T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

BİTKİ BÜYÜMESİNİ ve STRES TOLERANSINI ARTTIRMAK: ABİYOTİK STRES ALTINDA BİBER ve SOYA BİTKİLERİNDE MELATONİN, SALİSİLİK ASİT ve BAKTERİ AŞILAMASININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ali SARIOĞLU

TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2023

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

BİTKİ BÜYÜMESİNİ ve STRES TOLERANSINI ARTTIRMAK: ABİYOTİK STRES ALTINDA BİBER ve SOYA BİTKİLERİNDE MELATONİN, SALİSİLİK ASİT ve BAKTERİ AŞILAMASININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ali SARIOĞLU

TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ viii
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 4
2.1. Bitkilerde Tuz Stresi 4
2.2. Tuz Stresinin Bitki Büyümesi ve Fizyolojisine Etkileri 5
2.3. Tuz Stresinin Tolerans Mekanizmaları ve Çeşitli Stratejiler 7
2.4. Bitkilerde Bor Toksisitesi 10
2.5. Bor Toksisitesinin Bitki Büyümesi ve Fizyolojisi Üzerine Etkileri 11
2.6. Bitkilerde Bor Tolerans Mekanizmaları ve Çeşitli Stratejiler 12
2.7. Bor ve Tuz (Çift) Stresi 15
2.8. Soyada Bakteri Aşılaması 17
2.9. Bakteri Aşılamanın Toprak Mikrobiyal Aktiviteye Etkisi 17
2.10. Abiyotik Stres için Bakteri Aşılaması 18
2.11. Abiyotik Stresi Azaltmada Bakterilerin Rolü ve Faydaları 19
2.12. Toprakta Aşılama için Kullanılan Toprak Bakterisi Türleri 21
2.13. Toprak Bakteri Aşılama Yöntemleri ve Etkileyen Faktörler 21
2.14. Melatonin'in Bitkilerde Sentezlenmesi, Abiyotik Stres ve Etkileri 23
2.15. Salisilik Asit (SA) Uygulamasının Bitkilerde Abiyotik Stres Toleransı Üzerine Etkisi 25
3. MATERYAL ve YÖNTEM 28
3.1. Materyal 28
3.1.1. Araştırmanın yeri 28
3.1.2. Araştırma yeri iklim özellikleri 28
3.1.3. Araştırmada kullanılan saksı 29
3.1.4. Araştırmada kullanılan bitki materyalleri ve büyüme koşulları 29
3.2. Yöntem 30
3.2.1. Araştırmanın yürütülmesi ve abiyotik stres uygulamaları 30
3.2.2. Melatonin ve salisilik asidin yapraktan uygulanması 31
3.2.3. Bakteriyel aşılama 32
3.2.4. Birinci ve ikinci denemede yapılan ölçüm ve analizler 34
3.2.4.1. Termal kamera görüntüleri 34
3.2.4.2. Klorofil içeriği (SPAD) 35
3.2.4.3. Bitki yaş ve kuru ağırlığı 35
3.2.4.4. Elektriksel sızıntı (%) oranı 36
3.2.4.5. Hidrojen peroksit (H_2O_2) ölçümü 37
3.2.4.6. Melondialdehit (MDA) ölçümü 38
3.2.4.7. Prolin içeriği ölçümü 39
3.2.4.8. Antioksidan enzimlerin ölçümü 40
3.2.4.9. Peroksidaz (POD) ölçümü 40
3.2.4.10. Katalaz (CAT) enzimi ölçümü 41
3.2.4.11. Süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi ölçümü 41
3.2.5. Üçüncü denemede yapılan ek analizler 42
3.2.5.1. Klorofil pigment miktarı ve klorofil floresans (fv/fm) belirlenmesi 42
3.2.5.2. Yaprak dokularında nispi su içeriği (%RWC) 43
3.2.5.3. Nitrat redüktaz (NR) aktivitesi ölçümü 44
3.2.5.4. Bitki besin elementi (Na, B, K, Ca, N) analizleri 45
3.2.6. İkinci ve üçüncü denemede yapılan toprak mikrobiyal analizleri 46
3.2.6.1. Toprak solunumu (CO_2) analizi 46
3.2.6.2. Dehidrogenaz enzim aktivitesi (DHA) analizi 47

3.2.6.3. Mikrobiyal biyomas karbon içeriği (MBC) analizi 48
3.2.7. Üç denemede de kullanılan istatistik analiz 49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 51
4.1. Birinci Deneme Sonuçları 51
4.1.1. Soya ve biber bitkisinin spad sonuçları 51
4.1.2. Soya ve biber bitkisinin yaş ve kuru ağırlıkları 55
4.1.3. Soya ve biber bitkisinin elektrolit sızıntısı (% ES) sonuçları 58
4.1.4. Soya ve biber bitkisinin (Hidrojen Peroksit) H_2O_2 içeriği sonuçları 60
4.1.5. Soya ve biber bitkisinin malondialdehid (MDA) içeriği sonuçları 63
4.1.6. Soya ve biber bitkisinin prolin içeriği sonuçları 65
4.1.7. Soya ve biber bitkisinin peroksidaz (POD) aktivitesi sonuçları 68
4.1.8. Soya ve biber bitkisinin katalaz (CAT) enzimi aktivitesi sonuçları 71
4.1.9. Soya ve biber bitkisinin süperoksit dismütaz (SOD) aktivitesi sonuçları 73
4.2. İkinci Deneme Sonuçları 76
4.2.1. Termal kamera görüntüleri 77
4.2.2. Spad sonuçları 79
4.2.3. Nodül sayısı sonuçları 81
4.2.4. Nodül ağırlığı sonuçları 82
4.2.5. Yaş ve kuru ağırlıkları 83
4.2.6. Elektrolit sızıntı (% ES) sonuçları 87
4.2.7. Hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriği sonuçları 89
4.2.8. Malondialdehid (MDA) içeriği sonuçları 90
4.2.9. Prolin içeriği sonuçları 92
4.2.10. Peroksidaz (POD) aktivitesi sonuçları 93
4.2.11. Katalaz (CAT) enzim aktivitesi sonuçları 95
4.2.12. Süperoksit dismütaz (SOD) aktivitesi sonuçları 97
4.3. Toprak Mikrobiyal Aktivite Analiz Sonuçları 98
4.3.1. Toprak solunumu (CO_2) sonuçları 98
4.3.2. Dehidrogenaz enzim aktivitesi (DHA) sonuçları 99
4.3.3. Mikrobiyal biyomas karbon (MBC) sonuçları 101
4.4. Üçüncü Deneme Sonuçları 104
4.4.1. Termal kamera görüntüleri 104
4.4.2. Yaprak su doygunluğu (%RWC) analiz sonuçları 107
4.4.3. Klorofil a, klorofil b ve karotenoid analiz sonuçları 108
4.4.4. Fotosistem II etkinliği (Fv/Fm) 112
4.4.5. Nodül sayısı sonuçları 113
4.4.6. Kök+nodül azot sonuçları 115
4.4.7. Yaş ve kuru ağırlıkları 116
4.4.8. Elektrolit sızıntısı (% ES) sonuçları 120
4.4.9. Hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriği sonuçları 121
4.4.10. Malondialdehid (MDA) içeriği sonuçları 123
4.4.11. Prolin içeriği sonuçları 125
4.4.12. Nitrat redüktaz (NR) aktivitesi sonuçları 126
4.4.13. Salisilik asit (SA) aktivitesi sonuçları 128
4.4.14. Peroksidaz (POD) aktivitesi sonuçları 130
4.4.15. Katalaz (CAT) enzimi aktivitesi sonuçları 131
4.4.16. Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi sonuçları 133
4.4.17. Besin elementi (Na, B, K, Ca, N) konsantrasyon sonuçları 135
4.5. Toprak Mikrobiyal Aktivite Analiz Sonuçları 143
4.5.1. Toprak solunumu (CO_2) sonuçları 143
4.5.2. Dehidrogenaz enzim aktivitesi (DHA) sonuçları 144
4.5.3. Mikrobiyal biyomas karbon (MBC) sonuçları 146
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 150
KAYNAKLAR 153

ÖZET

Doktora Tezi

BİTKİ BÜYÜMESİNİ ve STRES TOLERANSINI ARTTIRMAK: ABİYOTİK STRES ALTINDA BİBER ve SOYA BİTKİLERİNDE MELATONİN, SALİSİLİK ASİT ve BAKTERİ AŞILAMASININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ali SARIOĞLU

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cengiz KAYA
YIL: 2023, Sayfa: 187

Bu çalışmada; yarı kurak ve kurak bölgelerde sıklıkla rastlanılan, tuz stresi (TS) ve bor toksisitesi (BT) gibi abiyotik stres etkilerinin, bitki büyümesi ve toprak mikrobiyal aktivitesi üzerine olumsuz etkilere neden olabileceği ortaya konulmuştur. Bu olumsuz etkileri azaltmak amacıyla, yapraktan uygulanan melatonin (MT) ve salisilik asit (SA) ve toprakta bakteri aşılaması (BA) gibi yöntemlerin biber (*Capsicum annuum*) ve soya (*Glycine max (L.) Merr.*) bitkilerinin gelişimi üzerindeki etkilerini incelemek için üç ayrı çalışma yürütülmüştür. Birinci çalışmada, biber ve soya bitkileri perlit ortamında yetiştirilerek kontrol, TS (100mM NaCl), BT (2mM B) ve TS+BT uygulamaları yapılmıştır. TS+BT uygulamasının bitki büyümesi (≅%50) ve klorofil (≅%60) içeriği üzerinde en büyük olumsuz etkiye sahip olduğu, reaktif oksijen türleri (≅%250), prolin (≅%400) ve malondialdehit (≅%320) içeriklerinin seviyelerini ise artırdığı görülmüştür. Mevcut stresin zararlı etkilerine karşı yapraktan yapılan 100 µM melatonin (MT) uygulaması, her iki bitkide de yaş ve kuru ağırlıkları (≅%50) ile klorofil (≅%55) içeriğini arttırmıştır ve reaktif oksijen türlerinin seviyeleri (≅%25) ve malondialdehit (≅%17) içeriğini de azaltmıştır ($P \leq 0.05$). Ayrıca MT uygulaması antioksidan enzim aktivitesini arttırarak stresle baş etmeye yardımcı olmuştur. İkinci çalışma, soya bitkisiyle toprak ortamında kurulmuş ve ilk çalışmadaki uygulamalara ek olarak bakteri aşılaması yapılmıştır. Bakteri aşılaması yapılmayan bitkilerde nodül oluşmazken, aşılamayla birlikte nodül oluşumu gerçekleşmiştir. Buna karşın TS+BT uygulaması ile, bitki büyümesi (≅%60) ve klorofil (≅%65) içeriği azaltırken, reaktif oksijen türleri (≅%300), prolin (≅%120) ve malondialdehit (≅%122) içeriği artmıştır. Dehidrogenaz aktivitesi (DHA) (≅%40), mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) (≅%75) ve CO_2 (≅%75) değerleri gibi toprak mikrobiyal içerikleri de azalmıştır ($P \leq 0.05$). Çalışma kapsamında yapılan hem BA hem de MT+BA uygulamalarının bitkinin strese bağlı bu olumsuz etkilerini azalttığı ve bitkinin stres toleransını geliştirdiği görülmüştür. Üçüncü çalışmada ise ikinci çalışmadaki melatonin yerine yapraktan 0.5mM salisilik asit (SA) uygulanmış ve ikinci çalışmadaki uygulamalar tekrarlanmıştır. İkinci denemede olduğu gibi Bakteri aşılaması yapılmayan bitkilerde nodül oluşmazken, aşılamayla birlikte nodül oluşumu gerçekleşmiştir. TS+BT uygulaması ile, bitki büyümesi (≅%40) ve klorofil (≅%70) içeriği azaltırken, reaktif oksijen türleri (≅%280), prolin (≅%550) ve malondialdehit (≅%220) içeriği artmıştır. Dehidrogenaz aktivitesi (DHA) (≅%80), mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) (≅%60) ve CO_2 (≅%25) değerleri gibi toprak mikrobiyal içerikleri de azalmıştır ($P \leq 0.05$). Yapılan hem BA hem de SA+BA uygulamalarının bitkinin strese bağlı bu olumsuz etkilerini azalttığı ve bitkinin stres toleransını geliştirdiği görülmüştür. SA'nın toprak mikrobiyal aktivitesi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı, ancak bakteriyel aşılamanın mikrobiyal aktiviteyi önemli ölçüde artırdığı ve strese karşı bitki direncini geliştirdiği belirlenmiştir ($P \leq 0.05$). Genel olarak elde ettiğimiz bulgular, MT ve SA'nın yapraktan uygulanmasının ve bakteri aşılamasının, bitki büyümesini ve abiyotik strese karşı toleransı arttırırken aynı zamanda toprak mikrobiyal aktivitesini de artırabileceğini göstermektedir. Sonuçlarımızın yarı kurak ve kurak bölgelerdeki özellikle tuz stresi ve bor toksisitesi kaynaklı üretimsel olumsuzlukların azaltılmasına yönelik önemli etkileri olabileceği öngörülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Tuz stresi, Bor toksisitesi, Melatonin, Salisilik asit, Bakteri aşılaması

ABSTRACT

PhD Thesis

ENHANCING PLANT GROWTH and STRESS TOLERANCE: EXPLORING THE EFFECTS of MELATONIN, SALICYLIC ACID, and BACTERIAL INOCULATION in PEPPER and SOYBEAN UNDER ABIOTIC STRESS

Ali SARIOĞLU

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Cengiz KAYA
Year: 2023, Page: 187

The aim of this study, the potential negative effects of abiotic stress factors such as salt stress (SS) and boron toxicity (BT), which are frequently encountered in semi-arid and arid regions, on plant growth and soil microbial activity were investigated. To mitigate these negative effects, three separate experiments were conducted to examine the effects of foliar application of melatonin (MT) and salicylic acid (SA), as well as bacterial inoculation (BA) in pepper (*Capsicum annuum*) and soybean plants (*Glycine max (L.) Merr.*). In the first experiment, pepper and soybean plants were grown in a perlite medium, and control, TS (100mM NaCl), BT (2mM B), and TS+BT treatments were applied. The TS+BT treatment showed the most significant negative impact on plant growth (≅50%) and chlorophyll (≅60%) content, while it increased reactive oxygen species (≅250%), proline(≅400%), and malondialdehyde (≅320%) levels. Foliar application of 100 µM melatonin (MT) to alleviate the harmful effects of stress increased both the fresh and dry weights (≅50%) and chlorophyll (≅55%) content in both plants and reduced reactive oxygen species levels (≅25%) and malondialdehyde content (≅17%) ($P \leq 0.05$). Additionally, MT application enhanced antioxidant enzyme activity, aiding in stress management. The second experiment was conducted with soybean plants in a soil medium, and bacterial inoculation was applied in addition to the treatments from the first experiment. Nodule formation did not occur in plants without bacterial inoculation, but nodules formed with inoculation. However, under TS+BT treatment, plant growth (≅60%) and chlorophyll content (≅65%) decreased, while reactive oxygen species (≅300%), proline (≅120%), and malondialdehyde content (≅122%) increased. Soil microbial content, including dehydrogenase activity (DHA) (≅40%), microbial biomass carbon (MBC) (≅75%), and CO_2 levels (≅75%), also decreased ($P \leq 0.05$). Both BA and MT+BA applications in this study reduced the negative effects of stress on the plant and improved stress tolerance. In the third experiment, 0.5mM salicylic acid (SA) was applied foliarly instead of melatonin, and the treatments from the second experiment were repeated. Similar to the second experiment, nodules formed with bacterial inoculation, while no nodules formed in plants without inoculation. Under TS+BT treatment, plant growth (≅40%) and chlorophyll content (≅70%) decreased, while reactive oxygen species (≅280%), proline (≅550%), and malondialdehyde content (≅220%) increased. Soil microbial content, including DHA ≅ (80%), MBC (≅60%~), and CO_2 levels (≅25%), also decreased ($P \leq 0.05$). Both BA and SA+BA applications in this study reduced the negative effects of stress on the plant and improved stress tolerance. SA did not significantly affect soil microbial activity, but bacterial inoculation significantly increased microbial activity and improved plant resistance against stress ($P \leq 0.05$). Overall, our findings suggest that foliar application of MT and SA, as well as bacterial inoculation, can enhance plant growth and stress tolerance while also increasing soil microbial activity. These results could have important implications for mitigating production-related challenges caused by salt stress and boron toxicity in semi-arid and arid regions.

KEYWORDS: Salt stress, Boron toxicity, Melatonin, Salicylic acid, Bacterial inoculation

TEŞEKKÜR

Tez konusu seçiminde ve uygulamasında çalışmamın her aşamasında desteğini ve katkılarını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Cengiz KAYA'ya teşekkür ederim. Beraber çalışmalar yaptığım iş arkadaşım ve dostum Arş. Gör. Sabri AKIN'a teşekkür ederim. Bu süre boyunca bana güç veren ve yanımda olan sevgili eşim Dr. Öğr. Üyesi Tuğçe SARIOĞLU'na ve doğacak olan oğluma teşekkür ederim. Yaşadığımız deprem felaketinden sonra uzun süredir göremediğim, fakat benimle her daim gurur duyduğunu beyan eden aileme teşekkür ederim. Ayrıca tezimi destekleyen Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (HÜBAP) birimine teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Çalışmanın yapıldığı sera 28
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan saksı 29
Şekil 3.3. Uygulamalardan genel görünüm 32
Şekil 3.4. Denemenin ikinci aşamasından genel görünüm 34
Şekil 3.5. Deneme sonunda yapılan analiz görselleri 49
Şekil 4.1. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının SPAD değerlerine etkisi 52
Şekil 4.2. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının SPAD değerlerine etkisi 54
Şekil 4.3. Biber ve soya bitkilerine MT uygulamasının etkileri 54
Şekil 4.4. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının yaş-kuru ağırlık sonuçları 56
Şekil 4.5. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının yaş-kuru ağırlık sonuçları 57
Şekil 4.6. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının elektrolit sızıntı (%ES) sonuçları 59
Şekil 4.7. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının elektrolit sızıntı (%ES) sonuçları 60
Şekil 4.8. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının H_2O_2 içeriği sonuçları 61
Şekil 4.9. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının H_2O_2 içeriği sonuçları 62
Şekil 4.10. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının MDA içeriği sonuçları 64
Şekil 4.11. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının MDA içeriği sonuçları 65
Şekil 4.12. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının Prolin içeriği sonuçları 66
Şekil 4.13. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının Prolin içeriği sonuçları 68
Şekil 4.14. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının POD aktivitesi sonuçları 69
Şekil 4.15. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının POD aktivitesi sonuçları 71
Şekil 4.16. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının CAT aktivitesi sonuçları 72
Şekil 4.17. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının CAT aktivitesi sonuçları 73
Şekil 4.18. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının SOD aktivitesi sonuçları 74
Şekil 4.19. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının POD aktivitesi sonuçları 74
Şekil 4.20. Biber bitkisinde H_2O_2 içeriğinin diğer stres parametreleri ile ilişkisi 75
Şekil 4.21. Soya bitkisinde H_2O_2 içeriğinin diğer stres parametreleri ile ilişkisi 76
Şekil 4.22. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının termal kamera ve normal görüntüleri 77
Şekil 4.23. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının termal kamera sıcaklık sonuçları 78
Şekil 4.24. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının SPAD değerleri sonuçları 79
Şekil 4.25. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının nodül sayısı sonuçları 81

Şekil 4.26. Bakteri aşılaması sonucunda nodül oluşumu 82
Şekil 4.27. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının nodül ağırlığı sonuçları 83
Şekil 4.28. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının gövde yaş ağırlık sonuçları 84
Şekil 4.29. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının kök yaş ağırlık sonuçları 85
Şekil 4.30. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının gövde kuru ağırlık sonuçları 86
Şekil 4.31. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının kök kuru ağırlık sonuçları 86
Şekil 4.32. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının elektrolit sızıntı (%ES) sonuçları 88
Şekil 4.33. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının H_2O_2 içeriği sonuçları 89
Şekil 4.34. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının MDA içeriği sonuçları 91
Şekil 4.35. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının Prolin içeriği sonuçları 92
Şekil 4.36. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının POD aktivitesi sonuçları 94
Şekil 4.37. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının CAT aktivitesi sonuçları 96
Şekil 4.38. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının SOD aktivitesi sonuçları 97
Şekil 4.39. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının toprak CO_2 aktivite sonuçları 99
Şekil 4.40. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının toprak DHA aktivite sonuçları 100
Şekil 4.41. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının toprak MBC aktivite sonuçları 101
Şekil 4.42. H_2O_2 içeriğinin diğer diğer stres parametreleri ile ilişkisi (A, B, C), Nodül oluşumunun mikrobiyal aktiviye etkisi (D) 103
Şekil 4.43. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının termal görüntüleri ve normal görüntüleri 105
Şekil 4.44. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının termal kamera sıcaklık sonuçları 106
Şekil 4.45. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının %RWC içeriği sonuçları 107
Şekil 4.46. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının klorofil a içeriği sonuçları 108
Şekil 4.47. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının klorofil b içeriği sonuçları 109
Şekil 4.48. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının karotenoid içeriği sonuçları 110
Şekil 4.49. Soya bitkisine SA ve BA uygulamalarının etkileri 111
Şekil 4.50. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının Fv/Fm sonuçları 112
Şekil 4.51. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının nodül sayısı sonuçları 114
Şekil 4.52. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının kök+nodül N (%) içeriğine etkileri 115
Şekil 4.53. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının gövde yaş ağırlık sonuçları 117
Şekil 4.54. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının kök yaş ağırlık sonuçları 117
Şekil 4.55. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının gövde kuru ağırlık sonuçları 118

