± 0.00 ^d
	6-0.25 mM SA	0.367 ± 0.00	0.379 ± 0.00 ^a	1.628 ± 0.03 ^d	1.469 ± 0.00 ^f
Anova		p-değeri			
S		0.002	0.000	0.006	0.000
K		0.000	0.000	0.000	0.000
SxK		0.622	0.000	0.000	0.000

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Magnezyum içeriği ile ilgili analiz sonuçları değerlendirildiğinde; sulama sıklığı ve konsantrasyon ilişkisi önemli, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Magnezyum içeriğine sulama sıklıklarının etkisinde 3 gün aralıklı sulamalarda daha yüksek verim (0.353 mg/g) elde edildiği görülmektedir. SA uygulamaları normal şartlarda ve stres şartlarında magnezyum miktarını artırmıştır (Çizelge 4.10). Her iki sulama sıklığında en düşük değerler SA uygulanmayan bitkilerden saptanmış olup yapılan uygulamaların Mg değerini yükselttiği görülmektedir. Özellikle 0.25 mM konsantrasyonunda daha yüksek (0.376 mg/g) Mg değeri gözlenmiştir. Su stresinin bitki dokularında Mg miktarını azalttığına ilişkin elde sonuçlar önceki çalışmalar ile paralellik göstermektedir (Brown ve ark., 2006; Özduven, 2016). SA uygulamasının Mg miktarını artırarak bitkinin stres ile başa çıkmasına katkı sağladığını bildiren Güneş ve ark. (2007)'da sonuçlarımızı desteklemektedir.

Fosfor mineraline ait analiz sonuçları değerlendirildiğinde incelenen üç faktörün etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.10). Sulama sıklığının P miktarı üzerine etkisi incelendiğinde 6 gün aralıklı sulamalarda daha yüksek (0.358 mg/g) 3 gün aralıklı sulanan bitkilerde ise daha düşük (0.327 mg/g) P miktarı elde edilmiştir. Hem 0.05 mM hem de 0.25 mM konsantrasyonu SA uygulanmayan konsantrasyona oranla mineral

madde miktarını (0.351 mg/g) artırmıştır. Çalışmada en yüksek fosfor miktarları (0.374 mg/g ve 0.379 mg/g) sırasıyla 6-0.05 mM SA ve 6-0.25 mM SA uygulamalarından elde edilirken diğer uygulamalardan düşük fosfor miktarı elde edilmiştir. Fosforun, ATP'yi içeren reaksiyonlarda anahtar role sahip, enerji depolama veya yapısal bütünlükte önemli rol alan mineral elementler arasında olduğu bildirilmektedir (Çetinkaya ve ark., 2016). Su stresi nanenin yaprak dokularındaki P minerali içeriğinde azalmalara neden olmuşsa da SA uygulaması P seviyesinde anlamlı bir artış sağlamıştır. Çalışmamıza benzer şekilde García-Caparrós ve ark. (2019) kuraklık stresi altında *Salvia sclarea* bitkilerinin yaprak P konsantrasyonunda değişme olmadığını belirtmişlerdir. Çeşitli streslerin bitki dokularında P içeriğini azalttığı ekzojen uygulamaların P miktarını önemli bir şekilde artırdığı araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Farouk ve Amany, 2012; Khanam ve Mohammad, 2018; Es-sbihi ve ark., 2020).

Potasyum içeriği ile ilgili varyans analiz sonuçları değerlendirildiğinde; incelenen üç faktörün etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.10). Denemede K miktarının stres ile birlikte düştüğü, 3 günlük sulamalardan daha yüksek K ortalaması (2.157 mg/g) elde edildiği görülmektedir. SA uygulamalarının K miktarını etkilediği ve özellikle düşük doz 0.05 mM SA ile oldukça yüksek değerlere (2.353 mg/g) ulaştığı gözlenmiştir. SA uygulamaları 3 günde bir sulamada K değerlerini yükseltmiş ancak su stresinde azalan K miktarını 0.5 mM SA uygulaması yükseltirken 0.25 mM SA uygulaması düşürmüştür. Çalışmada en yüksek K değeri 2.542 mg/g ile 6-0.05 mM SA uygulamasından, en düşük K değeri ise 1.628 mg/g ile 6-0.25 mM SA uygulamasından saptanmıştır (Çizelge 4.10). Bitkiler tarafından çok fazla ihtiyaç duyulan K elementi bitki hücre ve dokularında su dengesinin düzenlenmesinde rol oynayan son derece önemli elementlerdendir (Mengel ve Kirkby, 2001; Aksu, 2020). Su stresi ile azalan K mineralinin miktarını ekzojen uygulanan SA artırmıştır. Su stresi ve diğer stres türlerinde de ekzojen SA bitkinin mineral içeriğinde iyileşmeye yol açtığı bildirilmiştir (Wang ve ark., 2014; Es-sbihi ve ark., 2020; Zaid ve ark., 2020).

Azot mineraline ait analiz sonuçları değerlendirildiğinde incelenen üç faktörün etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.10). Denemede N değerleri yönünden 3 gün aralıklar ile sulanan fidelerden 6 gün aralıkla sulanan fidelere göre daha yüksek miktar (2.553 mg/g) elde edilmiştir. SA konsantrasyonları N miktarını artırmış ve 0.25 mM konsantrasyonundan daha yüksek miktar (2.204 mg/g) elde edilmiştir. SA uygulaması her iki sulama sıklığında da N miktarını artırmış olup 3 günde bir sulanan fidelere artan SA

konsantrasyonu ile N miktarıda artarken, 6 gün aralıkla sulanan fidelerde 0.5 mM SA uygulaması N miktarını artırmış, 0.25 mM SA uygulaması ise düşük N miktarına sebep olmuştur. Çizelge 4.10'a göre en yüksek N miktarı 2.94 mg/g değeri ile 3-0.25 mM SA uygulamasından ve en düşük N miktarı 1.469 mg/g değeri ile 6-0.25 mM SA uygulamasından elde edilmiştir. Azot, amino asitler ve nükleik asitler de dahil olmak üzere birçok bitki hücresi bileşeninin bir bileşeni olarak görev yapan, bitkilerin büyük miktarlarda ihtiyaç duyduğu element olduğu belirtilmektedir (Çetinkaya ve ark., 2016). García-Caparrós ve ark. (2019) *Lavandula latifolia* ve *Thymus mastichina* bitkilerinde kuraklık koşulları altında yaprak N konsantrasyonunu azaldığını bildirmişlerdir. Karlıdağ ve ark. (2009) ve Kulak (2016) yaptıkları çalışmalarında SA'nın bitkilerdeki N miktarını artırılabilceğini ve böylece bitkinin stres koşullarına karşı direnç sağlayabileceğini bildirmişlerdir. Çalışmamızda da SA stres şartlarında özellikle düşük konsantrasyonda etkili olarak mineral madde miktarlarında artış sağladığı gözlenmiştir.

4.3.2. GR24 uygulamalarının mineral madde miktarı üzerine etkisi

GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen mineral madde miktarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde mineral madde miktarına etkisi (mg/g)

Faktörler		Magnezyum (Mg)	Fosfor (P)	Potasyum (K)	Azot (N)
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	0.372 ± 0.00 ^b	0.341 ± 0.00 ^b	2.277 ± 0.02	2.444 ± 0.00 ^a
	6 gün	0.381 ± 0.00 ^a	0.375 ± 0.00 ^a	2.319 ± 0.02	2.111 ± 0.00 ^b
Konsantrasyon (K)	0 µM GR24	0.305 ± 0.00 ^b	0.318 ± 0.00 ^c	1.737 ± 0.02 ^c	2.229 ± 0.00 ^c
	0.5 µM GR24	0.410 ± 0.00 ^a	0.382 ± 0.00 ^a	2.535 ± 0.02 ^b	2.343 ± 0.00 ^a
	1 µM GR24	0.416 ± 0.00 ^a	0.375 ± 0.00 ^b	2.622 ± 0.02 ^a	2.261 ± 0.00 ^b
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 µM GR24	0.326 ± 0.00 ^c	0.318 ± 0.00 ^d	1.880 ± 0.03 ^c	2.398 ± 0.00 ^b
	3-0.5 µM GR24	0.397 ± 0.00 ^b	0.338 ± 0.00 ^c	2.468 ± 0.03 ^b	2.563 ± 0.00 ^a
	3-1 µM GR24	0.394 ± 0.00 ^b	0.368 ± 0.00 ^b	2.482 ± 0.03 ^b	2.372 ± 0.00 ^c
	6-0 µM GR24	0.284 ± 0.00 ^d	0.316 ± 0.00 ^d	1.593 ± 0.03 ^d	2.060 ± 0.00 ^f
	6-0.5 µM GR24	0.422 ± 0.00 ^a	0.427 ± 0.00 ^a	2.601 ± 0.03 ^b	2.123 ± 0.00 ^c
	6-1 µM GR24	0.438 ± 0.00 ^a	0.383 ± 0.00 ^b	2.763 ± 0.03 ^a	2.150 ± 0.00 ^d
Anova		p-değeri			
S		0.022	0.000	0.120	0.000
K		0.000	0.000	0.000	0.000
SxK		0.000	0.000	0.000	0.000

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Magnezyum miktarı ile ilgili analiz sonuçlarından incelenen faktörlerin sulama sıklığı, konsantrasyon ve sulama sıklığı x konsantrasyon interaksiyonunun istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir (Çizelge 4.11). Denemede 6 gün aralıklı sulanan bitkilerde daha yüksek Mg içeriği (0.381 mg/g) belirlenmiştir. Uygulanan her iki GR24 konsantrasyonu da Mg içeriğini artırmıştır. GR24 uygulamaları hem 3 güne bir sulanan fidelerde hem de 6 güne bir sulanan fidelerde önemli iyileştirmelere sebep olmuştur. 3 günde bir sulanan kontrol grubunun Mg içeriği 6 günde bir sulanan 6-0 µM GR24 fidelerinden yüksek olarak bulunmuştur. Çizelge 4.11 incelendiğinde en düşük Mg içeriği (0.284 mg/g) 6-0 µM GR24 uygulamasından, en yüksek Mg içeriği 6-0.5 µM GR24 (0.422 mg/g) ve 6-1 µM GR24 (0.438 mg/g) uygulamalarından elde edilmiştir. Mineral maddeler çeşitli metabolik aktivitelere katılarak stres koşullarının olumsuz etkilerini en aza indirmekte ve çeşitli sinyal yollarının bileşenlerinin modülasyonunda rol oynamaktadır (Anjum ve Lopez-Lauri, 2011; Çetinkaya ve ark., 2016; Per ve ark., 2017). GR24 uygulamaları Mg içeriğini artırarak stres şartlarında bitkiye destek sağlamıştır.

GR24 uygulanmasının fosfor minerali ile ilgili analiz sonuçlarında sulama sıklığı, konsantrasyon ve sulama sıklığı x konsantrasyon interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.11). P içeriğine sulama sıklıklarının etkisi incelendiğinde 6 gün

aralıklı sulama ortalamalarının daha yüksek (0.375 mg/g) olduğu görülmektedir (Çizelge 4.11). Çizelge 4.11'deki fosfor içerikleri karşılaştırıldığında her iki sulama sıklığında da hormon verilmeyen uygulamalardan en düşük ortalamalar elde edilmiştir. GR24 uygulamaları P içeriğini her iki sulama sıklığında da artırmıştır. P içeriği için konsantrasyonlar değerlendirildiğinde 0.5 μ M GR24 uygulamasından yüksek P değeri (0.382 mg/g) elde edilmiştir. İnteraksiyon sonuçları incelendiğinde en yüksek P içeriği 6-0.5 μ M GR24 (0.427 mg/g) uygulamasından, en düşük P içeriği ise 6-0 μ M GR24 (0.316 mg/g) ve 3-0 μ M GR24 (0.318 mg/g) uygulamalarından saptanmıştır. N, P ve K mineralleri bitkideki görevleri açısından en önemli üç mineral olup çalışmalar, P'nin farklı bitki türlerinde tuz ve su stresi toleransını indüklemedeki rolünü doğrulamışlardır (Singh ve ark., 1997; Anjum ve Lopez-Lauri, 2011; Per ve ark., 2017). SL'ler bitkilerin P seviyelerinin ayarlanmasında rol oynayan hormonlar olarak ortaya çıkmaktadır (Santoro ve ark., 2021). P eksikliği koşullarında, SL'lerin bitki büyümesini optimize etmek için ortama uyum stratejilerinin bir parçası olarak çoklu morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişikliklere aracılık ettiği görülmektedir (Santoro ve ark., 2020). Çalışmamızda su stresi ile P içeriği artmış ve GR24 uygulaması streste bitki toleransını artırmıştır.

GR24 uygulanmasının potasyum minerali ile ilgili analiz sonuçları incelendiğinde sulama sıklığı önemsiz, konsantrasyon ve sulama sıklığı x konsantrasyon interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.11). GR24 uygulamaları her iki konsantrasyonda K değerini artırsa da 1 μ M GR24 uygulaması fidelerde K miktarını 2.622 mg/g değeri ile daha fazla artırmıştır (Çizelge 4.11). Çizelge 4.11 incelendiğinde en yüksek K değeri 2.763 mg/g ile 6-1 μ M GR24 uygulamasından, en düşük K değeri 1.593 mg/g ile 6-0 μ M GR24 uygulamasından elde edilmiştir. Stres şartlarında da 1 μ M GR24 uygulamasının 0.5 μ M'dan daha etkili olduğu görülmektedir. Bitki hücresinde turgor basıncını koruma ve hücrel düzeni sağlama K iyonlarının hareketine bağlıdır ve K miktarı eksikse stoma kontrolü olumsuz etkilenmekte ve bu durum fotosentetik kapasitenin azalmasına neden olmaktadır (Sarani ve ark., 2014). Streste azalan K minerali ekzojen GR24 ile artmıştır. Stres durumunda bitki dokularında K alınması ve taşınması azalmakta, ekzojen uygulamalarla ise artmaktadır (Hassanpour ve ark., 2013). Zulfıqar ve ark. (2021a) tuz stresinde yetiştirdikleri ayçiçeğinde 0.01 mg L⁻¹ GR24 uygulamasının tuz stresinin taze ve kuru verim, su ve ozmotik potansiyel, K⁺ ve Ca²⁺ iyonlarının miktarı üzerindeki olumsuz etkilerini hafiflettiğini bildirmiştir. Stres ortamında ekzojen uygulamalar mineral madde

miktarını artırarak bitki mineral dengesini düzenlemiştir (Krishnan ve Kumari, 2008; Perveen ve ark., 2012; Sarwar ve Shahbaz, 2020).

GR24 uygulanmasının azot minerali ile ilgili analiz sonuçları değerlendirildiğinde sulama sıklığı, konsantrasyon ve sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.11). Azot miktarına uygulamaların etkisi incelendiğinde 3 gün ara ile sulanan fidelerde azot miktarı 6 günde bir sulanan fidelerin azot miktarından yüksek (2.444 mg/g) bulunmuştur. Çalışmada GR24 konsantrasyonları N miktarını artırmış olup 0.5 µM konsantrasyonu 2.343 mg/g değeri ile daha fazla artış sağlamıştır. 0.5 µM GR24 uygulaması 3 gün sulamalarında N miktarını artırırken 1 µM GR24 uygulamasının N miktarında düşüşe sebep olduğu görülmüştür. Stres durumunda her iki GR24 konsantrasyonu N miktarının artışında olumlu etkide bulunmuştur. Uygulamalar arasında en yüksek N değeri 2.563 mg/g ile 3-0.5 µM GR24 ve en düşük N değeri 2.060 mg/g ile 6-0 µM GR24 uygulamasından elde edilmiştir. K, P, N, Mg ve diğer minerallerin aktivasyonu farklı stres türleri veya bunların kombinasyonları tarafından olumsuz yönde etkilenmektedir (Yıldırım ve ark. 2020; Teclic ve ark., 2020). Su stresi bitki büyümesinde bir itici güç rol oynayan turgor basıncının azalmasına hatta transpirasyonun negatif etkilenmesi sebebiyle mineral madde alımının gerilemesine yol açmaktadır (Capell ve ark., 2004; Kıran, 2019).

4.3.3. SA+GR24 uygulamalarının mineral madde miktarı üzerine etkisi

SA+GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen mineral madde miktarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde mineral madde miktarı ortalamalarına etkisi (mg/g)

Faktörler		Magnezyum (Mg)	Fosfor (P)	Potasyum (K)	Azot (N)
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	0.406 ± 0.00 ^a	0.389 ± 0.00 ^a	2.380 ± 0.01 ^a	2.980 ± 0.00 ^a
	6 gün	0.398 ± 0.00 ^b	0.349 ± 0.00 ^b	2.262 ± 0.01 ^b	2.511 ± 0.00 ^b
Konsantrasyon (K)	0 mM SA+0 µM GR24	0.381 ± 0.00 ^c	0.371 ± 0.00 ^b	2.414 ± 0.01 ^a	2.400 ± 0.00 ^c
	0.05 mM SA+0.5 µM GR24	0.401 ± 0.00 ^b	0.346 ± 0.00 ^c	2.260 ± 0.01 ^b	2.967 ± 0.00 ^a
	0.05 mM SA+1 µM GR24	0.425 ± 0.00 ^a	0.391 ± 0.00 ^a	2.291 ± 0.01 ^b	2.869 ± 0.00 ^b
Sulama sıklığı* konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA+0 µM GR24	0.407 ± 0.00 ^{bc}	0.425 ± 0.00 ^a	2.467 ± 0.01 ^a	2.884 ± 0.00 ^c
	3-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	0.394 ± 0.00 ^c	0.357 ± 0.00 ^c	2.288 ± 0.01 ^c	3.061 ± 0.00 ^a
	3-0.05 mM SA+1 µM GR24	0.418 ± 0.00 ^{ab}	0.385 ± 0.00 ^b	2.387 ± 0.01 ^b	2.995 ± 0.00 ^b
	6-0 mM SA+0 µM GR24	0.354 ± 0.00 ^d	0.318 ± 0.00 ^d	2.361 ± 0.01 ^b	1.918 ± 0.00 ^f
	6-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	0.407 ± 0.00 ^{bc}	0.335 ± 0.00 ^d	2.231 ± 0.01 ^{cd}	2.874 ± 0.00 ^d
	6-0.05 mM SA+1 µM GR24	0.433 ± 0.00 ^a	0.395 ± 0.00 ^b	2.196 ± 0.01 ^d	2.743 ± 0.00 ^e
Anova			p-değeri		
S		0.040	0.000	0.000	0.000
K		0.000	0.000	0.000	0.000
SxK		0.000	0.000	0.004	0.000

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

İncelenen faktörlerden SA+GR24 uygulamasına ait analiz sonuçları değerlendirildiğinde sulama sıklığı, konsantrasyon, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.12). Denemede 3 gün aralıkla sulanan fidelerden 6 gün aralıkla sulanan fidelere göre daha yüksek Mg değeri (0.406 mg/g) elde edilmiştir. Konsantrasyonlar arasında 0.05 mM SA+1 µM GR24'ten daha yüksek Mg değeri (0.425 mg/g) elde edilmiştir. Stres bitkilerde SA+GR24 uygulamalarında 0.05 mM SA+1 µM GR24 ile Mg içeriğinin de arttığı görülmektedir. Denemede 6-0.05 mM SA+1 µM GR24 uygulamasından 0.433 mg/g ile en yüksek Mg içeriği elde edilirken 6-0 mM SA+0 µM GR24 uygulamasından 0.353 mg/g ile en düşük Mg içeriği elde edilmiştir. Su stresi, dokularındaki iyon konsantrasyonlarının artmasına veya azalmasına neden olarak bitkinin beslenme durumunu etkiler. Su stresi *Ocimum basilicum* da P, K ve Mg içeriğinde azalmaya neden olabilmektedir (Çelikcan ve ark., 2021). Uzun bir su kıtlığı döneminden sonra, büyüme parametreleri büyük ölçüde azalmaktadır. Ekzojen uygulamalar ile artan yaprak mineral konsantrasyonu, ozmotik ayar mekanizması nedeniyle yaprak nispi su içeriğinin korunmasına yardımcı olmaktadır. *S. officinalis*'de kısıtlı sulama P, K ve Mg düzeylerinde azalmaya, bitkinin toprak üstü kısımlarında azot içeriğinin artmasına neden olmuştur (Corell ve ark., 2012).

P içeriğine ait sulama sıklıkları karşılaştırıldığında 3 gün aralıklı sulamadan daha yüksek P miktarı (0.389 mg/g), konsantrasyonlar karşılaştırıldığında ise 6-0.05 mM SA+1 µM GR24'den daha yüksek P miktarı (0.391 mg/g) elde edilmiştir. İnteraksiyonun P mineraline etkisi incelendiğinde 3 gün aralıkla sulanan fidelerin tüm uygulamalarda 6 gün aralıklı sulamalara göre yüksek P içeriğine sahip olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.12). SA+GR24'e ait her iki konsantrasyonda 3 gün aralıkla sulanan fidelerde P miktarını azaltırken 6 gün aralıkla sulanan fidelerde P miktarını artırmıştır. Hatta stres bitkilerinde GR24 konsantrasyonu arttıkça elde edilen P içeriği de artmıştır stres şartlarında 6-0.05 mM SA+1 µM GR24 uygulamasının daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Denemede 3-0 mM SA+0 µM GR24 uygulaması 0.425 mg/g ile en yüksek P değerine sahipken 6-0.05 mM SA+0 µM GR24 ve 6-0.05 mM SA+0.5 µM GR24 uygulamalarından en düşük P değerleri (sırasıyla 0.318 mg/g-0.335 mg/g) gözlenmiştir. Sonuçlarımızla uyumlu olarak su stresi karşısında P miktarındaki düşüş çeşitli çalışmalar ile rapor edilmiştir (Osuagwu ve ark. 2010; García-Caparrós ve ark., 2019).

Uygulamaların K mineraline etkisi değerlendirildiğinde 3 gün aralıkla sulanan fidelerden daha yüksek (2.380 mg/g) potasyum içeriği elde edilmiştir. SA+GR24 uygulamalarının her iki sıklıkta da K içeriğini düşürdüğü, uygulamaların K içeriğini negatif yönde etkilediği gözlenmiştir. Denemede en yüksek K değeri 2.467 mg/g ile 3-0 mM SA+0 µM GR24 uygulamasından en düşük K değeri ise 2.196 mg/g ile 6-0.05 mM SA+1 µM GR24 uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.12). Bahreininejad ve ark. (2013) kuraklık koşulları altında (%20, %50 ve %80 toprak su kısıtlamasında) yetiştirdiği *Thymus daenensis* 'te yaprak K konsantrasyonunda bir azalma olduğunu kaydetmiştir. Benzer şekilde Khalid (2006) su stresi koşulları altında yetiştirdiği *Ocimum basilicum* ve *Ocimum americanum* türlerinin yaprak P, K ve N konsantrasyonlarında düşüş olduğunu bildirmiştir.

Uygulamaların N miktarına etkileri değerlendirildiğinde 3 gün aralıkla sulanan fidelerden daha yüksek (2.980 mg/g) N içeriği elde edilmiştir (Çizelge 4.12). GR24 uygulamaları incelendiğinde 0.05 mM SA+0.5 µM GR24 konsantrasyonunun daha etkili sonuç (2.967 mg/g) verdiği ve bu konsantrasyondan her iki sulama sıklığındaki kontrol bitkilerinden daha yüksek N içeriği elde edildiği görülmüştür. Denemede 6-0 mM SA+0 µM GR24 uygulamasında 1.918 mg/g ile en düşük N, 3-0.05 mM SA+0.5 µM GR24 uygulamasında 3.061 mg/g ile en yüksek N miktarı elde edilmiştir. Genel olarak su stresi koşulları altında yaprak azot içeriği, azotun yer değiştirmesi ve taşınması gibi nedenler ile azalır (McDonald ve Davies, 1996; Corell ve ark., 2012). Kadmiyum (Cd) stresine maruz

birakılan nane yapraklarındaki üç temel mineral besinin (N, P ve K) azaldığı, GA₃, Tria ve SA uygulamalarının mineral miktarını artırdığını bildiren Zaid ve ark., (2020)'nin çalışmaları bulgularımızla benzerlik göstermektedir. Kulak (2016) su stresinde SA uygulamalarının N ve diğer minerallerin miktarında artışa sebep olduğunu ve bu durumun stres şartlarında bitkiye direnç sağladığını bildirmiştir.

4.4. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki *M. piperita* fidelerinde fotosentetik pigmentler (klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil ve karoteneid) üzerine etkisi

4.4.1. SA uygulamalarının fotosentetik pigmentler üzerine etkisi

SA uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil ve karoteneid miktarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde fotosentetik pigmentler üzerine etkisi (mg/g TA)

Faktörler		Klorofil-a	Klorofil-b	Toplam Klorofil	Karotenoid
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	0.82 ± 0.01	0.31 ± 0.02 ^b	1.13 ± 0.02 ^b	0.21 ± 0.01 ^a
	6 gün	0.83 ± 0.01	0.53 ± 0.02 ^a	1.35 ± 0.03 ^a	0.19 ± 0.01 ^b
Konsantrasyon (K)	0 mM SA	0.78 ± 0.01 ^b	0.30 ± 0.03 ^b	1.08 ± 0.03 ^b	0.21 ± 0.01
	0.05 mM SA	0.85 ± 0.01 ^a	0.45 ± 0.03 ^a	1.30 ± 0.03 ^a	0.20 ± 0.01
	0.25 mM SA	0.83 ± 0.01 ^a	0.47 ± 0.03 ^a	1.31 ± 0.03 ^a	0.19 ± 0.01
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA	0.85 ± 0.02 ^{ab}	0.34 ± 0.04 ^b	1.18 ± 0.04 ^b	0.22 ± 0.01
	3-0.05 mM SA	0.82 ± 0.02 ^{ab}	0.31 ± 0.04 ^b	1.13 ± 0.04 ^b	0.21 ± 0.01
	3-0.25 mM SA	0.79 ± 0.02 ^b	0.30 ± 0.04 ^b	1.09 ± 0.04 ^{bc}	0.21 ± 0.01
	6-0 mM SA	0.69 ± 0.02 ^c	0.24 ± 0.05 ^b	0.92 ± 0.05 ^c	0.19 ± 0.01
	6-0.05 mM SA	0.88 ± 0.01 ^a	0.59 ± 0.04 ^a	1.47 ± 0.04 ^a	0.19 ± 0.01
	6-0.25 mM SA	0.87 ± 0.01 ^a	0.65 ± 0.04 ^a	1.52 ± 0.04 ^a	0.18 ± 0.01
Anova		p-değeri			
S		0.583	0.000	0.000	0.003
K		0.000	0.000	0.000	0.357
SxK		0.000	0.000	0.000	0.777

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Klorofil-a miktarı ile ilgili analiz sonuçlarında sulama sıklığı önemsiz, konsantrasyonlar, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemli

bulunmuştur. SA uygulamalarının her iki konsantrasyonda da klorofil-a miktarlarını artırdığı görülmektedir. Uygulamalar ile stres şartlarında klorofil-a miktarının oldukça yüksek değerlere ulaştığı söylenebilir. İnteraksiyon incelendiğinde en yüksek klorofil-a değerleri (0.88 mg/g TA ve 0.87 mg/g TA) 6-0.05 mM ve 6-0.25 mM SA uygulamalarından elde edilirken, en düşük klorofil-a miktarı (0.69 mg/g TA) ise 6-0 mM SA uygulamasından elde edilmiştir. Bitkilerde klorofil-a miktarında her iki konsantrasyon ortalamasının yüksek olduğu böylece SA'nın stres şartlarında aktif olduğu görülmektedir (Çizelge 4.13).

Klorofil-b ve toplam klorofil miktarları ile ilgili analiz sonuçlarında sulama sıklıkları, konsantrasyonlar, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Sulama sıklıklarında 3 gün aralıklı sulanan bitkilerde düşük (0.31 mg/g TA, 1.13 mg/g TA) klorofil miktarları, 6 gün aralıklı sulanan bitkilerde yüksek (0.53 mg/g TA, 1.35 mg/g TA) klorofil miktarları elde edilmiştir. Klorofil-b ve toplam klorofil içeriğini her iki SA konsantrasyonu da artırmıştır. SA uygulaması bitkilerde klorofil-b ve toplam klorofil miktarına etkisini göstererek 6 güne bir sulanan stres şartlarında SA uygulaması ile birlikte yüksek değerler elde edilmiştir. En yüksek klorofil-b değerleri (0.59 mg/g TA ve 0.65 mg/g TA) 6-0.05 mM ve 6-0.25 mM uygulamalarından elde edilirken diğer uygulamalardan düşük değerler elde edilmiştir (Çizelge 4.13). Çizelge 4.13 incelendiğinde toplam klorofil miktarı, klorofil-b de olduğu gibi stresli gruplarda SA uygulamalarında daha yüksek değer olarak elde edilmiştir. En yüksek toplam klorofil miktarı (1.52 mg/g TA ve 1.47 mg/g TA) 6-0.25 mM SA ve 6-0.05 SA uygulamalarından elde edilmiştir. SA uygulaması yapılmayan 6-0 mM uygulamasından en düşük toplam klorofil miktarı (0.92 mg/g TA) elde edilmiştir. SA uygulaması stres gruplarında toplam klorofil miktarını artırmıştır.

Karotenoid miktarları ile ilgili analiz sonuçlarında sulama sıklıkları önemli bulunurken diğer iki faktör istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Çizelge 4.13'e göre 3 gün aralıklı sulamalardan yüksek karotenoid miktarının (0.21 mg/g TA), 6 günlük sulamalarda ise düşük karotenoid miktarının (0.19 mg/g TA) elde edildiği görülmektedir.

Stres altındaki bitkilerde; ozmotik dengesizlik, iyon düzeyinde değişkenlik ve metabolizma bozuklukları yaprak klorofil içeriğinde ve karotenoid miktarı üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Fotosentetik pigment miktarlarındaki azalmalar, su miktarındaki azalmayla birlikte klorofil sentez hızının azalmasından kaynaklanmaktadır (Erken, 2012). Damalas (2019) yapmış olduğu çalışmasında tüm fesleğen bitkilerinin klorofil-a ve klorofil-b içeriğinin bitkiler sudan yoksun bırakıldığında azaldığını belirtmiştir. Su stresi altındaki bitkilerde fotosentetik pigment miktarlarının azaldığı birçok araştırmacı tarafından da rapor

edilmiştir (Köşkeroğlu 2006, Tiryaki, 2018; Morgil, 2019; Aksu, 2020; Aljemaa, 2020; Cömert, 2020). Kaya ve İnan (2017)'nin tuz stresi koşullarında SA uygulamalarının klorofil miktarını artırdığı yönündeki sonuçları bulgularımızı desteklemektedir. SA uygulamalarının önemli etkilerinden biri de stresli ortamda yetişen bitkilerde fotosentezi düzenleyici, fotosentetik pigment yıkımını önleyici olarak rol almasıdır (Ahmad ve ark., 2018; Çetinkaya ve Kulak, 2019; Kulak ve ark., 2021). Aksine stressiz şartlarda SA'nın ekzojen uygulaması, klorofil seviyelerinde azalmaya neden olmuştur (Abreu ve Munn-Bosch, 2008; Rowshan ve ark., 2010; Karaliya ve Paric, 2017; Jahani ve ark., 2021). Özdüven (2016) çalışmasında kabakta SA uygulamaları sonucunda karotenoid miktarının değişmediğini bildirmiştir. Karotenoid ile ilgili elde ettiğimiz sonuçlar araştırmacının sonuçları ile paralellik göstermektedir.

4.4.2. GR24 uygulamalarının fotosentetik pigmentler üzerine etkisi

GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil ve karoteneid miktarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde fotosentetik pigmentler üzerine etkisi (mg/g TA)

Faktörler		Klorofil-a	Klorofil-b	Toplam Klorofil	Karotenoid
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	0.87 ± 0.01 ^a	0.48 ± 0.02	1.35 ± 0.02	0.21 ± 0.00 ^a
	6 gün	0.83 ± 0.01 ^b	0.51 ± 0.02	1.33 ± 0.02	0.18 ± 0.01 ^b
Konsantrasyon (K)	0 µM GR24	0.79 ± 0.01 ^b	0.38 ± 0.03 ^b	1.16 ± 0.03 ^b	0.21 ± 0.01
	0.5 µM GR24	0.88 ± 0.01 ^a	0.57 ± 0.02 ^a	1.44 ± 0.03 ^a	0.19 ± 0.01
	1 µM GR24	0.87 ± 0.01 ^a	0.52 ± 0.02 ^a	1.39 ± 0.03 ^a	0.19 ± 0.01
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 µM GR24	0.87 ± 0.01 ^a	0.50 ± 0.03 ^{ab}	1.37 ± 0.04 ^{ab}	0.22 ± 0.01
	3-0.5 µM GR24	0.88 ± 0.01 ^a	0.51 ± 0.03 ^{ab}	1.39 ± 0.04 ^{ab}	0.20 ± 0.01
	3-1 µM GR24	0.86 ± 0.01 ^a	0.45 ± 0.03 ^b	1.31 ± 0.04 ^b	0.21 ± 0.01
	6-0 µM GR24	0.70 ± 0.01 ^b	0.25 ± 0.04 ^c	0.95 ± 0.04 ^c	0.19 ± 0.01
	6-0.5 µM GR24	0.87 ± 0.01 ^a	0.63 ± 0.03 ^a	1.50 ± 0.04 ^a	0.17 ± 0.01
	6-1 µM GR24	0.88 ± 0.00 ^a	0.60 ± 0.03 ^a	1.48 ± 0.04 ^a	0.18 ± 0.01
Anova		p-değeri			
S		0.000	0.781	0.280	0.002
K		0.000	0.000	0.000	0.222
SxK		0.000	0.000	0.000	0.947

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Klorofil-a miktarı ile ilgili analiz sonuçlarında sulama sıklığı, konsantrasyon, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.14). Çizelge 4.14'e göre sulama sıklıklarında 3 gün aralıklı sulamada daha yüksek (0.87 mg/g TA) klorofil-a miktarı, 6 gün aralıklı sulamada daha düşük (0.83 mg/g TA) klorofil-a miktarı elde edilmiştir. Klorofil-a miktarına konsantrasyonların etkisi incelendiğinde GR24'ün iki konsantrasyonun da klorofil-a miktarını artırdığı gözlenmektedir. Klorofil-a miktarının su stresi ile birlikte önemli oranda düştüğü, GR24 uygulamasının özellikle stres durumunda klorofil-a miktarını artırdığı gözlenmiştir. Nane fidelerinde 6-0 μ M GR24 uygulamasından en düşük klorofil-a miktarı (0.70 mg/g TA) belirlenmiş, diğer uygulamalardan ise yüksek klorofil-a miktarları elde edilmiştir (Çizelge 4.14).

GR24 uygulamalarının klorofil-b ve toplam klorofil üzerine etkisi incelendiğinde sulama sıklığı önemsiz, konsantrasyon, konsantrasyon x sulama sıklığı interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. GR24 uygulamalarının klorofil-b ve toplam klorofil miktarlarını artırdığı gözlenmektedir. Çizelge 4.14 incelendiğinde GR24 uygulamalarının 6 gün aralıklı sulanan stres gruplarında daha etkin olduğu, 3 gün aralıklı sulanan fidelere etkisinin olmadığı veya yüksek konsantrasyonda klorofil-b ve toplam klorofil değerlerinde düşüşe sebep olduğu görülmektedir. GR24 stres gruplarında kontrol gruplarından daha yüksek klorofil-b ve toplam klorofil içeriğine sebep olmuştur. Klorofil-b değeri diğer uygulamalara oranla 0.63 mg/g TA ve 0.60 mg/g TA ile 6-0.5 μ M GR24 ile 6-1 μ M GR24 uygulamalarından daha yüksek elde edilirken, 0.25 mg/g TA ile 6-0 μ M uygulamasından en düşük değer elde edilmiştir. Klorofil-b'ye benzer şekilde toplam klorofil miktarı da stresli gruplarda yüksek olarak bulunmuştur. Toplam klorofil miktarı diğer uygulamalara oranla 1.50 mg/g TA ile 6-0.5 μ M GR24 ve 1.48 mg/g TA ile 6-1 μ M GR24 uygulamalarından daha yüksek elde edilirken, 0.95 mg/g TA ile stres grubu olan 6-0 μ M GR24 uygulamasından en düşük miktar elde edilmiştir.

Karotenoid miktarı ile ilgili istatistiksel analiz sonucuna göre sulama sıklığı uygulaması önemli, konsantrasyon ve sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu önemsiz bulunmuştur. Üçer gün aralıklı sulamalardan daha fazla toplam karotenoid (0.21 mg/g TA) elde edilirken 6 gün aralıklı sulamalardan daha düşük miktarlar (0.18 mg/g TA) elde edilmiştir. GR24 uygulamalarının karotenoid miktarına etkisinin olmadığı görülmektedir (Çizelge 4.14).

Klorofil, fotosentezdeki ana pigmenttir ve ışık enerjisinin absorpsiyonunda, iletiminde, dağıtımında ve dönüşümünde rol oynamaktadır (Wang ve ark., 2021). Yaprak

klorofil konsantrasyonu, bitkilerin fotosentetik performansı ile doğrudan ilgili temel bir fizyolojik özelliktir (Kuru, 2017). Bitki canlılığının bir göstergesi olan yaprakların klorofil içeriği çeşitli çevresel faktörler tarafından etkilenmektedir (Damalas, 2019). Büyümeyi sürdürmek için gerekli su miktarındaki eksiklik nedeniyle nane bitkileri su stresine maruz kaldıklarında daha düşük klorofil içeriğine sahip olmaktadır (Izadi ve ark., 2009; Elansary ve El-Abedin 2019; Jahani ve ark., 2021). Ekzojen uygulamalar bitkinin strese karşı direncini artırmakta klorofil içeriğini düzenlemektedir.

Çalışmamızdan farklı olarak Min ve ark. (2019), farklı sürelerde su stresine maruz bırakılan asmada su stresinin uygulama süresine bağlı olarak klorofil içeriğinde düşüşe sebep olduğunu, GR24 uygulanmayan gruplarda düşüşün daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Wang ve ark. (2021) GR24 uygulamasının yapraklardaki klorofilin bozulmasını önlemeye yardımcı olduğunu, su stresi altında GR24'ün fotosentetik pigmentlerin içeriğini koruduğunu ve fotosentez üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmamızda GR24 uygulaması su stresinde toplam klorofil seviyesini yükseltmiştir. GR24'ün klorofil içeriği üzerindeki koruyucu etkileri, su stresi altındaki buğdayda (Sedaghat ve ark, 2017b), tuzluluk stresi altındaki kolza tohumunda (Ma ve ark., 2017) ve adaçayı fidelerinde (Sharifi ve Bidabadi, 2020), soğuk stresi altındaki *Arabidopsis* de (Cooper ve ark., 2018) ve kadmiyum stresi altındaki *Panicum virgatum* (dallı darı) da (Tai ve ark., 2017) gözlenmiştir. Bu nedenle ekzojen GR24 uygulamaları klorofil miktarlarının düzenlenmesine ve bitkilerin farklı stres koşullarına uyum sağlamasına yardımcı olmak için etkili bir strateji olarak düşünülebilir.

4.4.3. SA+GR24 uygulamalarının fotosentetik pigmentler üzerine etkisi

SA+GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil ve karoteneid miktarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde fotosentetik pigmentler üzerine etkisi (mg/g TA)

Faktörler		Klorofil-a	Klorofil-b	Toplam Klorofil	Karotenoid
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	0.83 ± 0.01	0.35 ± 0.02 ^b	1.18 ± 0.03 ^b	0.21 ± 0.00 ^a
	6 gün	0.82 ± 0.01	0.50 ± 0.02 ^a	1.32 ± 0.03 ^a	0.19 ± 0.00 ^b
Konsantrasyon (K)	0 mM SA+0 µM GR24	0.78 ± 0.02 ^b	0.30 ± 0.03 ^c	1.08 ± 0.04 ^c	0.20 ± 0.00 ^{ab}
	0.05 mM SA+0.5 µM GR24	0.83 ± 0.01 ^a	0.40 ± 0.02 ^b	1.23 ± 0.03 ^b	0.21 ± 0.00 ^a
	0.05 mM SA+1 µM GR24	0.85 ± 0.01 ^a	0.55 ± 0.02 ^a	1.40 ± 0.03 ^a	0.19 ± 0.00 ^b
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA+0 µM GR24	0.85 ± 0.02 ^a	0.34 ± 0.03 ^{cd}	1.18 ± 0.05 ^{bc}	0.22 ± 0.01 ^a
	3-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	0.80 ± 0.02 ^a	0.31 ± 0.03 ^{cd}	1.11 ± 0.05 ^{cd}	0.21 ± 0.01 ^{ab}
	3-0.05 mM SA+1 µM GR24	0.84 ± 0.02 ^a	0.42 ± 0.03 ^{bc}	1.26 ± 0.05 ^{bc}	0.21 ± 0.01 ^{ab}
	6-0 mM SA+0 µM GR24	0.69 ± 0.02 ^b	0.24 ± 0.04 ^d	0.92 ± 0.06 ^d	0.19 ± 0.01 ^{bc}
	6-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	0.87 ± 0.02 ^a	0.49 ± 0.03 ^b	1.36 ± 0.05 ^{ab}	0.22 ± 0.01 ^a
	6-0.05 mM SA+1 µM GR24	0.86 ± 0.02 ^a	0.69 ± 0.03 ^a	1.55 ± 0.05 ^a	0.17 ± 0.01 ^c
Anova		p-değeri			
S		0.196	0.000	0.024	0.000
K		0.000	0.000	0.000	0.006
SxK		0.000	0.000	0.000	0.000

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Klorofil-a miktarı ile ilgili analiz sonucuna göre sulama sıklığı önemsiz, konsantrasyon, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. SA+GR24'e ait iki konsantrasyonun da klorofil-a miktarını artırdığı görülmektedir. İnteraksiyona ait değerler incelendiğinde en düşük değer 0.69 mg/g TA ile 6-0 SA mM+0 µM GR24 uygulamasından elde edilmiş olup diğer tüm uygulamalar istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır (Çizelge 4.15).