Şekil 4.56. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının kök kuru ağırlık sonuçları 119
Şekil 4.57. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının elektrolit sızıntı (%ES) sonuçları 121
Şekil 4.58. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının H_2O_2 içeriği sonuçları 122
Şekil 4.59. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının MDA içeriği sonuçları 124
Şekil 4.60. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının Prolin içeriği sonuçları 125
Şekil 4.61. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının NR aktivitesi sonuçları 127
Şekil 4.62. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının SA aktivitesi sonuçları 129
Şekil 4.63. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının POD aktivitesi sonuçları 130
Şekil 4.64. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının CAT aktivitesi sonuçları 132
Şekil 4.65. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının APX aktivitesi sonuçları 134
Şekil 4.66. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının %Na içeriği sonuçları 135
Şekil 4.67. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının Bor(ppm) içeriği sonuçları 137
Şekil 4.68. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının K (%) içeriği sonuçları 139
Şekil 4.69. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının Ca (%) içeriği sonuçları 140
Şekil 4.70. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının N (%) içeriği sonuçları 142
Şekil 4.71. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının Toprak CO_2 aktivite sonuçları 143
Şekil 4.72. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının toprak DHA aktivite sonuçları 145
Şekil 4.73. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının toprak MBC aktivite sonuçları 146
Şekil 4.74. H_2O_2 içeriğinin diğer stres parametreleri ile ilişkisi (A, B, C), Nodül oluşumunun mikrobiyal aktiviye etkisi (D) 148

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Toprak tuzluluk sınıfları ve bitki gelişimi……..10
Çizelge 2.2. Bitkilerin tuza duyarlılıkları……..11
Çizelge 3.1. Perlit Ortamı Deneme Deseni…….24
Çizelge 3.2. Kullanılan besin çözeltisi içeriği (mg L^{-1}) hoagland çözeltisi…….25
Çizelge 3.3. Denemede kullanılan toprak özellikleri……..26
Çizelge 3.4. Toprak Ortamı Deneme Deseni……..26

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

APX	Askorbat Peroksidaz
%	Yüzde birim
B	Bor
BA	Bakteri aşılama
BT	Bor toksisitesi
$B(OH)_3$	Borik Asit
$B(OH)_4$	Borat
CAT	Katalaz
CAS	Siyanoalanin Sentez
Cd	Kadminyum
cm	Santimetre
CS	Sistein Sentezi
Cu	Bakır
MBC	Mikrobiyal Biomas Karbon
DHA	Dehidrogenaz
CO_2	Karbondioksit
DCD	D-sistein Desülfidraz
EC	Elektriksel İletkenlik
NaHS	Sodyum Hidrosülfit
EL	Elektrolit Sızıntısı
g	Gram
GSH	Glutatyon
AsA	Askorbat
H_2S	Hidrojen Sülfit
H_2O_2	Hidrojen Peroksit
Kg	Kilogram
L	Litre
SOD	Süperoksit Dismütaz
LCD	L-sistein Desülfidraz
APX	Askorbat Peroksidaz
NR	Nitrat Redüktaz
m	Metre
mg	Miligram
µM	Mikromolar
ml	Mililitre
mm	Milimetre
mM	Milimolar
MT	Melatonin
NaCl	Sodyum Klorür
Pb	Kurşun
POD	Peroksidaz
Ppm	Milyonda bir
ROS	Reaktif oksijen türleri
SİR	Sülfat Redüktaz
SO_2	Kükürt Di Oksit
SO_4	Sülfat
SA	Salisilik asit
TS	Tuz stresi

1. GİRİŞ

İnsan beslenmesinde önemli bir yeri olan biber, C vitamini (%22) yönünden oldukça zengin olup, kalorisi düşük olan ve bölgede yetiştiriciliği yaygın olan bir bitkidir (Totu Genç, 2021). Biber A, B1, B2 vitaminleri yönünden de zengindir (Toma ve ark., 2020). Ülkemizde Şanlıurfa, Diyarbakır, Adıyaman, Hatay, Kahramanmaraş ve Gaziantep illerinde, sera üretimi olarak ise Mersin, Muğla ve İzmir illerinde yetiştiriciliği yapılmaktadır (Güvenç, 2020).

Baklagil bitkileri arasında önemli bir yere sahip olan Soya ise ülkemizde 352.947 da alanda ekimi yapılan, ortalama verimi 425 kg da^{-1} olan ve üretimi günümüzde 250-270 milyon ton seviyelerinde olmakta (FAO, 2019). Türkiye'de hem birinci hem de ikinci ürün olarak soya üretimi gerçekleştirilmektedir (FAO, 2019). Soya toprakta mevcut bulunan ve *Bradyrhizobium japonicum* bakterilerinin atmosferden fikse ettikleri azottan yararlanabilme yeteneğine sahiptir (Ataklı, 2022). Soya bitkisinin köklerinde yer alan *Bradyrhizobium japonicum* bakterileri tarafından azot fiksasyonu gerçekleşmekte ve bitki ihtiyaç duyduğu azotu bu yoldan temin edebilmektedir (Bayraklı ve ark., 2017).

Soya ve biber, tuz stresi ve bor toksitesi gibi abiyotik streslere karşı duyarlılık gösteren bitki türlerindendir (Altuntas ve ark., 2018; Hasanuzzamanve ark., 2022). Abiyotik stres, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, tarımsal üretkenlik için önemli bir kısıtlamadır. Tuzluluk ve bor toksisitesi, bitki büyümesini ve gelişimini olumsuz etkileyebilen en yaygın abiyotik stres türleri arasındadır. Tuz stresi bitki gelişimi ve verimini önemli ölçüde sınırlayan stres faktörüdür (Isayenkov ve Maathuis, 2019). Yüksek tuzluluk, kurak ve yarı kurak bölgelerde görülür ve bitkinin gelişiminde etkilidir (Kumar ve ark., 2020). Bitki hücrelerinde osmotik dengesizliklere, su kaybına, zararlı iyon birikimine, fotosentez aktivitesinde azalmaya ve bitki hormonlarının dengesizliğine neden olabilir (Shahzad ve ark., 2019). Bir diğer abiyotik stres olan bor toksisitesidir. Bor bitki gelişiminde önemli rol oynayan mikro besin elementlerinden biridir. Bor noksanlığı ile toksisitesi arasındaki sınır değerler birbirine çok yakındır (Oliveira ve ark., 2020; Nawaz ve ark., 2020). Bor noksanlığı

gübreleme ile telafi edilebilirken, toksisiteyi gidermek oldukça zor bir durumdur (Choudhary, 2021; Farghaly ve ark., 2021). Bor toksisitesi, bitki metabolizmasında önemli bir rol oynayan enzimlerin inhibisyonuna neden olur ve bu durum bitkilerde oksidatif stres oluşumunu arttırır. Bitkide CO_2 gazının fiksasyonu azalır (Zhang ve ark., 2022). CO_2 fiksasyonunda kullanılmayan elektronlar $O^{2'}$nin aktivasyonunda kullanılır ve serbest oksijen radikalleri sentezlenir (Waadt ve ark., 2022). Ortaya çıkan bu radikaller bitkide, hücre zar yapısı, nükleik asitler, proteinler ve klorofil pigment gibi hücre bileşenlerine zarar vermektedir (Gong ve ark., 2020).

Abiyotik stres faktörlerinin toprak mikrobiyal toplulukları üzerindeki etkisi ise, toprak sağlığını olumsuz etkileyerek besinlerin mevcudiyetini azaltabilir. Bu olumsuz etkilerle başa çıkmak için, bitki büyüme düzenleyicileri ve mikrobiyal aşılayıcılar gibi çeşitli stratejiler önerilmektedir (Khan ve ark., 2015; Lata ve ark., 2018). Bu stratejiler, abiyotik stresin etkilerini azaltmayı hedeflemektedir. Son zamanlarda, bitkilerde doğal olarak sentezlenen melatonin (MT) ve salisilik asit (SA) gibi bileşiklerin işlevine yönelik çalışmalar da artmaktadır (Martinez ve ark., 2018).

Yapraktan melatonin ve salisilik asit uygulamasının, bitkilerde çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal değişikliklere neden olarak abiyotik strese karşı bitki toleransını arttırdığı gösterilmiştir (Khan ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2015; Martinez ve ark., 2018). Melatonin, bitkilerde doğal olarak sentezlenen bir hormondur ve antioksidan özellikleri nedeniyle abiyotik stres koşullarında bitki büyümesini teşvik ettiği bilinmektedir (Murch ve Erland, 2021). Birçok çalışma, melatoninin bitkilerin antioksidan sistemlerindeki enzim aktivitesini artırdığını göstermiştir (Khan ve ark., 2020; Cen ve ark., 2020). Melatonin uygulaması, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POD) ve ascorbate peroksidaz (APX) gibi enzim aktivitelerini artırarak bitkilerde reaktif oksijen türleri (ROS) hasarını azaltabilir (Siddiqui ve ark., 2020). Bunun yanı sıra, melatonin uygulaması, ROS üretimini ve lipid peroksidasyonunu azaltarak bitkilerde hücre bütünlüğünü koruyabilir (Pardo-Hernandez ve ark., 2020).

Salisilik asit bitkilerde doğal olarak sentezlenen bir fitohormondur ve bitki büyüme ve gelişmesi üzerinde önemli bir rol oynar. SA, bitkide çeşitli enzim aktivitelerini düzenleyerek bitki stresiyle mücadeleye yardımcı olur (Ahmad ve ark., 2018). SA, POD, CAT ve SOD gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırarak bitki stresine karşı koruma sağlar. Ayrıca, SA, bitkide fotosentez, solunum ve karbonhidrat metabolizması gibi temel süreçleri de etkileyerek bitki büyüme ve gelişmesini destekler (Chen ve ark., 2016). SA, bitkide ROS ile mücadelede de önemli bir rol oynar. Bitki hücrelerinde ROS üretimini azaltarak ve antioksidan enzim aktivitelerini artırarak bitki stresiyle mücadelede etkili olur (Li ve ark., 2019). Ayrıca, bitkilerde NO üretimini artırarak, bitki hücrelerinde ROS'ların neden olduğu hasarı önlemeye yardımcı olur. Bu nedenle, SA bitki stresiyle mücadelede etkili bir araç olarak kullanılabilir ve bitkilerin stres faktörlerine karşı daha dayanıklı hale gelmelerine yardımcı olabilir (Rai ve ark., 2020). Ek olarak, toprak ortamında bakteri aşılamanın, toprak mikrobiyal aktiviteyi arttırarak bitki büyümesini ve besin alımını arttırdığı gösterilmiştir (Rashid ve ark., 2016; Rafique ve ark., 2017; Şen, 2018). Bu uygulamaların etkilerine rağmen, abiyotik stresin bitki büyümesi ve toprak mikrobiyal toplulukları üzerindeki olumsuz etkilerini ne kadar azalttığı tam olarak anlaşılmamıştır.

Bu çalışmada, farklı abiyotik stres koşullarında yapraktan MT ve SA uygulamasının ve toprak ortamına bakteri aşılamanın tuz ve bor streslerine duyarlı (Hasanuzzamanve ark., 2022; Altuntas ve ark., 2018) olan biber ve soya fasulyesi bitkilerinin büyümesi ve stres toleransı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu stratejilerin bitki büyümesi, klorofil içeriği, antioksidan enzim aktivitesi ve toprak mikrobiyal aktivitesi üzerindeki etkilerini incelemek için üç ayrı çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma, abiyotik stresin bitki büyümesi ve toprak mikrobiyal aktivitesi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için uygulanan stratejilerin etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Elde edilen sonuçlar, kurak ve yarı kurak bölgelerde sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesi için önemli bir rol oynayabilir. Bu

çalışma sayesinde bitki büyümesini ve stres toleransını artırmak için etkili stratejiler belirlenerek, bu bölgelerde ürün verimini artırma imkânı sağlanabilir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Bitkilerde Tuz Stresi

Toprakta Tuzluluk, yer altı sularına karışmış olan çözünmüş tuzların toprak yüzeyine kadar yükselmesi ve yüksek buharlaşma sonucu suyun kaybolmasıyla ortaya çıkmaktadır (Zhao ve ark., 2021).

Bu tuzluluk oluşumunun bitkiler için önemli bir etkisi vardır. Bitkiler, gelişme dönemleri boyunca tuz toleransı geliştirirler. Ancak, çimlenme ve ilk gelişme döneminde tuz duyarlılıkları yüksektir ve tuzdan etkilenmeleri ileri dönemlerde yetersiz gelişmelerine neden olabilir. Isayenkov ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada, çoğu kültür bitkisinin tuzluluğa karşı duyarlı olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, bitkilerin tuz toleransının belirlenmesi, toprak tuzluluk düzeyleri göz önünde bulundurularak uygun bitki seçimi yapılmasına yardımcı olabilir. Toprak tuzluluk düzeylerine göre bitki dayanıklılıkları, Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Toprak tuzluluk sınıfları ve bitki gelişimi (Aydemir, 1992)

Toprak tuzluluk sınıfı	Saturasyon ekst. EC'si (dS m^{-1})	% Tuz	Bitki üzerine etkileri
Tuzsuz	0-2	< 0.10	Tuzluluk etkisi ihmal edilebilir.
Hafifi tuzlu	2-4	0.1-0.15	Duyarlı bitkilerin ürün verimleri düşebilir.
Orta tuzlu	4-8	0.15-0.35	Birçok bitkinin ürün verimi düşer.
Kuvvetli tuzlu	8-16	0.35-0.65	Tuza dayanıklı bitkiler ürün verebilir.
Çok kuvvetli tuzlu	>16	>0.65	Tuza çok dayanıklı birkaç bitki ürün verebilir.

Çizelgeden de görüleceği gibi tuz %0.15'in ya da EC 4 dS m^{-1}'yi geçtikten sonra birçok bitkide gelişme engellenir. Tarımı yapılan bitkilerde topraktaki tuza duyarlılıkları farklılık gösterir. Çizelge 2.2.'te bitkilerin tuz duyarlılıkları gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Bitkilerin tuza duyarlılıkları (Dinç, 1999)

Duyarlılık	Meyveler	Tarla bitkileri	Sebzeler
Çok duyarlı	Elma, Armut, Kayısı, Çilek, Şeftali, Badem		Turp, Fasulye, Kereviz
Orta derece duyarlı	Nar, İncir, Zeytin, Üzüm, Kavun	Çavdar, Buğday, Yulaf, Pirinç, Mısır, Ayçiçeği, Sorgum	Domates, Kabak, Salatalık, Marul, Lahana, Biber, Soğan, Patates
Tuza dayanıklı	Hurma	Şekerpancarı, Arpa, Kolza, Pamuk	Pancar, Kuşkonmaz, Ispanak

Tuz stresinin bitki gelişimi üzerine olumsuz etkilerinin araştırıldığı pek çok konu literatürde bulunmaktadır (Demirkol ve ark., 2019; Shams, 2019; Olur, 2020). Tuz stresi bitkide özellikle metabolik bozukluk, fizyolojik hasar ve ürün kayıpları ile alakalı olarak birçok çalışma rapor edilmiştir (Parihar ve ark., 2015; Etesami ve Beattie, 2018).

2.2. Tuz Stresinin Bitki Büyümesi ve Fizyolojisine Etkileri

Tuz stresinin bitki büyümesine etkileri konusunda yapılan araştırmalar gösteriyor ki, tuz stresi bitkilerde bir dizi olumsuz etkiye yol açıyor. Yüksek tuzluluk, bitkilerin su alımını zorlaştırarak su stresine neden olur. Bu durum, bitkilerin su alımında azalmaya neden olarak fotosentez aktivitesini olumsuz etkiler. Yüksek tuzluluk ayrıca bitkilerin kök bölgesinde Na^+ ve Cl^- iyon konsantrasyonlarının artmasıyla iyon toksisitesine neden olur. Bu toksisite, bitkilerin su alımını daha da azaltarak fotosentez aktivitesini daha fazla olumsuz etkileyebilir. (Hussain ve ark., 2018).

Yüksek seviyelerde alınan sodyumun bitki organlarında toksik seviyede birikmesi, hücre membranlarına ve organellerine zarar vererek oksidatif stres oluşumuna neden olur (Akladious ve Mohamed, 2018). Oksidatif stres, tuz stresi ve diğer stres etkilerine karşı bitki dayanımında önemli bir faktördür. Stres altındaki bitkilerde ROS sentezi artmakta ve hücre bileşkelerine olumsuz etki yapmaktadır. Bu da mineral madde alımı ve kullanımını olumsuz etkileyerek bitki büyümesini engellemektedir (Ekeroğlu Güler, 2019; Yavaş ve İlker, 2020b; Karaca, 2019).

Aktaş ve ark. (2015), biber bitkisinde yaptıkları çalışmada, tuz stresi altında bitkide perikarpta NAD(P)H oxidaz aktivitesinin ve ROS sentezinin arttığını bildirmişlerdir. Aynı şekilde biberde yapılan bir başka çalışmada, tuz stresinin meyve gelişim döneminde peroksidaz, süperoksid dismutaz ve askorbik asit miktarlarını arttırmış, H_2O_2 miktarını ise azalttığını tespit etmişlerdir.

Hidroponik ortamda yapılan bir çalışmada, 2 toleranslı ve 2 hassas mısır hibrit çeşidinin tuz stresine etkileri araştırılmıştır. 0, 70, 140 mM olmak üzere 3 farklı tuz dozu kullanılmıştır. Tuz stresi bitkilerde kök ve gövde taze ve kuru ağırlığı ile bitki boyu, klorofil konsantrasyonu, yaprak çapı gibi büyüme parametrelerinin azaldığını tespit etmişlerdir. CAT, SOD ve POX enzimlerinin aktiviteleri 70 mM tuz uygulamasında artış göstermiştir. Tuz uygulaması 140 mM düzeyinde ise enzim aktiviteleri düşüşler olmuştur. Tuza hassas olan çeşitler toleranslı türlere göre tuzdan daha fazla etkilenmiştir. Tedavi olarak potasyum uygulamasının yapraklarda fotosentetik kapasiteyi, CAT enzim aktivitesini ve K^+ birikimini arttırdığını bildirmişlerdir. (Abbasi ve ark., 2015).

Fasulye bitkisinde yapılmış bir çalışmada, tuz seviyesindeki artışın çimlenme hızında düşüşlere sebebiyet verdiğini bildirmişlerdir (Kan ve ark. 2015). Benzer sonuçlar başka araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir (Zhang ve ark., 2016b; Farhangi-Abriz ve Torabian, 2018).

Khan ve ark. (2016), üç soya fasulyesi (Galarsum, BD 2331 ve BARI Soybean 6) türünde tuzluluğun etkilerini araştırmışlardır. Denemede 50 ve 100 mM NaCl uygulaması yapılmıştır. Deneme sonunda elde edilen sonuçlara göre, 100 mM tuz uygulaması bitkilerde en yüksek hasara yol açmıştır. Bitki boyu, sürgün kuru ağırlıkları ve tane verimi düşmüştür.

Ahmad ve ark. (2015), iki buğday çeşidinde yaptıkları çalışmada artan seviyede NaCl uygulamasının bitki büyümesi üzerine nasıl etkili olacağını araştırmışlardır. Çalışmanın sonunda artan NaCl konsantrasyonunun bitkide Ca ve Na miktarlarını

arttırırken, K konsantrasyonunun azaldığını tespit etmişlerdir. Artan tuz uygulamasının bitki dokularında Na birikmesinden dolayı, K ve Ca iyon alımlarının etkilendiğini bildirmişlerdir.

Tuna ve Eroğlu (2017), yaptıkları bir çalışmada, biber bitkisine 100 mM NaCl uygulamasının bitkide bazı organik ve inorganik bileşiklere etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda tuz uygulamasının bitkinin kuru ve yaş ağırlıklarını düşürürken, EC, MDA ve prolin gibi içeriklerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

2.3. Tuz Stresinin Tolerans Mekanizmaları ve Çeşitli Stratejiler

Tuz stresine tolerans mekanizmaları, bitkilerin tuzlu ortamlarda hayatta kalabilmelerini sağlayan bir dizi adaptasyon mekanizmasıdır. Bu mekanizmaların bazıları şunlardır: Tuz dışı iyonların kullanımı; bitkiler, yüksek tuzluluk durumunda topraktan alınabilecek tuz dışı iyonları (örneğin, K^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}) kullanarak tuzluluğa karşı direnç gösterirler (Liang ve ark., 2018). Tuzlu ortama uyum; bitkiler, yüksek tuzluluğa maruz kaldıklarında, yaprakların şeklini, büyüklüğünü ve yapısını değiştirerek daha az su kaybetmelerine yardımcı olurlar (Van Zelm ve ark., 2020). Osmoregülasyon; bitkiler, hücrelerindeki osmotik basıncı artırarak tuzluluğa karşı direnç gösterirler (Sikder ve ark., 2020). Antioksidan savunma sistemleri; bitkiler, yüksek tuzluluk durumunda ROS oluşumunu önlemek için antioksidan savunma sistemlerini aktive ederek tuz stresine karşı direnç gösterirler (Khan ve ark., 2020).

Bu mekanizmalar genel anlamda incelediğinde, tuz stresine giren bitki mevcut suyu korumak için stomalarını kapatır ve CO_2 gazının girişini engeller. Sonuç olarak CO_2 gazının fiksasyonu azalır (Qados, 2015). CO_2 fiksasyonunda kullanılmayan elektronlar O^{2}'nin aktivasyonunda kullanılır ve serbest oksijen radikalleri sentezlenir (Yang ve ark., 2020). Ortaya çıkan bu radikaller bitkide, hücre zar yapısı, nükleik asitler, proteinler ve klorofil pigment gibi hücre bileşenlerine zarar vermektedir (Abdelaal ve ark., 2020).

Adhikari ve ark. (2020), yaptıkları bir çalışmada, potasyum klorür ve potasyum sülfat gübrelerinin orta (6 dS m^{-1}) ve yüksek (12 dS m^{-1}) tuzluluk stresleri altında soya fasulyesinin büyüme aşamasında yapraktan uygulamasının etkisini incelemişlerdir. Bitkide büyüme, antioksidan aktivitesi, toplam polifenol, klorofil ve karotenoid gibi parametreler incelenmiştir. Potasyum sülfat gübresi potasyum klorür gübresine kıyasla ölçülen değerlerde daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak gübre uygulaması yapılmayan uygulama ile kıyaslandığında önemli bir etki bulunmamıştır. Sonuç olarak %2.5 oranında potasyumlu gübrelerin yapraktan uygulanmasının, soya fasulyesi büyümesinin erken aşamasında tuzluluk stresinin olumsuz etkisini azaltmaya yardımcı olamayacağını bulunmuştur.

Kiraz bitkisi üzerinde yapılan bir başka çalışmada, 3 farklı kiraz bitkisine 25 ve 50 mM NaCl uygulanmıştır. Oluşan tuz stresi bitkilerde, sürgün gelişiminde ve toplam klorofil içeriğinde azalmaya sebebiyet verirken, MDA ve prolin içeriğini arttırmıştır (Eraslan ve ark., 2016).

Kavuşturan ve Havadar (2021), domates bitkisinde tuz hasarını incelemişlerdir. Deneme sonunda tuz stresi bitkide, K, Ca ve klorofil içeriğini azaltmış; MDA içeriği ile antioksidatif enzim aktivitelerinde ise artışa yol açmıştır.

Baran ve Doğan (2015), yaptıkları çalışmada, soya bitkisine 5 farklı tuz (50, 75, 100, 125, 150 mM) konsantrasyonuna karşılık olarak 5 farklı salisilik asit (0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 mM) konsantrasyonu uygulamış ve bitkide bazı parametrelerdeki değişimleri aratırmışlardır. Tuz uygulamalarına bağlı olarak bitkide klorofil, MDA, prolin ve iyon (Na^+, K^+, Ca^+, Mg^{++}) içerikleri kontrole göre değişmiştir. Tuz dozları klorofil, K^+, Mg^{++}, miktarlarını azaltırken, MDA, prolin, Na^+ ve Ca^+ miktarlarını arttırmıştır. Yapılan salisilik asit uygulamaları ise klorofil, K^+ ve Mg^{++} miktarlarını arttırmış MDA, prolin, Na^+ ve Ca^+ miktarlarını azaltmıştır. Sonuç olarak, salisilik asidin tuz stresin oluşturduğu olumsuz etkilere karşı koruyucu bir rol oynadığı ve en etkin değerinde 1.0 mM düzeyinde salisilik asit olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaya ve ark. (2020), sera ortamında 2 mısır çeşidinde yaptıkları bir çalışmada, 100 mM NaCl uygulamasına karşın yapılan nitrik oksit ve tiamin uygulamalarının oksidatif savunma mekanizmaları ve bazı temel fizyolojik özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Tuzluluk bitkilerde prolin ve osmolit içeriğini arttırmış, ancak kuru ağırlık miktarını azaltmıştır. Nitrik oksit ve tiamin uygulamaları tuzun zararlı etkilerini hafifletmiştir. Tuz, yaprak Na^+ 'un (%1000) artmasına, fakat yaprak K^+ (%37) ve Ca^{+2}' nin (%41) azalmasına neden olmuştur. Nitrik oksit ve tiamin uygulamaları, bitkide Na^+ 'un azalmasına neden olurken, K^+ ve Ca^{+2}' nin artmasına neden olmuştur. Ayrıca tuz bitkilerde, H_2O_2 ve MDA birikiminin artmasına, CAT, POD ve SOD aktivitelerini artmasına neden oldu. Nitrik oksit ve tiamin uygulamaları ise H_2O_2 ve MDA düzeylerinin azalmasına ve SOD, CAT ve POD' un maksimum floresan verimine bağlı olarak aktivitelerinin geliştiğini bulmuşlardır.

Yapılan çoğu araştırmalarda tuz stresinin farklı bitki türlerinde süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesine etkileri incelenmiştir. Çeltik bitkisine uygulanan tuz stresinin SOD aktivitesinde arttırdığı tespit edilmiştir (Razzaq ve ark. 2020). Soya fasulyesinde yapılan bir başka çalışmada da uygulanan tuzun SOD aktivitesini önemli oranda arttırdığı bulunmuştur (Araújo ve ark., 2015; Van Zwieten ve ark., 2015).

Kaya ve ark. (2018), yaptıkları bir başka araştırmada, tuz stresi altında yetiştirilen mısır bitkisine 24-epibrassinolidin (EBR) uygulamasının, bazı büyüme parametreleri ve mineral elementler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Tuz uygulamaları 1.1 ve 8.0 dS m^{-1}, EBR konsantrasyonları ise 1.5 ve 2.0 µM olarak belirlenmiştir. Tuz stresi, bitki taze ve kuru ağırlıkları, maksimum floresan verimi, klorofil içeriği, yaprak su potansiyeli ve yaprakta K ve Ca içeriklerini önemli ölçüde azaltmıştır. Membran geçirgenliğini, SOD, POD ve CAT enzimler aktiviteleri, prolin, glisin betain, yaprak sap ozmotik basıncı, lipit peroksidasyonu, hidrojen peroksit ve yaprak Na^+ ve Cl^- içeriğini arttırmıştır. Tuzlu şartlarda uygulanan EBR temel büyüme özelliklerini, su ilişkilerini ve çeşitli antioksidan enzimlerin aktivitelerini ve ayrıca prolin seviyelerini arttırmıştır. Elektrolit sızıntısını, H_2O_2 ve MDA içeriğini azaltmıştır. Çalışma sonucunda 2.0 µM düzeyinde EBR uygulamasının, mısır bitkisinin tuz stresinin olumsuz etkilerini azaltabileceği bildirilmiştir.

2.4. Bitkilerde Bor Toksisitesi

Bor toksisitesi, kurak ve yarı kurak bölgeler için önemli bir sorundur, çünkü toprakta ve sulama suyunda bulunan fazla borun bu bölgelerde üretilen ürünler üzerinde toksik etkileri vardır. (Landi ve ark., 2019). Topraklardaki bor toksisitesinin ortaya çıkmasında etkili olarak sulama suyu kaynaklı, drenaj yetersizliği, kuyulardan çıkarılan sular, drenaj sularının sulamada geri verilmesi, gübreleme, endüstriyel atıklar ve kimyasal maddeler olarak gösterilebilir. Bunlar arasında en önemli etkiyi sulama sularının bor içeriği oluşturmaktadır (Princi ve ark., 2016).

Bor toksisitesi koşullarında yetişen domates bitkisinde yapılan bir çalışmada, Bor'un yapraklarda elektrolit sızıntısına, MDA ve H_2O_2 içeriklerinin artmasına sebebiyet vermiştir. Buna karşın eksojen olarak uygulanan nitrik oksit (NO)'in domates meyve veriminde oluşan bu zararlı etkileri azaltabileceği ortaya konulmuştur (Kaya ve Ashraf, 2015).

Seferoğlu ve Kaptan (2020), yaptıkları çalışmada, arpa ve buğday bitkilerinin bor içeriği yüksek sulama suları ile sulanması ile oluşan toksik etkiye karşı olan dayanımları araştırılmıştır. Denemede 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, ve 5 mg L^{-1} bor içeren sulama suları kullanılmıştır. Deneme sonunda toprakta ve bitkide bor içerikleri ile bitki boyu, başaklanma ve kuru madde değerlerine bakılmıştır. Toprak bor içeriklerine bakıldığında buğday bitkisi toprağının bor içeriğinin arpa bitkisine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 5 mg L^{-1} bor uygulamasının iki bitkide de bitki boyu, başaklanma sayısı ve kuru maddesinde düşüşler olduğunu bulmuşlardır.

Çatay ve ark. (2022), biber bitkisinde yaptıkları çalışmada, iki farklı dozda bor (2 ve 4 mM) uygulamasının bitkideki etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak elde ettikleri verilerde, bor konsantrasyon artışı ile bitkide oksidatif hasara neden olmuş ve büyümede gerileme olmuştur. Ayrıca, B stresi her iki düzeyde de APX, POD ve SOD aktivitelerinin yanı sıra prolin, indirgenmiş şeker ve toplam şeker içeriklerinde önemli artışlara neden olmuştur.

Domates bitkisinde bor toksisitesinin olumsuz etkilerine karşın uygulanan fosforun etkilerinin araştırıldığı sera denemesinde, saksılara 3 kg olacak şekilde toprak eklenmiş ve 0, 5, 10 ve 20 mg kg^{-1} B ve 25, 50 ve 100 mg kg^{-1} P uygulanmıştır. Deneme sonunda bitkilerde vejetatif aksam ve kök kuru ağırlıklarının yanında bitki genç ve yaşlı aksamlarının B ve P konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, B'un 20 mg kg^{-1} uygulamasında B toksisitesi ortaya çıkmıştır. Bitki vejetatif aksam ve kök kuru ağırlıkları düşmüştür. Fosfor uygulaması ise bitkilerdeki yüksek B konsantrasyonunu azaltmış ve toksisitenin neden olduğu olumsuz etkileri azalmada etkili olduğunu bildirmişlerdir (Gündeş, 2018).

2.5. Bor Toksisitesinin Bitki Büyümesi ve Fizyolojisi Üzerine Etkileri

Bor, bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan bir mikro besindir, ancak yüksek konsantrasyonlarda toksik olabilir. Bor toksisitesi, bitki büyümesi ve fizyolojisi üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir (Landi ve ark., 2019).

Bor toksisitesi bitkilerde kök ve gövde gelişmesini azaltmakta ve fitotoksisiteye neden olmaktadır. (Sarafi ve ark., 2018). Ayrıca toksisite, bitki yaşlı yapraklarının kenarlarından başlayarak koyu kahverenginden siyaha doğru lekeler oluşturmakta, ilerleyen evrelerinde ise bu lekeler iç kısma doğru ilerlemektedir (Samet ve ark., 2015). Bunun yanı sıra, bor toksisitesi bitkilerin fotosentez aktivitesini azaltabilir ve klorofil içeriğini düşürebilir. Ayrıca, bor toksisitesi bitkilerin su dengesi ve hücre yapısını da etkileyebilir. Bitkilerde oksidatif stresin artmasına neden olabilir. Yüksek bor konsantrasyonları, bitkilerde reaktif oksijen türleri (ROS) oluşumunu artırarak, hücrelerde hasara neden olabilir (Day ve Aasim, 2020).

Ayrıca, bor toksisitesi bitkilerin mineral besinlerini alımını ve kullanımını da etkileyebilir. Yüksek bor konsantrasyonları, bitkilerin demir, çinko ve magnezyum gibi diğer önemli mineralleri almasını ve kullanmasını engelleyebilir (Hua ve ark. 2021).

Bor toksisitesi üzerine yapılan bir çalışmada, buğday bitkisine 1mM B uygulanmıştır. B stresi bitkide gövde ve kök ağırlığını azaltmıştır. Ayrıca EC, prolin ve MDA içeriklerinde artış olduğu bulunmuştur (Tepe, 2016).

Hamurcu ve ark. (2019), 3 farklı bor dozlarının (0, 2 ve 12 mg B kg^{-1}) uygulandığı 4 soya fasulyesi çeşidinde yaptıkları çalışmada, bor içeriğinin bitkide kuru ağırlık, toplam yağ, biyokütle, tohum verimi, tohum protein içerikleri ve tohum yağ asidini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Çalışma, yüksek borun tohum verimini azaltıcı, protein içeriğini artırıcı ve doymuş ve doymamış yağ asidi içerikleri üzerinde değişken etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Aromatik bitkiler üzerinde yapılan bir başka çalışmada, 5 farklı bor dozu (2.5, 5, 10, 20 ve 30 mg kg^{-1}) uygulaması yapılmıştır. Bor konsantrasyonunun artması ile bitkilerde yaş ve kuru ağırlık azalmıştır. Aynı zamanda toplam klorofil ve karotenoid içerikleri, klorofil flüoresansını ve nitrat redüktaz enzim aktivitesini azaltmıştır. Bunlara kıyasla bitkide prolin, lipid peroksidaz, katalaz, peroksidaz ve süperoksit dismutaz gibi antioksidan enzimlerin aktiviteleri de B stresi altında önemli ölçüde artmıştır (Choudhary ve ark., 2020).

2.6. Bitkilerde Bor Tolerans Mekanizmaları ve Çeşitli Stratejiler

Bitkiler bor toksisitesine karşı farklı tolerans mekanizmaları geliştirebilirler. Bu mekanizmaların bir kısmı borun hücrelere girişini engellemek, bir kısmı ise borun hücre içinde toksik seviyelere ulaşmasını engellemektir (Princi ve ark., 2016).

Borun hücrelere girişi, çoğunlukla aktif taşıma yoluyla gerçekleşir. Bu yüzden bitkiler, borun taşınmasını önleyen bor taşıma proteinleri (BTP'ler) oluştururlar. Bu proteinler, borun kök hücrelerinden içeri girişini azaltarak borun toksik etkilerini önlerler. Ayrıca bitkiler, borun hücre içinde dağılımını kontrol etmek için bir dizi mekanizma geliştirmişlerdir (Hua ve ark., 2021). Bor, hücre duvarına bağlanarak hücre içine geçişini kısıtlayabilir. Ayrıca, borun hücre içindeki dağılımını kontrol

etmek için bazı enzimler görev yapar. Bu enzimler, borun hücre içinde toksik seviyelere ulaşmasını önlemeye yardımcı olurlar (Brdar-Jokanovic, 2020).

Bitkiler, bor toksisitesine karşı çeşitli stratejiler de kullanırlar. Örneğin, bazı bitkiler borun toksik etkilerini azaltmak için solunum hızını artırırken, bazı bitkiler ise fotosentez oranlarını azaltarak borun toksik etkilerinden korunmaya çalışırlar (Sarafi ve ark., 2017). Ayrıca, bor toksisitesine karşı bitkilerde stres sinyal molekülleri üretilir. Bu moleküller, bitkilerin çevresel streslere karşı savunmasında önemli bir rol oynayan antioksidan enzimlerin sentezini arttırır ve böylece bitkilerin toksik etkilerine karşı direncini arttırır (Hua ve ark. 2021).

Genel olarak bakıldığında bitkiler abiyotik streslere karşı kendi tolerans mekanizmalarını geliştirmişlerdir. Bu mekanizmalar streste olan bitkide antioksidan enzim artışı, prolin ve fenolik bileşikler gibi molekül ağırlığı daha düşük olan bileşiklerin fazla oranda sentezlenmesidir. Yapılan pek çok çalışma hücresel dengeyi sağlamak için bu enzimlerin birikiminin artmakta olduğunu göstermektedir (Yavaş ve ark., 2020a).

Bor, bitki gelişimi ve verimliliği için önemli bir elementtir ancak yüksek düzeyde uygulanması toksisiteye yol açabilir (Nejad ve Etesami, 2020). Bu nedenle, bor toksisitesinin olumsuz etkilerini azaltmak için bitki büyümesini teşvik eden çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Örneğin, yapraktan uygulanan gibberellik asit gibi bitki hormonları, bitki büyümesini teşvik ederek borun olumsuz etkilerini azaltabilir.

Kaya ve ark. (2020), tarafından yapılan bir çalışmada, 2 mM bor uygulaması, domates bitkisinin kuru biyokütle, yaprak su potansiyeli, yaprak nispi su içeriği, klorofil a, klorofil b, fotosentetik kuantum verimi (Fv/Fm), askorbat (AsA) ve glutatyonda (GSH) önemli bir azalmaya yol açmıştır. Bununla birlikte, hidrojen peroksit (H_2O_2), malondialdehit (MDA), endojen hidrojen sülfür (H_2S) ve serbest prolin birikiminin yanı sıra katalaz, süperoksit dismutaz ve peroksidaz aktivitelerini arttırmıştır. Toksisitenin olumsuz etkilerini gidermek için yapraktan uygulanan gibberellik asit (100 mg L^{-1}) yaprakta Ca^{+2} ve K^{+} 'yı artırarak, yaprak içerisinde H_2O_2,

MDA ve B içeriğini ve ayrıca membran sızıntısını azaltmış ve BT'yi hafifletmiştir. Sonuç olarak BT'nin olumsuz etkileri gibberellik asit uygulaması ile azaltılmıştır (Kaya ve ark., 2020).

Kaya ve ark. (2019), yaptıkları bir başka çalışmada, ekmeklik ve makarnalık buğday da bor toksisitesinin etkilerini hafifletmede diüre ve nitrik oksidin rolleri araştırılmıştır. 0.2 mM düzeyinde uygulanan bor bitkilerde sürgün ve kök kuru ağırlığını, yaprak toplam klorofilini, fotosistem II (Fv / Fm) verimini ve yaprak nispi su içeriğini düşürmüştür. Uygulanan nitrik oksit (NO) ve tiyoüre, EL, H_2O_2, MDA ve yaprak bor içeriğini azaltmıştır. Elde edilen sonuçlar, tiyoüre aracılı endojen NO'nun buğday bitkilerinin BT toleransını önemli ölçüde geliştirdiğini açıkça göstermektedir.

Turhan ve Kuşçu (2020), serada kırmızı biber bitkisinde 0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, 7.5 mg L^{-1} oranlarında bor içeriği yüksek sulama suları ile yapılan bir çalışmada, biberin verim ve bazı kalite özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Bor konsantrasyonu 2.5 mg L^{-1} düzeyinin üstündeki bor miktarları bitkide verim parametrelerini önemli oranda düşürmüştür. Deneme sonunda sonuçlar incelendiğinde biber için kullanılacak sulama suyu düzeyinin 2.5 mg L^{-1}'nin altında bor içermesi gerektiği vurgulanmıştır.

Soya bitkisinin bor toksisitesi üzerine yapılan bir çalışmada, 2 ve 12 mg kg^{-1} bor uygulamasının bitkideki antioksidan tepkileri araştırılmıştır. Yapraklardaki bor konsantrasyonunun yükselmesiyle bitki kuru madde miktarı düşmüştür. SOD, CAT ve APX aktivitelerindeki önemli artışlar, 12 mg kg^{-1} B'un uygulandığı yapraklarda belirlendi; ancak, POX aktivitesi değişmeden gulutatyon redüktaz (GR) aktiviteleri azalmıştır. Artan antioksidan aktivitesi, yeni oluşan izoenzimlerin ve mevcut izoenzimlerin aktivasyonunun bir kombinasyonundan ortaya çıkmıştır. Buna karşılık, SOD ve GR aktiviteleri kontrol gruplarına kıyasla 2 mg kg^{-1} B konsantrasyonunda azalırken, POX aktivitesini arttırdı ama CAT aktivitesi değişmedi. Malondialdehit içeriği 2 mg kg^{-1} B'un altında arttı, ancak 12 mg kg^{-1} B'un altında düşmüştür (Hamurcu ve ark., 2019).

Chatzistathis ve ark. (2021), artan bor seviyelerinin iki farklı kavun bitkisinde genç ve olgun yapraklara olan etkilerini incelemişlerdir. Bor seviyesindeki artış bitki yaşlı yapraklarını önemli ölçüde etkiledi. Denem sonunda yaşlı yapraklarda biriken bor büyüme, fotosentetik pigment ve hücre zarı bütünlüğünün bozulması gibi olumsuz etkilere neden olduğu tespit edilmiştir.

Narenciye bitkisinde fazla borun etkilerinin incelendiği bir başka çalışmada, üç farklı genotipe (Citrange Carrizo (CC), Citrus macrophylla (CM) ve turunç (SO)) sahip narenciye çeşidine 10 mg L^{-1} bor uygulaması yapılmıştır. Denemede bitki fidelerinde morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal analizler yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, büyüme parametrelerine göre, SO anacı fazla Bor'a en toleranslı olduğu, CC anacının ise en hassas olduğu belirlenmiştir. Bu sonucun SO anacında bor birikiminin daha az olmasından kaynaklandığı vurgulanmıştır. Bor stresi altında bitkilerde H_2O_2, MDA ve SOD, CAT, APX gibi antioksidan seviyelerinin de genotip farklılıklara göre arttığı tespit edilmiştir (Simón-Grao ve ark., 2018).

2.7. Bor ve Tuz (Çift) Stresi

Bor ve tuz stresinin bir arada bulunması, bitkilerin üzerindeki baskıyı artırarak, bitki büyümesi ve verimliliği üzerinde daha fazla olumsuz etki yapabilir. Bor oranı yüksek olan sulama suları toprak içerisinde de bor miktarının yükselmesine sebebiyet verir. Bor genellikle tuzlu kuyu suyu ve tuzlu suda daha yüksektir. (Pandey ve ark., 2019). Bu bölgeler yüksek tuz veya sulama suyundan kaynaklı tuzun yüksek olduğu topraklardır (Yousefi ve ark., 2020). Yani tuzluluk sorunu olan topraklarda bor toksisitesinin de görülmesi muhtemeldir ve kaba bünyeli topraklarda bu toksik etki daha hızlı görülebilir (Omay, 2019).

Yüksek bor (B) ve tuzluluğun (TS) etkilerinin üç farklı buğday (KRL 35, KRL 210 ve HD 2009) çeşidinde incelendiği bir araştırmada Kontrol, 50 ve 100 ppm B^+ 60 mM NaCl uygulamaları yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde kök ve sürgün uzunluğu, yaş ve kuru ağırlığının B ve TS koşulları altında orantılı olarak azaldığı tespit

edilmiştir. Aynı şekilde köklerdeki çözünür şeker ve proteinlerde azalma gerçekleşirken, prolin içeriğinde artış tespit edilmiştir (Lata ve ark., 2017).

Farooq ve ark. (2015a), yaptıkları bir başka çalışmada, bor ve tuz stresi altındaki KS-282 (tuza dayanıklı) ve IRRI-6 (tuza duyarlı) pirinç bitkilerine silisyum (Si) uygulamasının etkilerini araştırmışlardır. Denemde büyüme parametreleri, mineral içerikleri, fizyolojisi ve enzimatik antioksidan sistem tepkileri incelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında tuz ve borun birleşik etkisinin bitkilerin fizyolojik özelliklerini ciddi oranda etkilediğini ortaya koymuşlardır. Bitkilerin biyokütle ve fotosentetiz verimlerin de azalmalar olduğu, Si uygulaması ile Na ve B gibi toksik iyonların alınımını azaltarak stresin olumsuz etkisini azalttığı bildirilmiştir. KS-282 çeşidinin elde edilen parametrelere göre tuz direncinin IRRI-6 çeşidinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Yapılan Si uygulaması tuz zararını KS-282 çeşidinde daha fazla hafiflettiği belirlenmiştir. Si artan antioksidan aktivitesini desteklemiş ve tuz ve borun birleşik etkisini azaltmıştır.

Tuza orta derecede toleranslı mısır bitkisinde tuz ve bor stresinin etkisi araştırılmıştır. Çift stresin mısır yaprakları ve köklerinde bazı biyolojik analizler gerçekleştirmişlerdir. Tuz ve bor stresinin bitki için önemli bazı proteinlerin (ALDH, GOLS2, pmpm4, mlg3, COR410) etkisiyle ROS seviyelerini kontrol ederek stresin olumsuz etkilerini azalttığını belirtmişlerdir (Barua ve ark., 2022).