Klorofil-b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları üzerine uygulamaların etkisi incelendiğinde sulama sıklığı, konsantrasyon, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu tüm analizlerde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.15). Çizelge 4.15'e göre klorofil-b stres nedeniyle artarak 6 gün aralıklı sulanan fidelerde daha yüksek (0.50 mg/g TA) bulunmuştur. Konsantrasyonlar klorofil-b miktarını artırmış olup özellikle de 0.05 mM SA+1 µM GR24 konsantrasyonunun etkisi (0.55 mg/g TA) oldukça fazla görülmektedir. Klorofil-a'da olduğu gibi en yüksek klorofil-b değerleri 0.69 mg/g TA ile stres uygulaması olan 6-0.05 mM SA+1 µM GR24 uygulamasından elde edilmiştir. En düşük klorofil-b değeri ise 0.24 mg/g TA ile 6-0 mM SA+0 µM GR24 uygulamasından elde edilmiştir. Bulgularımız stres durumunda SA+GR24 uygulamasının klorofil-b içeriğini artırdığını ve 6-0.05 mM

SA+1 μ M GR24 uygulamasında bu artışın kontrol grubuna göre yüksek bir oranda olduğunu göstermektedir.

Toplam klorofil içeriğinde de klorofil-b değerlerinde olduğu gibi stres uygulamalarında yani 6 gün aralıklı sulamalarda daha yüksek (1.32 mg/g TA) değerler elde edilmiştir. Fidelerde her iki konsantrasyonda toplam klorofil miktarını 1.23 mg/g TA ve 1.40 mg/g TA ortalama değerlerini alarak artırmıştır. Toplam klorofil miktarında 6-0 mM SA+0 μ M GR24 uygulamasından 0.92 mg/g TA ile en düşük değer tespit edilmiş olup hem 6-0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 (1.36 mg/g TA) hem de 6-0.05 mM SA+1 μ M GR24 (1.55 mg/g TA) uygulamalarının toplam klorofil miktarını artırdığı görülmüştür (Çizelge 4.15). Toplam klorofil miktarı 6 günde bir sulama yapılan bitkilerde artan konsantrasyon ile birlikte artmıştır.

Stresin etkisiyle karotenoid miktarının azaldığı, uygulamaların toplam klorofilde olduğu gibi 3 gün aralıklı sulamada karotenoid miktarını da düşürdüğü (0.19 mg/g TA) görülmektedir. Konsantrasyonların etkisi incelendiğinde konrole göre 0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 karotenoid miktarını (0.19 mg/g TA) düşürürken, 0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 karotenoid miktarını (0.21 mg/g TA) sabit tutmuştur. Stres etkisi ile azalan karotenoid miktarının 6-0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 uygulaması ile arttığı görülmektedir. Tüm uygulamalar arasında 0.22 mg/g TA ile 3-0 mM SA+0 μ M GR24 ve 6-0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 uygulamalarında daha yüksek karotenoid değeri, 0.17 mg/g TA ile 6-0.05 mM SA+1 μ M GR24 uygulamasında ise en düşük karotenoid değeri elde edilmiştir (Çizelge 4.15).

Fotosentetik pigmentler bitki için son derece önemli olup *M. piperita* 'nın su stresi koşulları altında verim seviyelerindeki düşüşü klorofil-biyosentez metabolitlerinin azalmasından, fotosentetik süreçlerin bozulmasından veya hücre bölünmesinin inhibisyonundan kaynaklanmış olabileceği belirtilmiştir (Jahani ve ark., 2021). Abdou ve Mohamed (2014) *M. piperita* üzerine yaptıkları çalışmada SA, askorbik asit (AsA) ve her iki asidin birlikte uygulanmasıyla fotosentetik pigmentlerin kademeli olarak arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca Amjadi ve ark. (2021)'nin aspir (*Carthamus tinctorius* L.) bitkisine kadmiyum (Cd) stresinde salisilik asit (SA), melatonin (MT) ve SA+MT birlikte uygulayarak yaptıkları çalışmada MT, SA veya MT+SA'nın klorofil içeriğini verimli bir şekilde iyileştirdiğini bildirdikleri çalışmalar sonuçlarımızı desteklemektedir. Sedaghat ve ark. (2020) su stresi şartlarında buğday üzerine SA+GR24 uygulamalarında fotosentez

hızının arttığını etkinin sadece fitohormonların birlikte uygulandığında tespit edildiğini ve fotosentez hızının su stresi koşullarında belirgin şekilde iyileştirdiğini bildirmişlerdir.

4.5. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki *M. piperita* fidelerinde hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriği, lipid peroksidasyon seviyesi (MDA) ve prolin miktarı üzerine etkisi

4.5.1. SA uygulamalarının hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriği, lipid peroksidasyon seviyesi (MDA) ve prolin miktarı üzerine etkisi

SA uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen hidrojen peroksit içeriği, lipid peroksidasyon seviyesi (MDA) ve prolin miktarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde H₂O₂, MDA ve prolin miktarına etkisi (μmol g⁻¹ TA)

Faktörler		H ₂ O ₂	MDA	Prolin
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	5.08 ± 0.58 ^b	4.82 ± 0.50 ^b	6.02 ± 0.41 ^b
	6 gün	7.38 ± 0.53 ^a	9.92 ± 0.50 ^a	44.32 ± 0.37 ^a
Konsantrasyon (K)	0 mM SA	7.57 ± 0.71	9.06 ± 0.61 ^a	15.14 ± 1.06 ^b
	0.05 mM SA	5.94 ± 0.67	7.13 ± 0.61 ^{ab}	23.60 ± 0.80 ^{ab}
	0.25 mM SA	5.71 ± 0.67	5.92 ± 0.61 ^b	40.36 ± 0.62 ^a
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA	5.63 ± 1.01	5.64 ± 0.87 ^c	7.10 ± 1.72 ^c
	3-0.05 mM SA	5.54 ± 1.01	3.89 ± 0.87 ^c	5.79 ± 1.72 ^c
	3-0.25 mM SA	4.07 ± 1.01	4.93 ± 0.87 ^c	5.18 ± 1.72 ^c
	6-0 mM SA	9.52 ± 1.01	12.48 ± 0.87 ^a	23.17 ± 1.72 ^{bc}
	6-0.05 mM SA	6.24 ± 0.87	10.37 ± 0.87 ^{ab}	37.85 ± 0.64 ^{ab}
	6-0.25 mM SA	6.93 ± 0.87	6.90 ± 0.87 ^{bc}	63.82 ± 0.58 ^a
Anova		p-değeri		
S		0.007	0.000	0.000
K		0.118	0.011	0.017
SxK		0.275	0.028	0.029

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Hidrojen peroksit ile ilgili analiz sonuçları değerlendirildiğinde; sulama sıklıkları önemli, konsantrasyon, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. 6 günlük sulamalarda elde edilen H₂O₂ değerlerin (7.38 μmol g⁻¹ TA) 3 günlük sulamalardaki değerlere (5.08 μmol g⁻¹ TA) kıyasla belirli oranda arttığı

gözlenmiştir. Konsantrasyonların etkisi dikkate alındığında hem 3 gün hem de 6 gün aralıklar ile sulanan bitkilerde her iki SA konsantrasyonu da H_2O_2 içeriğini düşürmüş gibi görünse de etkisini yeterince gösterememiştir (Çizelge 4.16). Abiyotik stres sonucu oluşan H_2O_2 , hücre metabolizması için oldukça zararlı olan ROS lardan biridir (Çetinkaya, 2015). Su stresi bitkilerde DNA'ya zarar veren ve hücre ölümünü destekleyen içlerinde H_2O_2 'nin de bulunduğu ROS üretimini uyarır (Elansary ve El-Abedind, 2019). Azad ve ark. (2021) SA uygulamalarının tuzluluk koşullarında yetiştirilen *M. pulegium*'un H_2O_2 seviyesine hiçbir etki göstermediğini belirtmişlerdir. Zohra ve ark. (2016) nane üzerine yaptıkları çalışmalarında tuz stresinde artan SA konsantrasyonu ile bitkide H_2O_2 seviyesinin azaldığını bildirmişlerdir. Çalışmamızda da *M. piperita*'nın stres durumunda artan H_2O_2 içeriğini SA uygulamaları değer olarak azaltmış olsa da istatistiksel açıdan etkisi görülmemiştir.

MDA ve prolin miktarına ait sonuçlar değerlendirildiğinde her iki uygulamada da incelenen üç faktör istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Çizelge 4.16'da MDA miktarının 3 gün aralıkla sulanan bitkilerde düşük ($4.82 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TA}$) 6 gün aralıkla sulanan bitkilerde yüksek ($9.92 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TA}$) olduğu görülmektedir. Konsantrasyonlar değerlendirildiğinde 0.25 mM SA $5.92 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TA}$ değeri ile MDA miktarını azaltarak etkisini göstermiştir. Uygulamalardan en yüksek MDA içeriği $6-0 \text{ mM SA}$ 'dan ($12.48 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TA}$) elde edilmiş olup aralarındaki fark önemsiz olmakla birlikte bu uygulamayı $6-0.05 \text{ mM SA}$ uygulaması ($10.37 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TA}$) takip etmiştir. Özellikle 6 günlük bitkilerde SA konsantrasyonu arttıkça MDA içeriğinde azalma meydana gelmiştir ve $6.90 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TA}$ ile $6-0.25 \text{ mM SA}$ uygulamasından daha düşük MDA değeri elde edilmiştir. Hücre zarı stresten öncelikle etkilenen kısımlardandır. Hücre membranının fosfolipit seviyesinde oksidatif hasarın son ürün olarak oluşan MDA miktarında görülen artma hücre zarının yapısının bozulduğunu göstermektedir (Mutlu, 2009). Bitkilerde abiyotik stresin membrana verdiği zarar doymamış yağ asitlerinin parçalanması sonucu oluşan MDA miktarı ile belirlenmektedir. Farhadi ve Ghassemi-Golezani (2020) yaptıkları çalışmalarında tuz stresi şartlarında *M. pulegium*'un yapraklarına SA püskürtülmesinin CAT enzim aktivitesini uyardığını ve böylece H_2O_2 birikimini ve MDA seviyelerini sınırladığını belirtmişlerdir. Mohammadi ve ark. (2019) çalışmasında su stresine maruz kalan *T. vulgaris* bitkilerinde MDA miktarının arttığını, SA uygulamalarının lipid peroksidasyonunu ile birlikte MDA içeriğini önemli düzeyde düşürdüğünü bildirmişlerdir. Su stresinde SA uygulamasının MDA içeriğini düşürdüğü yönündeki bulgularımız Köseoğlu (2019), Pavlović ve ark. (2018), La ve ark. (2019) bulguları ile desteklenmektedir.

Prolin analizi ile ilgili sonuçlar incelendiğinde prolin miktarının 6 gün aralıkla sulanan fidelerde 3 gün aralıklı sulananlara göre oldukça yüksek ($44.32 \mu\text{mol g}^{-1}$ TA) olduğu görülmektedir. Konsantrasyon arttıkça prolin miktarı artmış en yüksek prolin miktarı $40.36 \mu\text{mol g}^{-1}$ TA ile 0.25 mM SA'dan elde edilmiştir. Prolin miktarını $6-0.05 \text{ mM}$ SA ($37.85 \mu\text{mol g}^{-1}$ TA) ve $6-0.25 \text{ mM}$ SA ($63.82 \mu\text{mol g}^{-1}$ TA) uygulamaları artırmıştır (Çizelge 4.16). $6-0.25 \text{ mM}$ SA uygulamasındaki prolin miktarındaki artış oldukça belirgindir. Bitkiler su stresi gibi abiyotik stres etkenleri ile karşılaşınca hücre turgor seviyesini korumak istemekte bu yüzden osmolit olarak adlandırılan suda çözünebilen maddeler sentezlemektedirler (Hashem ve ark., 2016; Sharif ve ark., 2017). Prolin bu maddelerden en önemlilerden bir tanesi olup hücre için toksik değildir ve molekül ağırlığı düşük olan bir aminoasittir. Araştırmacıların *M. pulegium* üzerinde yaptıkları çalışmalarında SA'nın tuzluluk ve kuraklık koşullarında bitkilerde prolin miktarını arttırdığını belirtmişlerdir (Farhadi ve Ghassemi-Golezani, 2020; Azad ve ark., 2021). Çalışmamızda diğer çalışmalara paralel olarak su stresi ile toplam prolin içeriği artmıştır (Khalid, 2006; Alkhsabah ve ark., 2018; Tiryaki, 2018). SA uygulaması ise su stresinde prolin miktarını daha da arttırmıştır (Elhakem, 2019). Araştırmacılar farklı streslerde de ekzojen SA uygulamalarının prolin miktarını artırdığını belirtmişlerdir (Torun, 2012; Nazar ve ark., 2015; Choudhary ve ark., 2021).

4.5.2. GR24 uygulamalarının hidrojen peroksit içeriği (H_2O_2), lipid peroksidasyon seviyesi (MDA), prolin miktarı üzerine etkisi

GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen hidrojen peroksit içeriği, lipid peroksidasyon seviyesi ve prolin miktarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde H₂O₂, MDA ve prolin miktarına etkisi (μmol g⁻¹ TA)

Faktörler		H ₂ O ₂	MDA	Prolin
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	1.57 ± 0.09 ^b	3.93 ± 0.43 ^b	7.65 ± 1.28 ^b
	6 gün	1.91 ± 0.11 ^a	9.73 ± 0.46 ^a	31.17 ± 1.57 ^a
Konsantrasyon (K)	0 μM GR24	1.99 ± 0.07 ^a	8.35 ± 0.58 ^a	15.29 ± 1.92 ^b
	0.5 μM GR24	1.56 ± 0.07 ^b	5.04 ± 0.52 ^c	16.17 ± 1.66 ^{ab}
	1 μM GR24	1.74 ± 0.07 ^b	6.87 ± 0.52 ^b	17.56 ± 1.66 ^a
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 μM GR24	1.68 ± 0.09	4.95 ± 0.74 ^{bc}	6.38 ± 2.71
	3-0.5 μM GR24	1.34 ± 0.11	3.39 ± 0.74 ^c	7.69 ± 1.92
	3-1 μM GR24	1.65 ± 0.11	3.44 ± 0.74 ^c	8.25 ± 1.92
	6-0 μM GR24	2.30 ± 0.09	13.45 ± 0.90 ^a	24.19 ± 2.71
	6-0.5 μM GR24	1.69 ± 0.08	6.68 ± 0.74 ^b	33.14 ± 2.71
	6-1 μM GR24	1.80 ± 0.09	10.31 ± 0.74 ^a	36.18 ± 2.71
Anova		p-değeri		
S		0.000	0.000	0.000
K		0.000	0.000	0.039
SxK		0.086	0.007	0.153

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

H₂O₂ içeriğine ait analiz sonuçları değerlendirildiğinde sıklık, konsantrasyon ilişkisi önemli bulunurken sıklık x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Sulama sıklıkları karşılaştırıldığında 3 gün aralıklı sulamada düşük (1.57 μmol g⁻¹ TA) H₂O₂ içeriği, 6 gün aralıklı sulamada ise yüksek (1.91 μmol g⁻¹ TA) H₂O₂ içeriği elde edilmiştir. Uygulanan GR24 konsantrasyonları etkili gelerek iki konsantrasyon da H₂O₂ içeriğini düşürmüştür (Çizelge 4.17). MDA ve H₂O₂ seviyelerinin artması antioksidan enzim savunma sisteminin zayıfladığını ve su stresi altında lipid peroksidasyonunun arttığını göstermektedir. Oksidatif stresin etkilerinin üstesinden gelmek için, çevresel uyaranlara yanıt olarak iç fizyolojik düzenleme olan antioksidan sistem aktive edilmektedir (Min ve ark., 2019). Ekzojen GR24 uygulamaları abiyotik stres toleransına katkıyı antioksidan savunma sistemi ile sağlamaktadır (Omoareloje ve ark., 2021). Kürtür (2018) tuz stresinde buğdayda H₂O₂ içeriğinin arttığını, ekzojen uygulanan GR24'ün H₂O₂ içeriğini azalttığını bildirdiği çalışma sonuçlarımızı desteklemektedir. Ali ve ark. (2021) karpuzda herbisitlerin toksik etki olarak, H₂O₂ konsantrasyonlarını artırdığını ancak GR24 uygulamasıyla bu olumsuz etkinin hafiflediğini bildirmişlerdir. Sedaghat ve ark. (2021) su stresi altında buğday bitkisine ekzojen GR24 uyguladıklarında en düşük H₂O₂ içeriğini sulama suyu ile 10 μM GR24 alan bitkilerde gözlemişlerdir. Ma ve ark. (2021) portakal meyvesinde GR24

uygulamasının H₂O₂ (%30.08) ve MDA (%27.59) birikimini azalttığını tespit etmişlerdir. Çalışmalarla uyumlu olarak bulgularımızda da GR24 uygulanan konsantrasyonlarda H₂O₂ ve MDA içeriğinde azalma saptanması, GR24'ün ROS'un temizlenmesini teşvik edebileceğini ve su stresinin neden olduğu lipid peroksidasyonunu azaltabileceğini göstermektedir (Min ve ark., 2019).

MDA seviyesine ait analiz sonuçları değerlendirildiğinde sıklık, konsantrasyon ve sıklık x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Denemede 3 gün ara ile sulanan bitkilerden 6 gün ara ile sulanan bitkilere göre daha düşük (3.93 $\mu\text{mol g}^{-1}$ TA) MDA değeri elde edilmiştir. Konsantrasyonlar değerlendirildiğinde iki GR24 konsantrasyonunda MDA değerini olumlu yönde etkilediği 0.5 μM GR24'ün 5.04 $\mu\text{mol g}^{-1}$ TA ile seviyeyi daha fazla düşürdüğü gözlenmiştir (Çizelge 4.17). Stres şartlarında ve 6-0.5 μM GR24 uygulamasının MDA içeriğini (6.68 $\mu\text{mol g}^{-1}$ TA) düşürmede daha etkili olduğu görülmektedir. Bitkilerde abiyotik streslerde MDA düzeyinin arttığı tespit edilmiştir (Ma ve ark., 2017; Lu ve ark., 2019; Emamverdian ve ark., 2020). MDA abiotik koşullarda hücre zarı hasarını belirlemede belirteç olarak kullanılmaktadır. GR24'de dahil olmak üzere ekzojen olarak uygulanan hormonlar MDA düzeyini düşürebilmektedir. MDA ve H₂O₂, adaçayı bitkisinde artan NaCl seviyeleri ile kontrole kıyasla önemli ölçüde artmasına rağmen, SL uygulaması MDA birikimini ve H₂O₂ oluşumunu azaltmıştır (Sharifi ve Bidabadi, 2020). SL sinyali, bitkilerde reaktif oksijen türleri (ROS) tepkileri ile de ilişkilendirilmiştir. Kışlık buğday (*Triticum aestivum* L.) üzerinde yapılan bir araştırmada, GR24'ün yapraklara uygulanmasının antioksidan enzim aktivitesini artırdığı ve kuraklık toleransı için MDA seviyesini azalttığı gösterilmiştir (Sedaghat ve ark., 2021). Sonuçlarımız diğer çalışmalar ile uyumlu olarak GR24'ün stres durumunda MDA seviyesini düşürdüğünü göstermektedir (Ma ve ark., 2017; Ling ve ark., 2020; Özel, 2020).

Prolin miktarına ait analiz sonuçlarında sulama sıklığı ve konsantrasyon arasındaki ilişki önemli, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.17). Prolin miktarının 3 güne bir sulanan bitkilerde (7.65 $\mu\text{mol g}^{-1}$ TA) 6 günde bir sulanan bitkilere (31.17 $\mu\text{mol g}^{-1}$ TA) göre oldukça düşük olduğu, GR24 konsantrasyonu arttıkça prolin miktarının arttığı ve daha yüksek prolin miktarının 17.56 $\mu\text{mol g}^{-1}$ TA ile 1 μM GR24'ten elde edildiği görülmektedir (Çizelge 4.17). Su stresine maruz bırakılan nane bitkilerinde prolin düzeyini GR24 uygulamalarının artırdığı görülmektedir. Bitkilerin strese tepki olarak prolin biriktirdiği bilinmektedir. Su stresine maruz kalan buğday bitkilerinde stresli koşullarda artan prolin içeriğinin, stresli ve stressiz

koşulda SA veya SL'nin ekzojen uygulaması ile daha fazla arttığı belirtilmiştir (Sedaghat ve ark., 2020). Ayrıca tuz stresi ile muamele edilmiş adaçayı fidelerinde çeşitli seviyelerde SL uygulamaları tuz stresinden daha yüksek prolin birikimine neden olmuştur (Sharifi ve Bidabadi, 2020). Prolin protein bütünlüğünün korunmasına ve farklı anahtar enzim geliştirme aktivitelerine katılarak moleküler koruma görevi üstlenmektedir. Prolin zarlari, proteinleri, Rubisco ve mitokondriyal elektron taşıma kompleksi II gibi enzimleri stabilize ederek su stresinde bitkilerin fotosentez hızını artırır (Sedaghat ve ark., 2020). Sedaghat ve ark. (2021) GR24 verilen kışlık buğday bitkilerinde daha yüksek prolin konsantrasyonları gözlemledikleri çalışmalar ile uyumlu olarak çalışmamızda da su stresine maruz bırakılan nane bitkilerinde prolin düzeyini GR24 konsantrasyonlarının artırdığı görülmektedir.

4.5.3. SA+GR24 uygulamalarının hidrojen peroksit içeriği (H₂O₂), lipid peroksidasyon seviyesi (MDA), prolin miktarı üzerine etkisi

SA+GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen hidrojen peroksit içeriği, lipid peroksidasyon seviyesi ve prolin miktarına ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde H₂O₂, MDA ve prolin miktarına etkisi (μmol g⁻¹ TA)

Faktörler		H ₂ O ₂	MDA	Prolin
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	1.87 ± 0.09 ^b	5.43 ± 0.35 ^b	15.52 ± 2.48 ^b
	6 gün	3.11 ± 0.09 ^a	9.02 ± 0.40 ^a	44.11 ± 2.30 ^a
Konsantrasyon (K)	0 mM SA+0 μM GR24	2.83 ± 0.10 ^a	8.52 ± 0.46 ^a	19.86 ± 2.82 ^b
	0.05 mM SA+0.5 μM GR24	2.51 ± 0.11 ^a	6.30 ± 0.48 ^b	33.36 ± 2.99 ^a
	0.05 mM SA+1 μM GR24	2.04 ± 0.12 ^b	6.28 ± 0.44 ^b	40.52 ± 2.99 ^a
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA+0 μM GR24	2.27 ± 0.15	6.99 ± 0.62	10.24 ± 3.98
	3-0.05 mM SA+0.5 μM GR24	1.74 ± 0.15	4.86 ± 0.58	14.47 ± 4.45
	3-0.05 mM SA+1 μM GR24	1.51 ± 0.17	4.53 ± 0.62	23.17 ± 4.45
	6-0 mM SA+0 μM GR24	3.39 ± 0.14	10.36 ± 0.68	29.48 ± 3.98
	6-0.05 mM SA+0.5 μM GR24	3.27 ± 0.17	8.82 ± 0.76	48.47 ± 3.98
	6-0.05 mM SA+1 μM GR24	2.57 ± 0.17	8.03 ± 0.62	54.39 ± 3.98
Anova		p-değeri		
S		0.000	0.000	0.000
K		0.000	0.002	0.001
SxK		0.313	0.898	0.180

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

H₂O₂, MDA içeriği ve prolin miktarına ait analiz sonuçlarından sulama sıklığı ve konsantrasyon önemli, sıklık x konsantrasyon interaksyonu önemsiz bulunmuştur. Denemede 3 gün aralıklı sulanan bitkilerde düşük (1.87 µmol g⁻¹ TA) H₂O₂ içeriği 6 gün aralıklı sulanan bitkilerde ise yüksek (3.11 µmol g⁻¹ TA) H₂O₂ içeriği tespit edilmiştir. SA+GR24 uygulamasında 0.05 mM SA+1 µM GR24 konsantrasyonu 2.04 µmol g⁻¹ TA değeri ile H₂O₂ içeriğini düşürmede etkisini göstermiştir (Çizelge 4.18). Shirani Bidabadi ve Sharifi (2021) yaptıkları çalışmalarında *Dracocephalum kotschy* bitkisine MeJA + SL uygulanmasının MDA ve H₂O₂ birikimini azalttığını, Naz ve ark. (2021) mısır bitkisinde su ve ağır metal stres koşulları altında SA+Spd birlikte uygulamalarının H₂O₂ içeriğini azalttığını belirtmişlerdir. Çalışmamıza paralel olarak su stresi olmayan buğday bitkilerinde ekzojen uygulamaların H₂O₂ içeriğini etkilemediği belirtilmektedir. Stresli bitkilerde ise SA ve SL ile muamele edilmiş bitkiler daha düşük H₂O₂ içeriğine sahip olmuştur. Ayrıca, SA+SL uygulamasının H₂O₂ içeriği üzerindeki etkilerinin SA veya SL'nin ayrı ayrı uygulanmasına kıyasla önemli ölçüde daha büyük olduğu tespit edilmiştir (Sedaghat ve ark., 2020). Bulgularımız stresli bitkilerde elde edilen sonuçlar ile örtüşmemektedir. SA+GR24 uygulamaları H₂O₂ içeriğine nane bitkilerinde ne stresli ne de stressiz bitkilerinde olumlu yönde etki göstermemiştir.

Uygulamaların MDA miktarına etkileri incelendiğinde üç gün aralıklı sulanan uygulamalardan 6 gün aralıkla sulanan uygulamalara göre daha düşük (5.43 µmol g⁻¹ TA) MDA değeri elde edilmiştir. Ayrıca her iki SA+GR24 konsantrasyonu da MDA seviyesini azaltmıştır (Çizelge 4.18). Çeşitli strese maruz kalan bitkilerde meydana gelen en önemli tepkilerden birisi de lipid peroksidasyonun son ürünlerinden biri olan MDA'nın artmasıdır. Sedaghat ve ark. (2017a) su stresinde SA ve GR24 birlikte uygulamasının buğday bitkilerinde MDA içeriğini daha güçlü şekilde azalttığını, tek olarak SA'nın etkisinin GR24'den daha büyük olduğu tespit etmiştir. Sonuçlarımızda ise GR24 uygulamasının daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Amjadi ve ark. (2021) kadmiyum stresine tabii tutulan aspir bitkisinde melatonin ve salisilik asitin birlikte uygulanmasının MDA, H₂O₂ gibi oksidatif stres belirteçlerinin miktarını tatmin edici bir şekilde düşürdüğünü ve lipoksijenaz aktivitesini azalttığını belirtmişlerdir.

Denemede SA+GR24 konsantrasyonları ile prolin miktarının arttığı özellikle stres ile birlikte artışında yüksek olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.18). 3 güne bir sulama sıklığında düşük prolin değeri (15.52 µmol g⁻¹ TA) elde edilirken, 6 güne bir sulama sıklığında yüksek prolin değeri (44.11 µmol g⁻¹ TA) elde edilmiş ayrıca her iki konsantrasyonunda prolin

miktarını artırdığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.18). Prolinin su stresi altındaki bitkilerin adaptasyonu ve hayatta kalmasındaki rolü araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Saruhan ve ark., 2006). Bitkilerde prolin miktarının artması, su kaybetmeye karşı direncin artmasına, turgorun korunmasına, zar hasarının azalmasına ve stres koşullarında bitkilerin büyümesini hızlandırmasına neden olmaktadır (Omoarelojie ve ark., 2020; Sedaghat ve ark., 2021). Nazarli ve ark. (2014) çalışmalarında papatya bitkilerinde SA+MeJA uygulamalarının prolin konsantrasyonlarını artırdığını ve bu hormonların etkisinin stresli bitkilerde stresli olmayan bitkilere göre daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir. Sedaghat ve ark. (2020) SA+GR24 uygulamalarının, buğday bitkilerinde prolin içeriğini hem stresli hem de stressiz koşullarda iyileştirdiğini bildirdikleri çalışma sonuçlarımızı da desteklemektedir.

4.6. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki *M. piperita* fidelerinde toplam protein miktarı ve enzim aktivitesi üzerine etkisi

4.6.1. SA uygulamalarının toplam protein miktarı ve enzim aktivitesi üzerine etkisi

SA uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen toplam protein miktarına ve enzim aktivitelere ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde toplam protein miktarı, CAT ve POX enzim ortalamalarına etkisi

Faktörler		Protein (mg/mL)	CAT (U mg ⁻¹ protein)	POX (U mg ⁻¹ protein)
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	1.20 ± 0.06 ^a	3.54 ± 0.05 ^b	2.79 ± 0.29 ^b
	6 gün	0.78 ± 0.06 ^b	5.56 ± 0.05 ^a	6.78 ± 0.33 ^a
Konsantrasyon (K)	0 mM SA	0.91 ± 0.07	4.64 ± 0.07 ^a	4.10 ± 0.39
	0.05 mM SA	1.01 ± 0.07	4.34 ± 0.07 ^b	4.44 ± 0.39
	0.25 mM SA	1.10 ± 0.08	4.63 ± 0.06 ^a	5.21 ± 0.35
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA	1.04 ± 0.10	3.91 ± 0.09 ^d	3.25 ± 0.48 ^{cd}
	3-0.05 mM SA	1.17 ± 0.10	3.85 ± 0.09 ^d	3.57 ± 0.48 ^{bc}
	3-0.25 mM SA	1.38 ± 0.10	3.02 ± 0.08 ^e	1.26 ± 0.54 ^d
	6-0 mM SA	0.77 ± 0.10	5.38 ± 0.09 ^b	5.53 ± 0.62 ^{abc}
	6-0.05 mM SA	0.85 ± 0.10	4.84 ± 0.09 ^c	5.90 ± 0.62 ^{ab}
	6-0.25 mM SA	0.69 ± 0.12	6.23 ± 0.08 ^a	7.84 ± 0.44 ^a
Anova			p-değeri	
S		0.000	0.000	0.000
K		0.340	0.000	0.825
SxK		0.106	0.009	0.000

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Toplam protein miktarına ait analiz sonuçları değerlendirildiğinde; sulama sıklığı ilişkisi önemli, konsantrasyon, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.19). Üç gün aralıkla sulanan bitkilerden 6 gün aralıkla sulananlara göre daha yüksek protein miktarı (1.20 mg/mL) elde edilmiştir (Çizelge 4.19). Su stresi hücreyi su kaybına uğratarak hücre metabolizmasının bozulmasına yol açmaktadır. Bozulan metabolizma sonucunda iyon birikimi gerçekleşir, membran stabilitesi değişir ve protein yapısı da bozularak hücre zarara uğrar (Aksu, 2020). Yazdanpanah ve ark. (2011) SA uygulamasının protein ve prolin birikimini artırarak kekik üzerindeki kuraklığın olumsuz etkilerini azalttığını bildirmişlerdir. Kulak (2016) fesleğen bitkilerine stres durumunda SA uygulamasının 0.05 mM konsantrasyonunda yaprakta toplam protein içeriğini artırdığını belirtmiştir ancak araştırmacıdan farklı olarak çalışmamızda her iki sulama durumunda da SA uygulamalarının protein miktarına etki etmediği görülmektedir.

CAT enzim aktivitesi ile ilgili analiz sonuçlarında sulama sıklığı, konsantrasyon, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemli çıkmıştır (Çizelge 4.19). 6 günlük aralıkla sulanan bitkilerde 3 gün aralıkla sulananlara oranla CAT enzim aktivitesinde (5.56 U mg⁻¹ protein) artış görülmüştür. CAT aktivitesini konsantrasyonlardan

0 mM SA'ya oranla 0.05 mM SA (4.34 U mg⁻¹ protein) düşürmüştür. 3-0.25 mM SA uygulaması en düşük CAT aktivitesi (3.02 U mg⁻¹ protein) gösterirken, 6-0.25 mM SA uygulamasından en yüksek CAT aktivitesi (6.23 U mg⁻¹ protein) elde edilmiştir. SA uygulamalarından 0.25 mM uygulamasının 6 gün ara ile yapılan sulama sıklığında 0.05 mM SA uygulamasından daha iyi olduğu görülmektedir (Çizelge 4.19). CAT, fotorespirasyon sırasında peroksizomlarda üretilen H₂O₂'nin uzaklaştırılması için gerekli bir unsur olarak kabul edilmektedir (Sedaghat ve ark., 2021). Ayrıca SA'nın, membranlar boyunca redoks dengesini modüle etmede önemli bir rol oynadığı ve böylece antioksidan enzimlerin aktivitesini artırarak oksidatif stresin neden olduğu reaktif oksijen ara ürünlerinin olumsuz etkilerini ortadan kaldırdığı bildirilmektedir (Korkmaz ve ark., 2007). Abdi ve Karami (2020) *M. piperita* bitkisine su stresinde SA uyguladıkları çalışmalarında, su eksikliği stresi altındaki bitkilerde CAT aktivitesinin arttığını belirtmişlerdir. Su stresinde SA uygulamasının CAT enzim aktivitesini olumlu yönde etkilediğini bildiren Kadioglu ve ark., (2011), Pourghasemian ve ark., (2020)'nın bulguları 0.25 mM SA uygulamasından elde ettiğimiz sonuçlar ile uyum göstermektedir. Bahari ve ark. (2015) farklı sulama rejiminde SA uygulamasının, *Thymus daenensis* subsp. *lancifolius* yapraklarında ROS seviyesinde ve buna paralel olarak CAT ve POX enzimlerinin aktivitelerinde artışa sebep olduğunu bildirmişlerdir. Chavoushi ve ark. (2019) aspire su stresinde uyguladıkları SA'nın CAT'ın aktivitesini stresli olmayan seviyeye indirdiğini bildirdikleri çalışma ile 0.05 mM SA uygulamasından elde ettiğimiz sonuçlar benzerlik göstermektedir.

Peroksidaz (POX) enzim aktivitesine ait sonuçlardan sulama sıklığı, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu önemli, konsantrasyonlar arasındaki ilişki ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.19). Sulama sıklıkları değerlendirildiğinde 6 gün arayla sulanan bitkilerin 3 güne bir sulananlara oranla POX enzim aktivitesinin daha yüksek (6.78 U mg⁻¹ protein) olduğu görülmektedir. Stres şartlarında SA konsantrasyonu arttıkça enzim aktivitesi artmıştır. POX enziminde tüm uygulamalar arasında 7.84 U mg⁻¹ protein değeri ile 6-0.25 mM SA daha yüksek aktivite, 1.26 U mg⁻¹ protein değeri ile 3-0.25 mM SA uygulamasında ise daha düşük aktivite elde edilmiştir (Çizelge 4.19). Kundu ve ark. (2018) SA uygulamasının *M. spicata* bitkisinde CAT ve POX enzim aktivitesini arttırdığını bildirmişlerdir. Azad ve ark. (2021) SA'in tuzluluk ve kuraklık koşullarında *Mentha pulegium*'un antioksidan enzim aktivitelerinden POX'u artırdığını belirtmişlerdir. Stres şartlarında SA'in sulama suyu ile verilerek kökler yoluyla, tohum ön koşullaması veya yapraktan spreyleme gibi farklı yöntemler ile uygulanmasının CAT ve POX gibi antioksidan

enzimlerin aktivitesinde artış gösterdiğini belirten çalışmalar bulgularımızı desteklemektedir (Horváth ve ark., 2007; Korkmaz ve ark., 2007; Farooq ve ark., 2010; Saruhan ve ark., 2012; Osama ve ark., 2019).

4.6.2. GR24 uygulamalarının toplam protein miktarı ve enzim aktivitesi üzerine etkisi

GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen toplam protein miktarı ve enzim aktivitelerine ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde toplam protein miktarı, CAT ve POX enzim ortalamalarına etkisi

Faktörler		Protein (mg/mL)	CAT (U mg ⁻¹ protein)	POX (U mg ⁻¹ protein)
Sulama Sıklığı	3 gün	1.16 ± 0.03 ^a	1.80 ± 0.10 ^b	0.80 ± 0.06 ^b
	6 gün	0.99 ± 0.03 ^b	2.46 ± 0.09 ^a	1.61 ± 0.06 ^a
Konsantrasyon	0 µM GR24	1.06 ± 0.03	2.08 ± 0.13	1.18 ± 0.08
	0.5 µM GR24	1.19 ± 0.03	2.20 ± 0.10	1.24 ± 0.07
	1 µM GR24	1.05 ± 0.03	2.09 ± 0.11	1.15 ± 0.08
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 µM GR24	1.12 ± 0.05	1.95 ± 0.20 ^{abc}	0.92 ± 0.13 ^{bc}
	3-0.5 µM GR24	1.20 ± 0.04	1.99 ± 0.14 ^{bc}	0.98 ± 0.09 ^b
	3-1 µM GR24	1.11 ± 0.05	1.40 ± 0.17 ^c	0.46 ± 0.11 ^c
	6-0 µM GR24	0.97 ± 0.05	2.17 ± 0.17 ^{ab}	1.37 ± 0.11 ^{ab}
	6-0.5 µM GR24	1.00 ± 0.05	2.53 ± 0.17 ^{ab}	1.63 ± 0.11 ^a
	6-1 µM GR24	1.01 ± 0.05	2.64 ± 0.15 ^a	1.84 ± 0.11 ^a
Anova		p-değeri		
S		0.000	0.000	0.000
K		0.462	0.286	0.259
SxK		0.514	0.019	0.001

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Toplam protein miktarına ait sonuçlar değerlendirildiğinde; sulama sıklığı önemli konsantrasyon ve sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. 3 gün aralıkla sulanan bitkilerin 6 gün aralıkla sulananlara oranla daha yüksek protein içeriğine (1.16 mg/mL) sahip olduğu görülmüştür. GR24 uygulaması protein içeriğini artırmış gibi görünse de konsantrasyonlar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.20). Önay (2019), GR24 uygulamalarının tuz stresinde buğday bitkilerinin toplam protein miktarı ve enzim aktivitelerinin artmasına neden olduğunu bildirmiştir.

CAT ve POX enzim aktivitesi ile ilgili sonuçlarımızda sulama sıklığı, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunurken, konsantrasyonlar arasındaki ilişki önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.20). Sulama sıklıklarında 3 gün aralıklı sulanan bitkilerde düşük aktivite ($1.80 \text{ U mg}^{-1} \text{ protein}$), 6 gün aralıklı bitkilerde yüksek aktivite ($2.46 \text{ U mg}^{-1} \text{ protein}$) görülmektedir. Stres bitkilerinde 3 gün aralıklı sulanan bitkilere oranla CAT enzim aktivitesinin arttığı, ayrıca 6 günde bir sulanan bitkilerde konsantrasyon arttıkça da CAT enzim aktivitesinin arttığı görülmektedir. Çalışmada interaksyon etkisinde diğer uygulamalara göre $6-1 \mu\text{M}$ GR24 uygulamasından daha yüksek CAT enzim aktivitesi ($2.64 \text{ U mg}^{-1} \text{ protein}$), $3-1 \mu\text{M}$ GR24 uygulamasından daha düşük CAT enzim aktivitesi ($1.40 \text{ U mg}^{-1} \text{ protein}$) elde edilmiştir (Çizelge 4.20). Bitkiler, hücrelerde aşırı ROS'u önlemek ve ROS redoks dengesini kontrol etmek için karmaşık temizleme mekanizmalarına sahiptir. Böylece antioksidan enzim metabolizmasındaki değişiklikler, bitkilerin su stres toleransını artırmaktadır (Das ve Roychoudhury, 2014). Strese maruz kalan bitkilerin benimsediği stratejilerden biri, ROS temizleyicileri olarak CAT gibi antioksidanların sentezlenmesidir (Wang ve ark., 2014). Sonuçlarımızla benzer olarak, Lu ve ark. (2019) düşük ışık stresinde domates bitkilerine GR24 uygulanmasının CAT enzim aktivitesini önemli ölçüde artırdığını, Tai ve ark. (2017) *Panicum virgatum*'da ekzojen SL ile birlikte kadmiyum (Cd) uygulamasında antioksidan enzim (POX ve CAT) aktivitesinde belirgin bir artış ve MDA içeriğinde azalış gözlemlemişlerdir. Sharifi ve Bidabadi (2020) ise farklı olarak adaçayı bitkisinde tuz stresi arttıkça enzim aktivitelerinin arttığını, SL'siz tuz stresi uygulamalarında en yüksek enzim aktivitesi belirlediklerini, SL konsantrasyonları arttıkça enzim aktivitelerinde yavaş ama önemli bir azalma tespit ettiklerini belirtmişlerdir.