Naz ve ark. (2022), iki farklı buğday türünde (halberd ve westonia) tuz ve bor stresinin birleşik etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla 4 farklı uygulama yapmışlardır. Kontrol, yüksek B (15 kg ha^{-1}), tuzluluk (15 dS m^{-1}) ve B + tuzluluk. Sonuçlara bakıldığında tuza dayanıklı olan Halberd çeşidinin yaprak kınında daha fazla Na^{+}, B ve Cl^{-} birikimi olduğunu ve yaprak ayasından bu iyonları uzak tuttuğunu, hassas olan Westonia çeşidine göre belirtmişlerdir. Suda çözünür karbonhidrat konsantrasyonu iki bitki türünde de arttı. Ancak bu artış toleranslı türde daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır.

2.8. Soyada Bakteri Aşılaması

Azot (N_2) atmosferde yaklaşık olarak %78'lik oranıyla en fazla bulunan elementtir. Fakat bitkiler için yarayışlı formda değildir. Bitkilerin bu azottan yararlanabilmeleri için toprakta serbest halde bulunan ya da baklagillerle simbiyotik yaşam sürdüren bakteriler yolu ile gerçekleşir. Azot fiksasyonu, havadaki serbest azot gazını bitkilerin kullanabileceği amonyak formuna dönüştürmek için bakterilerin yardımıyla gerçekleşen bir süreçtir. Bitki ve bakteri arasında olan bu ilişki, özellikle baklagillerde yaygın olarak görülen bir simbiyotik ilişkidir. Bu ilişkide, özel bakteri türleri olan *Rhizobium* bakterileri, bitki köklerinde nodüller oluşturarak bitki tarafından kolayca alınabilen amonyak formunda azot üretirler. Bitki de bakterilere karşılık olarak karbon kaynağı sağlar (De Freitas ve ark., 2022). Azot fikse edildikten sonra ilk olarak bitki tarafından kullanılır, sonrasında ölü bitki artıklarının mikroorganizmalar yolu ile mineralizasyona uğraması sonucunda bitkilerin yararlanabileceği forma dönüşür (Cordeiro ve Echer, 2019; Khan ve ark., 2021).

Baklagil ve bakteri arasındaki ilişkide ana etmen *Rhizobium* bakterileri tarafından azotun indirgenmesi ve bitkinin yararlanabileceği forma dönüştürmesi gibi birçok işlem gerçekleşir. Bitkinin ihtiyaç duyduğu azot bakteri tarafından temin edilirken, bakterinin ihtiyaç duyduğu besin ve enerji bitki tarafından sağlanır (Moretti ve ark., 2020; Dubey ve ark., 2021).

Rhizobium bakterileri toprak asitliği, su stresi, hastalık ve zararlılara duyarlı olduğu ve her bitkinin kendine özgü bakteri ilişkisi olduğu ve yapılan aşılamanın çoğu zamanda gerekli olduğu birçok çalışma ile bildirilmiştir (Jarecki, 2020; Sheteiwy ve ark., 2021; Elhady ve ark., 2020).

2.9. Bakteri Aşılamanın Toprak Mikrobiyal Aktiviteye Etkisi

Toprak mikrobiyal aktivitesi, toprak içerisindeki mikroorganizmaların rolü ve etkileşimlerini içerir. Mikrobiyal aktivite artışı için bakteri aşılama önemli bir yöntemdir. Bakteri aşılama ile azot bağlayan bakteriler başta olmak üzere yararlı

mikroorganizmaların artışı bitki besin elementi sağlanması açısından önemlidir (Lopes ve ark., 2021). Mikrobiyal aktivite göstergelerinden bazıları; karbondioksit (CO_2), dehidrogenaz enzim aktivitesi (DHA) ve mikrobiyal biomas karbon (MBC)'dur.

CO_2 içeriği, toprak mikroorganizmaları tarafından organik madde parçalanması sonucu açığa çıkan gazdır. Bakteri aşılaması sonucu toprak mikrobiyal aktivitesinde gerçekleşen artış ile CO_2 üretimi artar. Bu durum da toprak içerisinde yoğun mikrobiyal aktivitenin göstergesidir (Lopes ve ark., 2021).

DHA aktivitesi, toprak içerisindeki organik maddelerin mineralizasyon sonucu bitkilerin kullanabileceği hale gelmelerini sağlayan bir enzimatik süreçtir. Bakteri aşılaması, toprak içerisinde enzim aktivitesinin artması sonucunda organik madde döngüsünün hızlanması ve bitki besin elementi yararyışlılığının artışı ile katkı sağlar (Bandyopadhyay ve maiti 2021).

MBC toprakta bulunan mikroorganizmaların karbon içeriğini ifade eden önemli bir mikrobiyal aktivite göstergesidir. Bakteri aşılaması sonucu artan popülasyonun aktif olması halinde MBC'nin artması ile sonuçlanabilir. Biyolojik aktivitedeki bu artış bitkiler için uygun toprak yapısının oluşmasına katkı sunar (Kumawat ve ark., 2021).

Genel olarak bakıldığında, bakteri aşılamanın toprak mikrobiyal aktivite üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır. DHA artışı organik madde döngüsünün artmasına yardımcı olurken, artan MBC ve CO_2 toprakta sağlıklı ve etkili biyolojik sürecin oluşmasını sağlar. Bu durum da toprak verimliliği, bitki besin maddelerinin artışı ve tarımsal verim artışı ile sonuçlanabilir (Thakur ve ark., 2019; Şahin ve Doğan 2016).

2.10. Abiyotik Stres için Bakteri Aşılaması

Tarımsal uygulamalar için bakteriyel endofitlerden yararlanmaya olan ilgi, patojenik olmayan bakterilerle aşılamanın bitki sağlığı ve büyümesi üzerinde olumlu etkilere sahip olabileceğini doğrulayan hem saha hem de laboratuvar çalışmalarından

elde edilen sonuçların ardından arttığı ve bu da artan verimle sonuçlandığıdır (Singh ve ark., 2018). Şu anda, "biyo gübreleme" olarak veya biyotik streslere karşı "biyo-koruma" olarak kullanılmak üzere bir dizi bakteri aşısı ticari olarak mevcuttur.

Egamberdieva ve ark. (2016), yaptıkları çalışmada, stres şartları altında bakteri aşılamasının soya bitkisinin büyümesi ve nodülasyonuna etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde, stres etkisindeki bitkilerde kök sürgünü, kök büyümesi ve nodül oluşumu azalmıştır. Bakteri kolonizasyonu bitkilerde oluşan bu zararlı etkileri hafifletmiş ve olumlu sonuçlar vermiştir.

Altunlu (2020), yaptığı bir çalışmada, besi ortamında farklı tuz içeriklerinin Rhizobiyal aktiviteyi azalttığı ve kuru madde, nodül ağırlığı ve aktivitesinin de azaldığını bildirmiştir.

Hardoim ve ark. (2015), yaptıkları bir çalışmada, bakteriyel aşılamanın tuz stresine karşı direnci arttırdığını ve bu endofitlerin toprakta tuz stresine dayanıklı bitki türlerinin büyümesini arttırmada etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Zhang ve ark. (2017), tarafından yapılan çalışmada, bitkilerin tuz stresine karşı dayanıklılığı ile bakteriyel aşılama ilişkisi araştırılmıştır. Çalışma, toprak bakterilerinin bitkilerin yapraklarındaki sodyum taşıyıcısı geni HKT1'i kontrol ederek bitkilerin tuz toleransını artırdığını göstermiştir. Araştırmacılar, Bacillus bakterilerinin bu etkiyi gösterdiğini ve bitkilerin tuz stresine karşı daha dayanıklı hale geldiğini tespit etmişlerdir. Bu sonuçlar, bakteriyel aşılamanın bitki stres toleransı için potansiyel bir kaynak olabileceğini düşündürmektedir.

2.11. Abiyotik Stresi Azaltmada Bakterilerin Rolü ve Faydaları

Yoğun mikroorganizma popülasyonları, bitkilerin kök bölgesinde kolonileşir. Kökün topraktan çok daha çekici bir habitat olmasının ana nedeni, bitki kökleri tarafından sağlanan organik karbondur. Rizosferdeki toplam organik karbonun %85'inden fazlası, kök hücreleri ve dokulardan kaynaklanabilir (Rosa ve ark., 2020).

Ayrıca bitkiler, çevrelerine kök salgıları şeklinde organik karbon sağlarlar. Rhizobacteria, eksüda kaynağına doğru kemotaksis yoluyla kök eksüdalarına yanıt verir ve bu tür bir senaryoda, yetkin bakteriler, metabolizmalarını besin alımını optimize etmeye doğru değiştirme eğilimindedir (Singh ve ark., 2018). Bu bağlamda, bitkilerle etkileşimlerinde bakteriyel hareketliliğin rolü gösterilmiştir (Zhong ve ark., 2019).

Literatürde, ana fitohormon sınıflarının oksinler, sitokininler, gibberellinler, absisik asit (ABA) ve etilen bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR'ler) tarafından üretimini açıklayan raporlar bulunmaktadır (Raghuwanshi ve Prasad, 2018; Arun ve ark., 2020). Bu hormonlar doğrudan veya diğer bakteriyel ikincil metabolitlerle uyumlu olarak bitki büyümesini uyarabilir (Anzuay ve ark., 2017; Kumar ve ark., 2018).

Domates bitkisine 100 mM tuz uygulamasının bitkide oluşacak zararlı etkileri incelemek için bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada stresi hafifletmek için rizobakter uygulaması da gerçekleştirilmiştir. Stresin olmadığı koşullarda aşılanan bakteri, bitki büyümesini net bir şekilde teşvik etmiş ve olumlu etki yapmıştır. Tuz bitkide analiz edilen birçok parametreyi olumsuz etkilemiştir. Stres etkisi altında yapılan aşılama ise bu olumsuz etkileri hafifletmiş ve bitki gelişimini desteklemiştir (Cordero ve ark., 2018).

Kazerooni ve ark. (2021), yaptıkları bir çalışmada, kuraklık, tuzluluk ve ağır metal gibi farklı abiyotik streslerin etkisi altındaki biber bitkisine PGPR uygulamasının etkinliğini incelemişlerdir. Biber fideleri 28 günlük olduğunda stresler uygulaması yapmışlardır. Streslerden oluşan zararlı etkiler PGPR uygulaması ile azalmıştır. PGPR uygulaması fide büyüme oranı, gelişim fizyolojisini ve hayatta kalma oranını arttırmıştır. PGPR bitkilerde klorofil, amino asit ve prolin içeriklerini olum yönde etkilediği belirtilmiştir.

2.12. Toprakta Aşılama için Kullanılan Toprak Bakterisi Türleri

Toprak koşulları ve kökte gerçekleşen salınım miktarı ve bileşimi, bu etkileşimlerin özgüllüğünde önemli rol oynar. Çeşitli bitkiler üzerinde toprak bakterilerinin yararlı etkileri olduğu tespit edilmiştir. Kök bölgesi için farklı bakteri cins türleri bulunmaktadır. Bunlar; *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Serratia* ve *Streptomyces spp*. vb. gibi (Kour ve ark., 2019). Bitki büyümesini uyarmanın kesin mekanizmaları büyük ölçüde spekülatif kalsa da bunların bakteri türleri arasında farklılık gösterdikleri ve kesinlikle farklı mikroorganizmalar tarafından salınan çeşitli bileşiklere bağlı oldukları bilinmektedir.

Yapılan bir çalışmada, 6 farklı bakteri türünün şekerpancarı yetiştiriciliği üzerine etkileri araştırılmıştır. Aynı zamanda bakteri türleri kadmiyum ile zenginleştirilmiştir. Çalışma sonunda bateri aşılamasının bitki kuru madde miktarını arttırdığı, kadmiyum ile bakteri uygulamasının ise kuru madde de daha fazla artış sağlandığı belirtilmiştir (Demirbaş ve ark., 2020).

Bakteri aşılama ve azot uygulamasının nohut bitkisinde etkinliğini gösteren bir çalışmada, 3 farklı nohut çeşidine bakteri aşılaması yapılmış ve yapılmamış olarak deneme kurulmuş ve azot uygulaması da yapılmıştır. Araştırma sonucunda, elde edilen parametreler incelendiğinde, İlk meyve boyu, bitki boyu, hasat günleri, bitkide verim, bitkide bakla sayısı, bitkide tohum verimi, bitkide tane sayısı, birim alandan verim, hasat yüzdesi ve 100 tane tohum ağırlığı gibi veriler bakteriyel aşılama ile artmıştır. Fakat aşılama ile 2.5 kg N da^{-1} uygulaması da etkili olabileceği vurgulanmıştır (Zaheer ve ark., 2019).

2.13. Toprak Bakteri Aşılama Yöntemleri ve Etkileyen Faktörler

Baklagil bitkilerinde bakteri aşılama yöntemleri genellikle 4 farklı şekilde gerçekleşmektedir. Bunlar; Tohum aşılama, toprak uygulaması, kök banyosu ve yaprak uygulaması ile aşılamadır. Baklagil bitkilerinde genel olarak tohum aşılama yöntemi kullanılmaktadır. Fakat aşılama işlemi ve ekim işleminin doğru yapılamadığı

durumlarda bazı problemler ortaya çıkmaktadır (Lopes ve ark., 2021). Aşılama işlemi sırasında bir yapıştırıcı madde kullanılmasının bakteri kolonizasyonunu arttırdığı bilinmektedir (Ma ve ark., 2019).

Toprak bakterilerinin aşılamada etkileyen bazı olumsuz etmenler vardır. Bunlar arasında (Turan ve ark., 2017);

1. Toprak sıcaklığı: Toprak sıcaklığı 30°C üzerinde olması kolonileşmeyi olumsuz etkilemektedir.
2. Toprak nem içeriği: Aşılama sırasında ve sonrasında toprak neminin az olması olumsuz etkilemektedir.
3. Tuzluluk: Tuzlu topraklarda nodül oluşumu ve aktivitesi düşmektedir.
4. Toprak pH'sı: *Rhizobium* bakterileri pH'sı 6.4-7.2 arasında en iyi gelişimi sergiler.
5. Bakteri suşu: Bitki materyaline uygun bakteri tercihi yapılmalıdır.
6. Toprak besin durumu: Bir besin elementi eksikliği nodül oluşumunda etki yapmakta veya bitki gelişimini etkileyerek dolaylı etki yapmaktadır.

Buğday ve mısır bitkisinde yapılan bir çalışmada, tohum aşılamasının kullanılan pestisitler ile uyumsuz olmasından dolayı aşılamanın başarılı olmadığı vurgulanmıştır. Bundan dolayı kontrollü koşullarda denem kurulmuştur. Yapraktan sprey ile yapılan uygulamanın en yüksek dozundan daha olumlu yanıtların alındığı ve bitki büyümesini teşvik ettiği belirtilmiştir (Fukami ve ark., 2016).

Yapılan benzer bir çalışmada soyada farklı aşılamaların bitki gelişimi, nodül oluşumu ve azot fiksasyonuna etkisine bakılmıştır. Brezilya da gerçekleştirilen çalışma sonunda elde edilen sonuçlarda, tohuma aşılama metodundan en iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmiş ve aşılama türleri ile daha fazla çalışma yapılması gerektiği vurgulanmıştır (Hungria ve ark., 2015).

2.14. Melatonin'in Bitkilerde Sentezlenmesi, Abiyotik Stres ve Etkileri

Melatonin, bitkilerde sentezlenen ve çeşitli fizyolojik süreçleri düzenleyen önemli bir moleküldür. Melatonin sentezi ile ilgili ilk çalışmalar, sarı kantaron (*Hypericum perforatum*) bitkisinde gerçekleştirilmiştir (Erland ve ark., 2015). Bu bitki, yüksek indol seviyelerine sahip olması nedeniyle melatonin içerebileceği düşüncesini ortaya çıkarmıştır. Araştırmalar, triptofan adı verilen bir amino asidin, önce serotonin sonra da melatonine dönüştüğünü ortaya koymuştur (Riaz ve ark., 2019).

Melatonin, ışık ve yaş gibi faktörlerden etkilenen bir hormondur ve karanlıkta artarken, ışıkta azalır. Bu nedenle genellikle "karanlık hormonu" olarak adlandırılır (Zhan ve ark., 2019). Bazı çalışmalar, melatonin seviyesinin gece boyunca maksimum noktaya ulaştığını ve karanlık evrenin ilk 6 saatinde en yüksek seviyeye çıktığını rapor etmiştir (Arno ve Hernández-Ruiz, 2019). Aynı şekilde, Pharbitis nil bitkilerinin genç dokularının yaşlı dokulara göre altı kat daha fazla melatonin içerdiği keşfedilmiştir (Yang ve ark., 2019).

Melatonin aynı zamanda önemli bir bitki büyüme ve gelişme teşvik edici hormondur ve birçok bitkinin kök sisteminde bulunur. Hıyar ve kırmızı lahana gibi bitkilerde, tohum, fide ve kök sisteminde melatonin uygulamasının büyümeyi teşvik ettiği ve çimlenmeyi geliştirdiği belirlenmiştir (Wei ve ark., 2019). Ayrıca, melatonin konsantrasyonunun yüksek olduğu durumlarda, olumsuz şartlar altında tohum çimlenme oranının arttığı tespit edilmiştir (Huang ve ark., 2019).

Melatonin, bitkilerde güçlü bir antioksidan olarak işlev görmekte ve yüksek düzeyde koruma sağlayabilmektedir. Yapılan çalışmalar, melatoninin antioksidan enzimler olan katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX) ve glutatyon redüktaz (GSSG-R) gibi aktivitelerini teşvik ettiğini ve düzenlediğini göstermiştir (Wei ve ark., 2015; Imtiaz ve ark., 2016; Nawaz ve ark., 2016). Melatonin ayrıca düşük konsantrasyonlarda suda ve yağda çözünebilir ve biyolojik dokularda serbest radikallerin zararlı etkilerine karşı koruma sağlar. Ayrıca C, E ve K

vitaminlerinden daha etkili bir antioksidan olarak kabul edilir (Kołodziejczyk ve ark., 2015). Melatonin uygulamasıyla oksidatif zararın etkilediği proteinler, lipitler ve nükleik asitlerdeki hasarın azaldığı gözlemlenmiştir (Murch ve Erland, 2021).

Melatonin'in bitkilerdeki etkileri, abiyotik stres koşullarında da önemli olmuştur. Huqail ve ark. (2020), buğday fidelerine melatonin uygulamasının bor toksisitesi koşullarında karbonhidrat, prolin, fotosentez aktivitesi ve antioksidan içeriklerine etkisini incelemiştir. Yüksek bor seviyeleri, bitkilerde net fotosentez hızını, stomal iletkenliği ve klorofil içeriğini azaltırken, melatonin uygulamasının bu olumsuz etkileri hafiflettiği gözlenmiştir. Melatonin uygulaması, bitki savunma mekanizmalarını destekleyerek oluşan hasarı azaltmıştır.

Ayrıca, melatonin uygulamasının karpuz fidelerinde vanadyum stresine tepki ve stres toleransını artırdığı gösterilmiştir. Melatonin uygulamasının fidelerde klorofil içeriği, fotosentetik aktivite ve bitki büyümesini desteklediği belirlenmiştir. Melatonin, gen ekspresyonunu düzenleyerek süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırarak oluşan H_2O_2 ve MDA gibi zararlı maddelerin seviyelerini azaltmıştır (Nawaz ve ark., 2018).

Kaya ve ark. (2020), biber bitkisinin tuz stresi ve demir noksanlığının birlikte etkilerine karşı melatonin uygulamasının etkilerini incelemişlerdir. Tuz stresi olarak 100 mM NaCl uygulanmış, demir eksikliği içinde 0.1 mM $FeSO_4$ uygulanması yapılmış, melatonin ise 100 µM dışsal olarak uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, stres etkilerinin bitkiyi büyüme ve gelişme, oksidatif stres ve antioksidan savunma özellikleri açısından olumsuz etkilerken, melatonin uygulamasının zararlı etkileri hafiflettiği belirtilmiştir.

Biberde yapılan bir başka denemede, 75 µM tuz stresi oluşturulmuş ve buna karşın 2 melatonin (5 ve 10 µM) konsantrasyonu uygulanarak biber fide gelişimleri gözlenmiştir. Elde edilen araştırma sonuçlarına göre, bitki boyu, yaş ağırlık, EC, klorofil ve karotenoid miktarı yönünden tuz stresine karşın en uygun melatonin dozunun 5 µM olduğu tespit edilmiştir (Yakupoğlu, 2020).

Korkmaz ve ark. (2016), biber fidelerinin soğuk stresine karşı melatonin uygulamasının etkilerini inceledikleri bir başka çalışmada, 3 gün (gece) 12 saat boyunca 5 ^{o}C ve 12 saat boyunca (gündüz) 10^{o}C olacak şekilde uygulama yapmışlardır. Soğuk stresine sokulan bitkilere yapraktan 1, 5 ve 25 µM melatonin uygulaması yapılmıştır. Melatonin uygulamasının üşüme stresine karşı koruyucu rol oynadığı ve konsantrasyonlar arasında ise 5 µM uygulamasının daha etkili olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, melatonin uygulaması soğuk stresindeki biber fidelerinde toleransı arttırmada kullanılabilecek bir yöntem olduğu vurgulanmıştır.

Sonuç olarak, melatonin bitkilerde önemli bir rol oynar ve bitki büyüme ve gelişimini düzenler. Ayrıca, abiyotik stres koşullarında bitkilerin savunma mekanizmalarını güçlendirir ve oksidatif zararın azaltılmasına yardımcı olur. Melatonin'in bitkilerde sentezlenmesi, işlevleri ve etkileri hala aktif bir araştırma konusudur ve tarımsal üretimde potansiyel uygulamaları olduğu düşünülmektedir.

2.15. Salisilik Asit (SA) Uygulamasının Bitkilerde Abiyotik Stres Toleransı Üzerine Etkisi

Salisilik asit (SA), bitkilerde bulunan bir fenolik bileşiktir ve büyüme düzenleyicisi olarak işlev görür. Latincede "*salix*" yani söğüt kelimesinden türetilmiştir ve ilk olarak 1828 yılında Johann Buchner tarafından söğüt ağacının kabuğundan izole edilmiştir (El-Shazoly ve ark., 2019).

SA'nın bitkilerdeki fizyolojik olaylarda düzenleyici olarak rol aldığı bilinmektedir. Aynı zamanda çimlenme, fotosentez ve hastalık direnci gibi fizyolojik özellikleri etkileme potansiyeline sahiptir (Hussain ve ark., 2020). SA'nın abiyotik stres faktörleri olan kuraklık, tuzluluk, sıcaklık ve besin elementi gibi etkilere karşı bitki toleransını arttırdığı belirlenmiştir. Ancak bu tolerans artışı, uygulama zamanı, konsantrasyonu, bitki türü ve hatta aynı tür içindeki farklı genotiplere bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Zhang ve ark., 2016a; Maruri-López ve ark., 2019).

SA'nın abiyotik streslere ek olarak biyotik stres etkilerine karşı da bitki direncini artırma potansiyeline sahip olduğu gözlemlenmiştir (Wei ve ark., 2018a; Pasternak ve ark., 2019). Ağır metal stresine maruz kalan bitkilerde SA uygulamasının hasarı azalttığı rapor edilmiştir (Sharma ve ark., 2020). SA'nın antioksidan aktivitesini artırarak reaktif oksijen türlerinin üretimini azalttığı bilinmektedir (Safari ve ark., 2019).

Tuz stresi altında yapılan çalışmalarda, SA uygulamasının bitkide morfolojik ve biyokimyasal değişikliklere neden olduğu görülmüştür. Örneğin, sarımsak bitkisine yapılan bir çalışmada, SA uygulamasının tuz stresi altında verim ve kalite parametrelerinde önemli artışlar sağladığı bildirilmiştir (Shama ve ark., 2016). Reyhan bitkisinde yapılan bir başka çalışmada ise SA'nın tuz zararını azalttığı ve antioksidan aktiviteleri artırdığı belirtilmiştir (Kaya ve İnan, 2017).

Shama ve ark. (2016), sarımsak bitkisi üzerine yaptıkları bir çalışmada; 150, 300 mM tuz uygulamasına yapılan 0.5, 1.0, 1.5 mM SA uygulamalarının bitki büyümesi, kalite ve verim parametreleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde SA uygulamasının tuz stresi altında verim ve kalite parametrelerinde önemli artışlar olduğunu bildirmişlerdir.

Farklı tuz dozlarının incelendiği bir başka çalışmada, tuz stresi uygulanan reyhan (*Ocimum basilicum* L.) bitkisine 0.5 mM SA uygulanmış ve bitkide bazı fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda stres altındaki bitkide morfolojik özellikler önemli oranda değişmediği halde, bitkide MDA ve antioksidan aktivitelerinde artışlar tespit edildiği bildirilmiştir. SA uygulamasının tuz zararını azalttığı raporda açıklanmıştır (Kaya ve inan 2017).

SA'nın abiyotik streslere karşı bitkilerde toleransı artırıcı etkisi birçok araştırma tarafından desteklenmektedir. Örneğin, bezelye bitkisinde yapılan bir çalışmada, bor toksisitesine karşı SA uygulamasının bitkide fizyolojik ve biyokimyasal etkileri azalttığı gözlemlenmiştir (Oliveira ve ark., 2020). Mısır bitkisinde yapılan başka bir

çalışmada da SA uygulamasının bor konsantrasyonuna bağlı olarak bitkide olumsuz etkileri azalttığı tespit edilmiştir (Nawaz ve ark., 2020).

Bu bulgular, salisilik asidin bitkilerde abiyotik stres toleransını artırma konusunda etkili bir araç olabileceğini ve bitki sağlığını ve performansını iyileştirmek için potansiyel bir strateji olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, salisilik asit uygulamasının etkileri bitki türüne, uygulama yöntemine ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebilir. Dolayısıyla, daha fazla araştırma ve çalışma yapılması gerekmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırmanın yeri

Araştırma, Harran Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümüne ait olan cam serada yürütülmüştür. Çalışmanın yapıldığı seradan bir görünüm Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmanın yapıldığı sera

3.1.2. Araştırma yeri iklim özellikleri

Araştırmanın yürütüldüğü Şanlıurfa ili, yarı kurak iklim kuşağındadır. Ancak son yıllarda yağışlarda gerçekleşen aşırı düşüşler nedeni ile bölge bazı iklim sınıflandırmalarına göre kurak iklim kuşağına geçiş yapmıştır. Şanlıurfa ilinde yazlar sıcak ve kurak iken, kışlar soğuk ve az yağışlı geçmektedir (Akın ve ark. 2020). Çalışmanın yapıldığı sera deneme dönemi boyunca 25-35 ^{o}C olacak şekilde tutulmuştur.

3.1.3. Araştırmada kullanılan saksı

Denemede kullanılacak saksılar 5 litre kapasiteli saksılardır. Yapılan sulamalar sonucunda drenajın sağlanması için saksı tabanlarında delikler açılmıştır. Saksıların altına saksı altlıkları yerleştirilerek sulama sonrası drene olan suyun kaybolması engellenmiştir. Şekil 3.2.' de saksıya ait bir görünüm verilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan saksı

3.1.4. Araştırmada kullanılan bitki materyalleri ve büyüme koşulları

Araştırmada biber ve soya olmak üzere iki bitki kullanılmıştır. Kullanılan biber bitkisi Capia tipi BT 016 yağlık biber kullanılmıştır. Meyveleri basık-yassı olan koyu parlak kırmızı tatlı bir biber çeşididir. Meyve uzunluğu bakım koşulları ile değişmekle beraber 18-20 cm arasında değişen, genişliği ise 4-5 cm arasında kalın etli bir türdür.

Soya olarak GAP tarımsal araştırma enstitüsünün bölgeye özgü olarak ürettiği GAPSOY 16 soya çeşididir. GAPSOY 16 soya çeşidi 2016 yılında tescil edilmiştir. Ürün verimi 400-600 kg da^{-1} arasında olan, yağ oranı %18.8-24.1 arasında, protein içeriği %40.5-43.7 arasındadır.

3.2. Yöntem

Bu çalışma üç farklı denemeden oluşmaktadır. İlk denemede, biber fideleri ve soya tohumları ekimi yapılmış ve bitkilerin sulaması iki günde bir düzenli olarak gerçekleştirilmiştir. Bitkilerin gelişimi takip edilmiş ve 12. gününde MT yapraktan uygulaması yapılmıştır. MT uygulamasından 7 gün sonra TS (tuz stresi) ve BT (bor toksisitesi) stres uygulamalarına başlanmıştır. Uygulamaların ardından 15. gününde bitkilerde stres etkileri gözlemlenmeye başlandığında, bitkiler hasat edilmiş ve analizler için uygun şartlarda muhafaza edilmiştir. Biber ve soya bitkilerindeki fizyolojik etkilerin belirlenmesi amacıyla çeşitli analizler yapılmıştır.

İkinci deneme toprak ortamında gerçekleşmiştir. Soya tohumu bakteri aşılaması olan ve olmayan şekilde ekilmiştir. Takip eden 25. Günde MT uygulaması ve onu takiben 7. Günde TS ve BT stres uygulamaları başlandı. Stres uygulamalarından sonraki 30. Günde bitkiler hasat edilerek analizler gerçekleştirildi.

Üçüncü denemede tohum ekimini takip eden 20. Günde ikinci denemedeki MT yerine SA uygulaması yapıldı. SA uygulamasından 7 gün sonra stres uygulamaları başlandı. Stres uygulamasını takip eden 25. Günde bitkiler hasat edilerek analizler gerçekleştirildi.

3.2.1. Araştırmanın yürütülmesi ve abiyotik stres uygulamaları

Araştırma, iki farklı yetiştirme ortamı olan perlit ortamı ve toprak ortamında gerçekleştirilmiştir.

İlk çalışma perlit ortamında yapılmıştır. Bu çalışmada, biber bitkisi için her saksıya 3 adet biber fidesi dikilmiş ve soya bitkisi için her saksıya 5 adet soya tohumu ekilmiştir. Çimlenme sonrasında her saksıda 3 bitki kalacak şekilde düzenlenmiştir. Çalışma, toplamda 4 farklı uygulama ve bu uygulamaların kombinasyonlarını içeren 3 tekrarlamadan oluşmuştur. Uygulamalar, tuz (NaCl) 100 mM ve bor (H_3BO_3 saf suda

çözünmüş şekilde) (Kaya, 2020) 2 mM konsantrasyonlarında olacak şekilde, sulama suyuna eklenmiştir. Tüm saksılar, her 2 günde bir Arnon ve Hoagland tarafından önerilen besin çözeltisi ile sulanmıştır. Besin çözeltisinin içeriği Çizelge 3.2.'de belirtilmiştir. Perlit ortamı deneme deseni ise Çizelge 3.1.'de yer almaktadır.

Bu şekilde düzenlenen deneyde, perlit ortamı kullanılarak bitkilerin abiyotik stres koşullarına maruz kalması sağlanmıştır. Tuz ve bor uygulamaları, bitkilerin büyüme ortamında bulunan abiyotik stres faktörlerinden etkilenmesini simüle etmek amacıyla yapılmıştır. Bu sayede, bitkilerin stres altında nasıl tepki verdiği ve bu stres faktörlerine adaptasyon yetenekleri incelenmiştir.

Perlit ortamındaki deneme deseni, farklı uygulamaların ve tekrarlamaların düzgün bir şekilde kontrol edilebilmesini sağlamak için tasarlanmıştır. Bu desen, istatistiksel analizlerin yapılabilmesi ve sonuçların güvenilir bir şekilde değerlendirilebilmesi için önemlidir.

Çizelge 3.1. Perlit Ortamı Deneme Deseni

Uygulama deseni (perlit ortamı)	
0.uygulama: Kontrol (sadece besin çözeltisi ise sulanan)	
1.uygulama: 100mM NaCl	2.uygulama: 2mM B
3.uygulama: 0.1 mM ME	4.uygulama: 100mM NaCl+2mM B
5.uygulama: 100mM NaCl+0.1 mM ME	6.uygulama: 2mM B+0.1 mM ME
7.uygulama: 100mM NaCl+2mM B+0.1 mM ME	
B: Bor- ME: Melatonin	

Çizelge 3.2. Kullanılan besin çözeltisi içeriği (mg L^{-1}) hoagland çözeltisi

N	**P**	**K**	**Ca**	**S**	**Mg**	**Fe**	**Mn**	**B**	**Cu**	**Zn**	**Mo**
270	31	234	200	64	48	2.8	0.5	0.5	0.02	0.05	0.01
Stok A	Stok A	Stok A	Stok B	Stok A	Stok A	Stok B	Stok A	Stok A	Stok A	Stok A	Stok A

3.2.2. Melatonin ve salisilik asidin yapraktan uygulanması

Bitkilerin köklenmesi ve belli bir boya (3-5 yaprak) gelmesine kadar sulama yapılmıştır. Bitkiler istenilen boya geldikten sonra uygulamalar başlamıştır. Uygulanacak olan MT ve SA yapıştırıcı madde olarak kullanılan tween-20 (%0,01) ile

beraber olmak üzere bitkilere stres uygulaması yapılmadan bir hafta önce iki günde bir kere olmak üzere MT ve SA içeren saksılara yapraktan püskürtülmüş ve toplamda 3 sefer olacak şekilde uygulanmıştır. Sonraki haftada bitkiler bor uygulaması olan saksılara bor toksisitesini yaratmak için borlu (2 mM) sulama suyu, tuz içeren saksılara tuz stresi yaratmak için tuzlu (100 mM) sulama suyu ve her iki stresin olduğu saksılara da sulama suyuna tuz ve borun birlikte uygulaması (100mM NaCl+2mM B) yapılarak sulama gerçekleştirilmiştir. Yapılan uygulamalar ve genel olarak görüntüler Şekil 3.3.'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Uygulamalardan genel görünüm

3.2.3. Bakteriyel aşılama

İkinci ve üçüncü çalışma toprak ortamında ve soya bitkisinde gerçekleştirilmiştir. Denemede kullanılan toprak kampüste bulunan deneme arazilerinden ($36^0$10'05 N, $39^0$00'23 E) temin edilmiştir. Toprak özellikleri Çizelge 3.3.'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Denemede kullanılan toprak özellikleri

pH	EC (dS/m	Kireç (%)	O.M (%)	Bünye	KDK (me/100gkt)	P (kg/da)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	B (mg/kg)
7.8	1.17	31.5	2.0	Killi-tın	38.5	4.4	1.28	1.26	0.44	0.74	0.14

Topraklar getirildikten sonra kuruması için güneş altına serilmiştir. Daha sonra kuruyan topraklar 2 mm elekten geçirilerek saksılara en altta iri taneler olacak şekilde doldurulmuş ve denemenin ikinci aşaması için hazır hale getirilmiştir. Topraklar saksılara doldurulduktan sonra, denemenin ilk aşamasındaki işlemlere ek olarak soya tohumları bakteri ile aşılanmış ve bakteri aşılaması yapılmamış olmak üzere saksılara ekim yapılmıştır. Bakteri aşılama TAGEM'in tavsiye ettiği 1kg bakteri 300kg^{-1} tohum olacak şekilde (3.3g kg^{-1}) tohuma bulaştırma şeklinde uygulanmıştır. Toprak ortamında kurulan denemenin uygulama deseni Çizelge 3.4.' te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Toprak Ortamı Deneme Deseni

Uygulama deseni (toprak ortamı)	
0: uygulama: Kontrol (sadece normal sulama)	
1.uygulama: 100mM NaCl	2.uygulama: 2mM B
3.uygulama: 0.1 mM ME (SA-0.5 mM)	4.uygulama: BA
5. uygulama: 0.1 mM ME (SA-0.5 mM) +BA	6. uygulama: 100mM NaCl+2mM B
7.uygulama: 100mM NaCl+0.1 mM ME (SA-0.5 mM)	8.uygulama: 100mM NaCl+BA
9.uygulama: 100mM NaCl+0.1 mM ME (SA-0.5 mM) +BA	10.uygulama: 2mM B+0.1 mM ME (SA-0.5 mM)
11.uygulama: 2mM B+BA	12.uygulama: 2mM B+0.1 mM ME (SA)+BA
13.uygulama:100mM NaCl+2mM B+0.1 mM ME (SA-0.5 mM)	14.uygulama: 100mM NaCl+2mM B+BA
15.uygulama: 100mM NaCl+2mM B+BA+0.1 mM ME (SA-0.5 mM)	
B: Bor- ME: Melatonin- BA: Bakteri- SA: 0.5 mM	

Çalışma ilk aşamada olduğu gibi 3 tekrarlı olacak şekilde ve toplam 5 farklı uygulama ile bu uygulamaların birbiri arasında kombinasyonu şeklinde gerçekleştirilmiştir. Denemede aşılanan bakteri, Ankara Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiş soya fasulyesine özgü *Bradyrhizobium japonicum* bakterisidir. Saksı toprağına ekimle birlikte tabana, dekara 13-15 kg gelecek şekilde saksı başına 0.1g kg^{-1} DAP gübresi verilmiş ve sonrasında üst gübreleme yapılmamıştır.



Şekil 3.4. Denemenin ikinci aşamasından genel görünüm

Denemenin ilk aşamasında olduğu gibi bitkiler istenilen boya (3-5 yaprak) ulaştıktan sonra uygulamaya geçilmiştir. Melatonin uygulamaları bitkiler strese girmeden önce bir hafta boyunca iki günde bir saksılara yapıştırıcı madde tween-20 (%0.01) ile melatonin (0.1µM) (Kaya ve ark., 2019) püskürtülerek toplam üç kez uygulanmıştır. Sonraki haftada bitkilere bor uygulanacak saksılara bor içeren (2 mM H_3BO_3) sulama suyu ile, tuz içeren saksılara tuz uygulanmış sulama suyu (100 mM NaCl) ile ve çift stresin (BT+TS) olduğu saksılara bor ve tuzun birlikte (100mM NaCl+2mM H_3BO_3) uygulaması yapılarak sulama gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın üçüncü aşamasında, ikinci aşamada kullanılan melatonin uygulaması yerine salisilik asit (0.5 mM) (Kaya ve ark., 2020) uygulaması yapılmıştır. Diğer uygulamalar ikinci aşamayla aynı şekilde yürütülmüştür.

3.2.4. Birinci ve ikinci denemede yapılan ölçüm ve analizler

3.2.4.1. Termal kamera görüntüleri

Çalışma kapsamında bitkilerin transpirasyon farkını görselleştirmek amacıyla termal kamera görüntüleri kullanılmıştır. Bu görüntüler, yüksek çözünürlüklü bir T650 kızılötesi kamera (FLIR Systems, Danderyd, İsveç) kullanılarak elde edilmiştir.

Kamera, 640x480 piksel uzamsal çözünürlüğe ve 30°C'de 0.04°C'lik bir termal hassasiyete sahiptir.

Termal kamera ile bitkilerin transpirasyon farkını gözlemlemek için, bitkilerin üzerindeki sıcaklık değişimlerini tespit etmek amacıyla kullanılan bir tekniktir. Bu teknik sayesinde bitkilerin su kaybı ve su taşıma mekanizmaları hakkında bilgi edinmek mümkün olmaktadır.

Görüntülerin alınması için bitkilerin üzerinde emisivite değeri 0.95'e ayarlanmış 2° lensli bir kamera kullanılmıştır. Bu sayede bitkilerin görüntüleri elde edilebilir hale gelmiştir. Daha sonra, FLIR ResearchIR yazılımı kullanılarak elde edilen veriler yanlış renklendirme yöntemiyle yaprak sıcaklığına dönüştürülmüştür.

Bu şekilde termal kamera görüntüleri, bitkilerin transpirasyon durumunu ve su taşıma mekanizmalarını analiz etmek için önemli bir araç olmuştur. Görüntülerdeki sıcaklık farklılıkları, bitkilerin su kaybı ve transpirasyon hızı hakkında değerli bilgiler sağlamaktadır. Bu veriler, bitki stresi, su yönetimi ve bitki sağlığı gibi konularda araştırmacılara ve yetiştiricilere rehberlik etmektedir.

3.2.4.2. Klorofil içeriği (SPAD)

Bu çalışmada, klorofil içeriği, her saksıda bulunan bitkilerden birbirine yakın fizyolojik gelişimde olan yapraklarda en az üç okuma olacak şekilde Konica Minolta SPAD 502+ cihazı ile ölçülmüştür. Her yapraktan alınan okumaların ortalamaları kaydedilmiş ve bitkilerin klorofil içeriği hakkında bilgi edinmek için kullanılmıştır (Atar ve Bayraktar, 2022).

3.2.4.3. Bitki yaş ve kuru ağırlığı

Bitki yaş ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi için hasat işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir saksıdaki bitki kök boğazından kesilmiş ve kesilen bitkilerin kök ve kök üstü aksamları ayrı ayrı tartılmıştır. Bu sayede bitkilerin yaş ağırlığı elde edilmiştir.

Daha sonra, bitkilerin kuru ağırlıklarını belirlemek için önceden 70 °C'ye ayarlanmış bir etüvde kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bitkiler, etüvde 48 saat boyunca kurutulmuş ve kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Bu işlem, bitkilerin su içeriğini gidererek sadece bitki dokularının kalan ağırlığını ölçmemizi sağlamaktadır.

3.2.4.4. Elektriksel sızıntı (%) oranı

%ES (Yüzdesel Elektron Sızıntısı) ölçümü, Dionisio-Sese ve Tobita (1998) tarafından belirtilen yönteme göre gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüm, bitkilerde elektriksel sızıntının belirlenmesini sağlamaktadır.

Ölçüm süreci şu şekilde gerçekleştirilmiştir: İlk olarak, 0.2 gram taze yaprak örneği alınarak, bu örneklerin bulunduğu tüplere 10 ml saf su eklenmiştir. Bu tüplerdeki örnekler, 24 saat boyunca bekletilmiştir. Bu bekletme süresi, örneklerin su içindeki elektriksel iletim özelliklerinin belirlenmesini sağlamaktadır.

Daha sonra, bekletme süresinin sonunda, EC (Elektriksel İletkenlik) metre kullanılarak EC1 okuması yapılmıştır. EC1 okuması, örneklerin elektriksel iletkenlik değerini ölçmekte kullanılan bir işlemdir. Bu değer, su içindeki elektriksel iletim miktarını göstermektedir.

EC1 okumasından sonra, örnekler 121°C sıcaklığa sahip bir otoklava yerleştirilmiş ve 20 dakika boyunca bu sıcaklıkta işlem görmüştür. Bu otoklav işlemi, örneklerin ısıl olarak işlenerek örneklerin yapısında meydana gelebilecek değişimleri önlemek için yapılmıştır. Otoklav işleminden sonra, örneklerin sıcaklığı 25°C'ye düşene kadar beklenmiştir.

Sıcaklık düştükten sonra, EC metre kullanılarak EC2 okuması yapılmıştır. EC2 okuması, örneklerin otoklav işlemi sonrasındaki elektriksel iletkenlik değerini ölçmekte kullanılan bir işlemdir. Bu değer, otoklav işlemi sonrasında örneklerin elektriksel iletim yeteneklerinde meydana gelen değişimleri yansıtmaktadır.

Yüzdesel elektron sızıntısı (%ES) ise, EC1 ve EC2 değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama için, EC1 değeri EC2 değerine bölünerek elde edilen sonuç 100 ile çarpılmıştır. Böylece, bitkilerdeki elektron sızıntısının yüzdesel olarak ne kadar olduğu belirlenmiştir.

%ES ölçümü, bitkilerdeki stres durumlarını belirlemek, bitki dokularının bütünlüğünü ve sağlığını değerlendirmek için önemli bir parametredir. Elektron sızıntısı, bitkilerdeki zararlı etkileri ve doku hasarını gösterebilmektedir.

3.2.4.5. Hidrojen peroksit (H_2O_2) ölçümü

Bitkilerin yapraklarında H_2O_2 (hidrojen peroksit) analizi, Loreto ve Velikova (2001) tarafından önerilen yönteme göre gerçekleştirilmiştir. Analiz süreci aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

1. Yaprak örnekleri: Analiz için 0.5 g yaprak örneği alınmıştır.

2. Homojenizasyon: Alınan yaprak örnekleri 3 ml TCA (Tri-kloro-asetik asit) çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Bu işlem, yapraklardaki hücrelerin parçalanmasını sağlar.

3. Örnek alımı: Homojenizasyon sonucunda elde edilen sıvıdan 75 ml örnek alınmıştır. Bu örnek, H_2O_2 miktarını belirlemek için kullanılacaktır.