Uygulamaların POX enzim aktivitesine etkisi incelendiğinde 6 gün ara ile sulanan stres grubu bitkilerinin ($1.61 \text{ U mg}^{-1} \text{ protein}$) 3 gün ara ile sulanan bitkilere ($0.80 \text{ U mg}^{-1} \text{ protein}$) göre yüksek aktivite gösterdiği görülmektedir (Çizelge 4.20). Su sıklığı x GR24 interaksyonunda diğer uygulamalara göre $3-1 \mu\text{M}$ GR24 uygulamasından daha düşük POX aktivitesi ($0.46 \text{ U mg}^{-1} \text{ protein}$), $6-0.5 \mu\text{M}$ GR24 ($1.63 \text{ U mg}^{-1} \text{ protein}$) ve $6-1 \mu\text{M}$ GR24 ($1.84 \text{ U mg}^{-1} \text{ protein}$) uygulamalarından daha yüksek POX aktiviteleri elde edilmiştir (Çizelge 4.20). POX, sitozol, vakuol ve hücre duvarlarında substrat oksidasyonu için H_2O_2 'yi kullanmaktadır. Bu bağlamda, yüksek düzeyde antioksidanların korunmasının bitki için faydalı olmakta ve dolayısıyla ROS'un olumsuz etkilerine karşı koyabilmektedir. Su stresi altında GR24 ile muamele edilmiş buğday bitkilerinin yapraklarında antioksidan

enzim aktivitelerinin arttığını gözlemlemişlerdir (Sedaghat ve ark., 2021). Su stresi ile ilgili nane bitkisi üzerinde elde ettiğimiz bulgulara paralel olarak Kürtür (2018) buğday tohumlarına GR24 uyguladığı çalışmasında GR24'ün antioksidan savunmayı teşvik ettiğini, artan tuzluluğa karşı GR24'ün etkisiyle CAT aktivitesinde artış sağladığını ek olarak POX aktivitelerini de uyardığını belirlemiştir. Ma ve ark. (2017) GR24'ün POX enzim miktarını artırarak ROS süpürücüleri olarak tuz stresi koşullarında kolza bitkilerini olumlu etkilediğini belirtmişlerdir. Sonuçlarımız GR24'ün kökler yoluyla uygulanmasının, güçlendirilmiş antioksidan mekanizmalar sayesinde kolza ve buğday bitkilerinde olduğu gibi daha yüksek stres toleransı elde etmesine yardımcı olabileceğini göstermektedir.

4.6.3. SA+GR24 uygulamalarının toplam protein miktarı ve enzim aktivitesi üzerine etkisi

SA+GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen toplam protein miktarına ve enzim aktivitelerine ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde toplam protein miktarı, CAT ve POX enzimi ortalamalarına etkisi

Faktörler		Protein (mg/mL)	CAT (U mg ⁻¹ protein)	POX (U mg ⁻¹ protein)
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	1.39 ± 0.02 ^a	1.57 ± 0.03 ^b	1.16 ± 0.06 ^b
	6 gün	1.20 ± 0.02 ^b	2.55 ± 0.03 ^a	1.58 ± 0.06 ^a
Konsantrasyon (K)	0 mM SA+0 µM GR24	1.18 ± 0.03 ^b	2.09 ± 0.04 ^b	1.18 ± 0.08 ^b
	0.05 mM SA+0.5 µM GR24	1.39 ± 0.02 ^a	1.94 ± 0.04 ^b	1.44 ± 0.06 ^a
	0.05 mM SA+1 µM GR24	1.35 ± 0.03 ^a	2.32 ± 0.04 ^a	1.48 ± 0.07 ^a
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA+0 µM GR24	1.35 ± 0.03 ^{ab}	1.59 ± 0.06	0.93 ± 0.11
	3-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	1.44 ± 0.03 ^a	1.45 ± 0.05	1.26 ± 0.09
	3-0.05 mM SA+1 µM GR24	1.40 ± 0.03 ^{ab}	1.72 ± 0.06	1.24 ± 0.11
	6-0 mM SA+0 µM GR24	0.90 ± 0.04 ^c	2.46 ± 0.05	1.43 ± 0.11
	6-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	1.35 ± 0.03 ^{ab}	2.42 ± 0.05	1.61 ± 0.09
	6-0.05 mM SA+1 µM GR24	1.29 ± 0.04 ^b	2.76 ± 0.05	1.66 ± 0.09
Anova		p-değeri		
S		0.000	0.000	0.000
K		0.000	0.000	0.030
SxK		0.000	0.412	0.751

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Toplam protein miktar sonuçları değerlendirildiğinde denemede her üç faktörün de etkisi istatistiksel olarak anlamlı olarak bulunmuştur. Genel olarak 3 gün aralıklarla sulanan bitkilerin (1.39 mg/mL) 6 gün ara ile sulananlara (1.20 mg/mL) oranla daha yüksek protein miktarına sahip olduğu, uygulamada kullanılan her iki konsantrasyonun da protein miktarını artırdığı görülmüştür. Denemede 3-0.05 mM SA+0.5 µM GR24 uygulamasından daha yüksek (1.44 mg/mL), 6-0 mM SA+0 µM GR24 uygulamasından ise daha düşük (0.90 mg/mL) protein değerine ulaşılmıştır (Çizelge 4.21). Su stresinin toplam protein miktarını düşürdüğü SA+GR24 uygulamalarının toplam protein miktarının artışında daha etkili olduğu görülmektedir. Sonuçlarımızla uyumlu olarak; Naz ve ark. (2021) su stresinde SA+Spd uygulamasının mısır bitkisinin toplam protein miktarında yüksek artışları sergilediğini, Yazdanpanah ve ark. (2011) su stresi altında *Satureja hortensis* bitkisine ekzojen SA + askorbik asit (AA) uygulamasının kuraklık stresinin etkisi ile azalan protein miktarını artırdığını belirtmişlerdir.

Uygulamaların CAT ve POX enzim aktivitesine etkisi değerlendirildiğinde sulama sıklığı ve konsantrasyon arasındaki ilişki istatistiksel olarak önemli, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksiyonu önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.21). Altı günde bir sulanan bitkilerden 3 günde bir sulananlara göre daha yüksek (2.55 U mg⁻¹ protein) CAT enzim aktivitesine ulaşılmıştır (Çizelge 4.21). Stres durumunda CAT enzim aktivitesinin arttığı özellikle yüksek GR24 dozunun (0.05 mM SA+1µM GR24) stres durumunda daha etkili (2.32 U mg⁻¹ protein) olduğu görülmüştür. Su stresinin neden olduğu hasarı önlemek, büyüme ve gelişmeyi sürdürmek için ROS ortadan kaldırılmakta böylece hücre içi düzeyde denge düzenlenmektedir. SA ve GR24 kombinasyonu, ROS süpürücü enzimlerini uyarak buğdayın kuraklık toleransını etkili bir şekilde geliştirmiştir (Sedaghat ve ark., 2017b). Haydari ve ark. (2019) *M. piperita* üzerinde yaptıkları araştırmalarında SA+Melatonin birlikte uygulamasının en yüksek CAT aktivitesine ulaşılmasını sağladığını belirtmiştir. Belirtilen araştırmalarla uyumlu olarak SA+GR24'ün yüksek konsantrasyonu denememizde su stresi durumunda CAT aktivitesi üzerinde etki yapmıştır.

Uygulamaların POX enzim aktivitesine etkisi değerlendirildiğinde 6 günde bir sulanan bitkiler 3 gün ara ile sulananlardan daha yüksek (1.58 U mg⁻¹ protein) POX enzim aktivitesi göstermiştir. Hem 3 gün hem de 6 gün ara ile sulanan fidelerin POX enzim aktivite değerleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde her iki grupta da 0 mM SA+0 µM GR24 uygulamalarından daha düşük (1.18 U mg⁻¹ protein) enzim aktivitesi gözlenmiştir (Çizelge 4.21). Denemede her iki SA+GR24 uygulamasının da POX aktivitesi üzerine etkisi benzer

olmuştur. CAT ve POX aktiviteleri, stres ile birlikte artmıştır. Yetersiz su temini, antioksidanlar, enzim aktiviteleri ve çözünen maddelerin birikmesi gibi ikincil metabolitlerin biyosentezi dahil olmak üzere çeşitli metabolizma indüksiyonları üzerinde olumlu etkilere sahip olabilmektedir (Chrysargyris ve ark., 2016). Sonuçlarımız, ekzojen SA, GR24 veya SA+GR24 uygulamalarının su stresine ve diğer streslere yanıt olarak CAT ve/veya POX aktivitesinde önemli bir artış öngören önceki araştırmaları desteklemektedir (Choudhary ve ark., 2020; Ling ve ark., 2020).

4.7. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki *M. piperita* fidelerinde toplam fenol, flavonoid ve DPPH temizleme aktivitesi üzerine etkisi

4.7.1. SA uygulamalarının toplam fenol, flavonoid ve DPPH temizleme aktivitesi üzerine etkisi

SA uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen toplam fenol, flavonoid ve DPPH temizleme aktivitesine ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde toplam fenol, flavonoid ve DPPH oranına etkisi

Faktörler		Toplam Fenol (mg GAE/g TA)	Toplam Flavonoid (mg QE/g TA)	DPPH (%)
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	2.17 ± 0.02 ^b	0.32 ± 0.01 ^b	88.38 ± 0.29 ^b
	6 gün	2.39 ± 0.02 ^a	0.48 ± 0.01 ^a	90.77 ± 0.29 ^a
Konsantrasyon (K)	0 mM SA	1.38 ± 0.02 ^c	0.24 ± 0.02 ^b	88.70 ± 0.35 ^b
	0.05 mM SA	2.82 ± 0.02 ^a	0.49 ± 0.02 ^a	90.13 ± 0.35 ^a
	0.25 mM SA	2.64 ± 0.02 ^b	0.48 ± 0.02 ^a	89.91 ± 0.35 ^{ab}
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA	1.26 ± 0.03 ^c	0.25 ± 0.02 ^c	86.86 ± 0.50
	3-0.05 mM SA	2.45 ± 0.03 ^c	0.26 ± 0.02 ^c	88.88 ± 0.50
	3-0.25 mM SA	2.80 ± 0.03 ^b	0.45 ± 0.02 ^b	89.39 ± 0.50
	6-0 mM SA	1.51 ± 0.03 ^d	0.23 ± 0.02 ^c	90.53 ± 0.50
	6-0.05 mM SA	3.18 ± 0.03 ^a	0.72 ± 0.02 ^a	91.37 ± 0.50
	6-0.25 mM SA	2.48 ± 0.03 ^c	0.50 ± 0.02 ^b	90.42 ± 0.50
Anova		p-değeri		
S		0.000	0.000	0.000
K		0.000	0.000	0.030
SxK		0.000	0.000	0.062

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Toplam fenol ve flavonoid miktarına ait analiz sonuçlarında sulama sıklığı, konsantrasyon, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.22). Toplam fenol miktarının 6 gün ara ile sulanan fidelerde 3 günlüklere oranla daha yüksek değerlere (2.39 mg GAE/g TA) ulaştığı görülmektedir. Her iki konsantrasyon fenol miktarını artırmış olsa da 0.05 mM SA konsantrasyonundan daha yüksek değerler (2.82 mg GAE/g TA) elde edilmiştir. SA uygulamalarının 3 gün ve 6 günlük sulamalarda fenolik madde miktarını artırdığı ve özellikle stres uygulamalarında oldukça yüksek değerlere çıkardığı gözlenmiştir. En yüksek fenolik madde miktarı 3.18 mg GAE/g TA ile 6-0.05 mM SA uygulamasından ve en düşük fenolik madde miktarı 1.26 mg GAE/g TA ile 3-0 mM SA uygulamasından saptanmıştır (Çizelge 4.22). Stres koşullarında bitkilerde ikincil metabolit üretiminin arttığı literatürlerle desteklenmektedir (Gharib, 2006; Karalija ve ark., 2016; Karalija ve ark., 2017). Fenolik bileşikler, bitkilerde kuraklık, UV-B radyasyonu ve atmosferik kirlilik gibi çevresel stres faktörlerinin etkisine yanıt olarak sentezlenmektedir. Bu bileşikler, substrat olarak polifenoller kullanan antioksidatif enzimler yoluyla ROS'ların temizlenmesine yardımcı olmaktadır (Furlan ve ark., 2011). Sonuçlarımızla uyumlu olarak Radácsı ve ark. (2016) su stresi altındaki *Melissa officinalis* 'in toplam fenolik madde ve DPPH aktivitesinde artış meydana geldiğini, Cappellari ve ark. (2020) *M. piperita* 'da farklı konsantrasyonlarda SA veya JA püskürtmelerinin toplam fenollerini arttırdığını ve uygulanan SA konsantrasyonuna bağlı olarak polifenol içeriğinde önemli bir artış gözlendiğini bildirmişlerdir. Abdi ve Karami (2020) *M. piperita* bitkilerindeki çalışmalarında çalışmamıza uyumlu olarak kontrol bitkilerinde minimum fenolik içerik ölçmüşler, su eksikliği ve SA uygulaması ile toplam fenol seviyesi yükseldiğini belirtmişlerdir.

Flavonoid miktarına sulama sıklıklarının etkisi değerlendirildiğinde 6 gün ara ile sulanan fidelerin flavonoid miktarı 3 gün ara ile sulanan bitkilerden daha yüksek (0.48 mg QE/g TA) bulunmuştur. Her iki SA konsantrasyonu flavonoid miktarını artırmıştır. SA uygulamalarında 3 güne bir sulanan fidelerde 3-0.25 SA etkisini daha çok gösterirken 6 günlük stres grubundaki fidelerde iki uygulamanın da etkisi önemli bulunmuştur. Denemede 6-0.05 mM SA uygulanan bitkilerde 0.72 mg QE/g TA ile en yüksek flavonoid değeri gözlenmiştir. Stres grubu olan ve SA uygulanmayan 6-0 mM SA 'de 0.23 mg QE/g TA ile daha düşük flavonoid değeri elde edilmiş, benzer şekilde 3-0 mM, 3-0.05 mM SA ve 6-0 mM SA uygulamalarından da stres grubu ile aynı grupta flavonoid değerleri (0.25 mg QE/g TA, 0.26 mg QE/g TA, 0.23 mg QE/g TA) elde edilmiştir (Çizelge 4.22). Fenollerin türevleri

olan flavonoidler, bitki sekonder metabolitlerinin en büyük gruplarından biridir (Kulbat, 2016). Çalışmamıza benzer şekilde Abdi ve Karami (2020) ve Jahani ve ark. (2021) *M. piperita*'nın su stresi şartlarında SA uygulamalarının toplam flavonoid içeriğini artırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca su stresi koşullarında yetiştirilen *Thymus vulgaris* ve *Simarouba glauca* bitkilerinin yapraklarındaki toplam fenol ve flavonoid içeriğinin SA uygulaması ile arttığını bildirmişlerdir (Awate ve Gaikwad, 2014; Khalil ve ark., 2018). Çeşitli araştırmaların su stresi altında ekzojen SA'nın toplam fenolik bileşiklerde bir artışa neden olduğunu belirttikleri sonuçları bulgularımızı destekler niteliktedir (Ghasemzadeh ve Jaafar, 2012; Pérez ve ark., 2014; Zeid ve ark., 2014).

SA uygulanmasının DPPH aktivitesine etkisi değerlendirildiğinde sulama sıklıkları ve konsantrasyonlar önemli, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.22). Denemede 6 gün ara ile sulanan fidelerin DPPH oranı (%90.77) 3 günde bir sulanan fidelerin DPPH oranından (%88.38) yüksek bulunmuştur. Her iki SA konsantrasyonunun DPPH oranını arttırdığı ancak 0.05 mM konsantrasyonunun DPPH oranını (%90.13) daha fazla artırdığı gözlenmiştir (Çizelge 4.22). Araştırmacılar farklı çözücü kullanarak yaptıkları analizlerde farklı DPPH sonuçları elde etmiş olsalar da genelde metanol kullanılarak yapılan ekstraktlardan daha yüksek aktivite elde etmişlerdir (Farhat ve ark., 2019; Gomez-Rivera ve ark. 2018; Singh ve ark., 2015). Shabrangi ve Jazi (2014) SA uygulaması ile *M. piperita*'da, antioksidan özelliklerin ve toplam fenolik içeriğin arttığını, Jahani ve ark. (2021) kuraklık stresinde ekzojen SA uygulamasının *M. piperita*'da DPPH'de artış sağladığını bildirdikleri çalışmalar sonuçlarımız ile benzerlik göstermektedir. Pirbalouti ve ark., 2014; Kulak ve ark., 2021 ekzojen SA uygulamalarının, su stres koşulları altında DPPH'de önemli bir iyileşme sağladığını belirtmişlerdir. Su stresi+SA uygulaması altındaki ölçüm sonuçlarına göre toplam fenol ve flavonoid üretimindeki artışlar fenolik bileşiklerin bir antioksidan sistem olarak hareket ettiğini ve böylece ROS'un olumsuz etkilerini azalttığını göstermektedir. SA uygulaması, fenol radikallerinin üretimi ve stres savunması için sinyal sisteminin ve sinyal iletiminin işlevinde yer almaktadır. Nane ekstraktının DPPH yüzdesi, uygulanan SA konsantrasyonlarının antioksidan işlevi ile artmıştır. Bu nedenle, SA'nın ROS temizleme kabiliyeti nane bitkilerinde DPPH'ı arttırmıştır.

4.7.2. GR24 uygulamalarının toplam fenol, flavonoid ve DPPH temizleme aktivitesi üzerine etkisi

GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen toplam fenol, flavonoid ve DPPH temizleme aktivitesine ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.23. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde toplam fenol, flavonoid ve DPPH oranına etkisi

Faktörler		Toplam Fenol (mg GAE/g TA)	Toplam Flavonoid (mg QE/g TA)	DPPH (%)
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	2.04 ± 0.02 ^b	0.19 ± 0.01 ^b	87.97 ± 0.39 ^b
	6 gün	3.03 ± 0.02 ^a	0.56 ± 0.01 ^a	92.79 ± 0.39 ^a
Konsantrasyon (K)	0 µM GR24	2.88 ± 0.02 ^a	0.34 ± 0.02 ^b	88.70 ± 0.48 ^b
	0.5 µM GR24	2.18 ± 0.02 ^c	0.26 ± 0.02 ^c	91.25 ± 0.48 ^a
	1 µM GR24	2.55 ± 0.02 ^b	0.51 ± 0.02 ^a	91.19 ± 0.48 ^a
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 µM GR24	2.60 ± 0.03 ^b	0.11 ± 0.02 ^d	86.86 ± 0.68
	3-0.5 µM GR24	1.69 ± 0.03 ^d	0.16 ± 0.02 ^d	89.17 ± 0.68
	3-1 µM GR24	1.83 ± 0.03 ^c	0.31 ± 0.02 ^c	87.88 ± 0.68
	6-0 µM GR24	3.17 ± 0.03 ^a	0.58 ± 0.02 ^b	90.53 ± 0.68
	6-0.5 µM GR24	2.66 ± 0.03 ^b	0.37 ± 0.02 ^c	93.33 ± 0.68
	6-1 µM GR24	3.26 ± 0.03 ^a	0.72 ± 0.02 ^a	94.50 ± 0.68
Anova		p-değeri		
S		0.000	0.000	0.000
K		0.000	0.000	0.004
SxK		0.000	0.000	0.109

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

GR24 uygulamalarının toplam fenol ve toplam flavonoid üzerine etkisine ait analiz sonuçlarında sulama sıklığı, konsantrasyon, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.23). 6 gün ara ile sulanan fidelerde fenolik madde miktarı genel olarak 3 gün ara ile sulanan fidelerden yüksek (3.03 mg GAE/g TA) bulunmuştur. GR24 uygulamaları fenol içeriğini azaltmıştır. Sulama sıklığı x GR24 interaksyonu değerlendirildiğinde 3 gün sıklıkla sulamalarda GR24 uygulamalarının fenol içeriğini azalttığı, 6 günlük sulamalarda da 1 µM GR24 uygulamasının fenol içeriğini 0.5 µM GR24'e göre artırdığı gözlenmiştir. Uygulamalar içinde en yüksek toplam fenolik madde miktarı 3.26 mg GAE/g TA ile 6-1 µM GR24 ve 3.17 mg GAE/g TA ile 6-0 µM GR24 uygulamalarından en düşük toplam fenolik madde miktarı ise 1.69 mg GAE/g TA ile 3-1 µM GR24 uygulamasından elde edilmiştir. Antioksidan potansiyellerin ana belirleyicisi

olarak toplam fenol içerikleri ve doğal antioksidan kaynakları bitkilerde serbest radikalleri sonlandırmaktadır (Shirani Bidabadi ve Sharifi, 2021). Bitkinin maruz kaldığı su miktarı sekonder metabolitlerden fenolik bileşiklerin sentezini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Su stresi altındaki fesleğenlerden kontrol bitkilerine göre daha yüksek fenol değerleri elde eden Pirbalouti ve ark. (2017)'nin sonuçları stres koşullarında elde ettiğimiz sonuçlar ile benzerlik göstermektedir. Issah (2021)'in kapari (*Capparis spinosa* L.) bitkisine 0.2 μ M GR24 uygulamasından kontrole göre düşük toplam fenolik madde elde etmiş oldukları çalışmaları sonuçlarımızı desteklemektedir.

Denemede elde ettiğimiz flavonoid miktarları 6 gün aralıklar ile sulanan fidelerde 3 gün aralıkla sulanan fidelere göre daha yüksek (0.56 mg QE/g TA) bulunmuştur. 1 μ M GR24 uygulamasından 0.5 μ M GR24'e göre daha yüksek flavonoid miktarı (0.51 mg QE/g TA) elde edilmiştir. GR24 uygulaması her iki sulama sıklığında da flavonoid miktarını artırmış olup 3 günde bir sulanan fidelerde her iki GR24 konsantrasyonu ile flavonoid miktarı artarken, 6 gün aralıkla sulanan fidelerde 0.5 μ M GR24 uygulaması flavonoid miktarını azaltmış 1 μ M GR24 uygulaması ise yüksek flavonoid miktarına sebep olmuştur. Çizelge 4.23'e göre en yüksek toplam flavonoid miktarı (0.72 mg QE/g TA) 6-1 μ M GR24 uygulamasından, en düşük miktar (0.11 mg QE/g TA ve 0.16 mg QE/g TA) 3-0 μ M GR24 ve 3-0.5 μ M GR24 uygulamalarından elde edilmiştir. Çalışmamızda nane su stresine maruz kaldığında flavonoid miktarını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Flavonoidlerin çeşitli abiyotik stresler tarafından bitki hücrelerine verilen hasarı iyileştirdiği böylece bitkileri çeşitli çevresel streslere karşı koruduğu bildirilmiştir (Van Ha ve ark., 2014; Kulbat, 2016). Araştırmacılar bitkilerde radikal süpürücü aktiviteye sahip flavonoidlerin oksidatif, kuraklık, UV, ağır metal gibi abiyotik stresleri azalttığını belirtmişlerdir (Nakabayashi ve ark., 2014; Yokawa ve ark., 2014; Hashem ve ark., 2016; Kaur ve ark., 2017; Khan ve Khan 2017; Karakaş ve Bozat, 2020). Sonuçlarımız ile benzer olarak Omoareloje ve ark., (2021) soğuk stresine maruz bırakılan maş fasulyesi (*Vigna radiata*) fidelerini rac-GR24'ün farklı dozları (0, 1 ve 10 μ M) ile muamele etmiş ve 1 μ M GR24 uygulamasının, lipid peroksidasyon seviyelerini önemli ölçüde düşürdüğünü, radikal temizleme aktivitesini azalttığını, fenolik içerikleri ve toplam antioksidan kapasitelerini değiştirmedığını belirtmişlerdir.

GR24 uygulamasının DPPH üzerine etkisi incelendiğinde sulama sıklığı x konsantrasyon interaksiyonu önemsiz bulunurken diğer faktörler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.23). Çalışmamızdan 6 gün aralıklarla sulanan fidelerden 3 gün arayla sulanan fidelere göre daha yüksek DPPH oranı (%92.79) elde edilmiştir. Ekzojen

uygulanan GR24'ün her iki konsantrasyonu da DPPH aktivitesini artırmış bitkinin stres toleransına yardımcı olmuştur (Çizelge 4.23). Abiyotik veya biyotik stres altında bitki dokularında antioksidanların birikmesi, bitkinin zorlayıcı koşullar altında hayatta kalma yeteneği ile ilişkili olabilmekte ve bitkilerin su stresine en büyük adaptasyonlarından birini oluşturmaktadır (Chrysargyris ve ark., 2016). *M. piperita* yağının farklı konsantrasyonlarının DPPH temizleme aktivitesine etkisini inceleyen araştırmacılar bitkinin yüksek DPPH aktivitesine sahip olduğunu bildirmişlerdir (Sun ve ark., 2014). Portakalda 200 $\mu\text{mol L}^{-1}$ GR24 uygulanması antioksidan kapasitesini yükselterek antioksidanları (askorbat, glutatyon ve toplam fenol) ve enzim aktivitelerini (katalaz, askorbat peroksidaz ve glutatyon redüktaz) artırmıştır. GR24'ün, antioksidan sistemin artışını uyararak meyvede bozulmayı ve yaşlanma sürecini geciktirdiğini bildirmişlerdir (Ma ve ark., 2021).

4.7.3. SA+GR24 uygulamalarının toplam fenol, flavonoid ve DPPH temizleme aktivitesi üzerine etkisi

SA+GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen toplam fenol, flavonoid ve DPPH temizleme aktivitesine ait ortalamalar ile istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.24'te verilmiştir.

Çizelge 4.24. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde toplam fenol, flavonoid ve DPPH oranına etkisi

Faktörler		Toplam Fenol (mg GAE/g TA)	Toplam Flavonoid (mg QE/g TA)	DPPH (%)
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	1.43 ± 0.02 ^b	0.22 ± 0.02 ^b	86.95 ± 0.22 ^b
	6 gün	1.89 ± 0.02 ^a	0.43 ± 0.02 ^a	91.16 ± 0.22 ^a
Konsantrasyon (K)	0 mM SA+0 µM GR24	1.38 ± 0.02 ^c	0.24 ± 0.02 ^b	88.80 ± 0.27
	0.05 mM SA+0.5 µM GR24	1.55 ± 0.02 ^b	0.33 ± 0.02 ^a	89.47 ± 0.27
	0.05 mM SA+1 µM GR24	2.05 ± 0.02 ^a	0.41 ± 0.02 ^a	88.91 ± 0.27
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA+0 µM GR24	1.26 ± 0.03 ^d	0.25 ± 0.03 ^c	86.86 ± 0.38 ^c
	3-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	1.32 ± 0.03 ^d	0.22 ± 0.03 ^c	89.41 ± 0.38 ^b
	3-0.05 mM SA+1 µM GR24	1.73 ± 0.03 ^b	0.20 ± 0.03 ^c	84.59 ± 0.38 ^d
	6-0 mM SA+0 µM GR24	1.51 ± 0.03 ^c	0.22 ± 0.03 ^c	90.73 ± 0.38 ^b
	6-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	1.78 ± 0.03 ^b	0.44 ± 0.03 ^b	89.54 ± 0.38 ^b
	6-0.05 mM SA+1 µM GR24	2.38 ± 0.03 ^a	0.62 ± 0.03 ^a	93.22 ± 0.38 ^a
Anova		p-değeri		
S		0.000	0.000	0.000
K		0.000	0.000	0.206
SxK		0.000	0.000	0.000

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

SA+GR24 uygulanmasının toplam fenol ve flavonoid miktarlarına etkisi incelendiğinde sulama sıklığı, konsantrasyon, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu önemli, DPPH oranı yönünden sulama sıklığı ve sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu önemli, konsantrasyon ilişkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.24). Çizelge 4.24'e göre 6 günde bir sulanan stres grubundan 3 günde bir sulanan kontrol gruplarına göre daha yüksek toplam fenol miktarı (1.89 mg GAE/g TA) elde edilmiştir. Toplam fenol miktarları uygulanan konsantrasyonlardan etkilenmiş ve en düşük toplam fenol ortalaması hem stres hem de kontrol grubu bitkilerinden SA+GR24 verilmeyen gruptan (1.38 mg GAE/g TA) elde edilmiştir. GR24 konsantrasyonu arttıkça fenolik madde miktarlarında artış görülmüştür. Konsantrasyon uygulamalarında en yüksek fenolik madde miktarı 2.05 mg GAE/g TA ile 0.05 mM SA+1 µM GR24 konsantrasyonunda tespit edilmiştir. Sulama sıklığı x SA+GR24 interaksyonunda en düşük fenolik madde miktarları 1.26 mg GAE/g TA ile 3-0 mM SA+0 µM GR24 ve 1.32 mg GAE/g TA ile 3-0.05 mM SA+0.5 µM GR24 uygulamalarında, en yüksek fenolik madde miktarı 2.38 mg GAE/g TA ile 6-0.05 mM SA+1 µM GR24 uygulamasında tespit edilmiştir (Çizelge 4.24). Fenolik bileşikler bitkinin abiyotik strese ve dolayısıyla su stresine karşı direncinde önemli bir role sahiptir

(Chrysargyris ve ark., 2016). Shirani Bidabadi ve Sharifi (2021) *D. kotschy* üzerinde SL+MeJA uygulayarak yaptığı çalışmada kuraklık stres koşullarıyla başa çıkmak ve H₂O₂ gibi reaktif oksijen türlerini temizlemek için bitkinin toplam fenolik madde içeriğini ve toplam antioksidan aktivitesini artırarak antioksidan savunma sistemini güçlendirdiğini belirtmişlerdir.

Toplam flavonoid miktarı 6 günde bir sulanan fidelerde 3 gün ara ile sulanan fidelerden daha yüksek (0.43 mg QE/g TA) bulunmuştur. Uygulanan her iki konsantrasyonda flavonoid madde miktarını artırarak etkilerini göstermişler en düşük değer 0.24 mg QE/g TA ile 0 mM SA+0 µM GR24'den elde edilmiştir. SA+GR24 uygulamalarının 3 güne bir sulanan fidelerde etkisi olmaz iken 6 güne bir sulanan fidelerde önemli artışa sebep olduğu görülmüştür. Denemede en yüksek flavonoid miktarı (0.62 mg QE/g TA) 6-0.05 mM SA+1µM GR24 uygulamasından elde edilirken diğer uygulamalardan düşük değerler elde edilmiştir (Çizelge 4.24). Flavonoidler enzimatik olmayan ROT'ları temizleme yollarından biri olarak bilinmektedir (Çetinkaya ve ark., 2017). Ekzojen olarak uygulanan hormon ve bitki büyüme düzenleyicileri bitkideki flavonoid miktarını, konsantrasyona ve verilen maddenin türüne bağlı olarak bazen artırabilmekte bazen azaltmaktadır (Sharifi ve Bidabadi 2020; Kulak, 2021). Bulgularımıza göre SA+GR24 birlikte uygulanması kontrol gruplarında herhangi bir etkiyi göstermese de stres sırasında flavonoid miktarını olumlu yönde etkilemiştir.

6 gün aralıklarla sulanan fidelerden 3 gün aralıkla sulanan fidelere göre daha yüksek DPPH oranları (%91.16) elde edilmiştir (Çizelge 4.24). DPPH süpürme etkisinde kontrol gruplarından 3-0.05 mM SA+ 0.5 µM GR24 uygulaması, stres gruplarından ise 6-0.05 mM SA+1 µM GR24 uygulaması daha etkili sonuç vermiştir. En yüksek DPPH süpürme oranı (%93.22) 6-0.05 mM SA+1µM GR24 uygulamasından ve en düşük oran (%84.59) 3-0.05 mM SA +1 µM GR24 uygulamasından elde edilmiştir. Sonuç olarak ekzojen uygulamalardan 0.05 mM SA+1µM GR24 uygulamasının stres şartlarında DPPH aktivitesini artırmada daha da etkili olduğu görülmektedir. Shirani Bidabadi ve Sharifi (2021) *D. kotschy*'de yüksek antioksidan aktiviteyi (%95.12) bitkiler kuraklık koşullarına maruz kaldığında gözlemlemişlerdir. *D. kotschy*'nin yüksek antioksidan aktivitesi, MeJA ve SL'nin birlikte ekzojen uygulamasıyla önemli ölçüde azalmıştır. SL uygulamasının antioksidan aktivitenin azaltılmasında MeJA uygulamasından daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. İlginç bir şekilde, iyi sulanan koşullar altında yetiştirilen bitkilerin bu fitohormonlarla muamele edilmesi, kuraklık stresi koşullarının tam tersi olan, gelişmiş bir

antioksidan aktivite ile sonuçlanmıştır (Shirani Bidabadi ve Sharifi, 2021). Su stresi altında DPPH radikal temizleme aktivitesinin arttığını belirten Sales ve ark. (2017) ve Kowitcharoen ve ark. (2018)'nin bulguları sonuçlarımızı desteklemektedir. Verilerimize göre, su stresine maruz kalındığında toplam fenol içeriği ve toplam antioksidan aktivite önemli ölçüde artmıştır. Sonuçlarımız su stres koşullarıyla başa çıkmak ve H₂O₂ gibi reaktif oksijen türlerini temizlemek için bitkinin toplam fenol içeriği ve DPPH oranını artırarak antioksidan savunma sistemini güçlendirdiği şeklinde yorumlanabilir.

4.8. SA ve GR24 uygulamalarının su stresi altındaki *M. piperita* fidelerinde uçucu yağ bileşenleri üzerine etkisi

4.8.1. SA uygulamalarının uçucu yağ bileşenleri üzerine etkisi

SA uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen uçucu yağ bileşenlerine ait ortalamalar Çizelge 4.25'te verilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda SA uygulaması yapılarak yetiştirilen *M. piperita*'dan elde edilen uçucu yağlarda GC/MS cihazı ile 25 adet bileşen aydınlatılmıştır (Çizelge 4.25). Nanede %5 ve üzeri temel uçucu yağ bileşenler olarak belirlenen mentol, menton, mentofuran, pulegon ve 1.8-Sineol (okaliptol) için ayrıca istatistiksel analiz yapılmış ve değerlendirilmiştir (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.25. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde uçucu yağ bileşenlerinin oranına etkisi (%)

	Çıkış Zamanı	Bileşenler	3-0 mM	3-0.05 mM	3-0.25 mM	6-0 mM	6-0.05 mM	6-0.25 mM
1	11.60	Limonen	1.47	1.76	1.66	1.44	1.21	1.33
2	12.11	γ -Terpinen	0.18	0.32	0.22	0.27	-	0.18
3	12.63	1.8-Sineol	7.75	7.76	7.58	6.81	5.11	5.96
4	13.05	p-Simen	0.64	0.77	0.74	0.94	0.96	1.14
5	13.51	Metilbutil-2-izovalerat	-	0.26	0.15	0.22	0.22	0.22
6	14.31	3-Oktanöl	0.21	0.64	0.36	0.28	0.35	0.31
7	15.22	Sikloktanön	-	0.33	0.33	-	-	-
8	15.95	Trans sabinen hidrat	1.75	1.64	1.45	1.27	1.37	1.33
9	16.11	Mentofuran	15.04	16.22	19.64	18.86	14.21	15.15
10	16.86	β farnesen	0.34	0.35	0.32	0.57	0.36	0.31
11	16.96	Mentil asetat	0.58	0.75	0.69	1.44	1.31	1.05
12	17.23	β -Karyofilen	0.64	0.63	0.64	0.54	0.55	0.41
13	17.32	Levomentöl	0.52	0.69	0.67	1.08	1.18	1.35
14	17.49	Menton	21.13	18.31	19.25	16.98	18.22	20.94
15	18.05	Mentöl	7.96	8.52	8.40	9.03	12.18	11.87
16	18.60	Germakren D	-	-	-	-	-	0.71
17	18.61	β -Kopaen	0.87	1.11	1.03	-	-	-
18	18.61	β -Kuveben	-	-	-	0.82	0.82	-
19	18.99	α -Terpineöl	0.99	1.02	0.91	0.93	0.85	0.88
20	19.34	cis-Izopulegon	0.59	0.73	0.68	0.46	0.48	0.42
21	19.84	Pulegon	36.00	34.40	31.28	31.98	35.04	32.99
22	23.40	Viridifloröl	-	-	1.47	-	0.78	0.61
23	23.41	Valensen	0.75	0.71	-	2.39	-	-
24	24.15	Karyofilen oksit	1.15	1.23	1.09	1.42	1.65	1.35
25	32.69	2.4-Dietilanizöl	-	0.27	0.37	-	0.21	0.02

SA uygulanmalarının %5 ve üzeri belirlenen uçucu yağ bileşenlerine etkisine ait analiz sonuçları değerlendirildiğinde sulama sıklıkları, konsantrasyonlar, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.26. SA uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* uçucu yağının ana bileşenlerine etkisi (%)

Faktörler		1.8-Sineol	Mentofuran	Menton	Mentol	Pulegon
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	7.70 ± 0.08 ^a	16.96 ± 0.09 ^a	19.56 ± 0.11 ^a	8.29 ± 0.05 ^b	33.89 ± 0.05 ^a
	6 gün	5.96 ± 0.08 ^b	16.07 ± 0.09 ^b	18.71 ± 0.11 ^b	11.03 ± 0.05 ^a	33.33 ± 0.05 ^b
Konsantrasyon (K)	0 mM SA	7.28 ± 0.10 ^a	16.97 ± 0.11 ^a	19.05 ± 0.14 ^b	8.50 ± 0.07 ^b	33.99 ± 0.06 ^b
	0.05 mM SA	6.44 ± 0.10 ^b	15.21 ± 0.11 ^b	18.26 ± 0.14 ^c	10.35 ± 0.07 ^a	34.72 ± 0.06 ^a
	0.25 mM SA	6.77 ± 0.10 ^b	17.40 ± 0.11 ^a	20.09 ± 0.14 ^a	10.14 ± 0.07 ^a	32.13 ± 0.06 ^c
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA	7.75 ± 0.14 ^a	15.04 ± 0.15 ^{cd}	21.13 ± 0.20 ^a	7.96 ± 0.09 ^d	36.00 ± 0.09 ^a
	3-0.05 mM SA	7.76 ± 0.14 ^a	16.22 ± 0.15 ^b	18.31 ± 0.20 ^b	8.52 ± 0.09 ^{bc}	34.40 ± 0.09 ^c
	3-0.25 mM SA	7.58 ± 0.14 ^{ab}	19.64 ± 0.15 ^a	19.25 ± 0.20 ^b	8.40 ± 0.09 ^{cd}	31.28 ± 0.09 ^f
	6-0 mM SA	6.81 ± 0.14 ^b	18.86 ± 0.15 ^a	16.98 ± 0.20 ^c	9.03 ± 0.09 ^b	31.98 ± 0.09 ^e
	6-0.05 mM SA	5.11 ± 0.14 ^d	14.21 ± 0.15 ^d	18.22 ± 0.20 ^b	12.18 ± 0.09 ^a	35.04 ± 0.09 ^b
	6-0.25 mM SA	5.96 ± 0.14 ^c	15.15 ± 0.15 ^c	20.94 ± 0.20 ^a	11.87 ± 0.09 ^a	32.99 ± 0.09 ^d
Anova		p-değeri				
S		0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
K		0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
SxK		0.003	0.000	0.000	0.000	0.000

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Sulama sıklıklarının 1.8-Sineol bileşeni üzerine etkisi incelendiğinde 6 gün aralıklı sulamalarda 1.8 cineol oranının düşük (%5.96) 3 gün aralıklı sulamalarda yüksek (%7.70) olduğu görülmektedir. Konsantrasyonların etkisi dikkate alındığında her iki SA konsantrasyonundan düşük 1.8-Sineol elde edilmiştir (Çizelge 4.26). Çizelge 4.26'ya göre tüm uygulamalar arasında %7.75 ile 3-0 mM SA ve %7.76 ile 3-0.05 mM SA uygulamalarından daha yüksek 1.8-Sineol oranı, %5.11 ile 6-0.05 mM SA uygulamasından en düşük 1.8-Sineol oranı elde edilmiştir.

Mentofuran değerlerinin 3 gün aralıklı sulamalarda %16.96 ile 6 gün aralıklı sulamalardan (%16.07) daha yüksek olduğu görülmüştür. 0.05 mM SA uygulamasından düşük mentofuran oranı (%15.21) elde edilmiş olup kontrol grubu ve 0.25 mM SA uygulanan bitkilerde mentofuran oranı benzer bulunmuştur. 3 günde bir sulanan fidelerde SA uygulamaları mentofuran oranını artırırken 6 günde bir sulanan fidelerde SA uygulamalarının mentofuran oranını düşürdüğü görülmektedir. SA verilmeyen stres fidelerinin mentofuran oranı kontrol fidelerine göre artmıştır. Mentofuran yüzde oranları değerlendirildiğinde en yüksek oran %19.64 ile 3-0.25 mM SA ve %18.86 ile 6-0 mM SA uygulamalarından, en düşük oran ise %14.21 ile 6-0.05 mM SA uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.26'da 3 gün aralıklı sulamalardan 6 gün aralıklı sulamalara göre daha yüksek menton oranı (%19.56) elde edildiği görülmektedir. Konsantrasyonların etkisi dikkate alındığında 1 mM SA konsantrasyonundan yüksek menton oranı (%20.09) elde edilmiştir. SxK interaksyonu değerlendirildiğinde 3 gün aralıklar ile sulanan fidelerde SA uygulamaları ile menton oranı düşmüş olup stres bitkilerinde ise SA konsantrasyonu arttıkça menton oranı da artmıştır. En yüksek menton oranı %21.13 ile 3-0 mM SA ve %20.94 ile 6-0.25 mM SA uygulamalarından elde edilirken en düşük menton oranı %16.98 ile 6-0 mM SA uygulamasından elde edilmiştir.