4. Tampon ve KI çözeltisi: Örnek alınan sıvıya, 0.75 ml 10 mM K-fosfat tampon (pH 7.0) çözeltisi ve 1.5 ml KI çözeltisi eklenmiştir. Bu adım, reaksiyonun gerçekleşmesi için gerekli olan kimyasalları içerir.

5. Spektrofotometre ölçümü: Hazırlanan örneğin absorbans değeri, 390 nm dalga boyunda spektrofotometre ile okunmuştur. H_2O_2, bu dalga boyunda belirli bir absorbansa sahiptir.

6. Standart grafiği: H_2O_2 standart grafiği hazırlanmış ve örneğin absorbans değerine göre H_2O_2 içeriği hesaplanmıştır. Bu sayede, örnekteki H_2O_2 miktarı belirlenmiştir.

Bu analiz, bitkilerdeki H_2O_2 seviyelerinin belirlenmesini sağlar. H_2O_2, bitkilerde stres durumlarında artabilir ve oksidatif stresin bir göstergesi olabilir. Bu analiz, bitkilerin stres yanıtlarını değerlendirmek, antioksidan savunma sistemlerini anlamak ve bitkisel stres toleransını araştırmak için kullanılan önemli bir yöntemdir.

3.2.4.6. Melondialdehit (MDA) ölçümü

Bitki yapraklarının MDA (malondialdehit) içeriği Weisany ve ark. (2012) tarafından belirlenen yöntem kullanılarak ölçülmüştür. Aşağıda bu yöntemin adımları detaylı bir şekilde açıklanmaktadır:

1. Örnek alımı: Yapraklardan 0.2 g örnek alınmıştır.

2. Homojenizasyon: Alınan yaprak örnekleri 10 ml TCA (Tri-kloro-asetik asit) çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Bu işlem, yapraklardaki hücrelerin parçalanmasını sağlar ve MDA'nın serbest bırakılmasını kolaylaştırır.

3. Santrifüjleme: Homojenize edilen örnekler, 12000 g devirde ve +4 °C sıcaklıkta santrifüje tabi tutulmuştur. Bu adım, örnekteki katı maddelerin ve çözeltilerin ayrılmasını sağlar.

4. Örnek hazırlığı: Santrifüj sonrasında oluşan sıvının üst kısmından 1 ml örnek alınmış ve %20'lik TCA ile seyreltilmiştir. Ardından, %0.5'lik 1.5 ml tiyobarbütirik asit (TBA) eklenmiştir. Bu karışım, MDA'nın reaksiyona girmesi için gereken kimyasalları içerir. Örnekler, hızlı bir şekilde buz üzerinde soğutulmuştur.

5. Santrifüjleme (isteğe bağlı): Eğer oluşan çözeltilerde tortular varsa, tekrar santrifüj işlemi yapılarak örneklerin temizlenmesi sağlanır.

6. Spektrofotometre ölçümü: Hazırlanan örnekler, 532 nm ve 600 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunmuştur. MDA, bu dalga boylarında belirli bir absorbansa sahiptir.

7. MDA miktarının hesaplanması: Ölçümler sonucunda elde edilen absorbans değerleri kullanılarak MDA miktarı hesaplanmıştır. Hesaplama için aşağıdaki formül kullanılmıştır: MDA miktarı = [(A532-A600) /155000] X 106. Elde edilen sonuçlar nmol/gr olarak kaydedilmiştir.

Bu analiz, bitkilerde oksidatif stresin bir göstergesi olan MDA seviyelerini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. MDA, hücre zarlarının oksidatif hasarına işaret edebilir ve bitkilerin stres yanıtlarını değerlendirmek için önemli bir biyokimyasal belirteçtir.

3.2.4.7. Prolin içeriği ölçümü

Bitki yapraklarının prolin içeriği Bates ve ark. (1973)'nin belirlediği ninhydrin yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Aşağıda bu yöntemin adımları detaylı bir şekilde açıklanmaktadır:

1. Örnek alımı: Yapraklardan 0.5 g örnek alınmıştır.
2. Homojenizasyon: Alınan yaprak örnekleri, 10 ml %3'lük sülfosalisilik asit içinde homojenize edilmiştir. Bu işlem, prolinin serbest kalması ve çözeltiye geçmesini sağlar.
3. Süzme: Homojenizasyon işlemi sonrasında elde edilen karışım süzülmüştür. Elde edilen süzüğün 2 ml'si alınmış ve ninhidrin çözeltisi (2 ml) ile glasial asetik asit (2 ml) eklenmiştir. Bu karışım, prolin ile ninhidrin arasındaki reaksiyonu başlatmak için kullanılır.
4. Isıl işlem: Hazırlanan örnekler, 80 °C'de bir su banyosunda 1 saat boyunca bekletilmiştir. Bu süre, prolin-ninhidrin reaksiyonunun tamamlanmasını sağlar.
5. Soğutma ve çalkalama: Örnekler soğuduktan sonra, üzerine 4 ml toluen eklenmiş ve 10-20 saniye boyunca çalkalanmıştır. Bu adım, prolin-ninhidrin reaksiyonunu durdurmak ve fazları ayırmak için kullanılır.
6. Spektrofotometrik ölçüm: Hazırlanan örnekler, 520 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunmuştur. Prolin-ninhidrin kompleksi, bu dalga boyunda belirli bir absorbansa sahiptir.
7. Prolin içeriğinin hesaplanması: Ölçümler sonucunda elde edilen absorbans değerleri kullanılarak prolin içeriği hesaplanmıştır.

3.2.4.8. Antioksidan enzimlerin ölçümü

Antioksidan enzim analizler için örneklerin hazırlanması aşağıdaki adımlar ile gerçekleştirilmiştir:

1. Örnek alımı: 0.5 g yaprak örneği alınmış ve üzerine 5 ml homojenat tamponu eklenmiştir. Homojenat tamponu, %1 PVP ve 1 mM EDTA içeren 0.1 M KH2PO4 (pH 7.0) çözeltisidir.

2. Homojenizasyon: Örnekler, homojenizasyon işlemiyle tampon çözeltisiyle karıştırılmış ve örneklerin çözeltiye geçmesi sağlanmıştır.

3. Santrifüj işlemi: Karışım, 15000 x g ve +4°C'de 15 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Bu işlem, bitki materyalinin ayrıştırılması ve antioksidan enzimlerin aktivite ölçümlerinde kullanılacak olan ekstraktın elde edilmesini sağlar.

4. Enzim ekstraktının kullanımı: Santrifüj işlemi sonucunda elde edilen ekstrakt, antioksidan enzimlerin aktivite ölçümlerinde kullanılmıştır. Bu ekstrakt, Angelini ve Federico (1989) ve Angelini ve ark. (1990) tarafından belirtilen yöntemlere dayanarak hazırlanmıştır.

3.2.4.9. Peroksidaz (POD) ölçümü

POD ölçümü Chance ve Maehly (1955)'in belirlediği yönteme göre yapılmıştır. Aşağıda bu yöntemin adımları detaylı bir şekilde açıklanmaktadır:

1. Antioksidan analizleri için hazırlanan enzim ekstraktından alınan 10 µL, hazırlanan reaksiyon karışımına (5 mM guaiacol, 5 mM H_2O_2 ve 50 mM Na-fosfat (pH 6.5)) eklenmiştir. Toplam hacim 3 ml'ye tamamlanmıştır.

2. Spektrofotometrik ölçüm: Elde edilen karışım, 470 nm dalga boyunda 1 dakika aralıklarla toplamda 5 dakika boyunca spektrofotometrede okunmuştur.

3. POD aktivitesinin hesaplanması: POD aktivitesi, ΔA470/dakika/mg protein formülü kullanılarak hesaplanmıştır. ΔA470, okuma süresi boyunca absorbans değerindeki değişimi ifade eder. Hesaplanan değer, örnekteki mg protein miktarına bölünerek elde edilir.

3.2.4.10. Katalaz (CAT) enzimi ölçümü

CAT aktivitesi ölçümü Kraus ve Fletcher, (1994) belirttiği metoda göre yapılmıştır. Aşağıda bu yöntemin adımları detaylı bir şekilde açıklanmaktadır:

1. Antioksidan analizleri için hazırlanan enzim ekstraktından alınan 10 µL, reaksiyon karışımına (10 mM H_2O_2, 50 mM potasyum fosfat buffer (pH 7.0) ve 4 mM Na2EDTA) eklenmiştir. Toplam hacim 240 nm'de 25 °C'de 30 saniye boyunca spektrofotometrede okunmuştur.

2. Katalaz hesaplanması: H_2O_2'nin 240 nm'de (E=39.4 mM cm-1) parçalanma oranı ölçülerek katalaz aktivitesi hesaplanmıştır.

3.2.4.11. Süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi ölçümü

SOD aktivite tayini Beauchamp ve Fridovich (1971) metoduna göre yapılmıştır. Aşağıda bu yöntemin adımları detaylı bir şekilde açıklanmaktadır:

1. 0.2 ml enzim ekstraktı, reaksiyon ortamına (0.5 ml 0.1 mM Na-EDTA içeren 0.5 ml 50 mM'lik fosfat tamponu (pH 7.6)) eklenmiştir. Daha sonra enzim ekstraktı (25-100 µl), 0.5 ml 13 mM L-metiyonin, 0.5 ml 33 µM p-NBT ve 0.5 ml 5 µM riboflavin eklenmiştir. Kontrol için bitki materyali olmayan bir örnek de hazırlanmıştır.
2. Spektrofotometrik ölçüm: Hazırlanan karışım, 560 nm dalga boyunda 10-15 dakika boyunca beyaz ışık altında bekletildikten sonra spektrofotometrede okunmuştur.
3. SOD aktivitesinin hesaplanması: SOD ile NBT azalmasının % inhibisyonu hesaplanarak SOD aktivitesi belirlenmiştir. %50 inhibisyon, 1 birim enzime eşittir.

SOD ile NBT azalmasının % inhibisyonu = kontrol OD- numunenin OD / kontrol x 100 = % X inhibisyon. %50 inhibisyon 1 birim enzime eşittir. X %1/50 x X = Y birimine eşittir.

3.2.5. Üçüncü denemede yapılan ek analizler

3.2.5.1. Klorofil pigment miktarı ve klorofil floresans (fv/fm) belirlenmesi

Klorofil pigment içeriklerinin belirlenmesinde Witham ve ark. (1971) belirlediği yöntem kullanılmıştır. Bu doğrultuda, bitki yapraklarından (3 tekerrürlü) 1 g örnek alınmış ve doğrudan ışık almayan loş bir yerde 10 ml %80'lik aseton ile homojenize edilip filtre edilmiştir. Elde edilen ekstraktın son hacmi aseton ile 25 ml'ye tamamlanmıştır. Hazırlanan örnekler 663 nm, 645 nm ve 450 nm dalga boylarında okunmuş ve aşağıda eşitlik 3.1., 3.2, 3.3 ve 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır (Lichtenthaler 1983).

$$Klorofil\ a = (12.7 \times 663\ nm) - ((2.69 \times 645\ nm) \times \left(\frac{V}{W} \times 10000\right)) \quad (3.1)$$

$$Klorofil\ B = (22.91 \times 645\ nm) - ((4.68 \times 663\ nm) \times \left(\frac{V}{W} \times 10000\right)) \quad (3.2)$$

$$Toplam\ klorofil = ((20.2 \times (D645) + 8.02(D663)) \times (\frac{V}{1000 \times W}) \quad (3.3)$$

$$Karotenoid = (4.07 \times D450) - (0.0435 \times kl\ a\ miktarı + 0.367 \times kl\ b\ miktarı) \quad (3.4)$$

Klorofil floresansı, fotosentez sistemi II (PSII) aktivitesinin zararsız bir ölçümüdür ve bitki fizyolojisinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. PSII aktivitesinin abiyotik ve biyotik faktörlere duyarlılığı, bu tekniği sadece fotosentez mekanizmalarını anlamak için değil, aynı zamanda bitkilerin çevresel değişime nasıl tepki verdiğini gösteren daha geniş bir gösterge olarak da önemli kılmıştır (Murchie ve Lawson, 2013). Bu çalışmada, bitkilerde herbisit ve patojen stresini tarla koşullarında ölçmek için Fv/Fm parametresine dayanan bir sensör kullanılmıştır. Bu sensör, bitkilerin yapraklarından alınan örnekler üzerinde uygulanan bir ışıkla klorofil floresansını ölçen taşınabilir bir cihaz olan Mini-PAM klorofil florometre (Walz) ile ölçümler yapmaktadır.

Örnekler, ölçümlerden önce 30 dakika karanlıkta bekletilmiştir. Bu süre, bitkilerin ışığa maruz kalma öncesi klorofil moleküllerinin tamamen açığa çıkmasını

sağlamak için kullanılmıştır. Karanlıkta bekletilme süresi, bitkilerin fotosentez sistemlerinin dengelenmesini sağlayarak maksimum kuantum veriminin ölçülmesini kolaylaştırır.

Okuma işlemi, Mini-PAM klorofil florometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz, fotosentezin ışık enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürdüğü fotosentez sistemi II (PSII) adı verilen birimlerin maksimum kuantum verimini kaydeder. Maksimum kuantum verimi, değişken floresans (Fv) ile maksimum floresans (Fm) arasındaki oran olarak tanımlanır ve Fv/Fm olarak ifade edilir. Fv ve Fm değerleri, Mini-PAM cihazının uyguladığı kısa ve yoğun bir ışık darbesiyle ölçülür.

Fv/Fm oranı, floresan verimliliğinin bir ölçüsüdür ve bitkilerde fotosentez sisteminin sağlığını ve verimliliğini yansıtır. Bu oran, bitkilerin ışığı etkin bir şekilde kullanabilme yeteneklerini ve fotooksidatif stres seviyelerini değerlendirmek için kullanılır. Fotooksidatif stres, ışığın fazla miktarda ürettiği reaktif oksijen türleri nedeniyle PSII'nin hasar görmesidir. Bitkiler bu hasarı önlemek veya onarmak için fotoinhibisyon ve fotokoruma adı verilen mekanizmalar geliştirmiştir. Fv/Fm oranının yüksek olması, bitkilerin fotosentez sistemlerinin sağlıklı olduğunu ve optimum performans gösterdiğini gösterir.

Sonuç olarak, bu çalışmada Mini-PAM klorofil florometre (Walz) kullanılarak örneklerin 30 dakika karanlıkta bekletilmesiyle Fv/Fm oranları ölçülmüştür. Bu sayede bitkilerin fotosentez sistemi verimliliği değerlendirilmiş ve PSII'nin maksimum kuantum verimi kaydedilmiştir. Bu veriler, bitkilerin fotosentez performansı ve sağlığı hakkında bilgi sağlamaktadır.

3.2.5.2. Yaprak dokularında nispi su içeriği (%RWC)

Yaprak nispi su içeirği (%RWC) belirlemek için taze bitkiden alınan örnekler ağırlıkları (FW) alındıktan sonra test tüplerine aktarıldı. Üzerine 10 ml saf su eklenerek karanlıkta 24 saat bekletildi. 24 saat sonra yaprakların turgor ağırlıkları (TW) ölçüldü

ve ardından 24 saat 70 °C'de etüvlendi. 24 saatin sonunda kuru ağırlıklar (DW) tartıldı ve sonuçlar Bertamini ve ark. (2006) yöntemine göre hesaplandı (Eşitlik 3.5)

$$Leaf\ RWC = \frac{FW-DW}{TW-DW} \times 100 \quad (3.5)$$

3.2.5.3. Nitrat redüktaz (NR) aktivitesi ölçümü

Nitrat redüktaz (NR) aktivitesi ölçümü, Jaworski (1971) tarafından önerilen yönteme göre gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüm, bitkilerde nitratın nitrit formuna dönüşümünü katalizleyen nitrat redüktaz enziminin aktivitesini belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

Ölçüm süreci şu şekilde gerçekleştirilmiştir: İlk olarak, taze bitki örneğinden 0,2 gram tartılmıştır. Bu örneğin alınmasındaki amaç, bitki örneğindeki nitrat redüktaz enzim aktivitesini belirlemek için yeterli miktarda materyal elde etmektir.

Daha sonra, tartılan bitki örneği 5 ml 0,1M fosfat tampon çözeltisiyle bir saat boyunca inkübe edilmiştir. Bu inkübasyon süresi, bitki örneğindeki nitrat redüktaz enziminin uygun bir ortamda aktivitesini sergilemesini sağlamaktadır. İnkübasyon süresi sonunda, örnek çözeltisinden 0,4 ml süzülerek ayrılmıştır.

Ayrılan süzüğe 3 ml renk solüsyonu eklenmiştir. Renk solüsyonu, nitrat redüktaz tarafından nitrit formuna dönüştürülen nitratın tespit edilmesini sağlamaktadır. Daha sonra, 540 nm dalga boyunda bir spektrofotometre kullanılarak örneğin optik yoğunluğu ölçülmüştür. Optik yoğunluk ölçümü, nitrat redüktaz tarafından oluşturulan nitrit miktarının belirlenmesini sağlamaktadır.

Son olarak, elde edilen optik yoğunluk değeri, standart bir grafik kullanılarak nitrit miktarına dönüştürülmüştür. Bu sayede, bitki örneğindeki nitrat redüktaz aktivitesi hesaplanmıştır. Standart grafiğin oluşturulması, bilinen nitrit konsantrasyonlarının farklı optik yoğunluk değerleriyle ilişkilendirilmesini

içermektedir. Böylece, ölçülen optik yoğunluk değeri kullanılarak bitki örneğindeki nitrit miktarı ve dolayısıyla nitrat redüktaz aktivitesi belirlenebilmektedir.

Nitrat redüktaz aktivitesi ölçümü, bitkilerde nitrat metabolizması ve nitrat alımının değerlendirilmesi için önemli bir parametredir.

3.2.5.4. Bitki besin elementi (Na, B, K, Ca, N) analizleri

Bitki besin elementi analizleri (Na, B, K, Ca, N), bitki örneklerinin kurutulmasının ardından kuru yakma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, bitkilerin büyüme ve gelişme süreçlerinde önemli olan temel besin elementlerinin içeriğini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Analizler için kurutulan bitki örnekleri öğütülerek homojen bir hale getirilmiştir. Ardından, 0,5 gramlık öğütülmüş örnekler porselen krozelere tartılarak yerleştirilmiştir. Yaklaşık 5 saat boyunca 500 °C'de kül fırınında yakma işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu işlem, bitki örneklerindeki organik maddelerin yanarak kalıntı olarak kül haline gelmesini sağlamaktadır.

Soğuyan örneklerin üzerine 5 ml HCl (hidroklorik asit) eklenerek ve son hacim saf su ile 25 ml'ye tamamlanarak çözelti oluşturulmuştur. Bu çözelti, bitki örneklerindeki minerallerin suda çözünerek analiz için uygun hale gelmesini sağlamaktadır.

Bitki örneklerinin K (potasyum), Ca (kalsiyum), Na (sodyum) ve B (bor) gibi element konsantrasyonları, ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopisi) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. ICP-OES, örnekte bulunan elementlerin optik emisyon spektrumunu analiz ederek konsantrasyonlarını tespit eden bir analiz yöntemidir.

Bitki kök ve gövde azot (N) analizleri ise Kjeldahl yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde, bitki örnekleri sindirilerek azot içerikleri

belirlenmektedir. Analiz için Bremner (1965) tarafından önerilen Kjeldahl yöntemi kullanılmıştır.

3.2.6. İkinci ve üçüncü denemede yapılan toprak mikrobiyal analizleri

3.2.6.1. Toprak solunumu (CO_2) analizi

Toprak solunumu analizi (CO_2 üretimi), topraktaki mikroorganizmların organik maddeyi parçalaması sonucu oluşan önemli bir mikrobiyal aktivite göstergesidir. Bu analiz, Isermayer (1952) tarafından geliştirilen bir protokol doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

Analiz için 100 gram toprak örneği alınır ve bir Isermayer kavanozuna yerleştirilir. Kavanoza 50 ml barit çözeltisi eklenir. Kavanozun ağzı hava almayacak şekilde kapatıldıktan sonra 24 saat boyunca bekletilir. Aynı şekilde, topraksız bir kontrol tanığı da aynı şartlarda işlem görür.

24 saatlik sürede topraktan salınan CO_2 barit çözeltisini tüketir. 24 saat sonra, toprak örnekleri alınır ve fenolftalein indikatörü barit çözeltisine damlatılır. Damlatılan indikatör geride kalan barit çözeltisi ile etkileşime girerek kırmızımsı pembe renk oluşturur. Oluşan bu rengi tersine çevirmek ve mevcut barit çözeltisi miktarını ölçmek için HCl (hidroklorik asit) ile reaksiyona sokulur. HCl asidi, reaksiyon sonucunda kırmızısı pembe rengi tüketene kadar titre edilerek harcanan HCl miktar kaydedilir. Şahit olarak kullanılan topraksız kontrol tanığı için de aynı işlem yapılır.

Harcanan asit miktarı, topraksız kontrol tanığıyla karşılaştırılarak toprak solunumundan kaynaklanan CO_2 üretimi hesaplanır. Bu hesaplama, toprakta gerçekleşen organik madde ayrışması ve mikrobiyal aktiviteye bağlı olarak ortaya çıkan CO_2 miktarını belirlemektedir.

Toprak solunumu analizi, toprağın biyolojik aktivitesini, organik madde dönüşümünü ve mikrobiyal faaliyetleri değerlendirmek için önemli bir araçtır. CO_2 üretimi, toprağın sağlıklı ve verimli olup olmadığını anlamak için kullanılan bir göstergedir. Bu analiz, tarım, çevre ve ekosistem çalışmalarında toprak sağlığının değerlendirilmesi ve yönetimi için önemli bilgiler sağlar.

3.2.6.2. Dehidrogenaz enzim aktivitesi (DHA) analizi

Dehidrogenaz enzim aktivitesi (DHA) analizi, toprağın mikrobiyal aktivitesini değerlendirmek ve toprakta bulunan yaşamsal süreçleri anlamak için kullanılan bir yöntemdir. Bu analiz, Thalman (1967) tarafından geliştirilen bir yönteme göre gerçekleştirilmiştir.

Analiz için toprak örneğinden 10 gram alınarak 25x250 mm'lik tüplere konulmuştur. Üzerine 10 ml TTC (triphenyltetrazolium chloride) çözeltisi eklenmiş ve iyice karıştırılmıştır. TTC, aktif metabolik süreçlerin bir göstergesi olarak kullanılan bir bileşiktir. Karışımın homojen olması sağlanarak tüplerin ağızları kapatılmış ve 24 saat boyunca bekletilmiştir.

24 saatlik süre sonunda, tüplerden elde edilen karışım filtrasyon yoluyla süzülmüştür. Bu süzme işlemi, topraktan çıkan sıvı fazın ayrıştırılması için kullanılmaktadır. Elde edilen süzüğün, 546 nm dalga boyunda bir ekstraksiyon çözeltisi karşısında spektrofotometrede okuması yapılmıştır. Spektrofotometre, ışığın emilimini ölçerek, renk değişimini ve dolayısıyla enzim aktivitesini belirlemektedir.

DHA analizi, toprağın mikrobiyal faaliyetini değerlendirerek toprakta gerçekleşen biyokimyasal süreçleri anlamak için önemli bir araçtır. Dehidrogenaz enzimi, organik maddenin ayrışması ve besin maddelerinin dönüşümü gibi temel biyokimyasal süreçlerde önemli bir rol oynamaktadır. Analiz sonucunda elde edilen veriler, toprağın mikrobiyal aktivitesini, organik madde dönüşümünü ve toprak verimliliğini değerlendirmek için kullanılmaktadır

3.2.6.3. Mikrobiyal biyomas karbon içeriği (MBC) analizi

Topraktaki mikrobiyal biyomas karbon içeriği (MBC), toprak mikroorganizmalarının hücrelerinde bulunan karbon miktarını ifade eder. Mikrobiyal biyomas karbon (MBC) analizi, Öhlinger (1993)'e göre yapılmıştır. Yöntem şu şekilde gerçekleşmektedir:

1. Toprak örneği alımı: Analiz için topraktan 50 g örnek alınır. Toprak örneği, nem içeriği tarla kapasitesine getirilir. Bu, toprağın optimum nem seviyesine getirilerek doğru sonuçlar elde etmek için yapılan bir adımdır.

2. Örneklerin hazırlanması: Alınan toprak örneği, analiz için kullanılacak bir eksikatöre yerleştirilir. Aynı zamanda eksikatörde, toprakla birlikte 50 ml kloroform içeren bir beher de bulunur. Eksikatörün kapağı kapatılır ve motor yardımıyla içindeki hava boşaltılır. Bu adım, toprak örneğindeki mikroorganizmaların aktivitesini durdurmak için kloroform kullanarak sterilizasyonu sağlar.

3. İnkübasyon süresi: Eksikatördeki örnekler 24 saat bekletilir. Bu süre, mikrobiyal aktivitenin tamamen durmasını sağlamak için gereklidir.

4. Havanın boşaltılması: 24 saat sonra eksikatörün içindeki hava boşaltılır ve örnekler çıkarılır. Bu adım, toprak örneğinin üzerindeki kloroform buharının uzaklaştırılmasını sağlar.

5. Karıştırma işlemi: Örnekler, potasyum sülfat çözeltisi ile 1:5 oranında karıştırılır. Bu karışım, mikroorganizmaların toprak parçacıklarından ayrışmasını ve çözeltiye geçmesini sağlar. Karışım 30 dakika boyunca çalkalanır.

6. Filtreleme: Çalkalama işleminden sonra örnekler filtre edilir. Filtreleme işlemi, topraktan süzülen çözeltinin ayrıştırılmasını ve organik madde tayini için kullanılmasını sağlar.

7. Organik madde tayini: Filtre edilen örneklerde organik madde tayini yapılır. Bu adım, toprakta bulunan mikrobiyal karbon miktarının belirlenmesini sağlar. Organik madde tayini, toprakta bulunan karbon bileşiklerinin miktarını ölçerek MBC değerini elde etmek için gerçekleştirilir.

Bu analiz, toprakta bulunan mikroorganizmaların biyomas karbon içeriğini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. MBC analizi, toprak mikrobiyal aktivitesinin bir göstergesi olarak kabul edilir ve toprak sağlığının değerlendirilmesinde önemli bir parametredir. Genel olarak analizlerle ilgili görseller Şekil 3.6.'da verilmiştir.



Şekil 3.5. Deneme sonunda yapılan analiz görselleri

3.2.7. Üç denemede de kullanılan istatistik analiz

Deneme sonunda elde edilen veriler, SPSS 21 paket programı kullanılarak iki yönlü varyans analizi yapıldı. Elde edilen parametrelerin ortalama ve standart hata değerleri belirlendi ve ortalamalar arasındaki farklar ($P \leq 0.05$) Duncan testi ile işlenmiş ve sonuçlar grafiklere yansıtılmıştır. Ayrıca parametreler arasındaki ilişkinin yönü ve şiddetinin belirlenmesi için Pearson Korelasyon katsayıları hesaplanmış ve seçili değerler her denemenin sonunda grafiklerle gösterilmiştir. Korelasyon katsayısı iki değişken arasındaki ilişkinin ölçüsü -1 ile +1 arasında değer gösterir. Bu değerler arasındaki ilişki düzeyleri; 0.00 ise ilişki yok, 0.01-0.29 arasında ise düşük düzeyde ilişki, 0.30- 0.70 arasında ise orta düzeyde ilişki, 0.71-0.99 arasında ise yüksek düzeyde ilişki ve 1.00 ise mükemmel ilişkiyi göstermektedir (Köklü ve ark., 2006). Korelasyon analizine ek olarak, parametreler arasında basit doğrusal regresyon analizi

yapılmış ve modelin anlamlılığı R^2 ile ifade edilmiştir. Bağımlı değişkeni, bağımsız değişkenlerin ne ölçüde açıklandığı R^2 değeri ile açıklanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

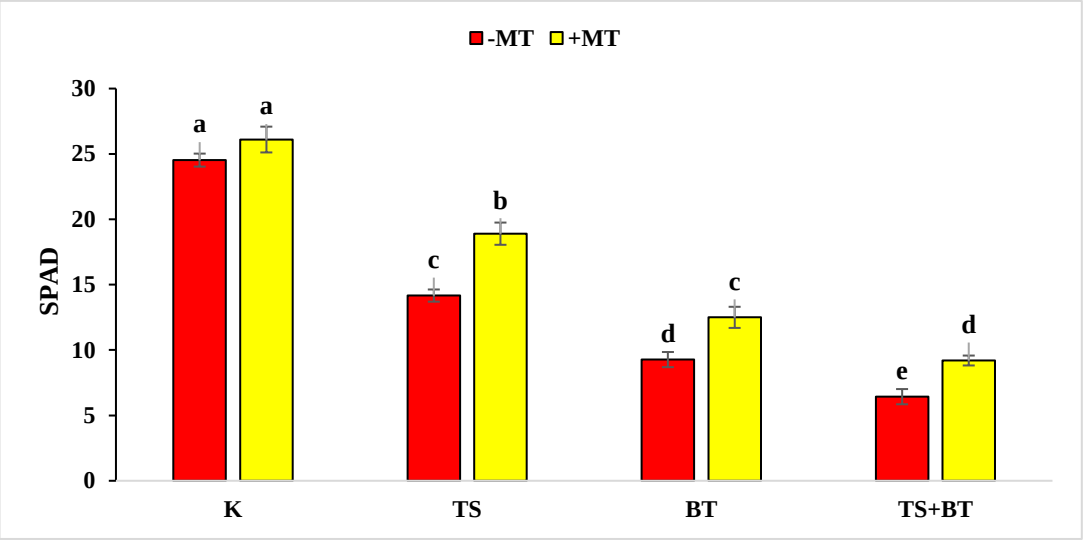
Araştırmalardan elde edilen bulgular şekiller ile verilerek değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu bulgular; birinci deneme için, soya ve biber bitkisinde gelişim ile ilgili analizler ve bitkide antioksidan, reaktif oksijen türleri gibi fizyolojik analizleri içermektedir. İkinci denemede, soya bitkisi gelişimi ve fizyolojik analizleri ile toprakta yapılan mikrobiyolojik analiz sonuçları incelenmiş ve çeşitli yönleri ile tartışmalar yapılmıştır. Üçüncü denemede ise ikinci deneme de yapılan analizlere ek olarak deneme sonunda bitkide (Na, B, K, Ca, N) element analizleri yapılmıştır.

4.1. Birinci Deneme Sonuçları

Bu aşamada perlit ortamında yetiştirilen soya ve biber bitkisine yapılan uygulamaların fizyolojik analiz sonuçları verilmiştir.

4.1.1. Soya ve biber bitkisinin spad sonuçları

Soya bitkisinde hasat öncesi yaprak klorofil içeriği hakkında bilgi almak amacıyla SPAD cihazı ile SPAD ölçümü yapılmıştır. Soya bitkisi SPAD sonuçları Şekil 4.1.'de verilmiştir. Yapılan uygulamalardan bor toksisitesi (BT) bitki SPAD içeriğini kontrole göre %62.2, tuz stresi (TS) uygulaması %42.2 ve iki stresin beraber uygulanması (TS+BT) ise %73.7 oranında düşürmüştür. Stres etkilerini azaltmak amacıyla yapılan MT uygulaması ise bitkide SPAD içeriklerinde artışlar sağlamıştır. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması stresin olumsuz etkisini %34.8 oranında, TS uygulamasına yapılan MT olumsuz etkiyi %33.4, TS+BT uygulamasına yapılan MT ise %43 oranında arttırmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; kontrole kıyasla yapılan melatonin (MT) uygulamasının SPAD değerini arttırdığı fakat bunun istatistiki ($P \leq 0.05$) olarak önemli bulunmadığı görülmektedir.



K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması)

Şekil 4.1. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının SPAD değerlerine etkisi

Biber bitkisinde hasat öncesi yapılan SPAD sonuçları incelendiğinde ise (Şekil 4.2.), kontrol bitkisine kıyasla yapılan MT uygulaması sonuçları önemli bulunmamıştır ($P \leq 0.05$). Biber bitkisine yapılan BT uygulaması kontrole kıyasla SPAD içeriğini %52,2, TS uygulaması %42.5, TS+BT uygulaması ise %55.3 oranında azalttığı bulunmuştur. Stres etkilerine karşın yapılan MT uygulaması ise SPAD içeriklerini arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması %62.8, TS uygulamasına yapılan MT %46.3 ve TS+BT uygulamasına yapılan MT ise bitki SPAD içeriğini %77.2 oranında artış sağlamış ve bu sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Bitkiler üzerinde gerçekleştirilen bor toksisitesi ve tuz stresi uygulamaları, özellikle bu iki stres faktörünün bir arada olduğu durumlarda bitki gelişiminde olumsuz etkilere neden olmuştur. Hem biber bitkileri hem de soya bitkileri, bor toksisitesi ve tuz stresi uygulamalarından negatif şekilde etkilenmiştir. Ancak yapılan karşılaştırmalar sonucunda, soya bitkisinin bor toksisitesi ve tuz stresi uygulamalarına daha duyarlı olduğu belirlenmiştir. Bu durum, soya bitkisinin bu stres faktörlerine karşı daha hassas olduğunu göstermektedir.

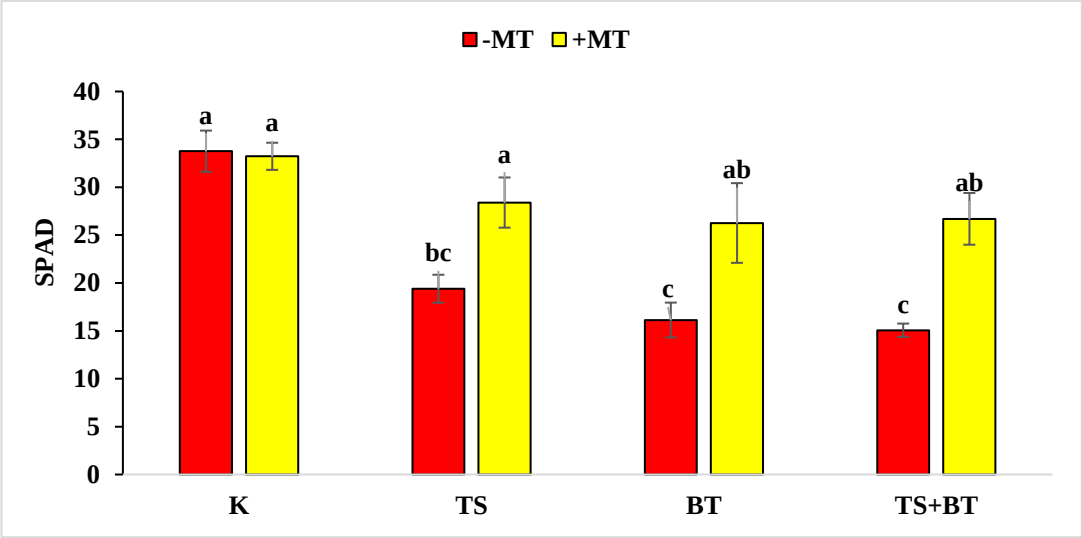
Şekil 4.3.'te biber ve soya bitkilerinden elde edilen bazı görüntüler sunulmuştur. Bu görüntüler, bor toksisitesi ve tuz stresi uygulamalarının bitkiler üzerindeki görsel

etkilerini göstermektedir. Bu etkiler arasında yaprakların solması, kahverengileşme, kıvrılma veya genel büyüme ve gelişme geriliği gibi belirtiler yer alabilir.

Bu görsel kanıtlar, bitkilerin bor toksisitesi ve tuz stresine nasıl tepki verdiğini gösteren önemli bir veri sağlamaktadır. Soya bitkisinin daha fazla olumsuz etkilendiği göz önüne alındığında, bu bitki türünün bu stres faktörleriyle başa çıkma kapasitesinin daha düşük olduğu sonucuna varılabilir.

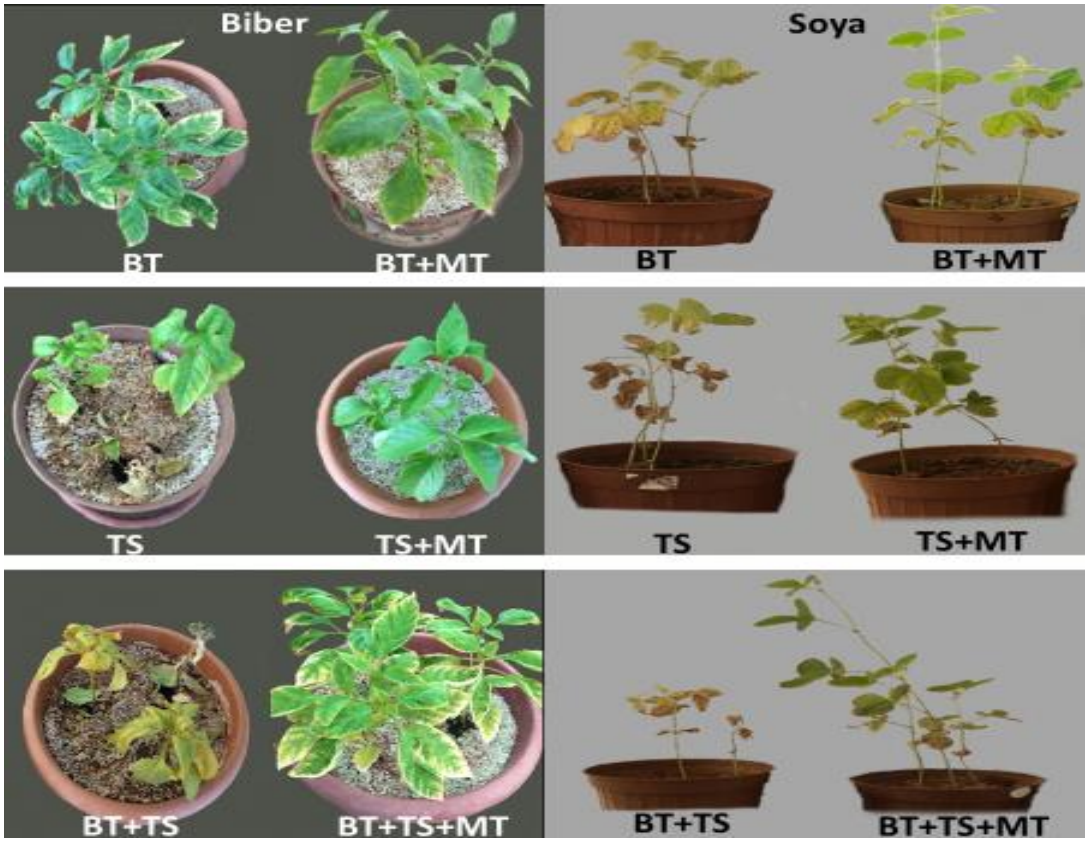
Sonuç olarak, bor toksisitesi ve tuz stresi uygulamaları, biber ve soya bitkilerinin gelişimi üzerinde olumsuz etkilere neden olmuştur. Soya bitkisi, bu stres faktörlerine karşı daha hassas olduğu ve daha büyük bir duyarlılık gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 4.3.'teki görüntüler, bu etkilerin görsel olarak da teyit edilmesini sağlamaktadır.

Bitkilerin önemli bir kısmında tuz stresi ve bor toksisitesi gibi stres etkileri altında fotosentez aktivitelerinde azalma meydana gelmekte ve bunun sebebinin pigmentlerdeki bozulmadan oluştuğu, özellikle ROS oluşumundan dolayı zarar gördüğü bildirilmektedir (Abd-Elgawad ve ark. 2016). Tuz uygulamalarının bitki gelişiminde önemli bir parametre olan klorofil (SPAD) değerlerinde düşüşler olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (Mehmood ve ark., 2020). Biber bitkisine farklı dozlarda tuz uygulmasının etkinliğinin araştırıldığı bir araştırmada tuz dozu arttıkça bitki SPAD değerlerinin düştüğü belirlenmiştir (Güneş, 2022). Ayvaz ve ark. (2015) yaptıkları bir çalışmada 12.5 mM bor uygulamasının patates bitkisinde klorofil içeriğinde azalmaya sebep olduğu bildirilmiştir. Yapılan bir başka araştırmada, tuz stresinin elma bitkisinde klorofil içeriğini doz artışı ile orantılı olarak düşürmüştür (Xue ve ark., 2015). Tuz stresinde yapılan bir başka çalışmada 100 mM NaCl uygulaması yapılan mısır bitkisinde klorofil içeriğinde önemli azalmalar belirlenmiştir (Kaya ve ark., 2018). Abiyotik stres etkilerine karşı yapılan melatonin (100µM) uygulamasının bitkilerde klorofil içeriklerinde iyileştirme sağladığı araştırmacılar tarafından da belirlenmiştir (Wang ve ark., 2016; Martinez ve ark., 2018).



K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

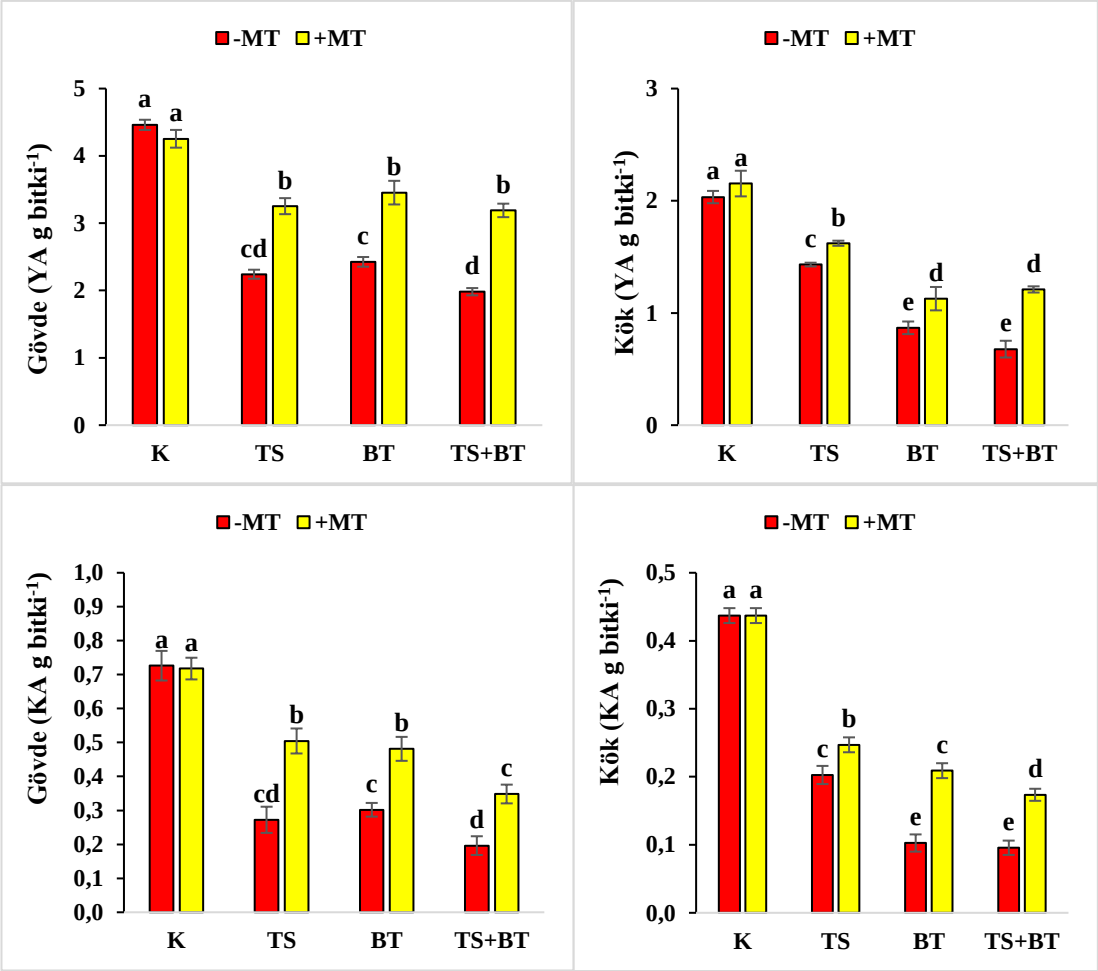
Şekil 4.2. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının SPAD değerlerine etkisi