Uygulamaların mentol bileşenine etkileri incelendiğinde stres ile birlikte mentol oranı artmış 6 gün aralıklı sulanan uygulamalardan 3 gün aralıklı sulanan uygulamalara göre daha yüksek mentol oranı (%11.03) elde edilmiştir. SA uygulamaları her iki konsantrasyonda etkili sonuç vererek mentol oranını artırmıştır. Mentolde 6-0.05 mM SA (%12.18) ve 6-0.25 mM SA (%11.87) uygulamalarından en yüksek mentol değeri, 3-0 mM SA uygulamasında ise diğer uygulamalara oranla daha düşük mentol değeri (%7.96) elde edilmiştir.

Denemede 3 güne bir sulama sıklığındaki uygulamalardan 6 gün aralıklı sulamaya göre daha yüksek pulegon oranı (%33.89) elde edilmiştir. Konsantrasyonlardan 0.05 mM SA pulegon oranını (%34.72) artırmış aksine 0.25 mM SA pulegon oranını (%32.13) azaltmıştır. Su stresi x SA interaksyonunda 3 güne bir sulama sıklığında pulegon oranı azalırken 6 güne bir sulama sıklığında pulegon oranı artmıştır. En yüksek pulegon oranı %36 ile 3-0 mM SA uygulamasından ve en düşük pulegon oranı ise %31.28 ile 3-0.25 mM SA uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.26).

Çalışmamızda uçucu yağ bileşenlerinden 3 güne bir sulama sıklığında 1.8-Sineol, mentofuran, menton ve pulegon oranlarında yüksek değerler elde edilirken 6 güne bir sulama sıklığında mentol oranlarında daha yüksek değerler almıştır. Su stresi mentofuran ve mentol oranlarını artırırken diğer bileşenlerin oranını azaltmıştır. Ekzojen SA uygulanması 3 günde bir sulama sıklığında mentofuran oranlarını artırırken 6 günde bir sulama sıklığında menthon, mentol ve pulegon oranlarında artış sağlamıştır.

M. piperita'nın kimyasal bileşimi, mentol, menton, metil asetat, mentofuran ve okaliptol gibi monoterpenlerin varlığı ile karakterize edilmektedir (Pino ve ark., 2002; Agarwal, 2008; Samber ve ark., 2015). Baskın monoterpen bileşenlerin bitki gelişme aşamasına göre değiştiğini gözlemlemek için yapılan araştırmada ana uçucu yağlar menton

(%38.2), pulegon (%20.21) (Abdi ve ark., 2019a), mentil asetat (%35.01-55.68), mentol (%11.28-42.32) (Scavroni ve ark., 2005) olarak tespit edilmiştir. Aflatuni (2005) *M. piperita* orijinlerindeki mentol içeriğinin %9.8-26.2 arasında, Kızıl ve ark. (2010) nane çeşitlerinin mentol içeriğinin %10 ile %63 arasında ve menton içeriğinin %12 ile %76 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Nane uçucu yağının içeriği arasındaki farklılıklar, bitkinin coğrafi kökenine, genetiğine, yetiştirildiği iklime, toprak türüne, hasat zamanına, kurutma yöntemlerine ayrıca yağın çıkarılmasında kullanılan ekstraksiyon yöntemine bağlanmaktadır (Singh ve ark., 2015; Beigi ve ark., 2018; Jahani ve ark., 2021).

Menton, pulegon redüktazın etkisiyle sentezlenen bir monoterpendir. Pulegon, mentol biyosentezinde bir dallanma noktasıdır ve mentonla birlikte birçok bileşik üretir (Mishra ve ark., 2021). Pulegon redüktazın çeşitli faktörler ile değişimi bileşen oluşumunu etkilemektedir. Haydari ve ark. (2019) sıcaklık stresinin *M. piperita* bitkisine etkileri üzerine çalıştıkları denemelerinde sıcaklık arttıkça mentolün azaldığını ve pulegonun arttığını belirtmiştir. Burbott ve Loomis (1967), *M. piperita* bitkilerinde gece sıcaklığının yağ bileşimi üzerinde çarpıcı bir etkisi olduğu sonucuna varmışlardır. Sıcak gecelerin (25°C) nispeten oksitlenmiş mentofuran ve pulegon bileşiklerini desteklediğini belirtmişlerdir.

Sullivan ve ark. (1979) ve Voirin (1989), pulegonun genç nane yapraklarında bulunduğunu ve yapraklar olgunlaştıkça mentole metabolize olduğunu belirtmişlerdir. Nane uçucu yağ verimi üzerinde yapılan çeşitli araştırmalar çiçek açmış bitkilerde hem uçucu yağ veriminin %20 oranında arttığını hem de elde edilen uçucu yağda toplam mentol yüzdesinin yükseldiğini belirtilmektedir (Tanker ve ark., 1976). Çalışmamızda da fidelerin çiçeklenme öncesi hasat edilmesi düşük mentol verimine sebep olmuştur. Jahani ve ark. (2021) *M. piperita* bitkisine su stresinde çinko ve SA uygulamışlar, SA'nın su eksikliğinde ikincil metabolitlerin üretimini düzenlenleyerek mentol ve menton üretimini arttırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca Ahmad ve ark. (2018) *M. piperita* bitkisine kadmiyum stresi uygulayıp ekzojen SA vererek yapmış oldukları çalışmalarında stres durumunda SA uygulanan bitkilerin stres ile daha kolay başa çıktığı ve SA'nın mentol ve menton uçucu yağ bileşen oranlarını artırdığını tespit etmişlerdir. Sonuçlarımızda da SA uygulamalarının normal şartlarda ve stres durumunda mentol üretimini artırdığı görülmektedir.

4.8.2. GR24 uygulamalarının uçucu yağ bileşenleri üzerine etkisi

GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen uçucu yağ bileşenlerine ait ortalamalar Çizelge 4.27’de verilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda GR24 uygulaması yapılarak yetiştirilen *M. piperita*’dan elde edilen uçucu yağlarda GC/MS cihazı ile 29 adet bileşen aydınlatılmıştır (Çizelge 4.27). *M. piperita*’da %5 ve üzeri temel uçucu yağ bileşenler olarak belirlenen mentol, menton, mentofuran, pulegon ve 1.8-Sineol için ayrıca istatistiksel analiz yapılmış ve değerlendirilmiştir (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.27. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde uçucu yağ bileşenlerinin oranına etkisi (%)

	Çıkış Zamanı	Bileşenler	3-0 µM	3-0.5 µM	3-1 µM	6-0 µM	6-0.5 µM	6-1 µM
1	11.60	Limonen	1.21	0.89	1.17	1.01	1.18	0.88
2	11.85	α -Pinen	0.11	-	-	-	0.09	-
3	12.11	γ-Terpinen	0.11	-	-	-	-	-
4	12.63	1.8-Sineol	6.77	6.38	7.13	7.16	7.00	6.98
5	13.05	p-Simen	0.36	0.31	0.28	0.34	0.39	0.21
6	13.51	Metilbütıl-2-izovalerat	0.18	0.14	0.11	0.16	0.17	0.15
7	14.31	3-Oktanól	0.31	0.32	0.31	0.32	0.36	0.32
8	14.90	1-Okten-3-ol	-	0.10	-	-	0.12	-
9	15.22	Etanone, 1-sikloheksil-	0.07	0.10	0.13	-	0.11	-
10	15.95	Trans sabinen hidrat	1.52	1.64	1.60	-	1.48	1.44
11	15.95	γ-Terpinen	-	-	-	1.42	-	-
12	16.11	Mentofuran	22.91	22.76	19.82	21.91	21.18	24.82
13	16.86	β farnesen	0.33	0.34	0.29	0.22	0.29	0.31
14	16.96	Mentil asetat	0.48	0.61	0.49	0.62	0.51	0.85
15	17.23	β-Karyofilen	0.74	0.52	0.65	0.51	0.42	0.55
16	17.32	Levomentol	0.76	0.72	-	0.79	-	0.90
17	17.32	(+)-Neoizomentol	-	-	0.72	-	0.67	-
18	17.49	Menton	31.09	31.98	31.87	30.00	30.83	27.96
19	18.05	Mentol	13.15	12.20	15.12	15.01	12.23	15.02
20	18.60	β-kopaen	1.72	1.41	-	-	1.19	1.48
21	18.61	β-kuveben	-	-	1.28	1.46	-	-
22	18.99	α-terpineol	0.86	0.91	0.69	0.96	0.81	0.73
23	19.34	cis-Izopulegon	0.30	0.22	0.31	-	0.25	-
24	19.84	Pulegon	15.54	17.62	15.16	17.05	19.12	16.98
25	21.52	d-Piperiton	0.17	0.16	0.14	0.15	0.14	-
26	23.39	Valensen	0.49	-	-	-	-	-
27	23.39	Viridiflorol	-	0.31	0.70	-	-	-
28	23.39	γ-Gurjunen	-	-	-	-	-	0.26
29	23.40	Alloaromadendren	-	-	-	0.27	0.28	-

GR24 uygulamalarının 1.8-Sineol, menton ve mentol bileşenlerinde sulama sıklıkları, konsantrasyonlar, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Mentofuran bileşeninde konsantrasyon istatistiksel olarak önemsiz, sulama sıklıkları ve sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Pulegon bileşeninde sulama sıklığı ve konsantrasyon önemli, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.28. GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* uçucu yağının ana bileşenlerine etkisi (%)

Faktörler		1.8-Sineol	Mentofuran	Menton	Mentol	Pulegon
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	6.76 ± 0.07 ^b	21.83 ± 0.12 ^b	31.65 ± 0.06 ^a	13.49±0.08 ^b	16.11±0.08 ^b
	6 gün	7.04 ± 0.07 ^a	22.63 ± 0.12 ^a	29.59 ± 0.06 ^b	14.09±0.08 ^a	17.72±0.08 ^a
Konsantrasyon (K)	0 µM GR24	6.96 ± 0.08 ^{ab}	22.41 ± 0.15	30.54 ± 0.07 ^b	14.08±0.10 ^b	16.30±0.10 ^b
	0.5 µM GR24	6.69 ± 0.08 ^b	21.97 ± 0.15	31.40 ± 0.07 ^a	12.22±0.10 ^c	18.37±0.10 ^a
	1 µM GR24	7.05 ± 0.08 ^a	22.32 ± 0.15	29.91 ± 0.07 ^c	15.07±0.10 ^a	16.07±0.10 ^b
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 µM GR24	6.77 ± 0.12 ^{ab}	22.91 ± 0.21 ^b	31.09 ± 0.10 ^b	13.15±1.14 ^b	15.54 ± 0.14
	3-0.5 µM GR24	6.38 ± 0.12 ^b	22.76 ± 0.21 ^b	31.99 ± 0.10 ^a	12.20±1.14 ^c	17.62 ± 0.14
	3-1 µM GR24	7.13 ± 0.12 ^a	19.82 ± 0.21 ^d	31.87 ± 0.10 ^a	15.12±1.14 ^a	15.16 ± 0.14
	6-0 µM GR24	7.16 ± 0.12 ^a	21.91 ± 0.21 ^c	29.99 ± 0.10 ^c	15.01±1.14 ^a	17.05 ± 0.14
	6-0.5 µM GR24	6.99 ± 0.12 ^{ab}	21.18 ± 0.21 ^c	30.83 ± 0.10 ^b	12.23±1.14 ^c	19.12 ± 0.14
	6-1 µM GR24	6.98 ± 0.12 ^{ab}	24.82 ± 0.21 ^a	27.96 ± 0.10 ^d	15.02±1.14 ^a	16.98 ± 0.14
Anova		p-değeri				
S		0.027	0.003	0.000	0.002	0.000
K		0.049	0.168	0.000	0.000	0.000
SxK		0.043	0.000	0.000	0.001	0.486

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Çizelge 4.28'e göre 3 gün aralıklı sulamalardan 6 gün aralıklı sulamalara göre daha düşük 1.8-Sineol oranı (%6.76) elde edildiği görülmektedir. Konsantrasyonların etkisi değerlendirildiğinde 1 µM GR24'ten daha yüksek 1.8-Sineol oranı (%7.05) elde edilmiştir. Sulama sıklığı x GR24 interaksyonunda 3 günde bir sulanan fidelerden 3-1 µM GR24 uygulaması 1.8-Sineol oranını artırmış fakat 6 günde bir sulanan fidelerde GR24'ün iki uygulaması da 1.8-Sineol oranını azaltmıştır. Tüm uygulamalara oranla 3-1 µM GR24 ve 6-0 µM GR24 (sırasıyla %7.13 ve %7.16) uygulamalarından daha yüksek 1.8-Sineol oranları elde edilirken, 3-0.5 µM (%6.38) uygulamasından ise daha düşük 1.8-Sineol oranı elde edilmiştir.

Mentofuran oranları 6 gün aralıklı sulamalarda daha yüksek (%22.63) olarak elde edilmiştir. Su sıklığı x GR24 interaksyonunda 3 gün aralıklı sulanan bitkilerde konsantrasyon arttıkça mentofuran oranı düşmüş, 6 gün aralıklı sulanan bitkilerde ise yüksek GR24 konsantrasyonunda mentofuran oranı artmıştır. Çalışmada en yüksek mentofuran oranı %24.82 ile 6-1 µM GR24 uygulamasından, en düşük oran ise %19.82 ile 3-1 µM GR24 uygulamasından elde edilmiştir.

Denemede 3 gün aralıklı sulanan bitkilerden 6 gün aralıklı sulanan bitkilere göre daha yüksek menton oranı (%31.65) elde edilmiştir. Konsantrasyonlardan 0.5 µM GR24 menton oranını (%31.40) artırmış, 1 µM GR24 menton oranını (%31.40) düşürmüştür. Su sıklığı x GR24 interaksyonunda 3 gün aralıklı sulanan fidelerde GR24 uygulamaları menton oranını artırmış olup strese ise 6-0.5 µM GR24 menton oranını yükseltmiştir. 3-0.5 µM GR24 ve 3-1 µM GR24 uygulamalarından en yüksek menton oranı (%31.99; %31.87) ve 6-1 µM GR24 uygulamasında en düşük menton oranı (%27.96) elde edilmiştir.

Denemede 6 günlük sulama sıklığına sahip fidelerin mentol oranları (%14.09) 3 günlük sulama sıklığındaki fidelere oranla (%13.49) daha yüksek bulunmuştur. GR24 konsantrasyonları değerlendirildiğinde 0.5 µM GR24 uygulaması mentol oranını (%12.22) düşürürken, 1 µM GR24 uygulaması mentol oranını (%15.07) yükseltmiştir. Su sıklığı x GR24 interaksyonu incelendiğinde GR24 uygulamalarının mentol bileşeninde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Yapılan çalışmada 6 gün aralıkla sulanan fidelerden 3 gün aralıkla sulananlara göre daha yüksek pulegon oranı (%17.72) elde edilmiştir. Hem 3 gün aralıkla sulanan fidelerde hem de 6 gün aralıkla sulanan fidelerden elde edilen pulegon oranının 0.5 µM GR24 uygulaması ile arttığı saptanmıştır.

GR24 uygulamalarında ana bileşen olarak menton bulunmuştur. Sonuçlarımıza uygun olarak Moghaddam ve ark. (2013) *M. piperita*'nın uçucu yağının bileşenleri üzerine yaptıkları çalışmalarında %30.63 oranıyla mentonu ana bileşeni olarak belirlemişlerdir. Orav ve ark (2013) menton oranını %13.6-31.9 aralığında tespit etmiştir. Genç yapraklar esas olarak mentofuran, pulegon ve menton içermekte; bitki gelişme döneminde ilk iki bileşik hızla yok olurken, menton ana bileşik haline gelmektedir. Daha sonra yaşlı yapraklarda mentol hızla artarken menton azalmaktadır (Voirin ve ark., 1990). Ayrıca artan N uygulaması ile *M. piperita* ve *M. canadensis* bitkilerinde mentol oranında bir azalma ve menton ve mentil asetat oranlarında bir artış bulunduğu bildirilmiştir (Aflatuni, 2005).

Muray ve ark. (1986) sıcaklık, ışık şiddeti ve fotoperiyot gibi bitki biyosentezini etkileyen faktörlerin mentol seviyesini de etkilediğini belirtmiştir. Clark ve Menary (1980) farklı sıcaklık ve farklı ışık yoğunluğunun *M. piperita* üzerine etkisini kontrol ettikleri çalışmalarında yüksek gece sıcaklığında ($20\pm2^{\circ}\text{C}$) uçucu yağ bileşen oranlarını %5.01 okaliptol, %49.33 menton, %18.49 mentofuran, %6.30 mentol şeklinde bulmuşlardır. Deneme alanımız olan iklimlendirme odasının gece gündüz sıcaklığının sabit olması ve ışık şiddetinin yetersizliğinden dolayı mentol içeriği düşük olmuş, Clark ve Menary (1980)'e uyumlu sonuçlar bulunmuştur.

Hudu (2021) *Origanum onites* L. bitkisinin in vitro ortamda GR24 uygulamalarının uçucu yağ bileşenleri (karvakrol ve timol) üzerine etkisini belirlemek için yapmış olduğu çalışmada bitkiye farklı konsantrasyonlarda GR24 vermiştir. Uçucu yağ bileşenlerine ait sonuçlarında karvakrol ve timol bileşenlerinde konsantrasyon arttıkça bileşen oranında düzenli bir artış yakalayamamıştır. Aksine farklı bir çalışmada SL uygulamasının artan seviyelerinin *Salvia nemorosa*'da uçucu yağ içeriğini ve uçucu yağ verimini olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir (Sharifi ve Bidabadi, 2020).

4.8.3. SA+GR24 uygulamalarının uçucu yağ bileşenleri üzerine etkisi

SA+GR24 uygulanan ve farklı sıklıklarda sulama yapılan *M. piperita* fidelerinden elde edilen uçucu yağ bileşenlerine ait ortalamalar Çizelge 4.29'da verilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda SA+GR24 uygulaması yapılarak yetiştirilen *M. piperita*'dan elde edilen uçucu yağlarda GC/MS cihazı ile 27 adet bileşen aydınlatılmıştır (Çizelge 4.29). Nanede %5 ve üzeri temel uçucu yağ bileşenler olarak belirlenen mentol, menton, mentofuran, pulegon ve 1.8-Sineol için ayrıca istatistiksel analiz yapılarak oranları değerlendirilmiştir (Çizelge 4.30).

Çizelge 4.29. SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* fidelerinde uçucu yağ bileşenlerinin oranına etkisi (%)

			3-0	3-0.05	3-0.05	6-0	6-0.05	6-0.05
	Çıkış	Bileşenler	mM+	mM	mM+1	mM+	mM+	mM+1
	Zamanı		0 µM	+0.5 µM	µM	0 µM	0.5 µM	µM
1	11.60	Limonen	0.94	1.79	0.96	0.82	1.08	1.17
2	11.87	delta-3-karen	-	0.10	-	0.05	-	-
3	12.11	γ-Terpinen	-	0.32	-	-	0.09	-
4	12.51	Terpinolen	-	0.04	-	0.02	-	-
5	12.63	1.8-Sineol	5.18	8.00	6.04	4.17	4.19	4.18
6	13.05	p-Simene	0.24	0.72	0.18	0.29	0.33	0.27
7	13.51	Metilbutil-2-izovalerat	0.08	0.15	-	0.19	0.13	0.13
8	14.31	3-Oktanöl	0.20	0.41	0.19	0.21	0.19	0.20
9	15.95	Trans sabinen hidrat	1.22	1.62	1.40	1.40	1.15	1.23
10	16.11	Mentofuran	36.00	29.21	34.10	25.81	33.00	32.96
11	16.86	β farnesen	0.39	0.33	0.35	0.46	0.53	0.49
12	16.96	Mentil asetat	0.43	0.74	-	0.92	0.97	1.04
13	17.23	β-Karyofilen	1.32	0.60	0.63	0.61	0.93	0.92
14	17.32	Levomentol	-	0.73	-	1.20	-	-
15	17.32	(+)-Neoizomentol	-	-	-	-	1.18	1.18
16	17.49	Menton	20.79	20.17	23.18	25.24	19.02	20.90
17	18.05	Mentol	6.02	8.78	6.90	9.78	8.07	9.07
18	18.61	Germakren D	-	-	-	-	1.77	-
19	18.61	β-Kuveben	-	-	1.22	1.39	-	-
20	18.62	β-Kopaen	1.68	1.08	-	-	-	1.48
21	18.99	α - Terpineol	1.00	1.01	0.91	0.64	0.82	0.61
22	19.34	cis-Izopulegon	0.16	0.54	0.21	0.14	0.28	0.13
23	19.84	Pulegon	20.94	19.90	20.88	22.17	24.15	22.12
24	20.92	Sitral	0.53	-	0.37	-	-	-
25	23.39	Valensen	0.41	0.77	0.19	1.11	-	-
26	23.40	Viridiflorol	-	-	-	-	0.46	0.37
27	24.15	Karyofilen oksit	0.85	1.38	0.68	0.85	0.83	0.75

SA+GR24 uygulamasının nane uçucu yağının ana bileşenlerine etkisine ait analiz sonuçlarından; tüm bileşenlerin sulama sıklığı, konsantrasyon, sulama sıklığı x konsantrasyon interaksiyonunun istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir (Çizelge 4.30).

Çizelge 4.30 SA+GR24 uygulamalarının farklı sulama koşulları altındaki *M. piperita* uçucu yağının ana bileşenlerine etkisi (%)

Faktörler		1.8-Sineol	Mentofuran	Menton	Mentol	Pulegon
Sulama Sıklığı (S)	3 gün	6.40 ± 0.08 ^a	33.10 ± 0.07 ^a	21.38 ± 0.10 ^b	7.23 ± 0.08 ^b	20.57 ± 0.07 ^b
	6 gün	4.18 ± 0.08 ^b	30.59 ± 0.07 ^b	21.72 ± 0.19 ^a	8.97 ± 0.08 ^a	22.82 ± 0.07 ^a
Konsantrasyon (K)	0 mM SA+0 µM GR24	4.67 ± 0.10 ^b	30.90 ± 0.09 ^b	23.01 ± 0.12 ^a	7.90 ± 0.10 ^b	21.55 ± 0.09 ^b
	0.05 mM SA+0.5 µM GR24	6.09 ± 0.10 ^a	31.10 ± 0.09 ^b	19.59 ± 0.12 ^c	8.42 ± 0.10 ^a	22.03 ± 0.09 ^a
	0.05 mM SA+1 µM GR24	5.11 ± 0.10 ^b	33.53 ± 0.09 ^a	22.04 ± 0.12 ^b	7.98 ± 0.10 ^b	21.50 ± 0.09 ^b
Sulama sıklığı* Konsantrasyon (SxK)	3-0 mM SA+0 µM GR24	5.18 ± 0.15 ^c	35.99 ± 0.12 ^a	20.79 ± 0.17 ^c	6.02 ± 0.14 ^c	20.94 ± 0.13 ^c
	3-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	7.99 ± 0.15 ^a	29.21 ± 0.12 ^d	20.17 ± 0.17 ^c	8.78 ± 0.14 ^{bc}	19.90 ± 0.13 ^d
	3-0.05 mM SA+1 µM GR24	6.04 ± 0.15 ^b	34.10 ± 0.12 ^b	23.18 ± 0.17 ^b	6.90 ± 0.14 ^d	20.88 ± 0.13 ^c
	6-0 mM SA+0 µM GR24	4.17 ± 0.15 ^d	25.81 ± 0.12 ^c	25.24 ± 0.17 ^a	9.78 ± 0.14 ^a	22.17 ± 0.13 ^b
	6-0.05 mM SA+0.5 µM GR24	4.19 ± 0.15 ^d	32.99 ± 0.12 ^c	19.02 ± 0.17 ^d	8.07 ± 0.14 ^c	24.15 ± 0.13 ^a
	6-0.05 mM SA+1 µM GR24	4.18 ± 0.15 ^d	32.95 ± 0.12 ^c	20.90 ± 0.17 ^c	9.07 ± 0.14 ^{ab}	22.12 ± 0.13 ^b
Anova		p-değeri				
S		0.000	0.000	0.048	0.000	0.000
K		0.000	0.000	0.000	0.021	0.010
SxK		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

3: 3 günde bir sulanan bitkileri, 6: 6 günde bir sulanan bitkileri ifade etmektedir. P-değerleri p<0.05: önemli, p>0.05: önemsiz şeklinde yorumlanmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir.

Sulama sıklıklarının 1.8-Sineol bileşenine etkisi incelendiğinde 3 gün ara ile sulanan bitkilerden 6 gün ara ile sulanan bitkilere göre daha yüksek 1.8-Sineol oranı (%6.40) elde edilmiştir. Konsantrasyonlar değerlendirildiğinde 0.05 mM SA+0.5 µM GR24 ile daha yüksek 1.8-Sineol oranı (%6.09) elde edilmiştir. Su sıklığı x hormon etkileşiminde 3 gün aralıkla sulanan fidelerde GR24 uygulaması 1.8-Sineol oranını artırmış olup stres bitkilerinde ise etkisini gösterememiştir. 3-0.05 mM SA+0.5 µM GR24 uygulamasında en yüksek 1.8-Sineol oranı (%7.99) elde edilirken 6 günlük sulama sıklıklarında en düşük 1.8-Sineol oranları (%4.17; %4.19; %4.18) elde edilmiştir (Çizelge 4.30).

Denemede 3 güne bir sulama sıklıklarında yüksek mentofuran oranı (%33.10), 6 güne bir sulama sıklıklarında düşük mentofuran oranı (%30.59) elde edilmiştir. Konsantrasyon uygulamalarından 0.05 mM SA+1 µM GR24 uygulaması mentofuran oranını (%33.53) artırmıştır. Su sıklığı x hormon etkileşiminde 3 gün ara ile sulanan fidelerde mentofuran oranı düşmüş 6 gün ara ile sulamada artmıştır. En yüksek mentofuran oranı (%35.99) 3-0 mM SA+0 µM GR24 uygulamasından, en düşük mentofuran oranı (%25.81) ise 6-0 mM+0 µM uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.30).

Menton oranı 6 güne bir sulanan fidelerde yüksek değerler (%21.72), 3 güne bir sulanan fidelerde düşük değerler (%21.38) elde edilmiştir. Konsantrasyonlar menton oranını

düşürmüştür. İkili interaksyonda 3 güne bir sulanan fidelerde 3-0.05 mM SA+1 µM GR24 uygulaması menton oranını artırırken 6 güne bir sulanan fidelerde yapılan uygulamalar menton oranını azaltmıştır. Stres grubu olan ve uygulama yapılmayan 6-0 mM SA+0 µM GR24 uygulamasından en yüksek menton oranı (%25.24) ve 6-0.05 mM SA+0.5 µM GR24 uygulamasından en düşük menton oranı (%19.02) elde edilmiştir.

Mentol oranı 3 gün aralıklı sulanan bitkilerde 6 güne bir sulanan bitkilere göre daha düşük mentol oranı (%7.23) bulunmuştur. Konsantrasyonlar uygulamalarından 0.05 mM SA+0.5 µM GR24 mentol oranını (%8.42) artırmıştır. Su sıklığı x SA+GR24 interaksyonunda uygulanan 3 güne bir sulanan fidelerde mentol oranı artırmış 6 güne bir sulanan fidelerde düşürmüştür. En yüksek mentol oranı %9.78 ile 6-0 mM SA+0 µM GR24 uygulamasından en düşük mentol oranı ise %6.02 ile 3-0 mM SA+0 µM GR24 uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.30).

Çizelge 4.30'a göre 6 güne bir sulamalardan 3 güne bir sulamalara göre daha yüksek pulegon oranı (%22.82) elde edildiği görülmektedir. Konsantrasyonlar uygulamalarından 0.05 mM SA+0.5 µM GR24'ten yüksek pulegon oranı (%22.03) elde edilmiştir. Stres ile birlikte pulegon oranı artmıştır. 6 gün ara ile sulanan fidelerden 6-0.05 mM SA+0.5 µM GR24 uygulaması pulegon oranını artırmıştır. Denemede en düşük pulegon oranı %19.90 ile 3-0.05 mM SA+0.5 µM GR24 uygulamasından, en yüksek pulegon oranı %24.15 ile 6-0.05 mM SA+0.5 µM GR24 uygulamasından elde edilmiştir.

Diğer araştırmacılar gibi çalışmamızda nane yağının ana bileşenleri olarak mentol, menton, mentofuran, pulegon, okaliptol bulunmuş (Hussain ve ark., 2010; Verma ve ark., 2010; Çoban ve Baydar, 2017) olmasına karşın mentol oranının düşük olması genotipten ve agronomik şartlardan (iklim, toprak ve çeşitli tarımsal uygulamalar, hasat zamanı, bitki ekim zamanı, toprak verimliliği ve aynı ortamda yetiştirilen bitki miktarı gibi) etkilenmesinden dolayıdır (Özel ve Özgüven, 2001; Kılıç, 2019; Can, 2020). Üstelik ekzojen olarak yapılan uygulamalar bitki uçucu yağı içeriğini ve sahip olduğu bileşimi de etkileyebilmektedir (Kulak, 2016; Kahveci 2017; Kaya, 2017).

M. piperita bitkisinin uçucu yağ ana bileşeni mentol olmasına rağmen çalışmamızda pulegon, menton ve menthofuran miktarlarının daha fazla olması ve uygulamalar arasında ana bileşenlerin farklılık göstermesinin sebepleri her üç uygulamada da stolonların alım zamanının farklı olması ve dolayısıyla yaşlarının farklı olması (Özel ve Özeker, 2001), sulama miktarı (Rahimi ve ark., 2017), farklı gece sıcaklığı (Burbott ve Loomis, 1967;

Clark ve Menary, 1980) ve uygulamaların hasat zamanlarının farklılığı (Tanker ve ark., 1976; Voirin ve ark., 1990; Rahimi ve ark., 2017; Abdi ve ark., 2019a) olarak sıralanabilir.

Nanede uçucu yağ sentezini etkileyen faktörlerin araştırıldığı çalışmada hasat zamanının bileşenlerin oranına oldukça etkili olduğu bildirilmiştir. Çalışmada 30 ve 90 gün sonra elde edilen sonuçlarda yapraklarda mentonun-mentole dönüşümü zamanla kademeli bir şekilde azalmış, pulegone-menthofuran yolağının yoğunluğunda ise zamana bağlı olarak artış gözlenmiştir. Menthofuran ve pulegon genç yapraklarda daha yüksek bir seviyeye ulaşmıştır. Özellikle 69. günde en yüksek pulegon ve mentofuran oranları tespit edilmiştir (Voirin ve ark., 1990). Pulegon miktarının artmasının pulegonu mentona dönüştüren enzimin aktivitesinin azalmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Buna bağlı olarak da pulegondan sentezlenen mentofuranın miktarı da arttığı bildirilmiştir (Haydari ve ark., 2019). İklim faktörlerinin etkisinden bahseden araştırmacılar yüksek gün ve gece sıcaklığı, düşük ışık yoğunluğu ve düşük fotoperiyodun yüksek mentofuran ve düşük menton değerleri ile sonuçlandığını bildirmişlerdir (Burbott and Loomis, 1967; Clark ve Menary, 1980).

Rahimi ve ark. (2017) %75, %50, %25 TK ile sulanan *M. piperita* fidelerinde uçucu yağın ana bileşenlerini okaliptol (%3.96-%2.79), mentofuran (%32.51-%40.11), menton (%2.94-%6.97), mentol (%13.22-%22.67) ve pulegon (%11.53-15.91) olarak bulmuşlardır. Çalışmamızda su stresi uygulanan bitkilerde SA+GR24 uygulaması ile mentol miktarında artış meydana gelmiştir. Farklı SA uygulamalarına yanıt olarak uçucu yağ verimi ve bileşimlerdeki değişim üzerine çalışmalar (Saharkhiz ve Goudarzi, 2014; Shabrangi ve Jazi, 2014; Khanam ve Mohammad, 2017, 2018; Ahmad ve ark., 2018) mevcut olsa da uçucu yağ bitkilerine SL uygulamaları üzerine çalışmalar birkaç tane ile sınırlıdır (Sharifi ve Bidabadi, 2020; Hudu, 2021). SA+SL ile ilgili literatür ise bulunmamıştır.

4.9. SA ve GR24 uygulanan su stresi altındaki *M. piperita* fidelerinde incelenen tüm özelliklerin karşılaştırılması

Tez kapsamında su stresi şartlarında yetiştirilen *M. piperita*'da stresin etkilerini azaltabilecek en uygun uygulamayı tespit etmek amaçlandığından uygulamalardan elde edilen sonuçlar bu bölümde özetlenmiştir. Bu amaçla SA, GR24 ve SA+GR24 uygulanan ve 6 gün aralıkla sulanan *M. piperita* fidelerinden elde edilen istatistiksel analiz sonuçları hiçbir uygulamanın yapılmadığı stres grubu ile kıyaslanarak en iyi uygulama ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Uygulamaların nane verimi (bitki boyu, dal sayısı, yaprak alanı, taze-kuru yaprak-gövde ağırlık) üzerine etkileri Ek Şekil 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7’den incelendiğinde genel anlamda stresin bitki üzerindeki hasarını tamamen gideremedikleri görülmektedir.

Su stresine tolerans olarak 1 μ M GR24, 0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 ve 0.05 mM SA+1 μ M GR24 uygulamalarından daha düşük EC, 0.5 μ M GR24 ve 0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 uygulamalarından daha yüksek RWC içeriği elde edilmiştir (Ek Şekil 8, 9). Su stresi altında Mg, P, K minerallerinde 0.5 μ M GR24 uygulaması, N mineralinde 0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 uygulamasının daha etkili olduğu görülmüştür (Ek Şekil 10, 11, 12, 13). Fotosentetik pigmentlerden klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil miktarı 0.5 μ M GR24 ve 0.05 mM SA+1 μ M GR24 uygulamalarında daha fazla artmıştır. 0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 uygulamasının karotenoid miktarının artışında daha etkili olduğu gözlenmiştir (Ek Şekil 14, 15, 16, 17).

Çalışmada 0.5 μ M GR24 ve 1 μ M GR24 uygulamaları H_2O_2 içeriğini ve 0.5 μ M GR24 uygulaması MDA miktarını azaltmıştır (Ek Şekil 18, 19). Su eksikliği ile artan prolin miktarını 0.25 mM SA uygulaması ve SA+GR24 uygulamasının her iki konsantrasyonu daha da artırmıştır (Ek Şekil 20). Stres şartlarında toplam protein miktarına SA ve GR24 uygulamalarının etkisi olmazken 0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 birlikte uygulamasında toplam protein miktarında artış sağlanmıştır (Ek Şekil 21). 0.25 mM SA uygulamasının antioksidan enzim aktivitelerine etki ettiği ve yüksek CAT ve POX enzim aktivitesi elde edildiği görülmektedir (Ek Şekil 22, 23).

Toplam fenol, flavonoid ve DPPH temizleme aktivitesi incelendiğinde toplam fenol miktarına 0.05 mM SA uygulamasının, toplam flavonoid miktarına 0.05 mM SA, 0.05 mM SA+ 1 μ M GR24 uygulamalarının, DPPH temizleme aktivitesine 1 μ M GR24 ve 0.05 mM SA+ 1 μ M GR24 uygulamalarının olumlu etkisi görülmektedir (Ek Şekil 24, 25, 26). Sonuçlarımız uygulamaların su stresıyla başa çıkmak için bitkinin antioksidan savunma sistemini güçlendirdiğini göstermektedir.

Uçucu yağ içerisinde bulunan terpen bileşenlerinden menton oranını 0.5 μ M GR24 uygulaması ve mentol oranını 1 μ M GR24 uygulaması, mentofuran oranını 0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 uygulaması, pulegon oranını ise 0.05 mM SA uygulaması artırmıştır (Ek Şekil 27, 28, 29, 30, 31).

Stres uygulamalarından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde morfolojik ve verim parametrelerinde uygulamaların stresin etkisini gideremediği, çeşitli stres (MDA,

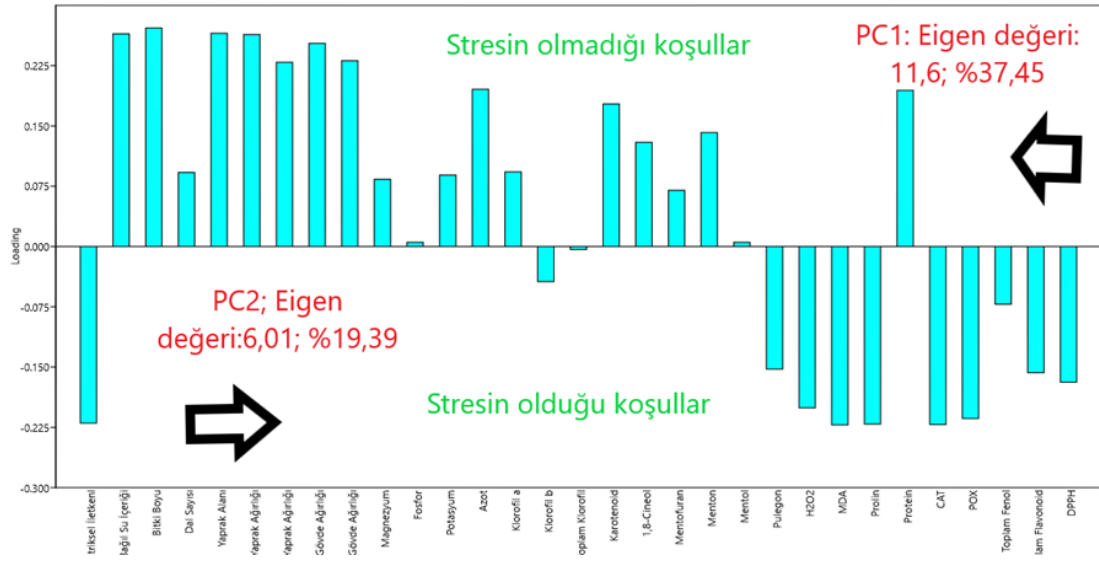
H₂O₂, RWC) ve fizyolojik parametrelerde (mineral madde miktarı, fotosentetik pigment miktarı) 6-0.5 μ M GR24 uygulamasının diğer uygulamalara göre daha öne çıktığı görülmüştür. Denemede çok fazla uygulama ve özellik olmasından dolayı en iyi uygulamayı daha iyi tespit edebilmek amacı ile temel bileşen analizi ve ısı haritası ile kümelenme analizi yapılmasına karar verilmiştir.

4.10. SA ve GR24 uygulanan *M. piperita* fidelerinde incelenen parametrelerin temel bileşen analizi (principal component analysis, PCA) ve ısı haritası (heat map clustering) yardımı ile kümelenmesi

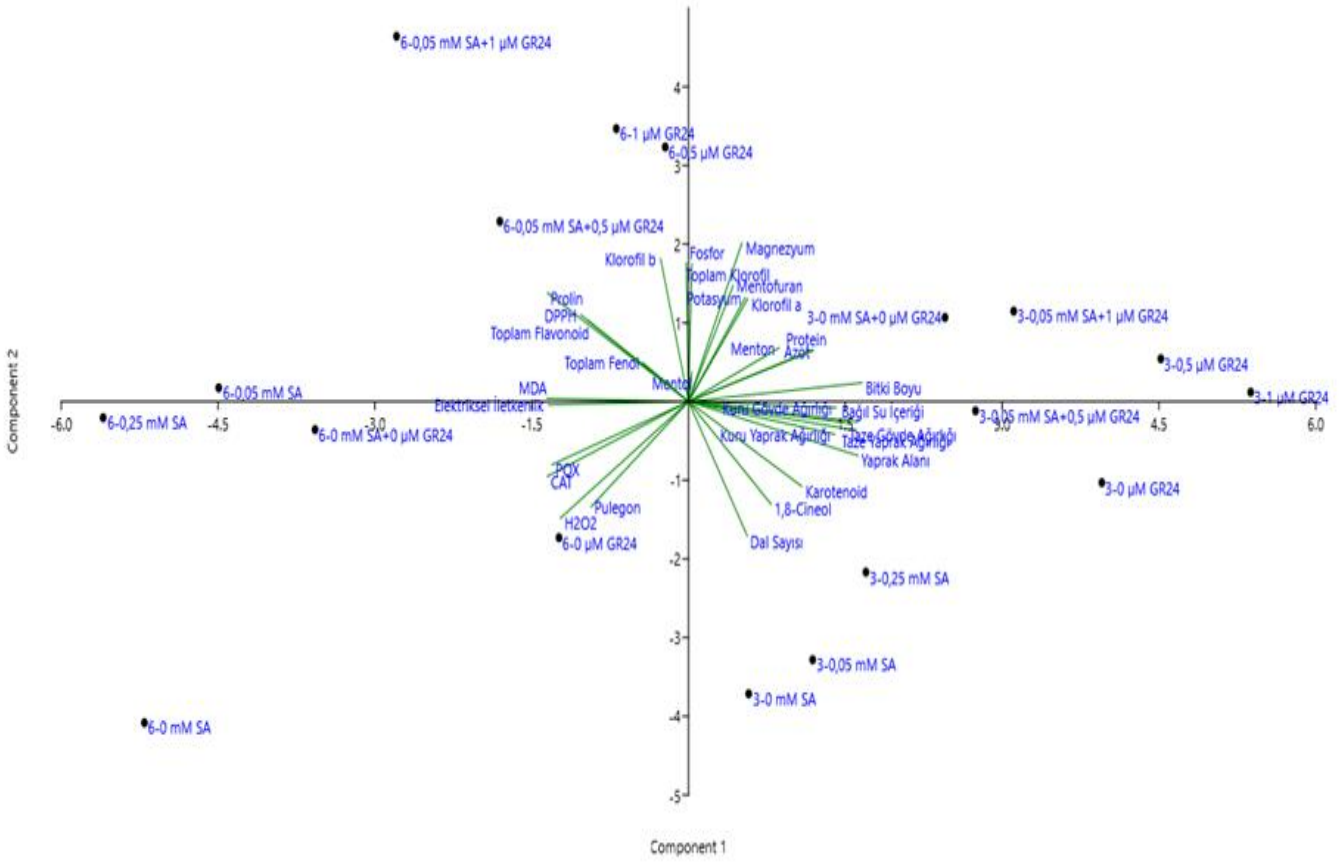
Temel bileşen analizi (PCA) bağımlı ve bağımsız değişken sayılarının yüksek olması durumunda; ilgili deneysel grup ve incelenen parametrelerin görselleştirilmesi ve en önemlisi boyutlarının azalmasında sıklıkla kullanan çok yönlü istatistiksel araçlardır. PCA çok boyutlu bir veriyi, verideki temel özellikleri yakalayarak daha az sayıda değişkenle göstermektir (Kulak, 2016). Denemede elde edilen veriler PCA analizi ile gruplandırılmıştır. PCA sonuçlarına göre, analize alınan 17 değişkenin öz değeri (Eigen value) 1'den yüksek olan altı faktör altında toplandığı belirlenmiştir. Ancak, verilerin değerlendirilmesi amacıyla iki ana faktör (PC1 (Eigen value): 11,61; PC2 (Eigen value):6,01) kullanılmıştır (Çizelge 4.31; Şekil 4.1). Bu iki faktör toplam varyansın %56,84'ünü açıklamaktadır. Önemli olarak belirlenen faktörlerden birincisi (PC1) *M. piperita*'dan elde edilen morfolojik ve büyüme parametrelerine ilişkin değişimin %37,45'ini, ikinci faktör (PC2) ise stres parametreleri (elektriksel iletkenlik, H₂O₂, MDA, prolin, toplam fenol, toplam flavonoid, DPPH) ve antioksidan enzimlere etkisine ilişkin değişimin %19,39'ünü açıklamaktadır. Bu doğrultuda, birinci faktörü “stresin olmadığı koşullar” ve ikinci faktörü de “stresli koşullar” olarak tanımlamamız mümkündür. Şekil 4.2'de faktörler grafiğinde Y ekseninin - ∞ bölümünde stresli koşullardaki 6 gün aralıklı sulamaların biriktiği, + ∞ bölümünde stressiz uygulamalar olan 3 gün aralıklı sulamaların kümelendiği görülmektedir. PCA grafiğinden stresli şartlardaki uygulamalardan 6-0,5 μ M GR24 uygulamasının Y eksenine dolayısı ile stressiz koşullara en yakın uygulama olduğu görülmektedir. Bu uygulamayı 6-1 μ M GR24 uygulaması takip etmektedir. Şekilden Stresli şartlarda tek başına GR24 uygulamalarının daha iyi olduğu gözlenirken stressiz koşullardaki fidelerde yine tek başına GR24 uygulamalarının ve SA+GR24 uygulamalarının kontrol grubuna göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Çizelge 4.31 Öz değerler (Eigenvalue) ve varyans yüzdeleri

PC	Eigenvalue	% variance
1	11.609	37.448
2	6.01107	19.391
3	5.09996	16.451
4	3.31203	10.684
5	1.44356	4.6566
6	1.05575	3.4057
7	0.685669	2.2118
8	0.556707	1.7958
9	0.323398	1.0432
10	0.275547	0.88886
11	0.172596	0.55676
12	0.152193	0.49095
13	0.124631	0.40203
14	0.0828391	0.26722
15	0.0563771	0.18186
16	0.0236559	0.076309
17	0.0150167	0.048441



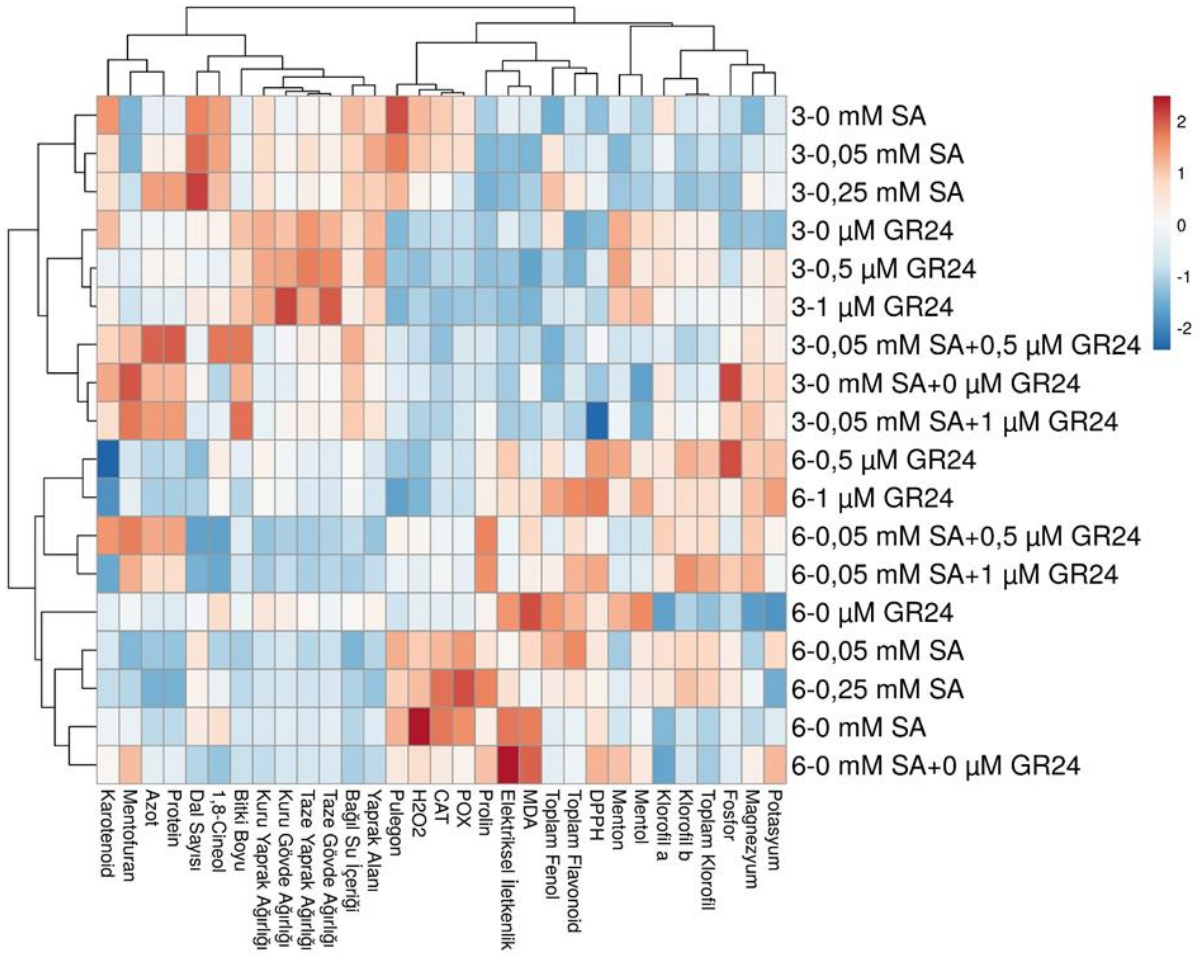
Şekil 4.1. PCA sonuçlarına göre incelenen özelliklerin etkisine ilişkin değişimler



Şekil 4.2. Temel bileşen analizi (principal component analysis, PCA)

Çalışma kapsamında incelenen parametrelerin hem kendi içinde hem de yapılan uygulamalara verdiği yanıtlara bağlı olarak nasıl bir kümelenme davranışı göstereceğini belirlemek amacıyla ısı haritası (heat-map clustering) yapılmıştır (Şekil 4.3). Isı haritasında değerler, belirlenmiş bir renk aralığındaki tonlama ile temsil edilmiştir. Çalışmamızda, renk skalası kırmızı-mavi renk tonlaması olarak seçilmiş olup kırmızı renkler pozitif yönde etkiyi, mavi renkler negatif yönde etkiyi göstermektedir ayrıca en düşük değer en açık renkte ve en yüksek değer en koyu renkte verilmiştir (Şekil 4.3). Su stresi, bitki büyüme düzenleyicileri ve bunların interaksiyonuna verilen tepkilere göre; analize alınan özelliklerin iki ana kümeye ayrıldığı görülmektedir. Bitkinin büyüme ve verimine yönelik parametreler genel olarak bir küme altında toplanmıştır. Bu kümede aynı zamanda; azot, toplam protein ve pulegone kendine yer bulmuştur. Diğer ana kümede ise; stres ve strese karşı kullanılan parametreler (DPPH, toplam fenol, toplam flavonoid, MDA, elektriksel iletkenlik, prolin, POX ve CAT enzimleri, H₂O₂) ile fotosentetik pigmentler (karotenoid hariç) kümelenmiştir. Elementlerden, fosfor, potasyum ve magnezyum ile uçucu yağ komponentlerinden mentol

ve menton aynı grupta yer almıştır. PCA’da ve ısı haritasında görüldüğü üzere; uygulamalar da stres ve stresin olmadığı deneme grupları olmak üzere net ayrılmalar elde edilmiştir (Şekil 4.2; Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Isı haritası (heat map clustering)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Değişen iklim koşullarında tıbbi ve aromatik bitkilerde stres toleransını artırmak üzerine çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışma ile su stresi altındaki *M. piperita*'da stres hasarını azaltmak için SA ve GR24 uygulamalarının etkileri incelenmiştir.

Farklı abiyotik stres koşulları altında SA çeşitli bitki metabolik süreçlerini düzenlemekte, özel metabolitlerin ve ozmolitlerin üretimini modüle ederek bitkiyi korumaktadır. Strigolaktonlar abiyotik streslere toleranstaki pozitif rollerinden dolayı 2008 yılında bitkisel hormonlar sınıfına dahil edilmişlerdir. Sentetik SL türevi olan GR24 ün stres karşısındaki cevabı üzerine çalışmalar son yıllarda artarak devam etmektedir.

Tez kapsamında materyal olarak seçilen *M. piperita* fidelerine ilk aşamada SA (0, 0.05, 0.25 mM), 2. aşamada GR24 (0, 0.5, 1 µM) ve 3. aşamada ise SA+GR24 (0 mM SA-0 µM GR24; 0.05 mM SA-0.5 µM GR24; 0.05 mM SA-1 µM GR24) konsantrasyonları sulama suyuna ilave edilerek uygulanmış ve fideler farklı sulama aralıklarında (3 gün ve 6 gün aralıklarla) yetiştirilerek su stresi karşısında fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal yönden verimli fidelerin elde edileceği konsantrasyonların belirlenmesi hedeflenmiştir. Uygulama yapılan fideler çiçeklenme öncesi dönemde hasat edilmiş ve morfolojik verileri (gövde- yaprak taze-kuru ağırlıkları, bitki boyu, dallanma sayısı, yaprak alanı), elektriksel iletkenlik (EC), oransal su içeriği (RWC), mineral madde miktarı (magnezyum, fosfor, potasyum, azot mineralleri), fotosentetik pigment içerikleri (klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil, karotenoid), hidrojen peroksit (H₂O₂), malondialdehit (MDA), prolin miktarı, toplam protein miktarları, antioksidan enzim aktiviteleri (CAT ve POX), toplam fenol, flavonoid ve DPPH serbest radikallerinin süpürücü etkisi, uçucu yağ bileşenleri belirlenmiştir. Hasat sonrası taze veya kuru bitkilerden yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenmiştir:

Denemede uygulamaların 3 gün aralıkla sulanan fidelere ve 6 gün aralıkla sulanan su eksikliği çeken stresli fidelere etkisinin farklı olduğu görülmüştür. Denemede ilk aşamada SA ve GR24 uygulamaları ile uygun konsantrasyonlar belirlenip son aşama olarak SA+GR24 birlikte uygulaması yapılmış, sonuçları daha iyi analiz edebilmek amacı ile her üç uygulamada ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

3 güne bir sulanan *M. piperita* fidelerinde uygulamaların büyüme parametrelerine etkileri değerlendirildiğinde yüksek bitki boyu değerleri SA+GR24 uygulamasının her iki

konsantrasyonundan, taze-kuru gövde ağırlığı ve dal sayısı değerleri ise 1 μ M GR24 uygulamasında elde edilmiştir. Yaprak alanında 0.05 mM SA ve 0.5 μ M GR24 uygulamalarından yüksek değerler saptanmıştır. Çalışmada 1 μ M GR24 uygulaması ile daha düşük EC değeri ve 0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 uygulamasında yüksek RWC değeri elde edilmiştir. Mineral miktarları incelendiğinde yüksek Mg değerleri GR24'ün her iki konsantrasyonundan; yüksek P, K değeri 1 μ M GR24 uygulamasından ve yüksek N değeri 0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 uygulamasından elde edilmiştir.

Fotosentetik pigmentlerden klorofil-b miktarını 0.05 mM SA+1 μ M GR24 uygulaması artırırken klorofil-a ve toplam klorofil miktarlarının kontrol grubunda elde edilen değerler ile benzer olduğu uygulamaların istatistiksel etkisinin olmadığı görülmüştür.

Stres parametrelerinden H₂O₂ miktarını azaltmada 0.5 μ M GR24 ve 0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 uygulamalarının, MDA seviyesini azaltmada ise 0.05 mM SA ve 0.5 μ M GR24 uygulamalarının daha etkili olduğu gözlenmiştir. CAT enzim aktivitesinde kontrole göre istatistiksel farklılık gözlenmemiştir. POX enzim aktivitesinde 0.05 mM SA, 0.5 μ M GR24 uygulamaları enzim aktivasyonunu daha fazla artırmıştır. Genel olarak toplam fenol ve flavonoid miktarında 0.25 mM SA uygulaması ve DPPH radikalini temizleme aktivitesinde 0.05 mM SA+ 0.5 μ M GR24 uygulaması daha etkili olmuştur. Uçucu yağ bileşenlerinden 0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 uygulaması 1.8-Sineol oranını, 1 μ M GR24 uygulaması mentol oranını, 0.5 μ M GR24 uygulaması menton oranını daha fazla artırmıştır.

6 gün aralıkla sulanarak stres ortamı yaratılan fidelerde incelenen özelliklerden büyüme parametrelerinin etkileri değerlendirildiğinde GR24, SA ve birlikte uygulamalardan stresin etkilerini hafifletmede istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar alınamamıştır.

SA+GR24'ün her iki konsantrasyonunda daha düşük EC değeri elde edilmiştir. Ayrıca 0.05 mM SA+0.5 μ M GR24 uygulaması RWC değerini artırarak etkili olmuştur. Yapmış olduğumuz SA+GR24 uygulamaları süreçlerin iyileştirilmesine artan RWC ve azalan EC ile doku sağlığının ve turgorun korunmasına katkıda bulunmuştur.

Uygulamaların mineral maddelere etkisi değerlendirildiğinde genel anlamda 0.5 μ M GR24 uygulamasının daha etkili olduğu görülmüştür. Ekzojen GR24 uygulamasının sınırlı su koşullarında bitkide mineral miktarını artırmasıyla strese toleransta yardımcı olduğu söylenebilir.

Fotosentetik pigmentler incelendiğinde 0.5 μ M GR24 ve 0.05 mM SA+ 1 μ M GR24 uygulamalarının klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil miktarını kontrol strese göre

artırdığı, 0.05 mM SA+0.5 µM GR24 uygulamasının ise karotenoid miktarını artırdığı görülmüştür. Su stresi ile toprak üstü kısımların (özellikle yaprak alanı) azalması fotosentetik pigmentlerdeki düşüşe sebep olmuş fakat GR24 ve SA+GR24 uygulamaları ile fotosentetik pigmentlerde iyileşme gözlenmiştir.

Stres ile yükselen H₂O₂ değerini düşürmede GR24 uygulamasının her iki konsantrasyonu etkisini gösterirken, MDA içeriğini düşürmede 0.5 µM GR24 uygulaması, prolin miktarını artırmada ise 0.25 mM SA uygulaması ve SA+GR24'ün her iki konsantrasyonu etkili olmuştur. Stres şartlarında toplam protein miktarındaki değişim incelenmiş ve 0.05 mM SA+0.5 µM GR24 uygulamasının protein miktarını artırmada daha etkili olduğu, 0.25 mM SA uygulamasının ise CAT ve POX enzim aktivasyonunu artırmada etkili olduğu görülmüştür. DPPH radikalini temizleme aktivitesini 1 µM GR24 ve 0.05 mM SA+1 µM GR24 uygulamaları artırmış, toplam fenolik madde miktarını 0.05 mM SA uygulaması ve flavonoid madde miktarını 0.05 mM SA ve 0.05 mM SA+1 µM GR24 uygulamaları artırmıştır.

Su stresi koşullarında, *M. piperita* fideleri, antioksidan enzim aktivitesi, membran geçirgenliği ve lipid peroksidasyonunda artış, mineral madde miktarı, taze ve kuru ağırlıklar açısından önemli bir düşüş göstermiştir. Ek olarak, su stresi toplam fenol ve flavonoid içeriğini artırmış, uçucu yağın bileşenlerini etkilemiştir. Denemede CAT, POX enziminde ve enzimatik olmayan savunma bileşikleri olarak sınıflandırılan toplam fenol ve flavonoid miktarında SA uygulamasının daha etkin olması, GR24 uygulamalarının farklı savunma bileşiklerinde aktif rol oynayabileceği hipotezini güçlendirmiştir.

M. piperita uçucu yağının ana bileşenlerinden 1.8-Sineol içeriği genel olarak stresle azalma eğilimi göstermiş ve stres şartlarında tüm uygulamaların 1.8-Sineol oranını düşürme yönünde etkileri olmuştur. Mentofuran oranı deneme zamanlarına göre farklılık göstermiş olup SA denemesinde stresli kontrol bitkilerinde artmış, ancak SA uygulamaları ile tekrar düşüş gözlenmiştir. GR24 ve SA+GR24 uygulamalarında genel anlamda streste düşüş eğilimi göstermiştir. Menton oranı SA ve GR24 denemesinde stresli fidelede oldukça düşmüş, ancak SA'nın her iki konsantrasyonunda ve 0,5 µM GR24 uygulamasında menton miktarında belirgin artışlar elde edilmiştir. Ancak SA+GR24 denemesinde stresli şartlarda en yüksek menton değeri elde edilmiş ve her iki konsantrasyon uygulamasında bu değer düşüşü gözlenmiştir. Mentol oranının SA, GR24 ve SA+GR24 denemelerinde stresle artmış, her iki SA konsantrasyonunda ve 1 µM GR24 konsantrasyonunda artmış, ancak SA+GR24 uygulamalarında ve 0,5 µM GR24 uygulamasında düşüşler gözlenmiştir. Pulegon oranı SA

denemesinde stres koşullarında en düşük değerlere ulaşırken her iki SA uygulaması ile pulegon miktarı artmıştır. GR24 ve SA+GR24 denemelerinde ise pulegon miktarının stresle birlikte artış eğilimi gösterdiği GR24 uygulamalarını pulegon miktarına etkisi olmaz iken SA+GR24 uygulamalarının SA'nın etkisi ile pulegon miktarında artışa sebep olduğu gözlenmiştir. Denemelerin farklı zamanda kurulmuş olması, stolon alınma zamanı ve alınan bitki materyalindeki yaşlanma uçucu bileşenlerde farklılığa sebep olmuş ve bu durum uygulamaları birbiri ile karşılaştırmayı zorlaştırmıştır.

Denemede uygulanan istatistiksel analiz sonucu konsantrasyonların etkisi değerlendirildiğinde SA'nın 0.05 mM konsantrasyonu, GR24'ün 1 μ M konsantrasyonu ve SA+GR24'ün 0.05 mM SA+1 μ M GR24 konsantrasyonunda daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Deneme ile *M. piperita* fidelerine SA+GR24 ilk kez uygulanmış olup su stresi altında SA, GR24 ve SA+GR24 ekzojen uygulamalarının konsantrasyona bağlı olarak nandede strese toleransı artırabileceği görülmüştür. Çalışmada incelenen faktörler ve parametrelerin fazla olması sebebi ile en iyi uygulamanın seçiminde varyans analizi sonuçlarıyla birlikte temel bileşen (PCA) ve ısı haritası (Heat map) analizleri yapılarak değerlendirilmiştir. Buna göre 3 gün aralıklı sulanan fidelerde 1 μ M GR24 uygulamasının diğer uygulamalardan ve kontrol grubundan daha etkili olduğu görülmüştür.

6 gün aralıklı sulanan stres şartlarındaki uygulamalar değerlendirildiğinde 3 günlük uygulamadan farklı olarak 0.5 μ M GR24 uygulamasının daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Stres şartlarında pozitif rolleri bilinen SA ve GR24'ün birlikte uygulanmasında beklenen iyileşme gözlenmemiş olup tek başına GR24 uygulaması stressiz ve stresli şartlarda daha iyi sonuçlar elde etmemizi sağlamıştır. Denemede GR24'ün su stresine tepkileri pozitif olarak kontrol ettiği ve bitki büyümesi üzerindeki iyileştirici etkileri tespit edilmiş olup GR24 uygulamaları farklı tıbbi bitkilerde su stresine karşı savunmada etkili bir strateji olarak önerilebilir.

Bulgularımız, *M. piperita*'nın su eksikliğine toleransta GR24'ün olumlu etkilerine dair umut verici bir bakış açısı sağlamaktadır. Bununla birlikte, GR24'ün su stresi şartlarında diğer bitkisel hormonlar ve bitki büyüme düzenleyiciler ile etkileşimini netleştirmek moleküler mekanizmasını ortaya koymak, farklı stres şartlarındaki ürün verimliliği ve farklı enzimler ve savunma bileşikleri üzerine olası olumlu etkilerini belirleyebilmek için ileri araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abbaszadeh, B., Aliabadi, F. H., Morteza, E. (2009). Effects of irrigation levels on essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.). *American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 3, 53-56.
- Abbaszadeh, B., Layeghhaghighi, M., Azimi, R., Hadi, N. (2020). Improving water use efficiency through drought stress and using salicylic acid for proper production of *Rosmarinus officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, 144, 111893.
- Abdi, G., Shokrpour, M., Salami, S. A. (2019a). Essential oil composition at different plant growth development of peppermint (*Mentha x piperita* L.) under water deficit stress. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 22(2), 431-440.
- Abdi, G., Shokrpour, M., Karami, L., Salami, S. A. (2019b). Prolonged water deficit stress and methyl jasmonate-mediated changes in metabolite profile, flavonoid concentrations and antioxidant activity in peppermint (*Mentha x piperita* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(1), 70-80.
- Abdi, G., ve Karami, L. (2020). Salicylic acid effects on some physiochemical properties and secondary metabolite accumulation in *Mentha piperita* L. under water deficit stress. *Advances in Horticultural Science*, 34(1), 81-91.
- Abdou, M., ve Mohamed, M. A. H. (2014). Effect of plant compost, salicylic and ascorbic acids on *Mentha piperita* L. plants. *Biological Agriculture & Horticulture*, 30(2), 131-143.
- Abreu, M. E., Munné-Bosch, S. (2008). Salicylic acid may be involved in the regulation of drought-induced leaf senescence in perennials: a case study in field-grown *Salvia officinalis* L. plants. *Environmental and Experimental Botany*, 64(2), 105-112.
- Açıkgöz, M. A., Kara, Ş. M., Aygün, A., Özcan, M. M., Ay, E. B. (2019). Effects of methyl jasmonate and salicylic acid on the production of camphor and phenolic compounds in cell suspension culture of endemic Turkish yarrow (*Achillea gypsicola*) species. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 43(3), 351-359.
- Aflakı, F., (2019). *Investigation of physiological roles of strigolactones in sugar beet (Beta Vulgaris L.) under in vitro tissue culture and ex vitro abiotic stress conditions*. Doktora Tezi. Bolu Abant İzzet Baysal University The Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Biology. Bolu. 95s.
- Aflatuni, A. (2005). *The yield and essential oil content of mint (Mentha ssp.) in Northern Ostrobothnia*. Doctoral dissertation, University of Oulu, Faculty of Science. Oulu. 50s.
- Agarwal, A.A. (2008). Chemical composition of Major Essential oil of India. Published by Swaraj Herbal Plants Ltd. Barabanki, India.
- Agusti, J., Herold, S., Schwarz, M., Sanchez, P., Ljung, K., Dun, E. A., Greb, T. (2011). Strigolactone signaling is required for auxin-dependent stimulation of secondary

growth in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20242-20247.

- Ahanger, M. A., Morad-Talab, N., Abd-Allah, E. F., Ahmad, P., Hajiboland, R. (2016). Plant growth under drought stress: Significance of mineral nutrients. *Water stress and crop plants: a sustainable approach*, 2, 649-668.
- Ahmad, B., Jaleel, H., Sadiq, Y., Khan, M. M. A., Shabbir, A. (2018). Response of exogenous salicylic acid on cadmium induced photosynthetic damage, antioxidant metabolism and essential oil production in peppermint. *Plant Growth Regulation*, 86(2), 273-286.
- Ahmad, S., Ahmad, R., Ashraf, M. Y., Ashraf, M., ve Waraich, E. A. (2009). Sunflower (*Helianthus annuus* L.) response to drought stress at germination and seedling growth stages. *Pakistan Journal of Botany*, 41(2), 647-654.
- Akiyama, K., Ogasawara, S., Ito, S., Hayashi, H. (2010). Structural requirements of strigolactones for hyphal branching in AM fungi. *Plant and Cell Physiology*, 51(7), 1104-1117.
- Aksu, G., (2020). *Şeker pancarında potasyumun kuraklık stresi üzerine etkileri*. Doktora Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Çanakkale. 89s.
- Albayrak, S., Sağdıç, O., Aksoy, A. (2010). Bitkisel ürünlerin ve gıdaların antioksidan kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 26(4), 401-409.
- Albergaria, E. T., Oliveira, A. F. M., Albuquerque, U. P. (2020). The effect of water deficit stress on the composition of phenolic compounds in medicinal plants. *South African Journal of Botany*, 131, 12-17.
- Alder, A., Jamil, M., Marzorati, M., Bruno, M., Vermathen, M., Bigler, P., Ghisla, S., Bouwmeester, H., Beyer, P. Al-Babili, S. (2012). The path from β -carotene to carlactone, a strigolactone-like plant hormone. *Science*, 335(6074), 1348-1351.
- Alhaithloul, H. A., Soliman, M. H., Ameta, K. L., El-Esawi, M. A., Elkelish, A. (2020). Changes in ecophysiology, osmolytes, and secondary metabolites of the medicinal plants of *Mentha piperita* and *Catharanthus roseus* subjected to drought and heat stress. *Biomolecules*, 10(1), 43.
- Ali, A., Malangisha, G. K., Yang, H., Li, C., Wang, C., Yang, Y., Zhang, M. (2021). Strigolactone Alleviates Herbicide Toxicity via Maintaining Antioxidant Homeostasis in Watermelon (*Citrullus lanatus*). *Agriculture*, 11(5), 419.
- Aljemaa, B. A., (2020). *Bazı Pistacia genotiplerinin kuraklık stresinde morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerinin belirlenmesi*. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya. 120s.
- Alkhsabah, I. A., Alsharafa, K. Y., Kalaji, H. M. (2018). Effects of abiotic factors on internal homeostasis of *Mentha spicata* leaves. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(3), 2537-2564.

- Amjadi, Z., Namdjoyan, S., Soorki, A. A. (2021). Exogenous melatonin and salicylic acid alleviates cadmium toxicity in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seedlings. *Ecotoxicology*, 30(3), 387-401.
- Amtmann, A., Blatt, M. R. (2009). Regulation of macronutrient transport. *New Phytologist*, 181(1), 35-52.
- Anonim, <https://www.dsi.gov.tr/>.
- Anjum, N. A., Lopez-Lauri, F. (2011). Plant Nutrition and Abiotic Stress Tolerance III. Ikenobe.
- Moshrefi Araghi, A., Nemati, S. H., Shoor, M., Azizi Arani, M., Moshtaghi, N. (2019). Influence of water stress on agro-morphological traits and essential oil content among Iranian genotypes of *Mentha longifolia*. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 89(4), 1219-1230.
- Ashraf, M. F. M. R., Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206-216.
- Askari, E., Ehsanzadeh, P. (2015). Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid and their interactive effects on physiological characteristics of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(2), 1-14.
- Avşar, Ö., (2019). *Pamukta bazı fizyolojik parametreler ile verim ve lif kalite özelliklerinin su stresi koşullarında değerlendirilmesi*. Doktora Tezi. Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Siirt. 124s.
- Awate, P. D., Gaikwad, D. K. (2014). Influence of growth regulators on secondary metabolites of medicinally important oil yielding plant *Simarouba glauca* DC. under water stress conditions. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 10(1).
- Ayaz, E., (2021). *Farklı nane (Mentha x Piperita L. ve Mentha Pulegium L.) türlerinin doğal ve doku kültürü yardımıyla geliştirilip sekonder metabolit ve uçucu bileşenlerinin tespiti*. Yüksek Lisans Tezi. Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Uşak. 62s.
- Azad, N., Rezayian, M., Hassanpour, H., Niknam, V., Ebrahimzadeh, H. (2021). Physiological Mechanism of Salicylic Acid in *Mentha pulegium* L. under salinity and drought stress. *Brazilian Journal of Botany*, 44(2), 359-369.
- Azooz, M. M., Youssef, M. M. (2010). Evaluation of heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in Hassawi wheat. *American Journal of Plant Physiology*, 5(2), 56-70.
- Baba, K., (2016). *Adıyaman'da atık suların karıştığı eğri çayı deresi ile sulanan pepino'nun (Solanum muricatum ait.) sürgün çeliklerinde kök oluşumu ve bazı fizyolojik parametrelerin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adıyaman. 42s.

- Babalık, Z., (2012). *Tuz ve su stresinin asmaların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkileri*. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 235s.
- Bahari, A. A., Sokhtesaraei, R., Chaghazardi, H. R., Masoudi, F., Nazarli, H. (2014). Effect of water deficit stress and foliar application of salicylic acid on antioxidants enzymes activity in leaves of *Thymus daenensis* subsp. *lancifolius*. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 48(1), 161.
- Bahreininejad, B., Razmjou, J., Mirza, M. (2013). Influence of water stress on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. *International Journal of Plant Production*, 2013, 7, 151–166.
- Banerjee, A., Roychoudhury, A. (2018). Strigolactones: multi-level regulation of biosynthesis and diverse responses in plant abiotic stresses. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40 (5), 1-10.
- Bartoli, C. G., Casalengué, C. A., Simontacchi, M., Marquez-Garcia, B., Foyer, C. H. (2013). Interactions between hormone and redox signalling pathways in the control of growth and cross tolerance to stress. *Environmental and Experimental Botany*, 94, 73-88.
- Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A., Pereira, A. (2016). Plant adaptation to drought stress. *F1000 Research*, 30 (5), 1-10.
- Bat, M., Tunçtürk, R., Tunçtürk, M. (2020). Ekinezya (*Echinacea purpurea* L.) bitkisinde kuraklık stresi ve deniz yosunu uygulamalarının bazı fizyolojik parametreler üzerine etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(1), 99-107.
- Bates, L. S., Waldren, R. P., Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
- Baydar, H. (2016.) Tıbbi, Aromatik ve Keyf Bitkileri: Bilimi ve Teknolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Beigi, M., Torki-Harchegani, M., Ghasemi Pirbalouti, A. (2018). Quantity and chemical composition of essential oil of peppermint (*Mentha × piperita* L.) leaves under different drying methods. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 267-276.
- Bhattacharya, A., Sood, P., Citovsky, V. (2010). The roles of plant phenolics in defence and communication during Agrobacterium and Rhizobium infection. *Molecular plant pathology*, 11(5), 705-719.
- Bilginer, N. (2019). *Farklı büyüme düzenleyicilerin fesleğen (Ocimum basilicum L.)’de tuza toleransa ve fenolik bileşenlere etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 68s.
- Bolat, İ., Kara Ö. (2017). Bitki besin elementleri: Kaynakları, işlevleri, eksik ve fazlalıkları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 218-228.

- Bouwmeester, H. J., Roux, C., Lopez-Raez, J. A., Bécard, G. (2007). Rhizosphere communication of plants, parasitic plants and AM fungi. *Trends in Plant Science*, 12 (5), 224-230.
- Boyer, F. D., de Saint Germain, A., Pillot, J. P., Pouvreau, J. B., Chen, V. X., Ramos, S., Stévenin, A., Simier, P., Delavault, P., Beau, J. M., Rameau, C. (2012). Structure-activity relationship studies of strigolactone-related molecules for branching inhibition in garden pea: molecule design for shoot branching. *Plant Physiology*, 159 (4), 1524-1544.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72 (1-2), 248-254.
- Brewer, P. B., Koltai, H., Beveridge, C. A. (2013). Diverse roles of strigolactones in plant development. *Molecular Plant*, 6 (1), 18-28.
- Brown, C. E., Pezeshki, S. R., DeLaune, R. D. (2006). The effects of salinity and soil drying on nutrient uptake and growth of *Spartina alterniflora* in a simulated tidal system. *Environmental and Experimental Botany*, 58 (1-3), 140-148.
- Burbott, A. J., Loomis, W. D. (1967). Effects of light and temperature on the monoterpenes of peppermint. *Plant physiology*, 42(1), 20-28.
- Bürger, M., Chory, J. (2020). The many models of strigolactone signaling. *Trends in Plant Science*, 25(4), 395-405.
- Büyük, İ., Soydam-Aydın, S., Aras, S. (2012). Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *Turkish Bulletin of Hygiene & Experimental Biology/Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji*, 69(2).
- Büyüktuncel, E. (2013). Toplam fenolik içerik ve antioksidan kapasite tayininde kullanılan başlıca spektrofotometrik yöntemler. *Marmara Pharmaceutical Journal*, 17(2), 93-103.
- Can, M. (2020). *Farklı organik gübre ve azot dozlarının Mentha piperita L. ve Mentha spicata L. genotiplerinin tarımsal ve kalite özelliklerine etkisi*. Doktora Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir. 237s.
- Capell, T., Bassie, L., Christou, P. (2004). Modulation of the polyamine biosynthetic pathway in transgenic rice confers tolerance to drought stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(26), 9909-9914.
- Cappellari, L. D. R., Santoro, M. V., Schmidt, A., Gershenzon, J., Banchio, E. (2020). Improving phenolic total content and monoterpene in *Mentha x piperita* by using salicylic acid or methyl jasmonate combined with Rhizobacteria inoculation. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(1), 50.
- Cardinale, F., Korwin Krukowski, P., Schubert, A., Visentin, I. (2018). Strigolactones: mediators of osmotic stress responses with a potential for agrochemical manipulation of crop resilience. *Journal of Experimental Botany*, 69(9), 2291-2303.

- Caser, M., Chitarra, W., D'Angiolillo, F., Perrone, I., Demasi, S., Lovisolo, C., Scariot, V. (2019). Drought stress adaptation modulates plant secondary metabolite production in *Salvia dolomitica* Codd. *Industrial Crops and Products*, 129, 85-96.
- Chiappero, J., del Rosario Cappellari, L., Alderete, L. G. S., Palermo, T. B., Banchio, E. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria improve the antioxidant status in *Mentha piperita* grown under drought stress leading to an enhancement of plant growth and total phenolic content. *Industrial Crops and Products*, 139, 111553.
- Choudhary, S., Zehra, A., Mukarram, M., Wani, K. I., Naeem, M., Khan, M. M. A., Aftab, T. (2021). Salicylic acid-mediated alleviation of soil boron toxicity in *Mentha arvensis* and *Cymbopogon flexuosus*: Growth, antioxidant responses, essential oil contents and components. *Chemosphere*, 276, 130153.
- Chrysargyris, A., Laoutari, S., Litskas, V. D., Stavrinides, M. C., Tzortzakis, N. (2016). Effects of water stress on lavender and sage biomass production, essential oil composition and biocidal properties against *Tetranychus urticae* (Koch). *Scientia Horticulturae*, 213, 96-103.
- Cırık, N., (2020). *Kuraklık ve sıcaklık stresinin olumsuz etkilerini azaltmada bitki ıslahının önemi*. Teknolojileri Fakültesi, Niğde.
- Clark, R. J., Menary, R. C. (1980). Environmental effects on peppermint (*Mentha piperita* L.). I. Effect of daylength, photon flux density, night temperature and day temperature on the yield and composition of peppermint oil. *Functional Plant Biology*, 7(6), 685-692.
- Cline, M. G. (1991). Apical dominance. *The Botanical Review*, 57(4), 318-358.
- Cooper, J. W., Hu, Y., Beyyoudh, L., Yildiz Dasgan, H., Kunert, K., Beveridge, C. A., Foyer, C. H. (2018). Strigolactones positively regulate chilling tolerance in pea and in *Arabidopsis*. *Plant, Cell and Environment*, 41(6), 1298-1310.
- Corell, M., Garcia, M. C., Contreras, J. I., Segura, M. L., Cermeño, P. (2012). Effect of Water Stress on *Salvia officinalis* L. Bioproductivity and Its Bioelement Concentrations. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43(1-2), 419-425.
- Cornelia, P., Bogdan, A. T., Ipate, L., Chis, A., Borbely, M. V. (2011). Exogenous salicylic acid involvement in ameliorating the negative effect of salt stress in wheat (*Triticum aestivum* cv crisana) plants in vegetative stage. *Analele Universităţii din Oradea, Fascicula Protecţia Mediului*, 7, 137-146.
- Costa, A. A., Paiva, E. P., Torres, S. B., Souza, M. L., Pereira, K. T. O., Leite, M. S., Sá, F. V. S. Benedito, C. P. (2021). Osmoprotection in *Salvia hispanica* L. seeds under water stress attenuators. *Brazilian Journal of Biology*, 82.
- Coşkun, Z., (2013). *Asmada TDR ile gövde su içeriği ve elektriksel iletkenlik ölçümleriyle su stresinin ve sulama zamanının belirlenmesi*. Doktora Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ. 78s.

- Cömert, M. M., (2020). *Kestane kabağında (Cucurbita maxima duch.) kısmi kök kuruluğu ve su stresine bağlı verim ve kalite değişimlerinin belirlenmesi*. Doktora Tezi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Tokat. 107s.
- Culpan, E., (2015). *Gibberellik asit ve salisilik asit uygulamalarının aspir (Carthamus tinctorius L.)'in tohum verimi ve kalite özelliklerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ. 46s.
- Cutt, J., Klessing, D. (1992). Salicylic acid in plants: A changing perspective. *Pharmaceutical Technology (USA)*.
- Çamoğlu, G., (2010). *Farklı su stresi düzeylerinde mısır bitkisinin bazı fizyolojik ve morfolojik özelliklerinin uzaktan algılama yardımıyla belirlenmesi*. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 161s.
- Çaylak, E. (2011). Hayvan ve bitkilerde oksidatif stres ile antioksidanlar. *Tıp Araştırmaları Dergisi*, 9(1), 73-83.
- Çelikcan, F., Kocak, M. Z., Kulak, M. (2021). Vermicompost applications on growth, nutrition uptake and secondary metabolites of *Ocimum basilicum* L. under water stress: A comprehensive analysis. *Industrial Crops and Products*, 171, 113973.
- Çetinkaya, H., (2015). *Kuraklığa duyarlı ve toleranslı mısır (Zea mays L.) bitkisinde kuraklık stresi altında yapılan bakır uygulamalarının oluşturduğu oksidatif hasar ve savunma cevaplarının araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Sinop. 80s.
- Çetinkaya, H., Koç, M., Kulak, M. (2016). Monitoring of mineral and polyphenol content in olive leaves under drought conditions: Application chemometric techniques. *Industrial Crops and Products*, 88, 78-84.
- Çetinkaya, H., Kulak, M., Karaman, M., Karaman, H. S., Koçer, F. (2017). Flavonoid accumulation behavior in response to the abiotic stress: can a uniform mechanism be illustrated for all plants?. *Flavonoids-From Biosynthesis to Human Health*, 151-65.
- Cetinkaya, H., Kulak, M. (2019). Salicylic acid effect on cadmium-induced accumulation of mineral content in leaves of pistachio species from Turkey: an analysis coupled with chemometrics and multiple regression analysis. *Applied Ecology And Environmental Research*, 17(3), 7113-7133.
- Çevik, S. (2009). *Kuraklık toleransları farklı olan Cicer (nohut) genotiplerinde askorbat ve glutatyon uygulamalarının antioksidan sistem üzerine etkilerinin araştırılması ve genomik varyasyonlarının karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Mersin. 88s.
- Çırak, C., Esendal, E. (2006). Soyada kuraklık stresi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(2), 231-237.
- Çoban, Ö., Baydar, N. G. (2017). Brassinosteroid modifies growth and essential oil production in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 36, 43-49.

- Damalas, C. A. (2019). Improving drought tolerance in sweet basil (*Ocimum basilicum*) with salicylic acid. *Scientia Horticulturae*, 246, 360-365.
- Da Silva, E. C., Nogueira, R. J. M. C., da Silva, M. A., de Albuquerque, M. B. (2011). Drought stress and plant nutrition. *Plant Stress*, 5(1), 32-41.
- Da Silva, D. M., Bertolucci, S. K. V., Aazza, S., de Carvalho, A. A., Mendonça, S. C., Silva, T. C., Pinto, J. (2019). Evaluation of vegetative growth, chemical composition, and antioxidant capacity of essential oil of peppermint under water regimes. *Journal of Agricultural Science*, 11(4).
- Das, K., Roychoudhury, A. (2014). Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Frontiers in Environmental Science*, 2, 53.
- Davis, P.H., (1965). Flora of Turkey and The East Aegean Islands, Edinburg at the University Press, I: 287-366.
- De Saint Germain, A., Ligerot, Y., Dun, E. A., Pillot, J. P., Ross, J. J., Beveridge, C. A., Rameau, C. (2013). Strigolactones stimulate internode elongation independently of gibberellins. *Plant Physiology*, 163(2), 1012-1025.
- Del Rosario Cappellari, L., Chiappero, J., Santoro, M. V., Giordano, W., Banchio, E. (2017). Inducing phenolic production and volatile organic compounds emission by inoculating *Mentha piperita* with plant growth-promoting rhizobacteria. *Scientia Horticulturae*, 220, 193-198.
- Del Rosario Cappellari, L., Santoro, M. V., Schmidt, A., Gershenzon, J., Banchio, E. (2019). Induction of essential oil production in *Mentha x piperita* by plant growth promoting bacteria was correlated with an increase in jasmonate and salicylate levels and a higher density of glandular trichomes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 141, 142-153.
- Delfine, S., Tognetti, R., Loreto, F., Alvino, A. (2002). Physiological and growth responses to water stress in field-grown bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 77(6), 697-704.
- Deligöz, A., Bayar, E. (2017). Kuraklık stresli *Quercus cerris* fidanlarının fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerindeki değişimler. *Turkish Journal of Forestry*, 18(4), 269-274.
- Demirez, M., (2013). *Fitoterapi programı Nane'nin fitoterapi açısından değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 227s.
- Deveci, H. A., Nur, G., Kırpık, M. A., Harmankaya, A., Yıldız, Y. (2016). Fenolik bileşik içeren bitkisel antioksidanlar. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 26-32.
- Dıraz, E., (2015). *Kahramanmaraş yöresinde yayılış gösteren Tanacetum L. taksonlarının morfolojik özellikleri, kimyasal kompozisyonu ve biyolojik aktivitesinin belirlenmesi*. Doktora Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 141s.

- Doğru, A., (2006). *Kolza (Brassica napus L. ssp. oleifera) 'nın bazı kışlık çeşitlerinde düşük sıcaklık toleransı ile ilgili fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerin araştırılması*. Doktora Tezi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 151s.
- Doğru, A. (2020). Bitkilerde Aktif Oksijen Türleri ve Oksidatif Stres. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 3(2), 205-226.
- Dun, E. A., de Saint Germain, A., Rameau, C., Beveridge, C. A. (2012). Antagonistic action of strigolactone and cytokinin in bud outgrowth control. *Plant Physiology*, 158(1), 487-498.
- Elansary, H. O., El-Abedin, T. K. Z. (2019). Omeprazole alleviates water stress in peppermint and modulates the expression of menthol biosynthesis genes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, 578-586.
- Elhakem, A. H. (2019). Impact of salicylic acid application on growth, photosynthetic pigments and organic osmolytes response in *Mentha arvensis* under drought stress. *Journal of Biological Sciences*, 19(6), 372-380.
- Elmas, S. (2021). *Salvia officinalis* (tıbbi adaçayı) bitkisinin bazı abiyotik stres faktörlerine yanıtları. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(2), 943-959.
- Elmas, S. E., Elmas, O. (2021). *Salvia fruticosa*'nın (Anadolu adaçayı) terapötik etkileri. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 4(1), 114-137.
- Emamverdian, A., Ding, Y., Xie, Y. (2020). The role of new members of phytohormones in plant amelioration under abiotic stress with an emphasis on heavy metals. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2).
- Erdoğan Bayram, S. (2018). Su stresi ve bitkilerde su stresine bağlı fizyolojik değişimler. *Tralleis Elektronik Dergisi*, 3(2), 219-228.
- Erken, O. (2012). *Değişik gelişme dönemlerinde, farklı derecede su stresi uygulamalarının brokolide (Brassica oleracea L. var. italica) verim, morfolojik ve biyokimyasal değişimlere etkisi*. Doktora Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Çanakkale.161s.
- Eroğlu, Ö., (2017). *DNA metiltransferaz inhibitörü sülfametazinin strigolaktonların biyosentezine katılan gen anlatımları üzerine etkilerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Çanakkale. 41s.
- Es-sbihi, F. Z., Hazzoumi, Z., Benhima, R., Amrani Joutei, K. (2020). Effects of salicylic acid on growth, mineral nutrition, glandular hairs distribution and essential oil composition in *Salvia officinalis* L. grown under copper stress. *Environmental Sustainability*, 3, 199-208.
- Fahraji, S. S., Kheradmand, M. A., Mahdi, M. (2014). Effect of salicylic acid on germination, leaf area, shoot and root growth in crop plants. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 8(9), 1454-1458.

- Faizan, M., Faraz, A., Sami, F., Siddiqui, H., Yusuf, M., Gruszka, D., Hayat, S. (2020). Role of strigolactones: Signalling and crosstalk with other phytohormones. *Open Life Sciences*, 15(1), 217-228.
- Farhadi, N., Ghassemi-Golezani, K. (2020). Physiological changes of *Mentha pulegium* in response to exogenous salicylic acid under salinity. *Scientia Horticulturae*, 267, 109325.
- Farhat, M. B., Sotomayor, J. A., Jordán, M. J. (2019). Antioxidants of *Salvia aegyptiaca* L. residues depending on geographical origin. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17, 486-491.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Sustainable Agriculture*, 153-188.
- Farooq, M., Wahid, A., Lee, D. J., Cheema, S. A., Aziz, T. (2010). Drought stress: comparative time course action of the foliar applied glycinebetaine, salicylic acid, nitrous oxide, brassinosteroids and spermine in improving drought resistance of rice. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 196(5), 336-345.
- Farouk, S., Amany, A. R. (2012). Improving growth and yield of cowpea by foliar application of chitosan under water stress. *Egyptian Journal of Biology*, 14, 14-16.
- Fatima, E. S., Hazzoumi, Z., Khalid, A. J. (2022). Improving copper stress tolerance in *Mentha suaveolens* L. by foliar application of salicylic acid, Preprint (Version 1) available at Research Square [<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1339811/v1>].
- Foo, E., Bullier, E., Goussot, M., Foucher, F., Rameau, C., Beveridge, C. A. (2005). The branching gene RAMOSUS1 mediates interactions among two novel signals and auxin in pea. *The Plant Cell*, 17(2), 464-474.
- Furlan, C. M., Motta, L. B., Santos, D. Y. A. C., Petridis, G. K. (2011). Tannins: What do they represent in plant life. *Tannins: Types, Foods Containing and Nutrition*. New York: Nova Science Publishers, Inc, 251-263.
- García-Caparrós, P., Romero, M. J., Llanderal, A., Cermeño, P., Lao, M. T., Segura, M. L. (2019). Effects of drought stress on biomass, essential oil content, nutritional parameters, and costs of production in six Lamiaceae species. *Water*, 11(3), 573.
- Ghanbari, M., Ariafar, S. (2013). The effects of water deficit and zeolite application on growth traits and oil yield of medicinal peppermint (*Mentha piperita* L). *International journal of medicinal and aromatic plants*, 3(1), 33-39.
- Gharib, F. A. (2006). Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. *International Journal of Agriculture and Biology*, 4, 485-492.
- Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z. (2012). Effect of salicylic acid application on biochemical changes in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(5), 790-795.

- Gómez-Rivera, A., González-Cortazar, M., Herrera-Ruiz, M., Zamilpa, A., Rodríguez-López, V. (2018). Sessein and isosessein with anti-inflammatory, antibacterial and antioxidant activity isolated from *Salvia sessei* Benth. *Journal of Ethnopharmacology*, 217, 212-219.
- Gomez-Roldan, V., Fermas, S., Brewer, P. B., Puech-Pagès, V., Dun, E. A., Pillot, J. P., Letisse, F., Matusova, R., Danoun, S., Portairs, J. C., Bouwmeester, H., Becard, G., Beveridge, C., A., Rameau C., Rochange, S. F. (2008). Strigolactone inhibition of shoot branching. *Nature*, 455(7210), 189-194.
- Gonçalves, F. C. D. M., de Souza Parreiras, N., Campos, F. G., Mantoan, L. P. B., Boaro, C. S. F. (2020). Exogenous salicylic acid modifies gas exchange and biomass production of *Mentha x piperita* L. *Australian Journal of Crop Science*, 14(1), 98-107.
- Grobbelaar, M. C., Makunga, N. P., Stander, M. A., Kossmann, J., Hills, P. N. (2014). Effect of strigolactones and auxins on growth and metabolite content of *Sutherlandia frutescens* (L.) R. Br. microplants in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 117(3), 401-409.
- Guilfoyle, T., Hagen, G., Liu, X., Rockett, K. S., Kørner, C. J., Pajeroska-Mukhtar, K. M. (2015). Salicylic acid signalling: new insights and prospects at a quarter-century milestone. *Essays in biochemistry*, 58, 101-113.
- Guo, Z., Ou, W., Lu, S. Y., Zhong, Q. (2006). Differential responses of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 44(11-12), 828-836.
- Güneş, A., İnal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bağcı, E. G., Çiçek, N. (2007). Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *Journal of Plant Physiology*, 164(6), 728-736.
- Gürbüz Kılıç, Ö., (2005). *Potasyumlu gübrelemenin su stresi koşullarında mısırın verim, verim komponentleri ile büyüme ve gelişme parametrelerine etkileri*. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 236s.
- Haider, I., Andreo-Jimenez, B., Bruno, M., Bimbo, A., Floková, K., Abuauf, H., Otang Ntui, V., Guo, X., Charnikhova, T., Al-Babili, S., Bouwmeester, H. J., Ruyter-Spira, C. (2018). The interaction of strigolactones with abscisic acid during the drought response in rice. *Journal of Experimental Botany*, 69(9), 2403-2414.
- Hashem, A., Abd_Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Wirth, S., Egamberdieva, D. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate salt stress in lupine (*Lupinus termis* Forsik) through modulation of antioxidant defense systems and physiological traits. *Legume Research-An International Journal*, 39(2), 198-207.
- Hassanpour, H., Khavari-Nejad, R. A., Niknam, V., Najafi, F., Razavi, K. (2013). Penconazole induced changes in photosynthesis, ion acquisition and protein profile of *Mentha pulegium* L. under drought stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 19(4), 489-498.

- Haydari, M., Maresca, V., Rigano, D., Taleei, A., Shahnejat-Bushehri, A. A., Hadian, J., Sorbo, S., Guida, M., Manna, C., Piscopo, M., Notariale, R., De Ruberto, F., Fusaro, L., Basile, A. (2019). Salicylic acid and melatonin alleviate the effects of heat stress on essential oil composition and antioxidant enzyme activity in *Mentha × piperita* and *Mentha arvensis* L. *Antioxidants*, 8(11), 547.
- Hazrati, S., Khurizadeh, S., Sadeghi, A. R. (2022). Application of zeolite improves water and nitrogen use efficiency while increasing essential oil yield and quality of *Salvia officinalis* under water-deficit stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(3), 1707-1716.
- Hesami, S., Nabizadeh, E., Rahimi, A., Rokhzadi, A. (2012). Effects of salicylic acid levels and irrigation intervals on growth and yield of coriander (*Coriandrum sativum*) in field conditions. *Environmental and Experimental Biology*, 10, 113-116.
- Horváth, E., Szalai, G., ve Janda, T. (2007). Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26(3), 290-300.
- Hu, Z., Yamauchi, T., Yang, J., Jikumaru, Y., Tsuchida-Mayama, T., Ichikawa, H., Takamure I., Nagamura Y., Tsutsumi N., Yamaguchi S., Kyozuka J., Nakazono, M. (2014). Strigolactone and cytokinin act antagonistically in regulating rice mesocotyl elongation in darkness. *Plant and Cell Physiology*, 55(1), 30-41.
- Hu, Q., Zhang, S., Huang, B. (2019). Strigolactones promote leaf elongation in tall fescue through upregulation of cell cycle genes and downregulation of auxin transport genes in *Tall fescue* under different temperature regimes. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(8), 1836.
- Hudu, H. (2021). *Yeni fitohormon sınıfına giren strigolaktonların izmir kekiği (Origanum onites L.) bitkisinin in vitro ortamda kallus oluşumu ve uçucu yağ bileşenleri (karvakrol ve timol) üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.70s.
- Hussain, A. I., Anwar, F., Nigam, P. S., Ashraf, M., Gilani, A. H. (2010). Seasonal variation in content, chemical composition and antimicrobial and cytotoxic activities of essential oils from four *Mentha* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(11), 1827-1836.
- Hussein, M. S., El-Sherbeny, S. E., Hendawy, S. F., Gohary, A. E. E. L., Ghazal, G. M. E. M. (2014). Response of *Mentha longfolia* to water irrigation intervals and/or mepiquat chloride treatments. *Chemical Analysis*, 25(30), 27-9.
- Iqbal, M. S., Ansari, M. I., Jafri, S., Padmesh, S., Ahmad, I., Pandey, B. (2014). Antioxidant potential of some medicinal plants. *Pharmacophore*, 5 (4), 631-637.
- Issah, H., (2021). *Strigolaktonların kapari (Capparis spinosa L.) bitkisi kallus kültürü ve fenolik madde üretimi üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 61s.
- Ito, S., Yamagami, D., Umehara, M., Hanada, A., Yoshida, S., Sasaki, Y., Yajima, S., Kyozuka, J., Ueguchi-Tanaka, M., Matsuoka, M., Shirasu, K., Yamaguchi, S.,

- Asami, T. (2017). Regulation of strigolactone biosynthesis by gibberellin signaling. *Plant Physiology*, 174(2), 1250-1259.
- Izadi, Z., Esna, A. M., Ahmadvand, G. (2009). Effect of drought stress on yield, proline contents, soluble sugars, chlorophyll, relative water contents and essential oil in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 10 (3), 223-234.
- Jahani, F., Tohidi-Moghadam, H. R., Larijani, H. R., Ghooshchi, F., Oveysi, M. (2021). Influence of zinc and salicylic acid foliar application on total chlorophyll, phenolic components, yield and essential oil composition of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress condition. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(8), 1-12.
- Jaleel, C. A., Gopi, R., Manivannan, P., Gomathinayagam, M., Sridharan, R., Panneerselvam, R. (2008). Antioxidant potential and indole alkaloid profile variations with water deficits along different parts of two varieties of *Catharanthus roseus*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 62(2), 312-318.
- Jia, K. P., Li, C., Bouwmeester, H. J., Al-Babili, S. (2019). Strigolactone biosynthesis and signal transduction. In *Strigolactones-Biology and Applications* pp 1-45.
- Kadioglu, A., Saruhan, N., Sağlam, A., Terzi, R., ve Acet, T. (2011). Exogenous salicylic acid alleviates effects of long term drought stress and delays leaf rolling by inducing antioxidant system. *Plant Growth Regulation*, 64(1), 27-37.
- Kahveci H. (2017). *Bitki büyüme düzenleyicilerin fesleğen (Ocimum basilicum L.)'İN fizyolojik parametreleri ve tuz stresine toleransı üzerine etkileri*. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 67s.
- Kahveci, H., Bilginer, N., Diraz-Yildirim, E., Kulak, M., Yazar, E., Kocacinar, F., Karaman, S. (2021). Priming with salicylic acid, β -carotene and tryptophan modulates growth, phenolics and essential oil components of *Ocimum basilicum* L. grown under salinity. *Scientia Horticulturae*, 281, 109964.
- Kapulnik, Y., Resnick, N., Mayzlish-Gati, E., Kaplan, Y., Wininger, S., Hershenhorn, J., Koltai, H. (2011). Strigolactones interact with ethylene and auxin in regulating root-hair elongation in Arabidopsis. *Journal of Experimental Botany*, 62(8), 2915-2924.
- Karaca, A., (2013). *Dışarıdan yapılan melatonin uygulamaları ile biberde çimlenme sırasında üşüme stresine karşı toleransın artırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 53s.
- Karakaş, F. P., Bozat, B. G. (2020). Fluctuation in secondary metabolite production and antioxidant defense enzymes in in vitro callus cultures of goat's rue (*Galega officinalis*) under different abiotic stress treatments. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 142(2), 401-414.
- Karalija, E., Neimarlija, D., Cakar, J., Paric, A. (2016). Elicitation of biomass and secondary metabolite production, antioxidative and antimicrobial potential of basil and

oregano induced by BA and IBA application. *European Journal of Medicinal Plants*, 1-11.

Karalija, E., Parić, A. (2017). Effects of salicylic acid foliar application on growth and antioxidant potential of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Biologica Nyssana*, 8(2), 145-150.

Karaman, Ş., Kirecci, O. A., Ilcim, A. (2008). Influence of polyamines (Spermine, Spermidine and Putrescine) on the essential oil composition of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Essential Oil Research*, 20(4), 288-292.

Karaman, Ş., Aygan A., 2013. Ekzojen bitki hormonlarının ve fenilalaninin fesleğen (*O. basilicum*) bitkisinde sekonder metabolitlere ve Pal (fenilalanin amonyum liyaz) enzim aktivitesine etkisi. Tubitak 1110583. 87s.

Karimzadeh Asl, K., Ghorbanpour, M., Marefatzadeh Khameneh, M., Hatami, M. (2018). Influence of Drought Stress, Biofertilizers and Zeolite on Morphological Traits and Essential Oil Constituents in *Dracocephalum moldavica* L. *Journal of Medicinal Plants*, 17(67), 91-112.

Karlıdağ, H., Yildirim, E., Turan, M. (2009). Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola*, 66, 180-187.

Kaur, G., Kumar, B., Rai, S. B. (2017). Spectroscopic investigations on polyvinyl alcohol film with complex of terbium ions along with bismuth nanoparticles for improved green emission. *In Acrylic Polymers in Healthcare*, 127-147.

Kaur, R., Yadav, P., Sharma, A., Thukral, A. K., Kumar, V., Kohli, S. K., Bhardwaj, R. (2017). Castasterone and citric acid treatment restores photosynthetic attributes in *Brassica juncea* L. under Cd (II) toxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 145, 466-475.

Kaya, Y., (2017). 24-Epibrassinolide hormonunun bazı nane (*Mentha spp.*) türlerinin morfolojik ve fizyolojik parametrelerine etkisinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 95s.

Kaya A., İnan M., (2017). Tuz (NaCl) stresine maruz kalan reyhan (*Ocimum basilicum* L.) bitkisinde bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerine salisilik asidin etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21(3), 332-342.

Kayahan, E., Aksoy, K., Önem, E. (2013). Microencapsulation of peppermint oil by the complex coacervation of chitosan and sodium alginate for antibacterial applications. In *13th Autex World Textile Conference. Germany* (pp. 1-5).

Khalid, K. A. (2006). Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs [*Ocimum* sp.]. *International Agrophysics*, 20(4), 289-296.

Khalil, N., Fekry, M., Bishr, M., El-Zalabani, S., Salama, O. (2018). Foliar spraying of salicylic acid induced accumulation of phenolics, increased radical scavenging activity and modified the composition of the essential oil of water stressed *Thymus vulgaris* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123, 65-74.

- Khan, M. I. R., Khan, N. A. (Eds.). (2017). *Reactive oxygen species and antioxidant systems in plants: role and regulation under abiotic stress*. Springer Singapore. ISBN: 978-981-10-5254-5, 329s.
- Khanam, D., Mohammad, F. (2017). Effect of structurally different plant growth regulators (PGRs) on the concentration, yield, and constituents of peppermint essential oil. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 23(1), 26-35.
- Khanam, D., Mohammad, F. (2018). Plant growth regulators ameliorate the ill effect of salt stress through improved growth, photosynthesis, antioxidant system, yield and quality attributes in *Mentha piperita* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(11), 1-13.
- Khorasaninejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati, K., Khalighi, A. (2010). The effect of salinity stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of peppermint (*Mentha piperita* L.). *World Applied Sciences Journal*, 11(11), 1403-1407.
- Khorasaninejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati, K., Khalighi, A. (2011). The effect of drought stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of Peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(22), 5360-5365.
- Kılıç Ö. (2019). *Bazı bitkilerde uçucu yağların biyoaktif ve antimikrobiyal özelliklerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ordu. 59s.
- Kıran, S. (2019). Vermikompost Uygulamalarının Kuraklık Stresi Altındaki Kıvırcık Salatanın (*Lactuca sativa* var. *crispa*) Mineral İçerikleri Üzerine Etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22, 133-140.
- Kızıllı, S., Hasimi, N., Tolan, V., Kilinc, E., Yuksel, U. (2010). Mineral content, essential oil components and biological activity of two mentha species (*M. piperita* L., *M. spicata* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, 15(2), 148-153.
- Kireççi O. A., (2012). *Kuraklık stresine maruz bırakılan Triticum aestivum L. (buğday) çeşitlerinde sinyal iletiminde rol oynayan bazı biyomoleküllerin araştırılması*. Doktora Tezi. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Malatya. 245s.
- Kireççi, O. A. (2018). Bitkilerde Enzimatik ve Enzimatik Olmayan Antioksidanlar. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 473-483.
- Klessig, D. F., Malamy, J. (1994). The salicylic acid signal in plants. *Plant Molecular Biology*, 26(5), 1439-1458.
- Koç M., (2020). *Bazı üzüm çeşitlerinin kuraklık stresine karşı fizyolojik biyokimyasal ve moleküler tepkileri*. Doktora Tezi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tokat. 104s.
- Kohlen, W., Charnikhova, T., Liu, Q., Bours, R., Domagalska, M. A., Beguerie, S., Verstappen, F., Leyser, O., Bouwmeester, H., Ruyter-Spira, C. (2011). Strigolactones are transported through the xylem and play a key role in shoot

- architectural response to phosphate deficiency in nonarbuscular mycorrhizal host *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 155(2), 974-987.
- Koltai, H. (2015). Cellular events of strigolactone signalling and their crosstalk with auxin in roots. *Journal of Experimental Botany*, 66(16), 4855-4861.
- Koltai, H., Beveridge, C. A. (2013). Strigolactones and the coordinated development of shoot and root. In Long-Distance Systemic Signaling and Communication in Plants (pp. 189-204). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kong, C. C., Ren, C. G., Li, R. Z., Xie, Z. H., Wang, J. P. (2017). Hydrogen peroxide and strigolactones signaling are involved in alleviation of salt stress induced by arbuscular mycorrhizal fungus in *Sesbania cannabina* seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36(3), 734-742.
- Korkmaz, A., Uzunlu, M., Demirkiran, A. R. (2007). Treatment with acetyl salicylic acid protects muskmelon seedlings against drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 29(6), 503-508.
- Kowitcharoen, L., Wongs-Aree, C., Setha, S., Komkhuntod, R., Kondo, S., Srilaong, V. (2018). Pre-harvest drought stress treatment improves antioxidant activity and sugar accumulation of sugar apple at harvest and during storage. *Agriculture and Natural Resources*, 52(2), 146-154.
- Köklü, Ş., (2016). *Melatoninin biber tohumlarının yaşlanması üzerine etkilerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 98s.
- Köseoğlu, S. T., (2019) *Tuz stresi altındaki mısır (Zea mays L.) bitkisinde salisilik asit uygulamalarının fizyolojik ve biyokimyasal etkisinin araştırılması*. Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya. 220 s.
- Köşkeroglu S., (2006). *Tuz ve su stresi altındaki mısır (Zea mays L.) bitkisinde prolin birikim düzeyleri ve stres parametrelerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Muğla Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Muğla. 106s.
- Krishnan, R. R., Kumari, B. D. (2008). Effect of N-triacontanol on the growth of salt stressed soybean plants. *Journal of Bioscience*, 19(2), 53-62.
- Kulak M., (2016). *Su stresi ve salisilik asit ön uygulamalarının fesleğen (Ocimum basilicum L.)'in fizyolojik parametreleri ve protein içeriğine etkileri*. Doktora. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 198s.
- Kulak, M. (2020). Recurrent drought stress effects on essential oil profile of Lamiaceae plants: An approach regarding stress memory. *Industrial Crops and Products*, 154, 112695.
- Kulak, M., Jorrín-Novo, J. V., Romero-Rodriguez, M. C., Yildirim, E. D., Gul, F., Karaman, S. (2021). Seed priming with salicylic acid on plant growth and essential oil composition in basil (*Ocimum basilicum* L.) plants grown under water stress conditions. *Industrial Crops and Products*, 161, 113235.

- Kulbat, K. (2016). The role of phenolic compounds in plant resistance. *Biotechnology and Food Sciences*, 80 (2), 97-108.
- Kundu, M., Halder, S., Bhattacharjee, A. (2018). Salicylic acid induced modulation of growth and metabolism of a medicinal plant *Mentha spicata* L. *Int J Pharm Sci Res*, 9, 5294-5300.
- Kuru, İ., S., (2017). *Bazı çeltik (Oryza sativa L.) çeşitlerinde kuraklığa tolerans cevaplarının araştırılması*. Doktora Tezi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Diyarbakır. 146s.
- Kürtür, O. B., (2018). *Tuz stresine dayanıklı ve duyarlı buğday çeşitlerinde strigolakton uygulamasına fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlar*. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Çanakkale.
- Lahari, Z., Ullah, C., Kyndt, T., Gershenzon, J., Gheysen, G. (2019). Strigolactones enhance root-knot nematode (*Meloidogyne graminicola*) infection in rice by antagonizing the jasmonate pathway. *New Phytologist*, 224(1), 454-465.
- Li, N., Han, X., Feng, D., Yuan, D., Huang, L. J. (2019). Signaling crosstalk between salicylic acid and ethylene/jasmonate in plant defense: do we understand what they are whispering?. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(3), 671.
- Li, W., Gupta, A., Tian, H., Nguyen, K. H., Tran, C. D., Watanabe, Y., Tian, C., Li, K., Yang, Y., Guo, J., Luo, Y., Miao, Y., Phan Tran, L. S. (2020). Different strategies of strigolactone and karrikin signals in regulating the resistance of *Arabidopsis thaliana* to water-deficit stress. *Plant Signaling and Behavior*, 15(9), 1789321.
- Lichtenthaler, H. K., Wellburn, A. R., 1983. Determinations of Total Carotenoids and Chlorophylls a and b of Leaf extracts in Different Solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5), 591-592.
- Loreto, F., Barta, C., Brillì, F., Nogues, I. (2006). On the induction of volatile organic compound emissions by plants as consequence of wounding or fluctuations of light and temperature. *Plant, Cell and Environment*, 29(9), 1820-1828.
- Lu, T., Yu, H., Li, Q., Chai, L., 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, 490.
- Ma, N., Hu, C., Wan, L., Hu, Q., Xiong, J., 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, 1671.
- Ma, Q., Lin, X., Zhan, M., Chen, Z., Wang, H., Yao, F., Chen, J. (2021). Effect of an exogenous strigolactone GR24 on the antioxidant capacity and quality deterioration in postharvest sweet orange fruit stored at ambient temperature. *International Journal of Food Science & Technology*.

- Mahouachi, J. (2009). Changes in nutrient concentrations and leaf gas exchange parameters in banana plantlets under gradual soil moisture depletion. *Scientia Horticulturae*, 120(4), 460-466.
- Mammadov, R., 2014. Tohumlu Bitkilerde Sekonder Metabolitler, Nobel Akademik Yayıncılık. ISBN: 978-3-051-33743-2, Ankara, 428s.
- Marzec, M. (2016). Strigolactones as part of the plant defence system. *Trends in Plant Science*, 16, 30121–30122.
- McDonald, A. J. S., W. J. Davies. 1996. Keeping in touch: Responses of the whole plant to deficits in water and nitrogen supply. *Advances in Botanical Research*, 22:229–300.
- Mengel, K., Kirkby, E. A. (2001). Principles of plant nutrition., 5th edn (Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands).
- Min, Z., Li, R., Chen, L., Zhang, Y., Li, Z., Liu, M., Ju, Y., Fang, Y. (2019). Alleviation of drought stress in grapevine by foliar-applied strigolactones. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 99-110.
- Mishra, A., Gupta, P., Lal, R. K., Dhawan, S. S. (2021). Assessing and integrating the transcriptome analysis with plant development, trichomes, and secondary metabolites yield potential in *Mentha arvensis* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 517-530.
- Moghaddam, M., Pourbaige, M., Tabar, H. K., Farhadi, N., Hosseini, S. M. A. (2013). Composition and antifungal activity of peppermint (*Mentha piperita*) essential oil from Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 16(4), 506-512.
- Mohammed, O. F. A., (2017). *Kuraklık stresine karşı bazı tıbbi ve aromatik bitkilerin tepkileri*. Yüksek Lisans Tezi. Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kastamonu. 23s.
- Mohammadi, H., Amirikia, F., Ghorbanpour, M., Fatehi, F., Hashempour, H. (2019). Salicylic acid induced changes in physiological traits and essential oil constituents in different ecotypes of *Thymus kotschyanus* and *Thymus vulgaris* under well-watered and water stress conditions. *Industrial Crops and Products*, 129, 561-574.
- Mohammadzadeh, S., Pirzad, A. (2021). Biochemical responses of mycorrhizal-inoculated Lamiaceae (Lavender, Rosemary and Thyme) plants to drought: a field study. *Soil Science and Plant Nutrition*, 67(1), 41-49.
- Moradi, P., Ford-Lloyd, B., ve Pritchard, J. (2017). Metabolomic approach reveals the biochemical mechanisms underlying drought stress tolerance in thyme. *Analytical Biochemistry*, 527, 49-62.
- Morgil, H., (2019). *Kuraklık stresi uygulanmış mercimek (Lens culinaris Medik.) bitkisinin rna dizileme yöntemi ile transkripsiyonel analizi*. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 128s.
- Mulugeta, S. M., Radácsi, P. (2022). Influence of drought stress on growth and essential oil yield of *Ocimum* species. *Horticulturae*, 8(2), 175.

- Munné-Bosch, S., Müller, M. (2013). Hormonal cross-talk in plant development and stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 4, 529.
- Murray, M. J., Marble, P., Lincoln, D., Mefendehl, F. W. (1986). Peppermint oil quality differences and the reason for them, *Flavors and Fragrances: A World Perspective*. In *Proceeding on the 10th International Congress of Essential Oils*, Washington DC, USA, 16-20.
- Mutlu, S., (2009). *Salisilik asidin arpada (Hordeum vulgare L.) soğuk toleransını sağlama ve apoplastik ile simplastik proteinler üzerine etkilerinin incelenmesi*. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 139s.
- Nakabayashi, R., Yonekura-Sakakibara, K., Urano, K., Suzuki, M., Yamada, Y., Nishizawa, T., Matsuda, F., Kojima, M., Sakakibara, H., Shinozaki, K., Michael, A. J., Tohge, T., Yamazaki, M., Saito, K. (2014). Enhancement of oxidative and drought tolerance in *Arabidopsis* by over accumulation of antioxidant flavonoids. *The Plant Journal*, 77(3), 367-379.
- Naz, R., Sarfraz, A., Anwar, Z., Yasmin, H., Nosheen, A., Keyani, R., ve Roberts, T. H. (2021). Combined ability of salicylic acid and spermidine to mitigate the individual and interactive effects of drought and chromium stress in maize (*Zea mays* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 159, 285-300.
- Nazarli, H., Ahmadi, A., Hadian, J. (2014). Salicylic acid and methyl jasmonate enhance drought tolerance in chamomile plants. *Journal of HerbMed Pharmacology*, 3.
- Németh-Zámbori, É., Szabó, K., Pluhár, Z., Radácsi, P., Inotai, K. (2016). Changes in biomass and essential oil profile of four Lamiaceae species due to different soil water levels. *Journal of Essential oil Research*, 28(5), 391-399.
- Németh-Zámbori, É., Szabó, K., Rajhárt, P., Inotai, K., Seidler-Lozykowska, K., Radácsi, P. (2017). Variability of phenolic compounds of four aromatic Lamiaceae species in consequence of different water supply. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 16(4).
- Nóbrega, J. S., Figueiredo, F. R. A., Silva, T. I. D., Fátima, R. T. D., Ferreira, J. T. A., Ribeiro, J. E. D. S., Bruno, R. D. L. A. (2022). Ecophysiology of *Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze (Lamiaceae) under saline stress and salicylic acid. *Ciência Rural*, 52.
- Nor, N. M., Pa'ee, F., Manan, N. A. (2021). The effect of water stress on growth rate in *Mentha arvensis*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 736, No. 1, p. 012040). IOP Publishing.
- Omoarelojie, L. O., Kulkarni, M. G., Finnie, J. F., Pospíšil, T., Strnad, M., Van Staden, J. (2020). Synthetic strigolactone (rac-GR24) alleviates the adverse effects of heat stress on seed germination and photosystem II function in lupine seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 155, 965-979.

- Omoarelojie, L. O., Kulkarni, M. G., Finnie, J. F., Van Staden, J. (2021). Strigolactone analog (rac-GR24) enhances chilling tolerance in mung bean seedlings. *South African Journal of Botany*, 140, 173-181.
- Orav, A., Kapp, K., Raal, A. (2013). Chemosystematic markers for the essential oils in leaves of *Mentha* species cultivated or growing naturally in Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 62(3).
- Osama, S., El Sherei, M., Al-Mahdy, D. A., Bishr, M., Salama, O. (2019). Effect of Salicylic acid foliar spraying on growth parameters, γ -pyrones, phenolic content and radical scavenging activity of drought stressed *Ammi visnaga* L. plant. *Industrial Crops and Products*, 134, 1-10.
- Osuagwu, G. G. E., Edeoga, H. O., Osuagwu, A. N. (2010). The influence of water stress (drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves of *Ocimum gratissimum* L. *Recent Research in Science and Technology*, 2(2), 27-33.
- Önay, E., (2019). *Strigolaktonun tuz stresine toleranslı ve duyarlı buğday çeşitlerinde askorbat-glutasyon döngüsü enzim sistemine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ. 79s.
- Özbilen, A (2019). Zeytinde (*Olea europaea* L.) strigolakton biyosentezinde rol alan genlerin karakterizasyonu. Doktora Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Çanakkale. 203 s.
- Özdüven, F. F., (2016). *Salisilik asit uygulamalarının farklı sulama seviyelerinde yetiştirilen yazlık kabakta (Cucurbita pepo L) bitki gelişimi ve verime etkileri*. Doktora Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ. 213s.
- Özeker, E. (2005). Salisilik asit ve bitkiler üzerindeki etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(1), 213-223.
- Özel, A., Özgüven, M. (2002). Effect of different planting times on essential oil components of different mint (*Mentha* spp.) varieties. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 26(5), 289-294.
- Özel, H., (2020). *Tuz stresinde yetiştirilen ayçiçeği (Helianthus annuus L.) fidelerinde görülen kotiledon senesensi üzerine GR24 ve oksin'in etkileri*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 81 s.
- Özel, Ş. G., (2018). *Strigolakton uygulamasıyla tuz stresine karşı kum zambağı bitkisinin toleransının artırılmasında antioksidan enzimlerin işlevi*. Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ. 104 s.
- Öztürk, A., Ünlükara, A., İpek, A., Gürbüz, B. (2004). Effects of salt stress and water deficit on plant growth and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Pak. J. Bot.*, 36(4), 787-792.
- Öztürk, N. Z. (2015). Bitkilerin kuraklık stresine tepkilerinde bilinenler ve yeni yaklaşımlar. *Turkish Journal Of Agriculture-Food Science And Technology*, 3(5), 307-315.

- Öztürkci, Y., (2016). *Salisilik asitin kuraklık stresindeki ekmeklik buğday çeşitlerinde büyüme ve bazı fizyolojik özellikler üzerine etkileri*. Doktora Tezi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van. 132s.
- Pancheva, T. V., Popova, L. P., Uzunova, A. N. (1996). Effects of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *Journal of Plant Physiology*, 149(1-2), 57-63.
- Pandey, A., Sharma, M., Pandey, G. K. (2016). Emerging roles of strigolactones in plant responses to stress and development. *Frontiers in Plant Science*, 7, 434.
- Parida, A. K., Das, A. B., Sanada, Y., Mohanty, P. (2004). Effects of salinity on biochemical components of the mangrove, *Aegiceras corniculatum*. *Aquatic Botany*, 80(2), 77-87.
- Pavlović, I., Petřík, I., Tarkowská, D., Lepeduš, H., Vujčić Bok, V., Radić Brkanac, S., Novák, O., Salopek-Sondi, B. (2018). Correlations between phytohormones and drought tolerance in selected Brassica crops: Chinese cabbage, white cabbage and kale. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10), 2866.
- Per, T. S., Khan, N. A., Reddy, P. S., Masood, A., Hasanuzzaman, M., Khan, M. I. R., Anjum, N. A. (2017). Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance: Phytohormones, mineral nutrients and transgenics. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 126-140.
- Pérez, M. G. F., Rocha-Guzmán, N. E., Mercado-Silva, E., Loarca-Piña, G., Reynoso-Camacho, R. (2014). Effect of chemical elicitors on peppermint (*Mentha piperita*) plants and their impact on the metabolite profile and antioxidant capacity of resulting infusions. *Food Chemistry*, 156, 273-278.
- Perveen, S., Shahbaz, M., Ashraf, M. (2012). Changes in mineral composition, uptake and use efficiency of salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants raised from seed treated with triacontanol. *Pakistan Journal of Botany*, 44, 27-35.
- Pino, J. A., Borges, P., Martinez, M. A., Vargas, M., Flores, H., Campo, S. T. M. D., Fuentes, V. (2002). Essential oil of *Mentha piperita* L. grown in Jalisco. *Journal of Essential Oil Research*, 14 (3), 189-190.
- Pirbalouti, A. G., Samani, M. R., Hashemi, M., Zeinali, H. (2014). Salicylic acid affects growth, essential oil and chemical compositions of thyme (*Thymus daenensis* Celak.) under reduced irrigation. *Plant Growth Regulation*, 72 (3), 289-301.
- Pirbalouti, A. G., Malekpoor, F., Salimi, A., Golparvar, A. (2017). Exogenous application of chitosan on biochemical and physiological characteristics, phenolic content and antioxidant activity of two species of basil (*Ocimum ciliatum* and *Ocimum basilicum*) under reduced irrigation. *Scientia Horticulturae*, 217, 114-122.
- Pourghasemian, N., Moradi, R., Naghizadeh, M., Landberg, T. (2020). Mitigating drought stress in sesame by foliar application of salicylic acid, beeswax waste and licorice extract. *Agricultural Water Management*, 231, 105997.

- Prerostova, S., Kramna, B., Dobrev, P. I., Gaudinova, A., Marsik, P., Fiala, R., Knirsch, V., Vanek, T., Kuresova, G., Vankova, R. (2018). Organ-specific hormonal cross-talk in phosphate deficiency. *Environmental and Experimental Botany*, 153, 198-208.
- Radács, P., Szabo, K., Szabo, D., Trocsanyi, E., Nemeth-Zambori, E. (2016). Effect of water deficit on yield and quality of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Zemdirbyste-Agriculture*, 103(4).
- Rahimi, Y., Taleei, A., Ranjbar, M. (2017). Changes in the expression of key genes involved in the biosynthesis of menthol and menthofuran in *Mentha piperita* L. under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(9), 1-9.
- Rahimi, Y., Taleei, A., Ranjbar, M. (2018). Long-term water deficit modulates antioxidant capacity of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Scientia Horticulturae*, 237, 36-43.
- Ren, C. G., Kong, C. C., Xie, Z. H. (2018). Role of abscisic acid in strigolactone-induced salt stress tolerance in arbuscular mycorrhizal *Sesbania cannabina* seedlings. *BMC Plant Biology*, 18(1), 1-10.
- Rezaei-Chiyaneh, E., Mahdavia, H., Hadi, H., Alipour, H., Kulak, M., Caruso, G., Siddique, K. H. (2021). The effect of exogenously applied plant growth regulators and zinc on some physiological characteristics and essential oil constituents of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) under water stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27(10), 2201-2214.
- Riachi, L. G., De Maria, C. A. (2015). Peppermint antioxidants revisited. *Food Chemistry*, 176, 72-81.
- Rozpadek, P., Domka, A. M., Nosek, M., Ważny, R., Jędrzejczyk, R. J., Wiciarz, M., Turnau, K. (2018). The role of strigolactone in the cross-talk between *Arabidopsis thaliana* and the endophytic fungus *Mucor* sp. *Frontiers in Microbiology*, 9, 441.
- Rowshan, V., Khoi, M. K., Javidnia, K. (2010). Effects of salicylic acid on quality and quantity of essential oil components in *Salvia macrosiphon*. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 4 (11), 77-82.
- Ruiz-Lozano, J. M., Aroca, R., Zamarreño, Á. M., Molina, S., Andreo-Jiménez, B., Porcel, R., García-Mina, J. M., Ruyter-Spira, C., López-Ráez, J. A. (2016). Arbuscular mycorrhizal symbiosis induces strigolactone biosynthesis under drought and improves drought tolerance in lettuce and tomato. *Plant, Cell and Environment*, 39 (2), 441-452.
- Ruyter-Spira, C., Kohlen, W., Charnikhova, T., van Zeijl, A., van Bezouwen, L., de Ruijter, N., Cardoso, C., Lopez-Raez, J. A., Matusova, R., Bours, R., Verstappen, F., Bouwmeester, H. (2011). Physiological effects of the synthetic strigolactone analog GR24 on root system architecture in *Arabidopsis*: another belowground role for strigolactones?. *Plant Physiology*, 155(2), 721-734.
- Saeed, W., Naseem, S., Ali, Z. (2017). Strigolactones biosynthesis and their role in abiotic stress resilience in plants: a critical review. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1487.

- Safari, M., Mousavi-Fard, S., Rezaei Nejad, A., Sorkheh, K., Sofo, A. (2022). Exogenous salicylic acid positively affects morpho-physiological and molecular responses of *Impatiens walleriana* plants grown under drought stress. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(2), 969-984.
- Saharkhiz, M. J., Goudarzi, T. (2014). Foliar application of salicylic acid changes essential oil content and chemical compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17(3), 435-440.
- Sales, L., Ohara, H., Ohkawa, K., Saito, T., Todoroki, Y., Srilaong, V., Kondo, S. (2017). Salt tolerance in apple seedlings is affected by an inhibitor of ABA 8'-hydroxylase CYP707A. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36(3), 643-650.
- Samber, N., Khan, A., Varma, A., Manzoor, N. (2015). Synergistic anti-candidal activity and mode of action of *Mentha piperita* essential oil and its major components. *Pharmaceutical Biology*, 53(10), 1496-1504.
- Sanchez-Moreno, C., Larraur, J., Saura-Calixto, F., 1998. A Procedure to Measure the Antiradical Efficiency of Polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76 (2): 270-276.
- Sánchez-Rodríguez, E., Moreno, D. A., Ferreres, F., del Mar Rubio-Wilhelmi, M., Ruiz, J. M. (2011). Differential responses of five cherry tomato varieties to water stress: changes on phenolic metabolites and related enzymes. *Phytochemistry*, 72(8), 723-729.
- Santoro, V., Schiavon, M., Gresta, F., Ertani, A., Cardinale, F., Sturrock, C. J., Celi, L., Schubert, A. (2020). Strigolactones control root system architecture and tip anatomy in *Solanum lycopersicum* L. plants under P starvation. *Plants*, 9(5), 612.
- Santoro, V., Schiavon, M., Visentin, I., Constán-Aguilar, C., Cardinale, F., Celi, L. (2021). Strigolactones affect phosphorus acquisition strategies in tomato plants. *Plant, Cell and Environment*, 44(11), 3628-3642.
- Sapmaz, U., (2019). *Strigolakton biyosentezi ve DNA metilasyonu arasındaki ilişkinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Çanakkale. 59s.
- Sarani, M., Namrudi, M., Hashemi, S. M., Raoofi, M. M. (2014). The effect of drought stress on chlorophyll content, root growth, glucosinolate and proline in crop plants. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 3 (9), 994-997.
- Saruhan, N., Turgut-Terzi, R., Kadioglu, A. (2006). The effects of exogenous polyamines on some biochemical changes during drought stress in *Ctenanthe setosa* (Rosc.) Eichler. *Acta Biologica Hungarica*, 57 (2), 221-229.
- Saruhan, N., Saglam, A., Kadioglu, A. (2012). Salicylic acid pretreatment induces drought tolerance and delays leaf rolling by inducing antioxidant systems in maize genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34(1), 97-106.

- Sarwar, Y., Shahbaz, M. (2019). GR24 triggered variations in morpho-physiological attributes of sunflower (*Helianthus annuus*) under salinity. *International Journal of Agriculture and Biology*, 21, 34-40.
- Sarwar, Y., Shahbaz, M. (2020). Modulation in growth, photosynthetic pigments, gas exchange attributes and inorganic ions in sunflower (*Helianthus annuus* L.) by strigolactones (GR24) achene priming under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 52 (1), 23-31.
- Sato, D., Awad, A. A., Chae, S. H., Yokota, T., Sugimoto, Y., Takeuchi, Y., Yoneyama, K. (2003). Analysis of strigolactones, germination stimulants for *Striga* and *Orobanche*, by high-performance liquid chromatography/tandem mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5), 1162-1168.
- Scaffidi, A., Waters, M. T., Ghisalberti, E. L., Dixon, K. W., Flematti, G. R., Smith, S. M. (2013). Carlactone-independent seedling morphogenesis in *Arabidopsis*. *The Plant Journal*, 76(1), 1-9.
- Scavroni, J., Boaro, C. S. F., Marques, M. O. M., Ferreira, L. C. (2005). Yield and composition of the essential oil of *Mentha piperita* L. (Lamiaceae) grown with biosolid. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17, 345-352.
- Sedaghat, M., Sarvestani, Z. T., Emam, Y., Bidgoli, A. M. (2017a). Do phytohormones influence the grain quality and yield of winter wheat under drought conditions?. *Journal of Advanced Agricultural Technologies Vol*, 4(2).
- Sedaghat, M., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Emam, Y., Mokhtassi-Bidgoli, A. (2017b). Physiological and antioxidant responses of winter wheat cultivars to strigolactone and salicylic acid in drought. *Plant Physiology and Biochemistry*, 119, 59-69.
- Sedaghat, M., Sarvestani, Z. T., Emam, Y., Bidgoli, A. M., Sorooshzadeh, A. (2020). Foliar applied GR24 and salicylic acid enhanced wheat drought tolerance. *Russian Journal of Plant Physiology*, 67(4), 733-739.
- Sedaghat, M., Emam, Y., Mokhtassi-Bidgoli, A., Hazrati, S., Lovisolo, C., Visentin, I., Cardinale, F., Tahmasebi-Sarvestani, Z. (2021). The Potential of the Synthetic Strigolactone Analogue GR24 for the Maintenance of Photosynthesis and Yield in Winter Wheat under Drought: Investigations on the Mechanisms of Action and Delivery Modes. *Plants*, 10(6), 1223.
- Sepahvand, T., Etemad, V., Matinizade, M., Shirvany, A. (2021). Symbiosis of AMF with growth modulation and antioxidant capacity of *Caucasian Hackberry* (*Celtis Caucasia* L.) seedlings under drought stress. *Central Asian journal of environmental science and technology innovation*, 2(1), 20-35.
- Sevimay, N., (2009). *Kuraklık stresi altındaki marul bitkilerinde salisilik asidin etkileri*. Yüksek Lisans. Tezinamik Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ. 43s.

- Shabrangi, A., Jazi, E. A. B. (2014). Effect of Salicylic Acid on The Amount of Essential Oil, Phenolic Compounds, Flavonoids And Antioxidant Activity of *Mentha piperita* L. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(8), 499.
- Shanjida, K., Ullab, S. M., Faiz, S. M. A., Sarwar, K. S. (2004). Effect of water stress on yield, nutrient content and quality of soybean. *Bulletin of the Institute of Tropical Agriculture*, Kyushu University 26:33–38.
- Sharif, P., Seyedsalehi, M., Paladino, O., Van Damme, P., Sillanpää, M., Sharifi, A. A. (2017). Effect of drought and salinity stresses on morphological and physiological characteristics of canola. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(9), 1859-1866.
- Sharifi, P., Bidabadi, S. S. (2020). Strigolactone could enhances gas-exchange through augmented antioxidant defense system in *Salvia nemorosa* L. plants subjected to saline conditions stress. *Industrial Crops and Products*, 151, 112460.
- Shi, H., Chen, L., Ye, T., Liu, X., Ding, K., Chan, Z. (2014). Modulation of auxin content in *Arabidopsis* confers improved drought stress resistance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 82, 209-217.
- Shirani Bidabadi, S., Sharifi, P. (2021). Strigolactone and methyl jasmonate-induced antioxidant defense and the composition alterations of different active compounds in *Dracocephalum kotschy* Boiss under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 878-889.
- Siddiqi, K. S., Husen, A. (2017). Plant response to strigolactones: current developments and emerging trends. *Applied Soil Ecology*, 120, 247-253.
- Singh, D. K., Sale, P. W., McKenzie, B. M. (1997). Water relations of white clover (*Trifolium repens* L.) in a drying soil, as a function of phosphorus supply and defoliation frequency. *Australian Journal of Agricultural Research*, 48(5), 675-682.
- Singh, D. K., Sale, P. W. (1998). Phosphorus supply and the growth of frequently defoliated white clover (*Trifolium repens* L.) in dry soil. *Plant and Soil*, 205(2), 155-162.
- Singh, R., Shushni, M. A., Belkheir, A. (2015). Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(3), 322-328.
- Singleton V.L, Rosi J.A (1965) Colorimetry of total polyphenol with phosphomolybdic phomolybdic 2269–2275aq, Z., 1999 *American Journal of Enology and Viticulture*, 37, 144-158.
- Skrypnik, L., Golovin, A., Savina, T. (2022). Effect of salicylic acid on phenolic compounds, antioxidant and antihyperglycemic activity of Lamiaceae plants grown in a temperate climate. *Frontiers in Bioscience-Elite*, 14(1), 3.
- Soltekin, R. O., (2019). *Bazı sofralık üzüm çeşitlerinde su stresinin omca gelişimi, verimi ve üzüm kalitesi üzerine etkileri*. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 225s.

- Sorefan, K., Booker, J., Haurogné, K., Goussot, M., Bainbridge, K., Foo, E., Chatfield, S., Ward, S., Beveridge, C., Rameau, C., Leyser, O. (2003). MAX4 and RMS1 are orthologous dioxygenase-like genes that regulate shoot branching in *Arabidopsis* and pea. *Genes and development*, 17(12), 1469-1474.
- Stirnberg, P., Van De Sande, K., Leyser, H. O. (2002). MAX1 and MAX2 control shoot lateral branching in *Arabidopsis*. *Development*, 129, 1131-1141.
- Subedi, L., Timala, S., Duwadi, P., Thapa, R., Paudel, A., Parajuli, K. (2014). Antioxidant activity and phenol and flavonoid contents of eight medicinal plants from Western Nepal. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 34(5), 584-590.
- Sullivan, J. B., Rumack, B. H., Thomas, H., Peterson, R. G., Bryson, P. (1979). Pennyroyal oil poisoning and hepatotoxicity. *Journal of the American Medical Association*, 242(26), 2873-2874.
- Sun, Z., Wang, H., Wang, J., Zhou, L., Yang, P. (2014). Chemical composition and anti-inflammatory, cytotoxic and antioxidant activities of essential oil from leaves of *Mentha piperita* grown in China. *PloS ONE*, 9(12), e114767.
- Sun, H., Tao, J., Gu, P., Xu, G., Zhang, Y. (2016). The role of strigolactones in root development. *Plant Signaling and Behavior*, 11(1), e1110662.
- Surgun, Y., Yılmaz, E., Çöl, B., Bürün, B. (2012). Altıncı grup bitki hormonu: brassinosteroidler. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8, 27-46.
- Şanlı, A., Karadoğan, T., Tosun, B. (2016). Bazı uçucu yağların patatesta (*Solanum tuberosum* L.) bitki aktivatörü olarak kullanım olanaklarının araştırılması. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(Özel Sayı-2), 30-35.
- Tai, Z., Yin, X., Fang, Z., Shi, G., Lou, L., 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), 852.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2008. Bitki Fizyolojisi, üçüncü baskıdan çeviri (Prof. Dr. İsmail Türkan), ISBN: 978-9944-341-61-5, Palme yayıncılık, Ankara.
- Talaat, I. M., Khatat, H. I., Ahmed, A. M. (2014). Changes in growth, hormones levels and essential oil content of *Ammi visnaga* L. plants treated with some bioregulators. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 21(4), 355-365.
- Tanker, M., Akı, O., Şener, B., Soner, O. (1976). Orta Anadolu'da Yetiştirilen Bazı Mentha Türleri Üzerinde Bir Araştırma. *Ankara Ecz. Fak. Mec*, 6, 126.
- Taş, G., (2019). *Ultrasonik ortamda yeni heterohalkalı organik bileşiklerin sentezi, karakterizasyonu ve DPPH radikali giderme aktivitelerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kırklareli. 66s.
- Tekeli, Ç., (2006). *Lamiaceae familyasına ait bazı türler üzerinde morfolojik ve anatomik bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Samsun. 85s.

- Teklić, T., Parađiković, N., Špoljarević, M., Zeljković, S., Lončarić, Z., Lisjak, M. (2021). Linking abiotic stress, plant metabolites, biostimulants and functional food. *Annals of Applied Biology*, 178(2), 169-191.
- Thakur, M., Bhattacharya, S., Khosla, P. K., Puri, S. (2019). Improving production of plant secondary metabolites through biotic and abiotic elicitation. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 12, 1-12.
- Thuring, J. J., Nefkens, G. L. (1997). Synthesis and biological evaluation of potential substrates for the isolation of the strigol receptor. *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 1*, (5), 759-766.
- Tiryaki, T., (2018). *Su stresinin yağ gülü (Rosa damascena Mill.) fidanlarında morfolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 78s.
- Toh, S., Kamiya, Y., Kawakami, N., Nambara, E., McCourt, P., Tsuchiya, Y. (2012). Thermoinhibition uncovers a role for strigolactones in *Arabidopsis* seed germination. *Plant and Cell Physiology*, 53(1), 107-117.
- Tomiya, H., Sato, M., Opio, P., Saito, T., Ohkawa, K., Ohara, H., Todoroki, Y., Kondo, S. (2020). Inhibition of abscisic acid 8'-hydroxylase affects dehydration tolerance and root formation in cuttings of grapes (*Vitis labrusca* L. × *Vitis vinifera* L. cv. Kyoho) under drought stress conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(4), 1577-1586.
- Torun, H., (2012). *Tuz stresine maruz bırakılan arpa (Hordeum vulgare L.) çeşitlerinde salisilik asit muamelesinin içsel fitohormonlar düzeyinde fizyolojik ve biyokimyasal etkilerinin araştırılması*. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon. 104s.
- Tsuchiya, Y., Vidaurre, D., Toh, S., Hanada, A., Nambara, E., Kamiya, Y., Yamaguchi, S., McCourt, P. (2010). A small-molecule screen identifies new functions for the plant hormone strigolactone. *Nature Chemical Biology*, 6(10), 741-749.
- Ulutaş, M., (2019). *Farklı dozlarda humik asit uygulamalarının nane bitkisinin (Mentha piperita ve Mentha spicata var. crispa) verim ve bazı bitkisel özelliklerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ordu. 36s.
- Umehara, M., Hanada, A., Yoshida, S., Akiyama, K., Arite, T., Takeda-Kamiya, N., Magome, H., Kamiya Y., Shirasu, K., Yoneyama, K., Kyojuka, J., Yamaguchi, S. (2008). Inhibition of shoot branching by new terpenoid plant hormones. *Nature*, 455(7210), 195-200.
- Umehara, M., Cao, M., Akiyama, K., Akatsu, T., Seto, Y., Hanada, A., Li, W., Takeda-Kamiya, N., Morimoto Y., Yamaguchi, S. (2015). Structural requirements of strigolactones for shoot branching inhibition in rice and *Arabidopsis*. *Plant and Cell Physiology*, 56(6), 1059-1072.
- Uzunova, A. N., Popova, L. P. (2000). Effect of salicylic acid on leaf anatomy and chloroplast ultrastructure of barley plants. *Photosynthetica*, 38(2), 243-250.

- Van Ha, C., Leyva-González, M. A., Osakabe, Y., Tran, U. T., Nishiyama, R., Watanabe, Y., Tanaka, M., Seki, M., Yamaguchi, S., Dong, N. V., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., Herrera-Estrella, L., 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*, 111(2), 851-856.
- Verma, R. S., Rahman, L., Verma, R. K., Chauhan, A., Yadav, A. K., Singh, A. (2010). Essential oil composition of menthol mint (*Mentha arvensis*) and peppermint (*Mentha piperita*) cultivars at different stages of plant growth from Kumaon region of Western Himalaya. *Open Access Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 1(1), 13.
- Visentin, I., Vitali, M., Ferrero, M., Zhang, Y., Ruyter-Spira, C., Novák, O., Strnad, M., Lovisolo, C., Schubert, A., Cardinale, F. (2016). Low levels of strigolactones in roots as a component of the systemic signal of drought stress in tomato. *New Phytologist*, 212(4), 954-963.
- Wang C, Yang A, Yin H, (2008) Influence of water stress on endogenous hormone contents and cell damage of maize seedlings. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(4): 427-34.
- Wang, Y., Sun, S., Zhu, W., Jia, K., Yang, H., Wang, X. (2013). Strigolactone/MAX2-induced degradation of brassinosteroid transcriptional effector BES1 regulates shoot branching. *Developmental Cell*, 27(6), 681-688.
- Wang, H. M., Xiao, X. R., Yang, M. Y., Gao, Z. L., Zang, J., Fu, X. M., Chen, Y. H. (2014). Effects of salt stress on antioxidant defense system in the root of *Kandelia candel*. *Botanical Studies*, 55(1), 1-7.
- Wang, W. N., Min, Z., Wu, J. R., Liu, B. C., Xu, X. L., Fang, Y. L., Ju, Y. L. (2021). Physiological and transcriptomic analysis of Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) reveals the alleviating effect of exogenous strigolactones on the response of grapevine to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 167, 400-409.
- Wani, K. I., Zehra, A., Choudhary, S., Naeem, M., Khan, M., Khan, R., Aftab, T. (2022). Exogenous strigolactone (GR24) positively regulates growth, photosynthesis, and improves glandular trichome attributes for enhanced artemisinin production in *Artemisia annua*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-10.
- Waraich, E. A., Ahmad, R., Ashraf, M. Y., Saifullah, Ahmad, M. (2011). Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science*, 61(4), 291-304.
- Wu, Y., Cosgrove, D. J. (2000). Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. *Journal of Experimental Botany*, 51(350), 1543-1553.
- Xie, X., Yoneyama, K., Harada, Y., Fusegi, N., Yamada, Y., Ito, S., Yokota, T., Takeuchi, Y., Yoneyama, K. (2009). Fabacyl acetate, a germination stimulant for root parasitic plants from *Pisum sativum*. *Phytochemistry*, 70(2), 211-215.

- Xie, X., Yoneyama, K., Kisugi, T., Nomura, T., Akiyama, K., Asami, T., Yoneyama, K. (2015). Strigolactones are transported from roots to shoots, although not through the xylem. *Journal of Pesticide Science*, 40(4), 214-216.
- Xie, X., Kisugi, T., Yoneyama, K., Nomura, T., Akiyama, K., Uchida, K., Yokota, T., McErlean, C. S. P., Yoneyama, K. (2017). Methyl zealactonoate, a novel germination stimulant for root parasitic weeds produced by maize. *Journal of Pesticide Science*, 42(2), 58-61.
- Voirin, B., Brun, N., Bayet, C. (1990). Effects of daylength on the monoterpene composition of leaves of *Mentha x piperita*. *Phytochemistry*, 29(3), 749-755.
- Yadav, R. K., Sangwan, R. S., Sabir, F., Srivastava, A. K., Sangwan, N. S. (2014). Effect of prolonged water stress on specialized secondary metabolites, peltate glandular trichomes, and pathway gene expression in *Artemisia annua* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 74, 70-83.
- Yakupoglu, G., (2016). *Patlıcan (Solanum melongena L.)'da melatonin içeriğinin ve üşüme stresine karşı etkisinin belirlenmesi*. Doktora Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kahramanmaraş. 103s.
- Yalçınkaya, T., (2019). *Reaktif karbonil türlerinin (rcs), glikofitik Arabidopsis thaliana ve haloftik Eutrema parvulum'da antioksidan savunma sistemi ve reaktif oksijen türleri (ros) sinyalleme üzerine etkilerinin araştırılması*. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 108s.
- Yamada, Y., Furusawa, S., Nagasaka, S., Shimomura, K., Yamaguchi, S., Umehara, M. (2014). Strigolactone signaling regulates rice leaf senescence in response to a phosphate deficiency. *Planta*, 240(2), 399-408.
- Yavaş, İ., Akgül, H. N., Ünay, A. (2016). Bitkilerin Kuraklığa Dayanıklılığını Artırmaya Yönelik Uygulamalar. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(1), 48-57.
- Yavaş, İ., İlker, E. (2020). Çevresel Stres Koşullarına Maruz Kalan Bitkilerde Fotosentez ve Fitohormon Seviyelerindeki Değişiklikler. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 9(2), 295-311.
- Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A., Abbassi, F. (2011). The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Satureja hortensis*. *African Journal of Agricultural Research*, 6(4), 798-807.
- Yediyıldız, A. G. (2019). *Bor stresi altındaki buğday fidelerine dıştan uygulanan prolinin iyileştirici etkisinin araştırılması*. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon. 90s.
- Yıldırım, E., Kılıçaslan, S. C., Ekinci, M., Kul, R. (2020). Kuraklık stresinin fasulyede bitki gelişimi, bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 36(2), 264-273.
- Yılmaz, K., (2018). *Isparta koşullarında yetiştirilen Mentha piperita L. türüne ait klon ve çeşitlerin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 59s.

- Yokawa, K., Fasano, R., Kagenishi, T., Baluška, F. (2014). Light as stress factor to plant roots—case of root halotropism. *Frontiers in Plant Science*, 5, 718.
- Yoneyama, K., Xie, X., Yoneyama, K., Nomura, T., Takahashi, I., Asami, T., Mori, N., Akiyama, K., Kusajima, M., Nakashita, H. (2019). Regulation of biosynthesis, perception, and functions of strigolactones for promoting arbuscular mycorrhizal symbiosis and managing root parasitic weeds. *Pest Management Science*, 75(9), 2353-2359.
- Yu, X., Liang, C., Chen, J., Qi, X., Liu, Y., Li, W. (2015). The effects of salinity stress on morphological characteristics, mineral nutrient accumulation and essential oil yield and composition in *Mentha canadensis* L. *Scientia Horticulturae*, 197, 579-583.
- Yuan, Z., Wang, C., Li, S., Li, X., Tai, F. (2014). Effects of different plant hormones or PEG seed soaking on maize resistance to drought stress. *Canadian Journal of Plant Science*, 94(8), 1491-1499.
- Yüksel, B., Aksoy, Ö. (2017). Su stresi koşullarında bitkilerde gözlenen değişimler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 10(2), 1-5.
- Zaid, A., Mohammad, F., Fariduddin, Q. (2020). Plant growth regulators improve growth, photosynthesis, mineral nutrient and antioxidant system under cadmium stress in menthol mint (*Mentha arvensis* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(1), 25-39.
- Zamaninejad, M., Khorasani, S. K., Moeini, M. J., Heidarian, A. R. (2013). Effect of salicylic acid on morphological characteristics, yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) under drought condition. *European Journal of Experimental Biology*, 3(2), 153-161.
- Zeid, F. A., Omer, E. A., Amin, A. Y., Hanafy, S. A. (2014). Effect of putrescine and salicylic acid on Ajwain plant (*Trachyspermum ammi*) at vegetative stage grown under drought stress. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 4(6), 61-80.
- Zhang, H., Jiang, Y., He, Z., Ma, M. (2005). Cadmium accumulation and oxidative burst in garlic (*Allium sativum*). *Journal of Plant Physiology*, 162(9), 977-984.
- Zhang, X., Zhang, L., Ma, C., Su, M., Wang, J., Zheng, S., Zhang, T. (2022). Exogenous strigolactones alleviate the photosynthetic inhibition and oxidative damage of cucumber seedlings under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 297, 110962.
- Zhang, Y., Lv, S., Wang, G. (2018). Strigolactones are common regulators in induction of stomatal closure in planta. *Plant Signaling and Behavior*, 13(3), e1444322.
- Zohra, E. S. F., Youssef, M., Hassan, E., Khalid, A. J. (2016). Effect of salicylic acid and salt stress on the growth and some biochemical parameters of *Mentha suaveolens*. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 7, 54-62.

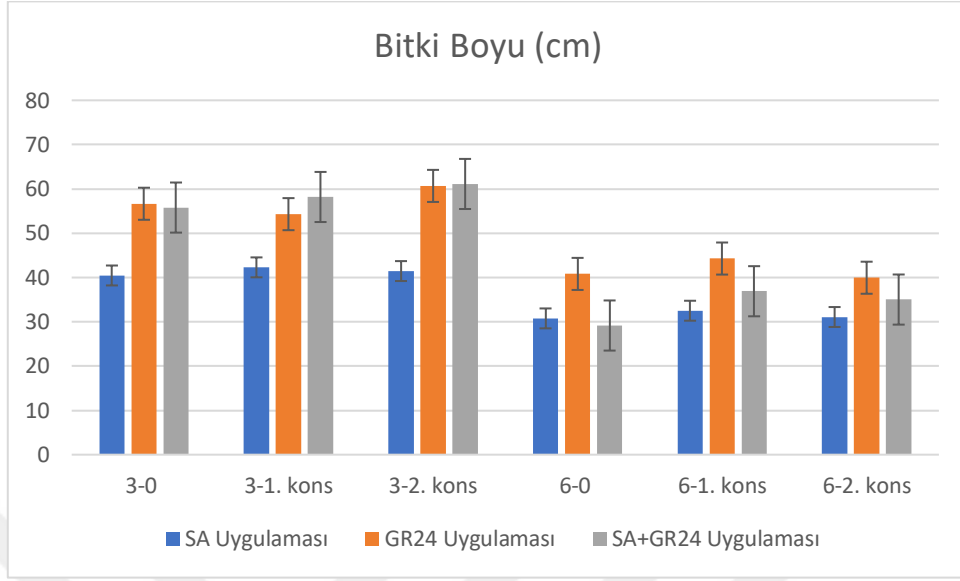
- Zulfiqar, F., Chen, J., Finnegan, P. M., Younis, A., Nafees, M., Zorrig, W., Hamed, K. B. (2021). Application of trehalose and salicylic acid mitigates drought stress in sweet basil and improves plant growth. *Plants*, 10(6), 1078.
- Zulfiqar, H., Shahbaz, M., Ahsan, M., Nafees, M., Nadeem, H., Akram, M., Maqsood, A., Ahmar, S., Kamran, M., Alamri, S., Siddiqui, M. H., Saud, S., Fahad, S. (2021a). Strigolactone (GR24) induced salinity tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.) by ameliorating morpho-physiological and biochemical attributes under in vitro conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(5), 2079-2091.
- Zwanenburg, B., Pospíšil, T. (2013). Structure and activity of strigolactones: new plant hormones with a rich future. *Molecular Plant*, 6(1), 38-62.



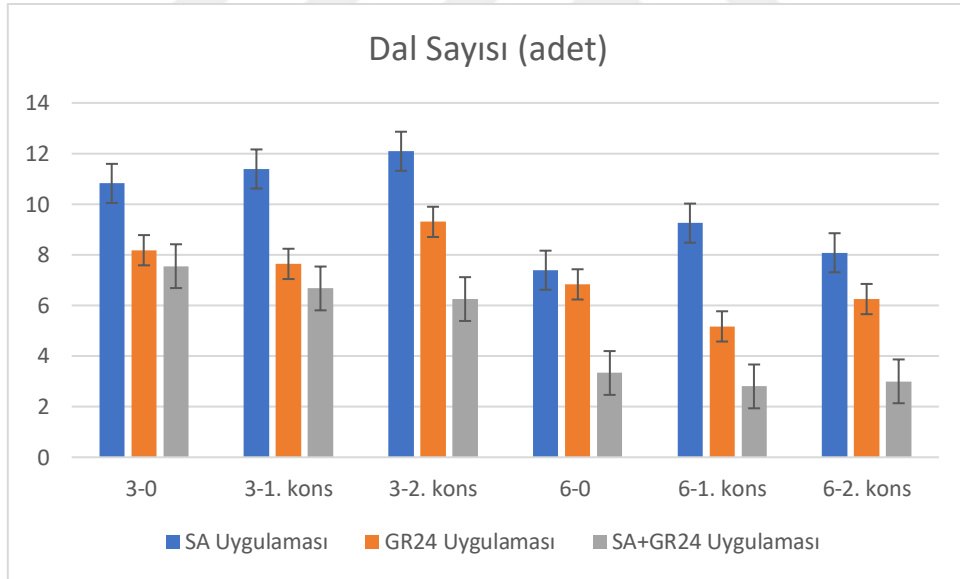


EKLER

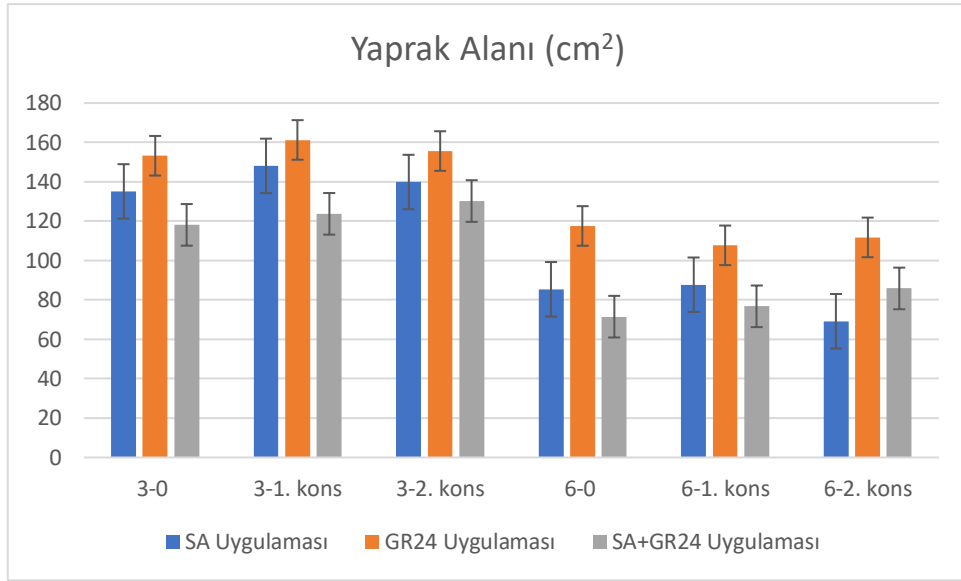
EK ŞEKİLLER



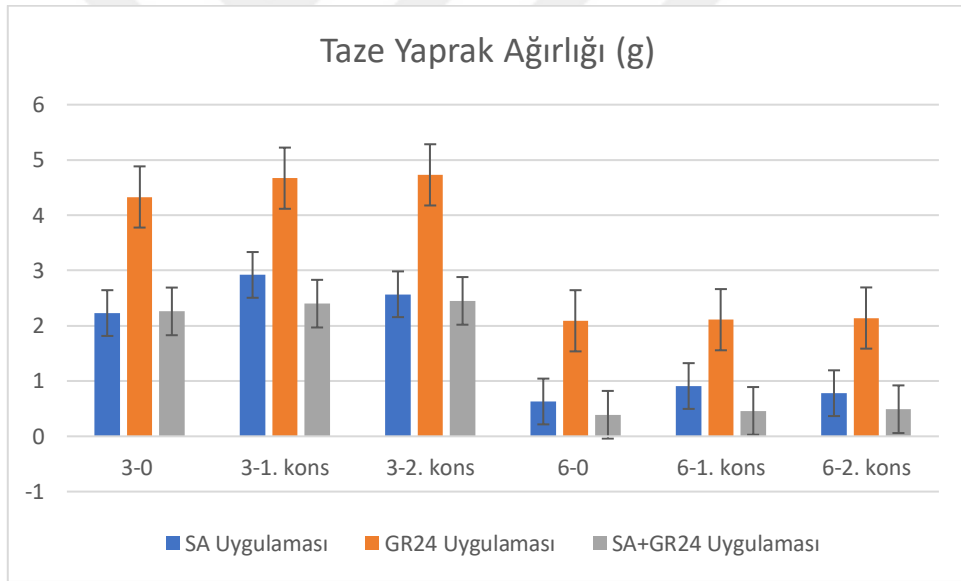
Ek Şekil 1. Bitki boyunun üç uygulamada karşılaştırılması



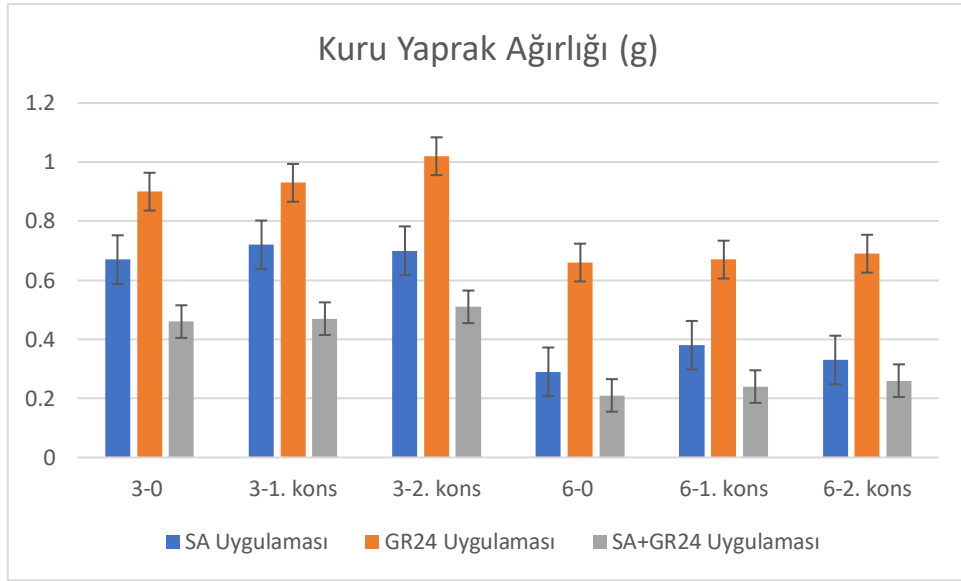
Ek Şekil 2. Dal sayısının üç uygulamada karşılaştırılması



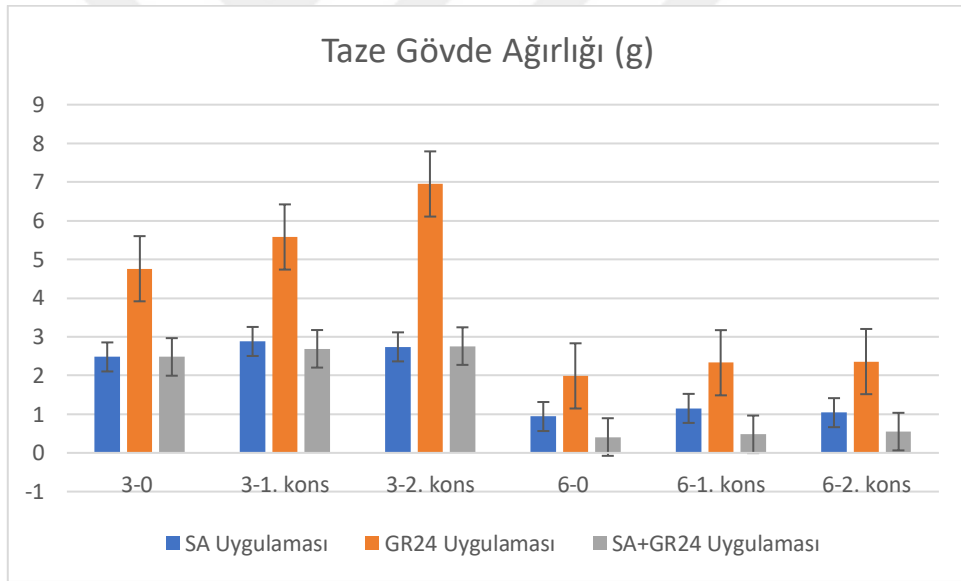
Ek Şekil 3. Yaprak alanının üç uygulamada karşılaştırılması



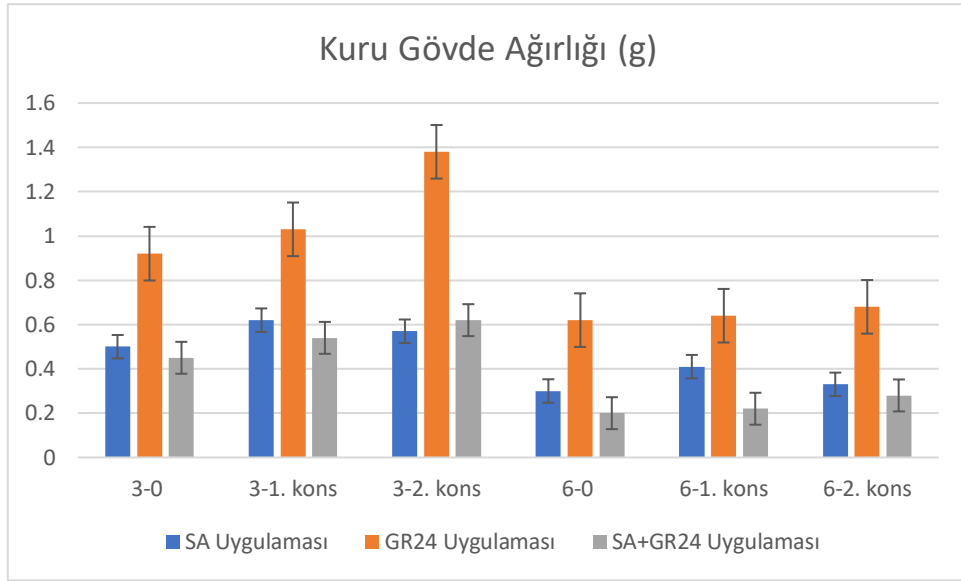
Ek Şekil 4. Taze yaprak ağırlığının üç uygulamada karşılaştırılması



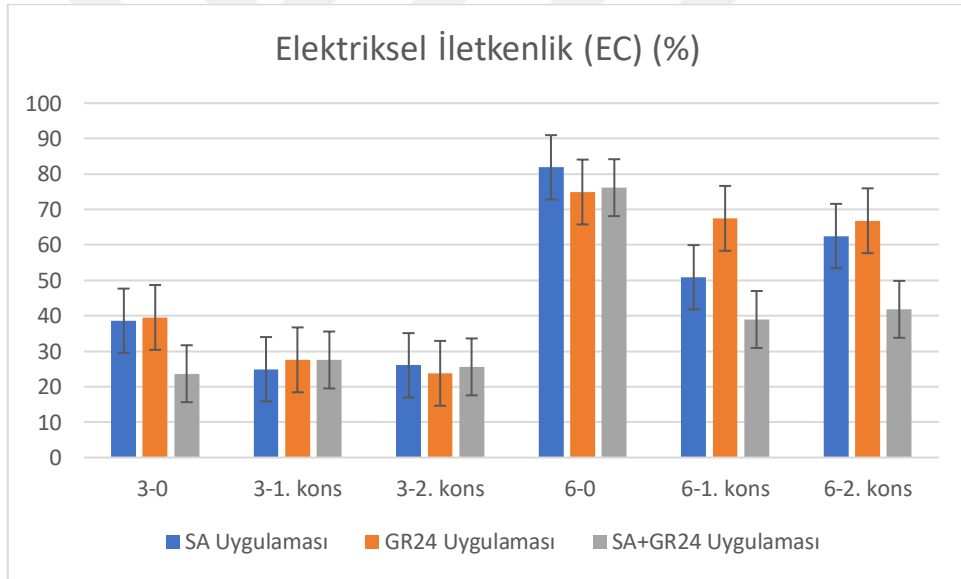
Ek Şekil 5. Kuru yaprak ağırlığının üç uygulamada karşılaştırılması



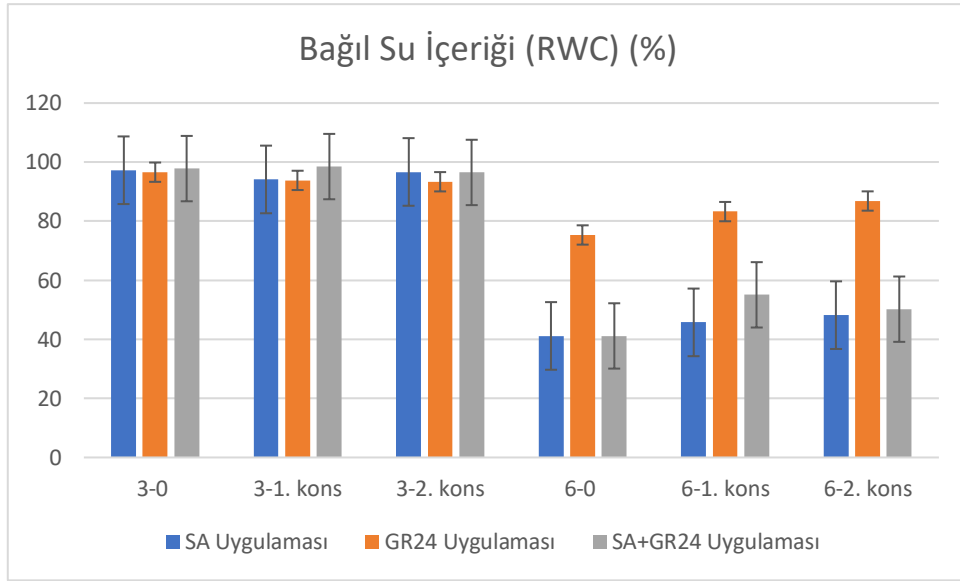
Ek Şekil 6. Taze gövde ağırlığının üç uygulamada karşılaştırılması



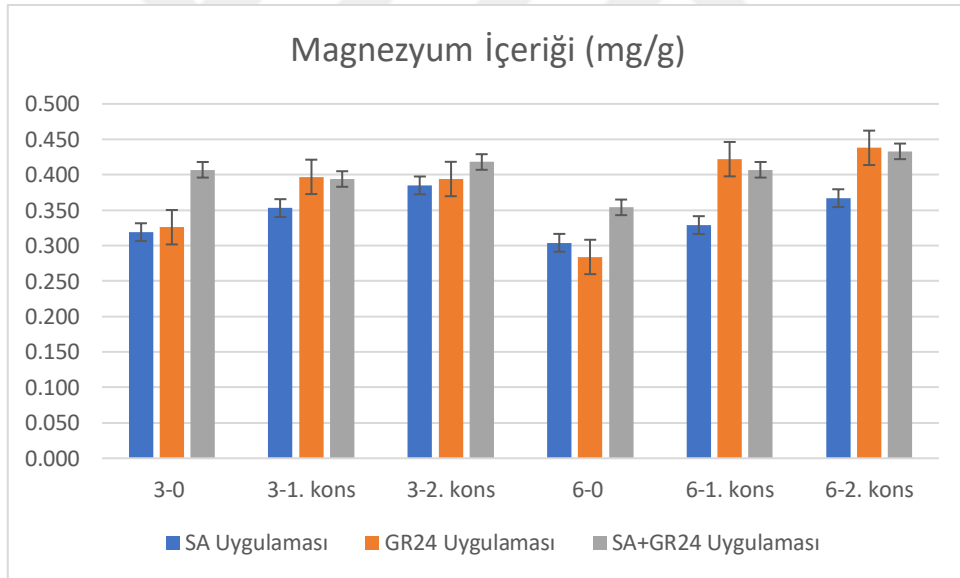
Ek Şekil 7. Kuru gövde ağırlığının üç uygulamada karşılaştırılması



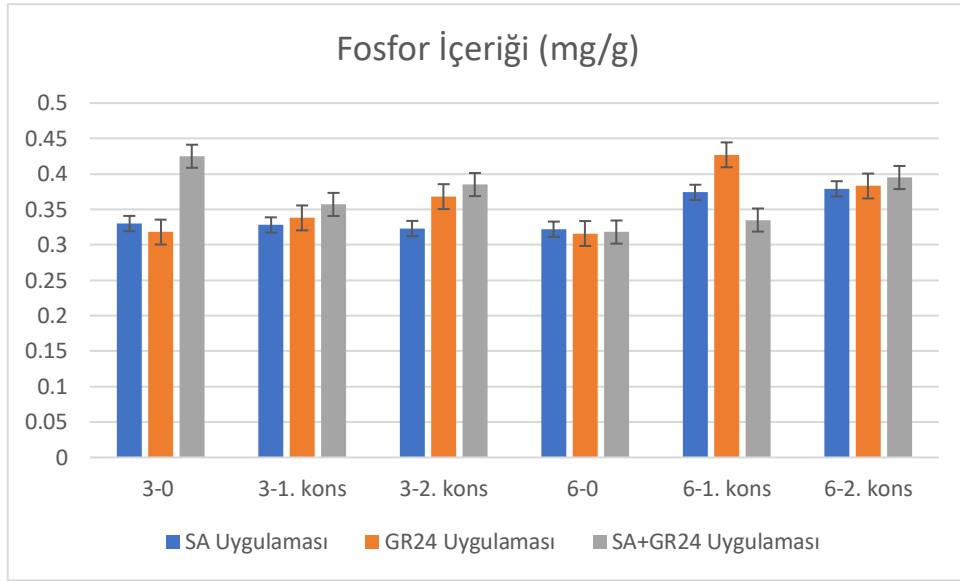
Ek Şekil 8. Elektriksel iletkenliğin üç uygulamada karşılaştırılması



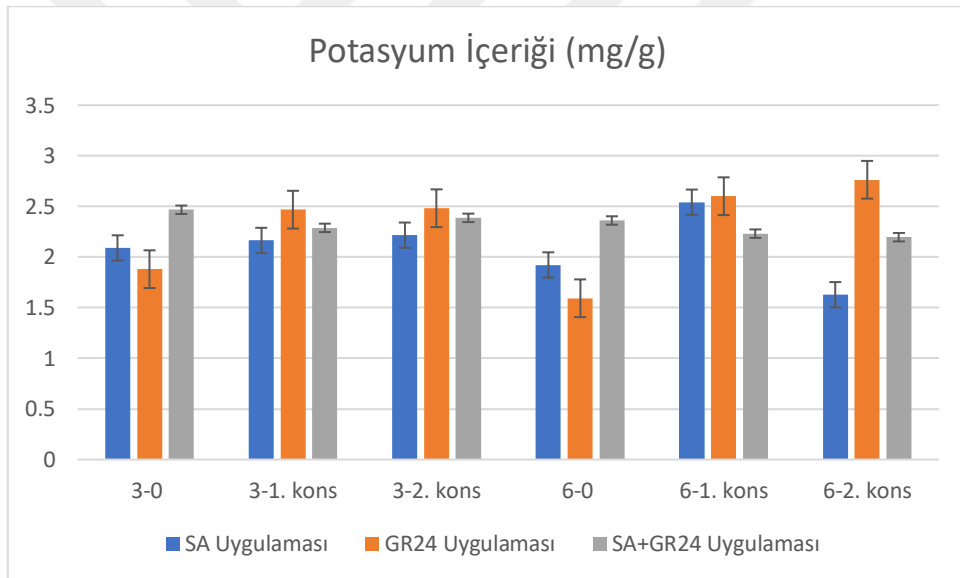
Ek Şekil 9. Bağıl su içeriğinin üç uygulamada karşılaştırılması



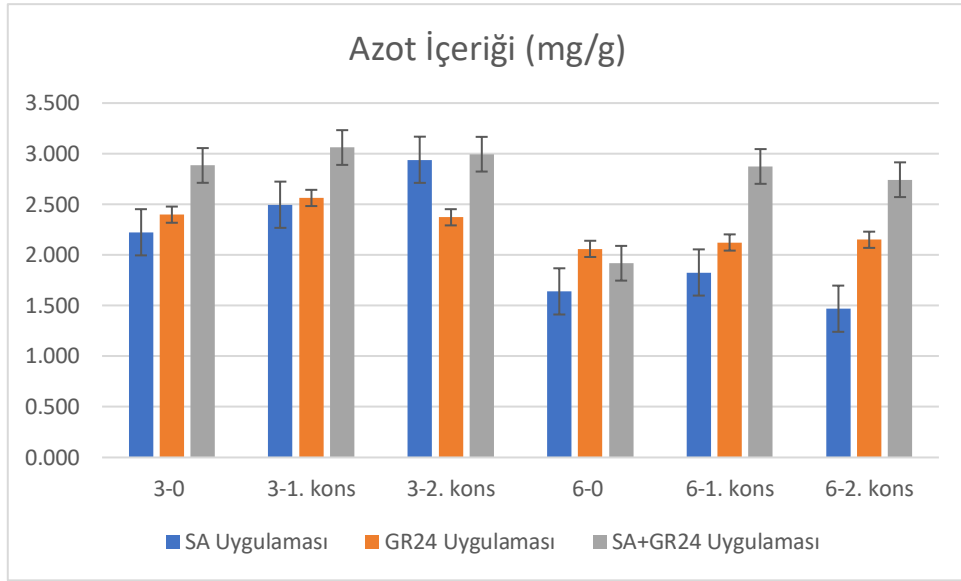
Ek Şekil 10. Magnezyum (Mg) içeriğinin üç uygulamada karşılaştırılması



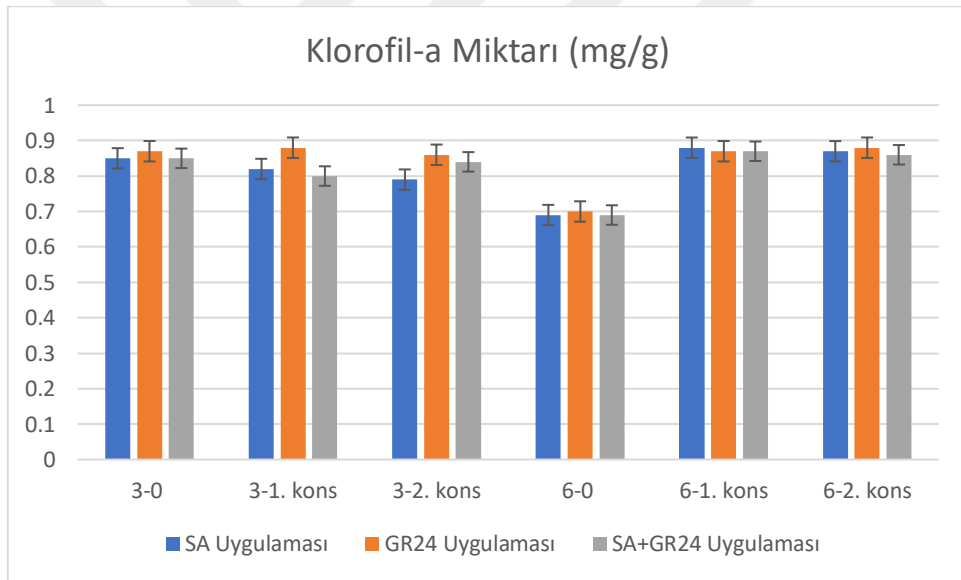
Ek Şekil 11. Fosfor (P) içeriğinin üç uygulamada karşılaştırılması



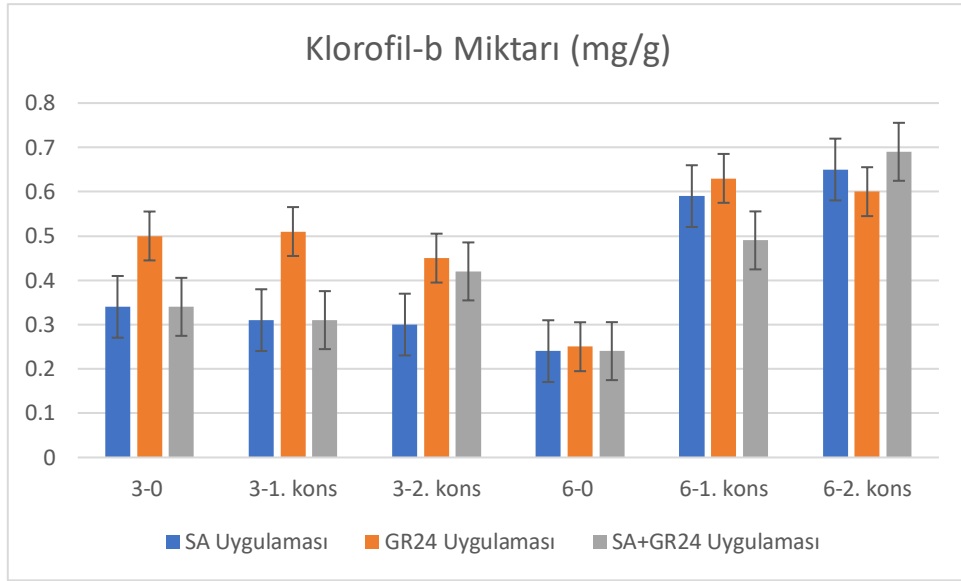
Ek Şekil 12. Potasyum (K) içeriğinin üç uygulamada karşılaştırılması



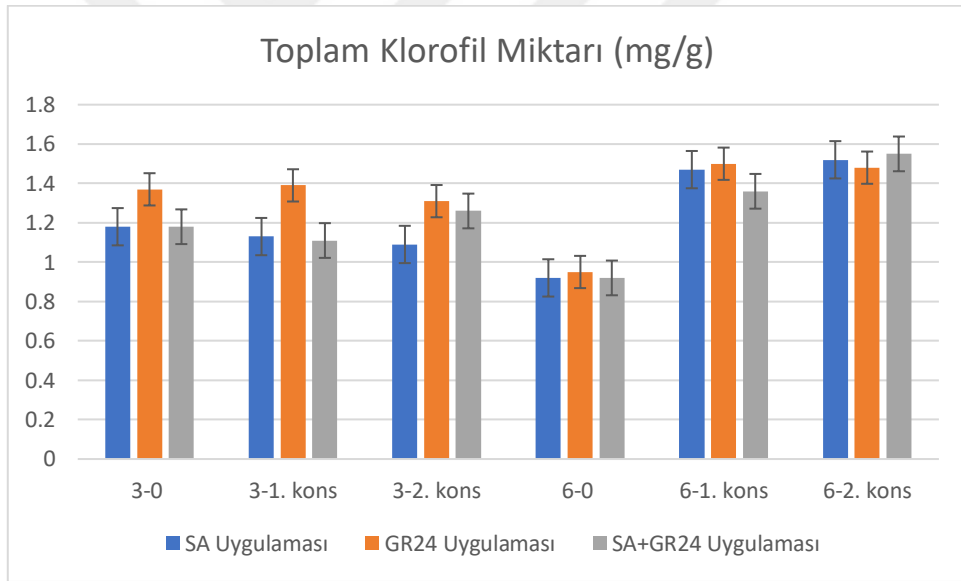
Ek Şekil 13. Azot (N) içeriğinin üç uygulamada karşılaştırılması



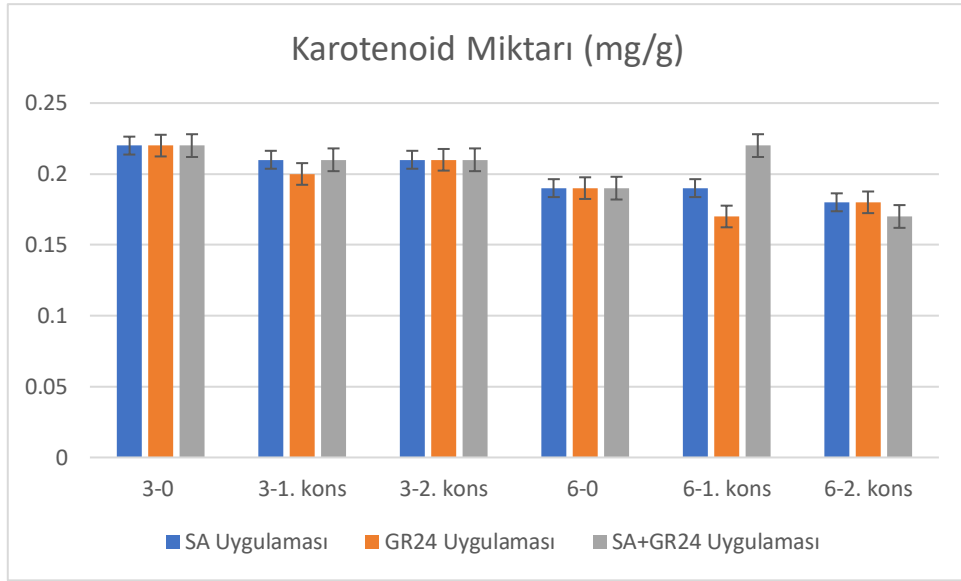
Ek Şekil 14. Klorofil-a miktarının üç uygulamada karşılaştırılması



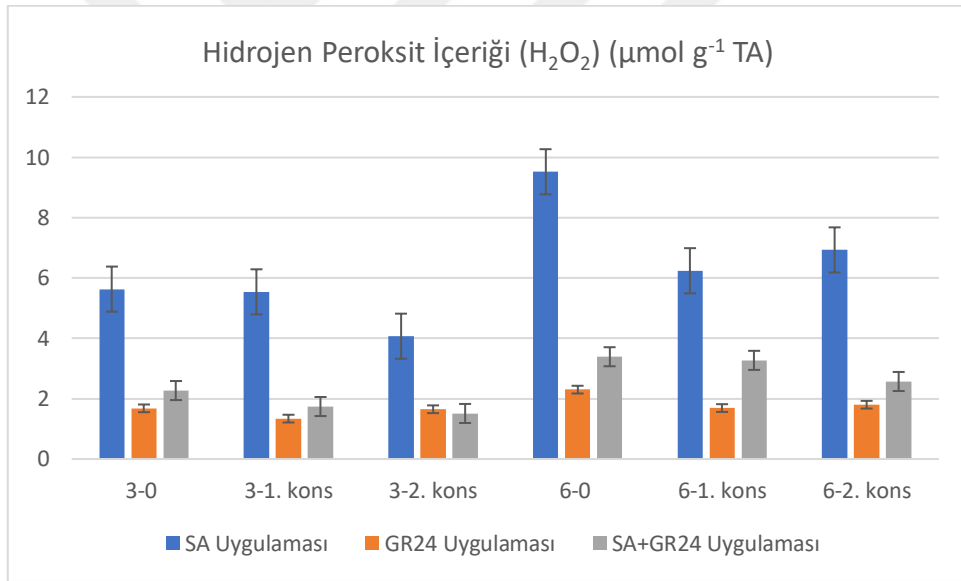
Ek Şekil 15. Klorofil-b miktarının üç uygulamada karşılaştırılması



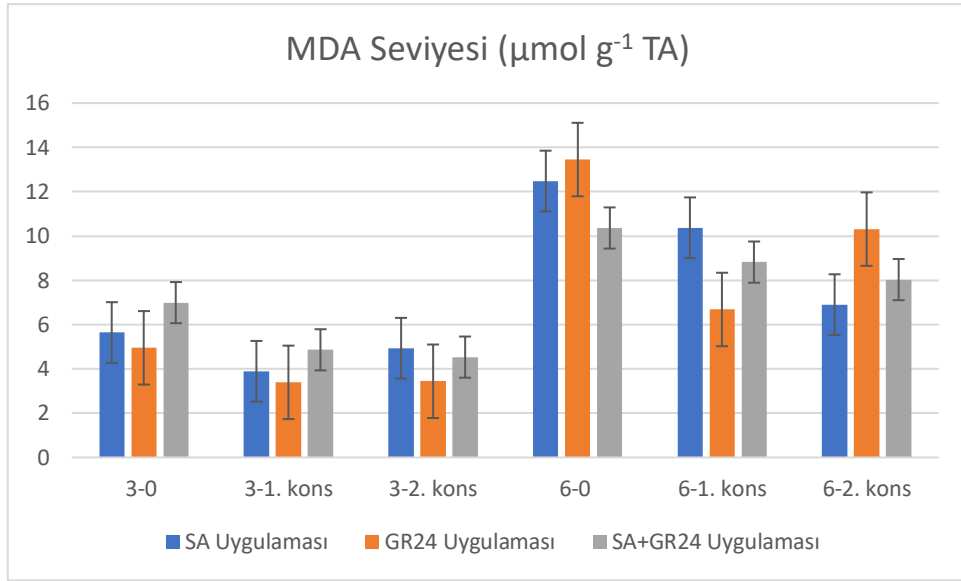
Ek Şekil 16. Toplam klorofil miktarının üç uygulamada karşılaştırılması



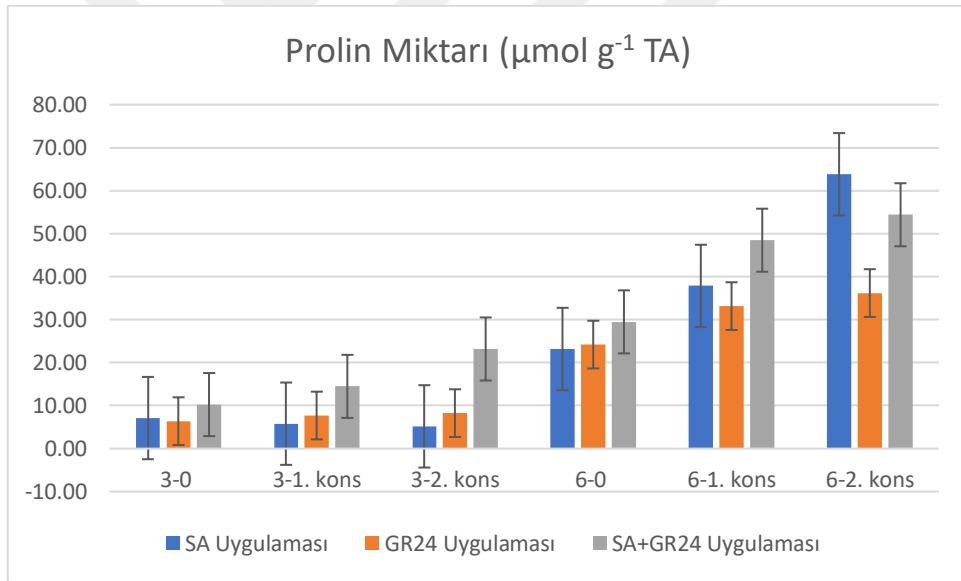
Ek Şekil 17. Karotenoid miktarının üç uygulamada karşılaştırılması



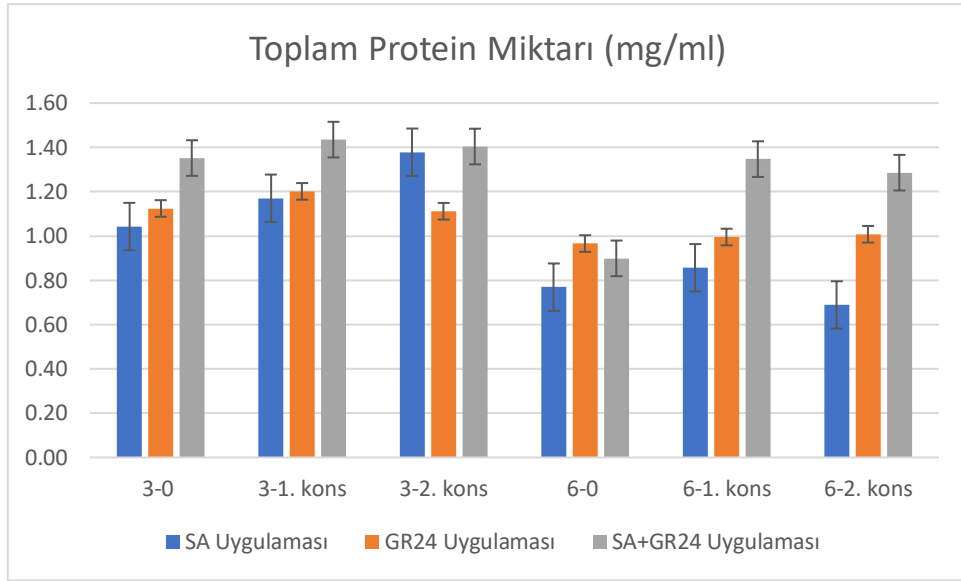
Ek Şekil 18. Hidrojen peroksit içeriğinin (H₂O₂) üç uygulamada karşılaştırılması



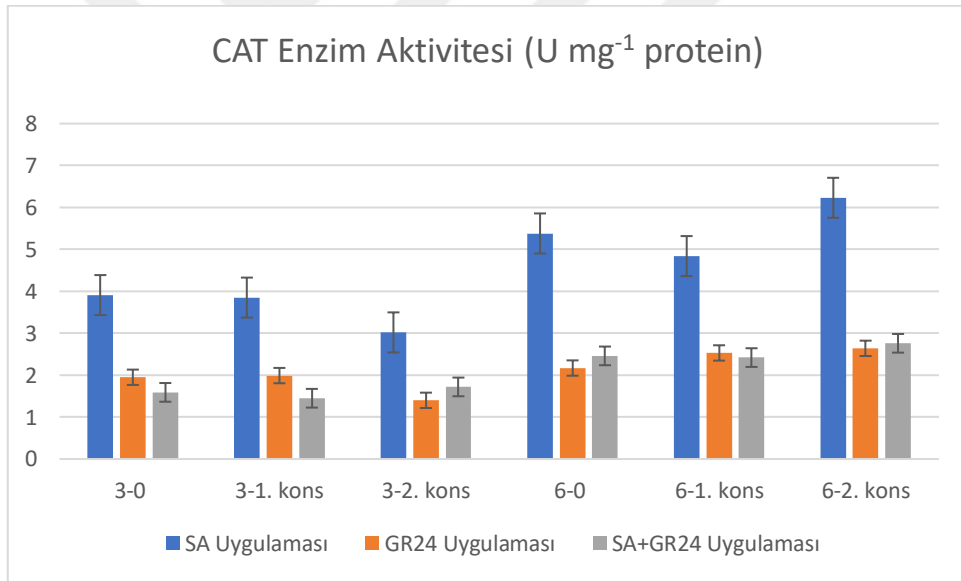
Ek Şekil 19. MDA seviyesinin üç uygulamada karşılaştırılması



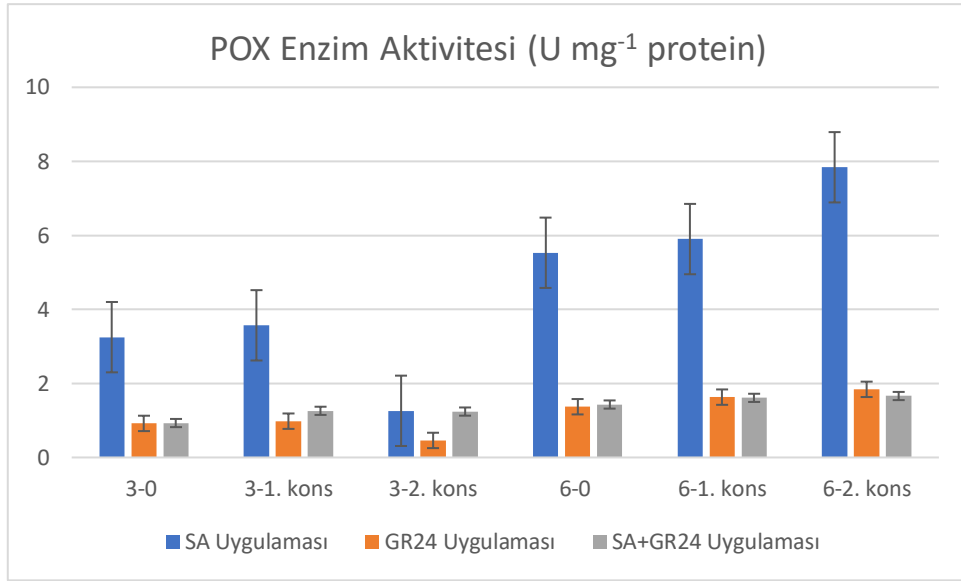
Ek Şekil 20. Prolin miktarının üç uygulamada karşılaştırılması



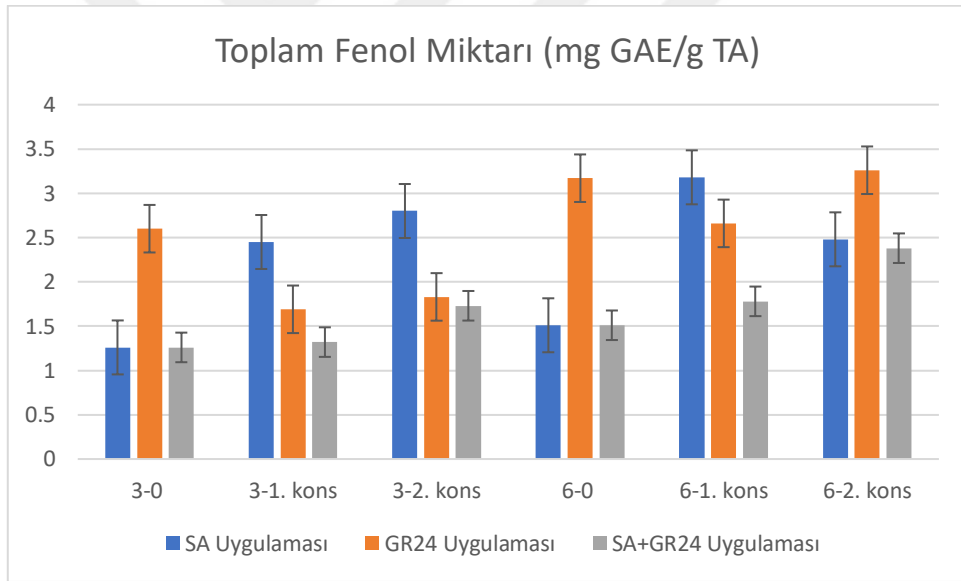
Ek Şekil 21. Toplam protein miktarının üç uygulamada karşılaştırılması



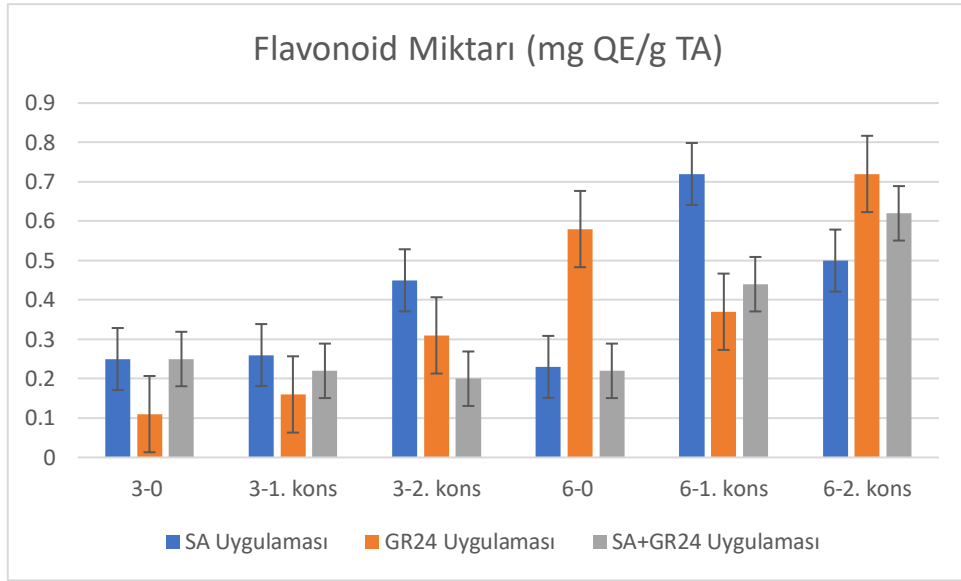
Ek Şekil 22. Katalaz (CAT) enzim aktivitesinin üç uygulamada karşılaştırılması



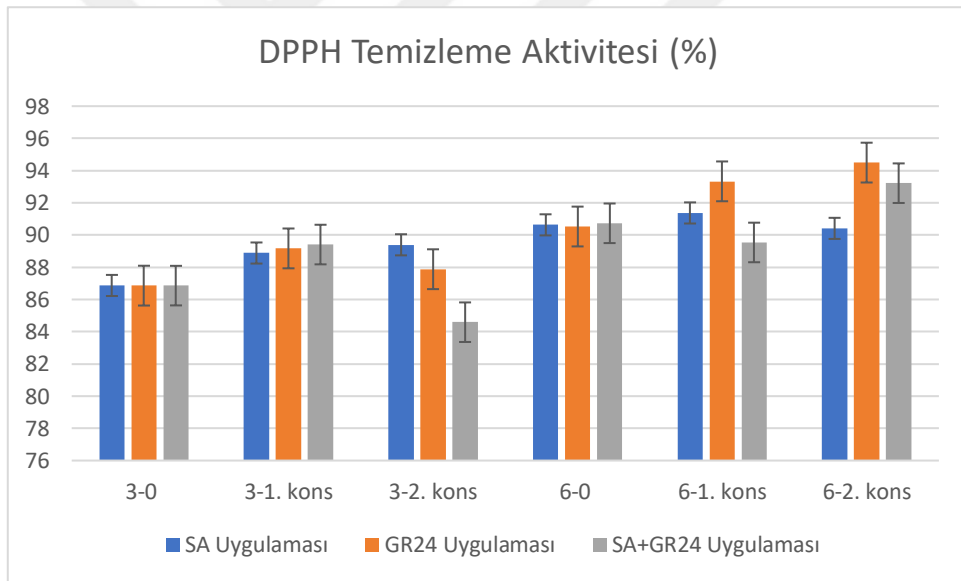
Ek Şekil 23. Peroksidaz (POX) enzim aktivitesinin üç uygulamada karşılaştırılması



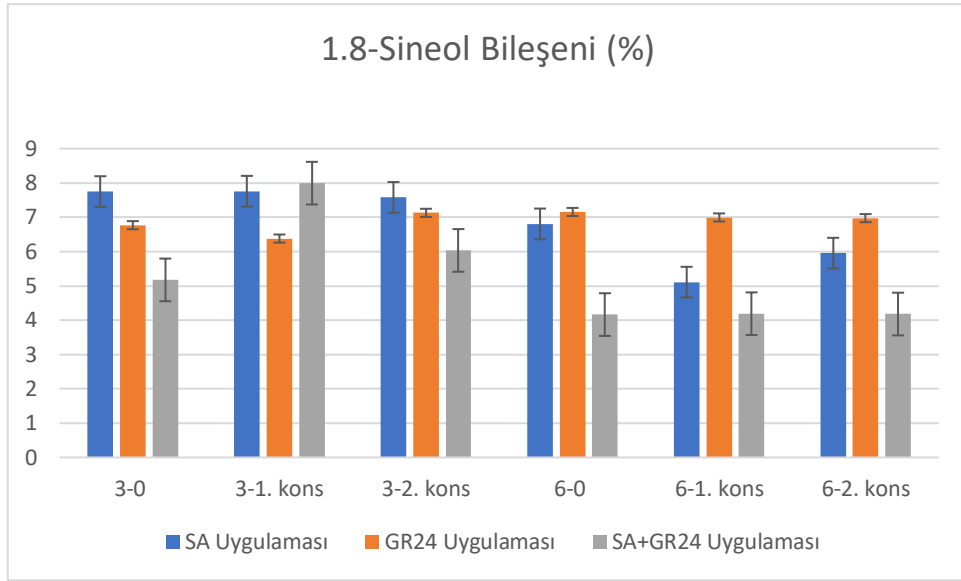
Ek Şekil 24. Toplam fenol miktarının üç uygulamada karşılaştırılması



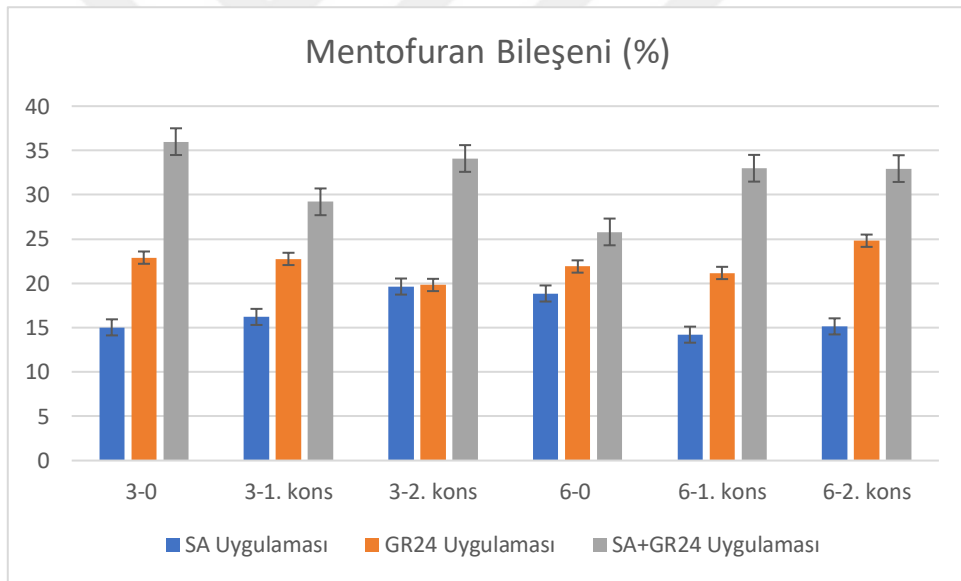
Ek Şekil 25. Flavonoid miktarının üç uygulamada karşılaştırılması



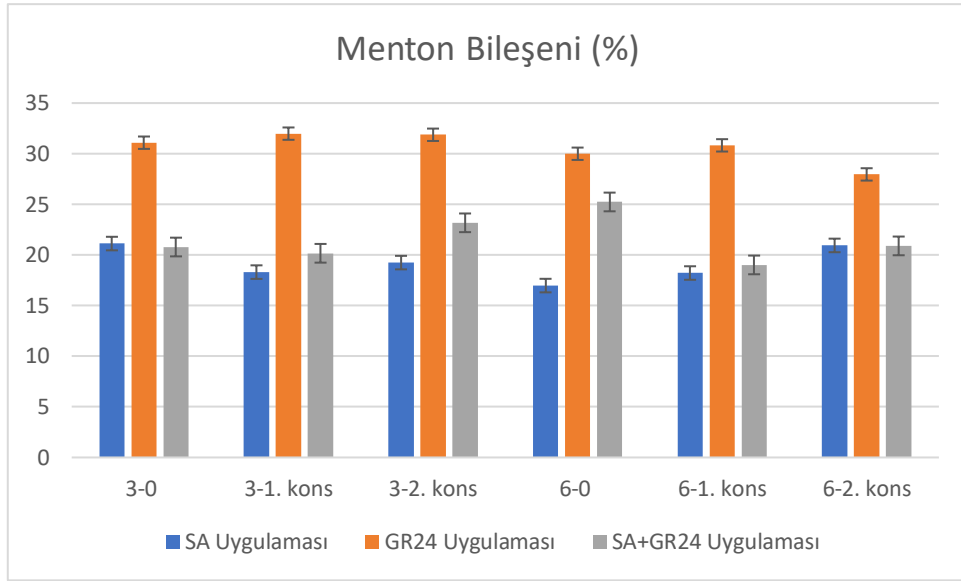
Ek Şekil 26. DPPH temizleme aktivitesinin üç uygulamada karşılaştırılması



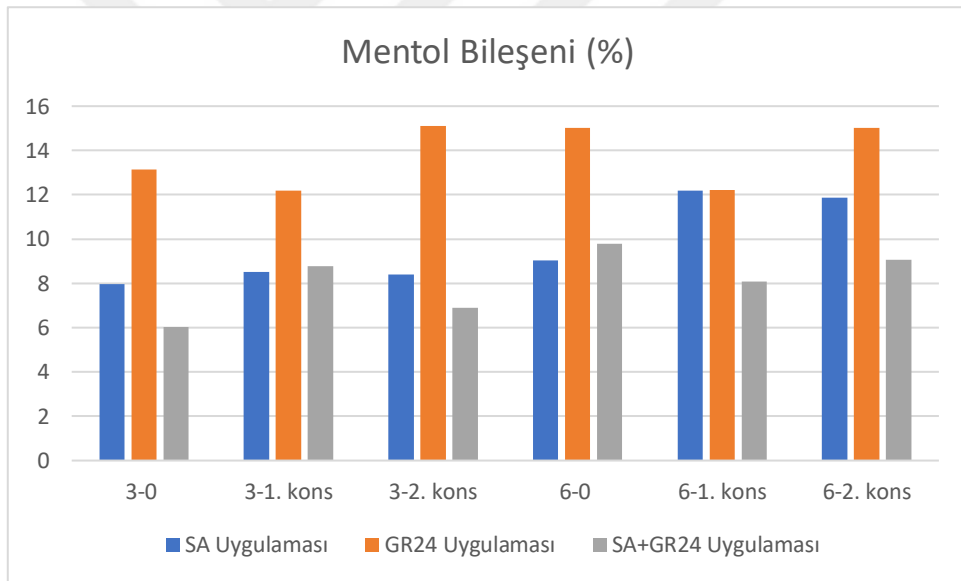
Ek Şekil 27. 1.8-Sineol uçucu yağ bileşeninin üç uygulamada karşılaştırılması



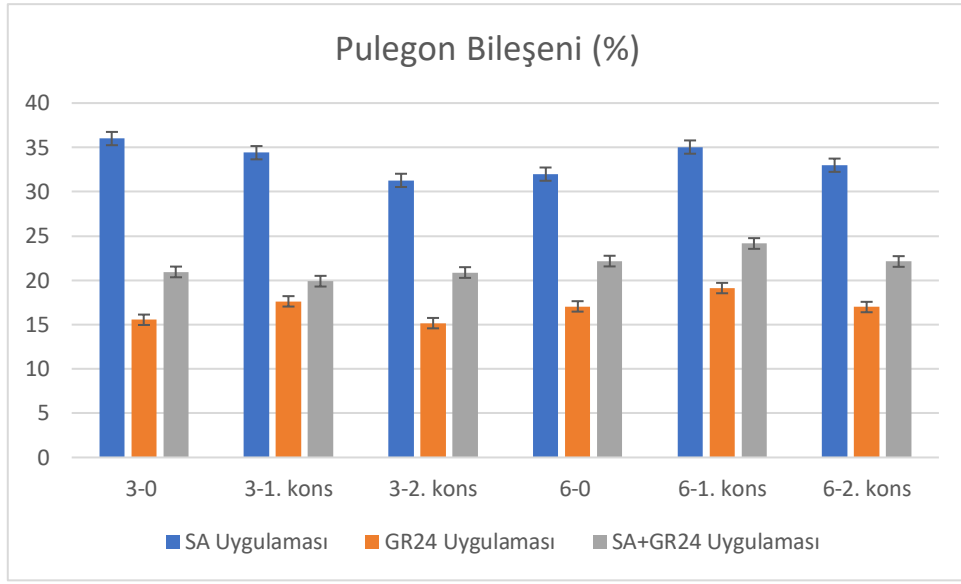
Ek Şekil 28. Mentofuran uçucu yağ bileşeninin üç uygulamada karşılaştırılması



Ek Şekil 29. Menton uçucu yağ bileşeninin üç uygulamada karşılaştırılması



Ek Şekil 30. Mentol uçucu yağ bileşeninin üç uygulamada karşılaştırılması



Ek Şekil 31. Pulegon uçucu yağ bileşeninin üç uygulamada karşılaştırılması