Şekil 4.3. Biber ve soya bitkilerine MT uygulamasının etkileri

4.1.2. Soya ve biber bitkisinin yaş ve kuru ağırlıkları

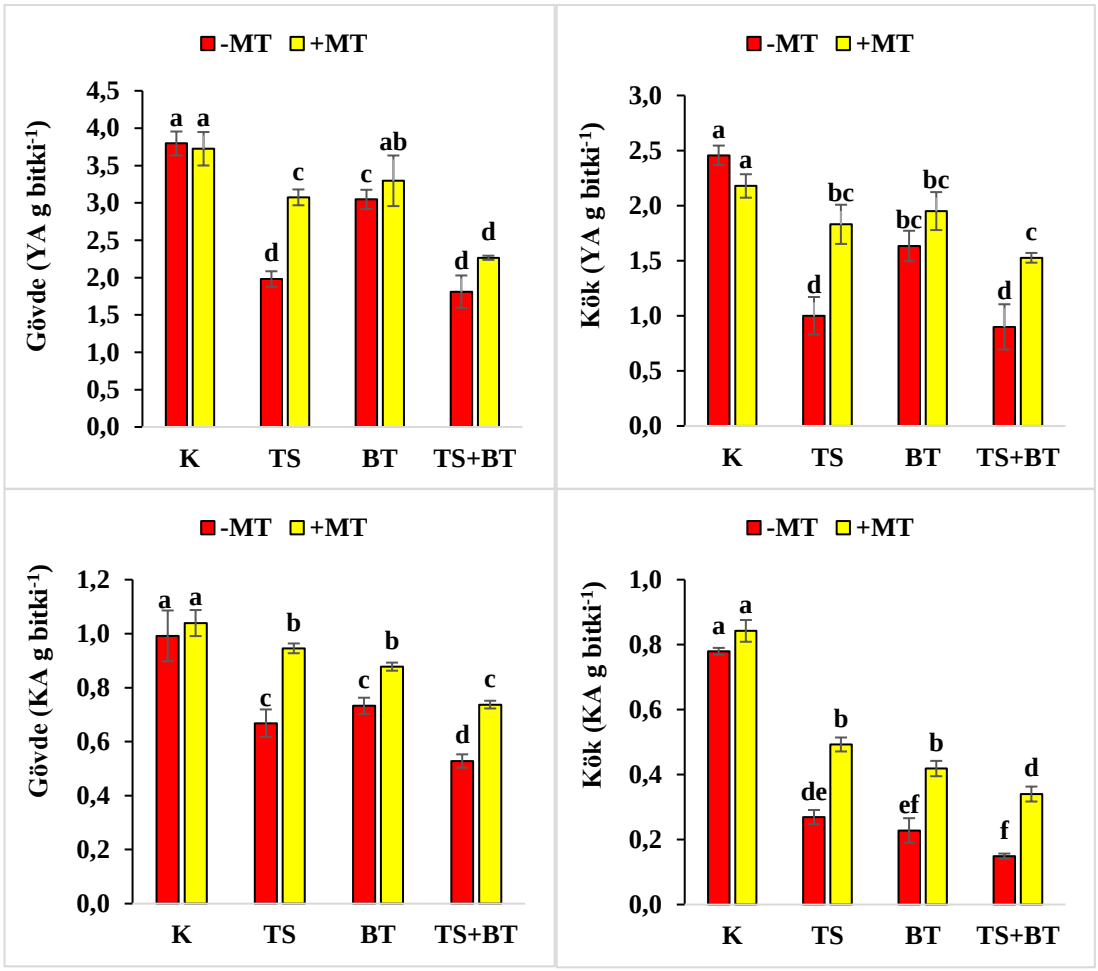
Yapılan uygulamaların soya bitkisi yaş ve kuru ağırlığına etkileri Şekil 4.4.'te verilmiştir. Soya bitkisine yapılan uygulamalar bitki yaş ve kuru ağırlık içeriklerini önemli ölçüde etkilemiştir. Kontrole kıyasla BT uygulaması bitkide gövde yaş ağırlığını %45.6, kök yaş ağırlığını ise %57.3 oranında azaltmıştır. TS uygulaması ise gövde yaş ağırlığını %49.74, kök yaş ağırlığını ise %29.6 oranında düşürmüştür. Çift stres uygulanan (TS+BT) saksılarda ise gövde yaş ağırlığı %55.5, kök yaş ağırlığı da %51.1 oranında düşmüş ve bu düşüler istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). BT uygulamasına yapılan MT uygulaması bitkide oluşan stres etkisini gövde yaş ağırlığında %42.3, kök yaş ağırlığında %29.9, TS uygulamasına yapılan MT uygulaması ise gövde de %45.1, kökte ise %13.2 ve çift strese (TS+BT) yapılan MT uygulaması da gövde yaş ağırlığında %60.9, kök yaş ağırlığında ise %21.6 oranında artış sağlamış ve stresin olumsuz etkilerini azaltmıştır. Elde edilen sonuçlar istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Soya bitkisi kuru ağırlıkları incelendiğinde (Şekil 4.4.), BT uygulaması gövde kuru ağırlığını %58.4, kök kuru ağırlığını %76.5 oranında, TS uygulaması gövde kuru ağırlığını %62.5, kök kuru ağırlığını %53.6 oranında ve TS+BT uygulaması gövde kuru ağırlığını %72.9, kök kuru ağırlığını %78.1 oranında düşürmüştür. BT, TS ve TS+BT uygulamalarına yapılan MT uygulaması ise bitki gövde kuru ağırlığını sırasıyla %59.4, %85.2 ve %77.4 oranında arttırmış, kök kuru ağırlığını da sırasıyla %103.7, %21.8 ve %81.4 oranında arttırmış ve değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

Şekil 4.4. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının yaş-kuru ağırlık sonuçları

Biber bitkisine yapılan uygulamaların bitki yaş ve kuru ağırlık sonuçları Şekil 4.5.'te verilmiştir. Biber bitkisine yapılan BT uygulaması gövde yaş ağırlığını %19.7, kök yaş ağırlığını %34.1, TS uygulaması gövde yaş ağırlığını %47.8, kök yaş ağırlığını %59.7 ve TS+BT uygulaması gövde yaş ağırlığını %52.2, kök yaş ağırlığını ise %63.7 oranında düşürmüştür. BT uygulamasının olumsuz etkisini gidermek için yapılan MT uygulamasında gövde yaş ağırlığını %8.1, kök yaş ağırlığını %19.3 oranında TS ve MT birlikte uygulaması gövde yaş ağırlığını %55.2, kök yaş ağırlığını %82.9 ve TS+BT uygulamasına yapılan MT ise gövde yaş ağırlığını %25.1 ve kök yaş ağırlığını %69.7 oranında arttırmış ve stresin olumsuz etkilerini hafifletmiştir.



K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

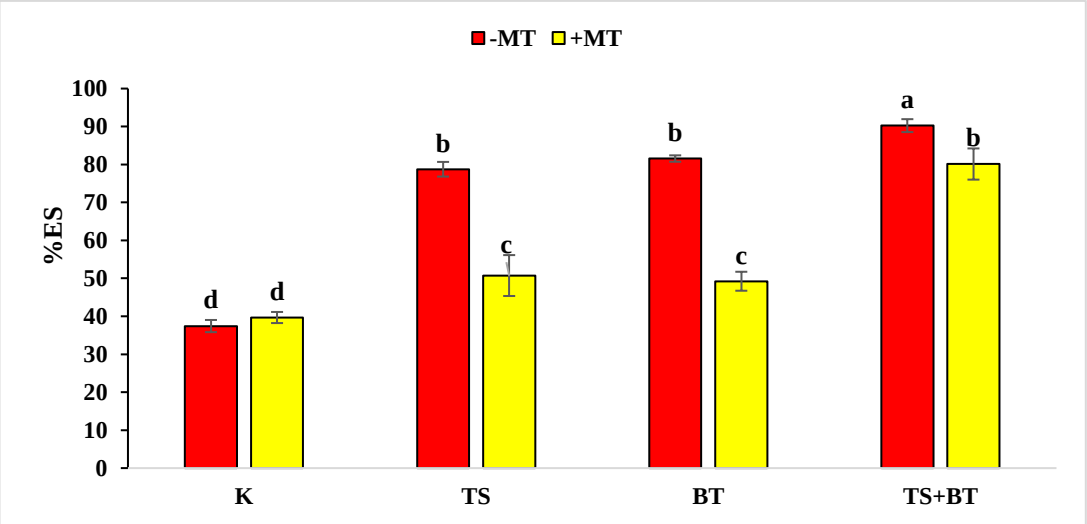
Şekil 4.5. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının yaş-kuru ağırlık sonuçları

Biber bitkisi kuru ağırlık sonuçlarına bakıldığında ise (Şekil 4.5.), BT uygulaması gövde kuru ağırlığını %26.1, kök kuru ağırlığını ise %70.7 oranında düşürmüştür. TS uygulaması gövde kuru ağırlığını %32.6, kök kuru ağırlığını %65.4 oranında düşürmüştür. TS+BT birlikte uygulaması ise gövde kuru ağırlığını %46.7, kök kuru ağırlığını %80.9 oranında düşürmüştür. BT, TS ve TS+BT uygulamalarına yapılan MT uygulaması ise bitki gövde kuru ağırlığını sırasıyla %19.8, %41.52 ve %39.6 oranında arttırmış, kök kuru ağırlığını da sırasıyla %83.6, %83.1 ve %128.5 oranında arttırmış ve değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Sonuçlar incelendiğinde, soya bitkisi stres parametrelerine daha duyarlı olduğu görülmüştür. Soya bitkisine MT uygulaması, biber bitkisine göre daha etkili olmuştur.

Dışarıdan uygulanan MT'nin bitki yaş ve kuru ağırlıklarında önemli artışlara neden olduğu gözlemlenmiştir. MT, bitkilerin büyümesini teşvik eder ve fotosentez aktivitesini artırır (Yang ve ark., 2023). Ayrıca, MT bitkideki antioksidan savunma sistemini güçlendirerek, stres altındaki bitkilerde hasarı azaltır. Bu nedenle, dışarıdan yapılan MT uygulamaları, bitkilerin stres altındaki koşullarda daha iyi büyümelerini ve gelişmelerini sağlayarak, bitki yaş ve kuru ağırlığını artırır (Liu ve ark., 2018). Yapılan birçok araştırmada stres altındaki bitkilerde yaş-kuru ağırlığın azaldığı tespit edilmiştir (Coşkun ve ark. 2016; Martinez ve ark. 2016). Martinez ve ark. (2018) domates bitkisinde yaptıkları bir çalışmada tuz stresinin bitki ağırlığını azalttığını fakat dışarıdan yapılan MT uygulaması ile bitki ağırlığında önemli artışlar olduğunu bildirmişlerdir. Kaya ve ark., (2020) yaptıkları bir çalışmada da biber bitkisine 100 mM NaCl uygulanmıştır. Tuz uygulaması bitki ağırlığında düşüşlere sebep olurken, stres etkisine karşı yapılan MT uygulaması bitki ağırlığında önemli artışların olmasını sağlamıştır. Buğday bitkisinde yapılan bir başka çalışmada 50 µM bor uygulanmıştır. Çalışma sonunda bor uygulamasının bitki yaş ve kuru ağırlıklarında azalmaya sebebiyet vermiştir. Dışarıdan yapılan 100 µM melatonin uygulaması bor toksisitesinin zararlı etkilerini hafiflettiği bildirilmiş ve elde edilen sonuçlarda istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Al-Huqail ve ark., 2020).

4.1.3. Soya ve biber bitkisinin elektrolit sızıntısı (% ES) sonuçları

Yapılan uygulamaların soya bitkisi %ES sonuçlarına bakıldığında (Şekil 4.6.); MT uygulaması kontrole göre %ES değerinde az da olsa artış sağlamış fakat bu artış istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($P \leq 0.05$). BT uygulaması kontrol uygulamasına göre %ES değerini %117.9 oranında, TS uygulaması %110.3 oranında ve iki stresin beraber uygulaması (TS+BT) %141.1 oranında arttırmıştır. BT uygulamasına dışarıdan yapılan MT uygulaması bitkide %ES değerini %39.6 oranında, TS uygulamasında %35.5 oranında ve TS+BT uygulamasında ise %11.2 oranında düşürmüş ve stresin olumsuz etkilerini hafifletmiştir. Elde edilen değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



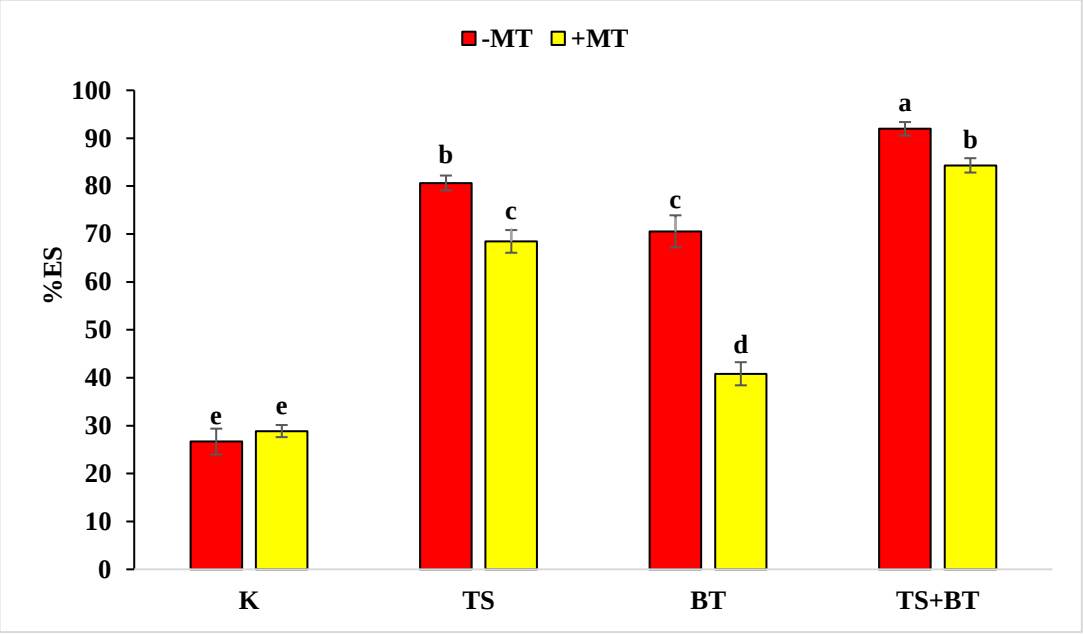
K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

Şekil 4.6. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının elektrolit sızıntı (%ES) sonuçları

Uygulamaların biber bitkisi %ES sonuçları Şekil 4.7.'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; kontrole kıyasla MT uygulaması soya da olduğu gibi %ES değerini arttırmış fakat bu sonuç istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Biber bitkisine yapılan BT uygulaması %ES değerini kontrole kıyasla %164.4 oranında, TS uygulaması %110.1 oranında ve TS+BT uygulaması da %244.7 oranında arttırarak önemli zarar vermiştir. Stresin zararlı etkilerini hafifletmeye yönelik yapılan MT uygulaması BT uygulanmış bitkilerdeki zararı %42.1 oranında, TS uygulamasının zararını %16.6 oranında ve TS+BT etkisini ise %10.4 oranında azaltmıştır. Bu sonuçlar istatistiki olarak incelendiğinde çıkan sonuçlar önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). %ES değerine göre iki bitki kıyaslandığı zaman, biber bitkisinin iki stresten daha fazla etkilendiği görülmüştür. MT uygulaması ise soya bitkisinde stres etkisini hafifletmede daha etkin bir rol oynamıştır.

BT ve TS soya ve biber bitkilerinde %ES değerini önemli oranda arttırmıştır. Bu durum BT ve TS'nin sebep olduğu ROT birikimini arttırıp membranda hasara sebep olabileceğinin bir işaretidir. MT uygulamasının stres koşullarında ROT'un olumsuz etkisini enzimatik olan ve olmayan antioksidan ve oksidatif savunma mekanizmalarının sentezinde sinyal molekülü olarak görev yaptığı açıklamıştır (Li ve ark., 2016). MT, bitkide antioksidan aktiviteyi artırabilir ve serbest radikallerin neden

olduğu oksidatif stresi azaltabilir (Rehaman ve ark., 2021). Süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) gibi antioksidan enzimlerin aktivitesini artırabilir. Bu enzimler, bitkide ROT'lerin nötralize edilmesine yardımcı olur ve oksidatif stresi azaltabilir (Muhammad ve ark., 2022). Öz ve ark., (2014) 3 farklı bor (5 mM, 7.5 mM ve 10 mM) uygulaması yaptıkları çalışmada, buğday bitkisinde hücre zarı geçirgenliğinin bor konsantrasyonunun artması ile doğru orantılı olarak arttığı bildirilmiştir. Tuz uygulaması ve tuz ile bor uygulamasının bitkilerin hücre geçirgenliğini arttırdığı yapılmış çalışmalarla belirlenmiştir (Kılıç ve ark., 2015; Ahmad ve ark., 20018). Abiyotik stres etkisinin araştırıldığı başka bir çalışmada, MT uygulamasının stres etkilerini hafiflettiği bildirilmiştir (Zhao ve ark., 2022). Bizim çalışmamızda uygulanan streslerin membran hasarına yol açarak bitkilerde %ES değerini arttırması yapılan çalışmalarla uyum göstermektedir.



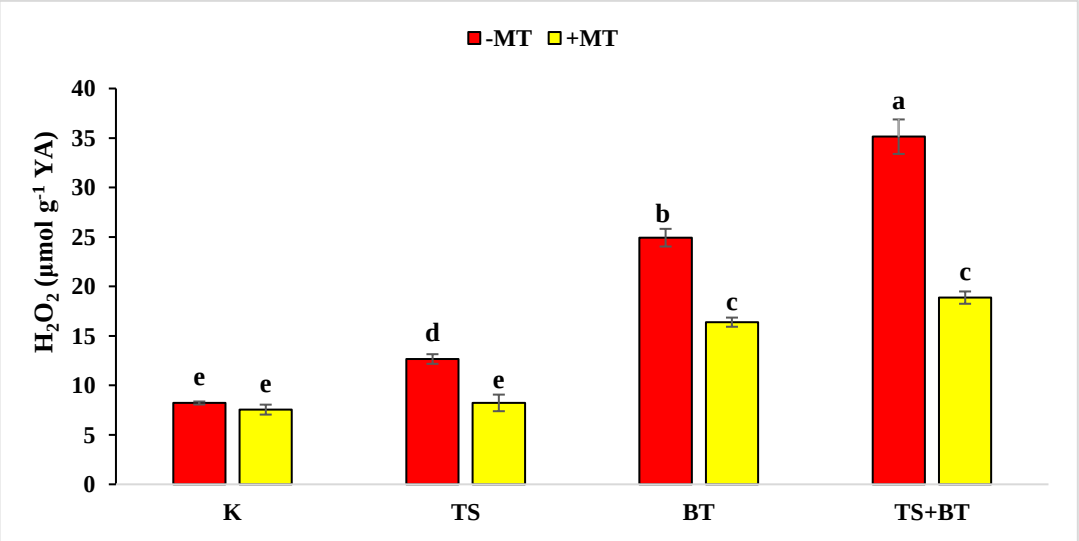
K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

Şekil 4.7. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının elektrolit sızıntı (%ES) sonuçları

4.1.4. Soya ve biber bitkisinin (Hidrojen Peroksit) H_2O_2 içeriği sonuçları

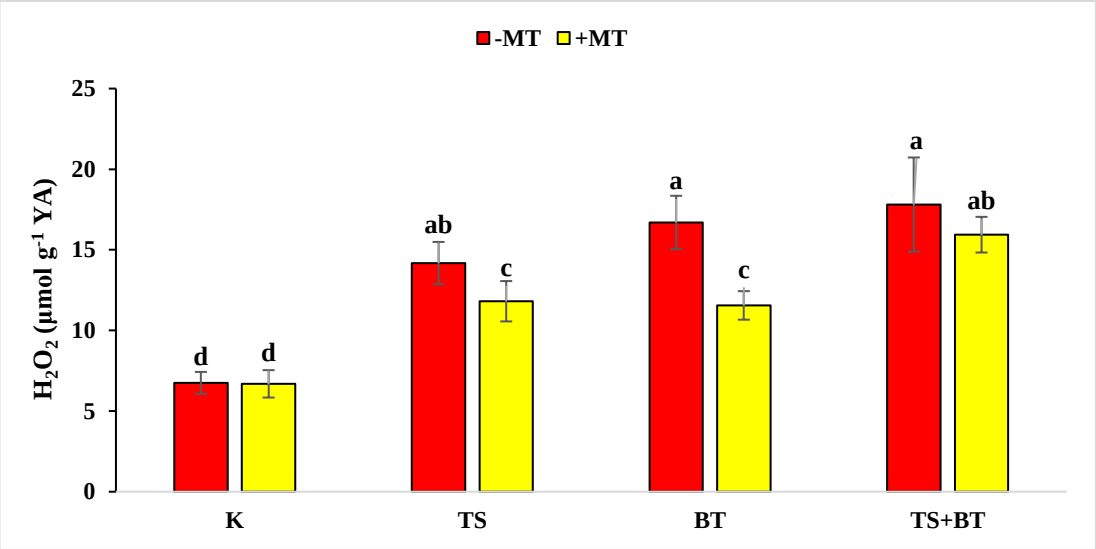
Bor toksisitesi (BT) ve tuz stresine (TS) karşı yapılan melatonin (MT) uygulamasının soya bitkisinde oluşan ROT türlerinden olan H_2O_2 içerikleri Şekil

4.8.'de verilmiştir. Yapılan BT uygulaması kontrol ile kıyaslandığı zaman H_2O_2 içeriğini %203.2 oranında, TS uygulaması %54.1 oranında ve TS+BT birlikte uygulaması ise %327.4 oranında arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan MT oluşan zararlı etkiyi %34.2 oranında, TS uygulamasının etkisini %35.1 oranında ve iki stresin birlikte yapıldığı uygulamadaki zararlı etkiyi ise %46.2 oranında azaltmış ve ortaya çıkan bu değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Kontrole kıyasla yapılan MT uygulaması bitkide H_2O_2 içeriğini düşürmüş fakat bu sonuç istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($P \leq 0.05$).



K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

Şekil 4.8. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının H_2O_2 içeriği sonuçları



K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM borik asit; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

Şekil 4.9. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının H_2O_2 içeriği sonuçları

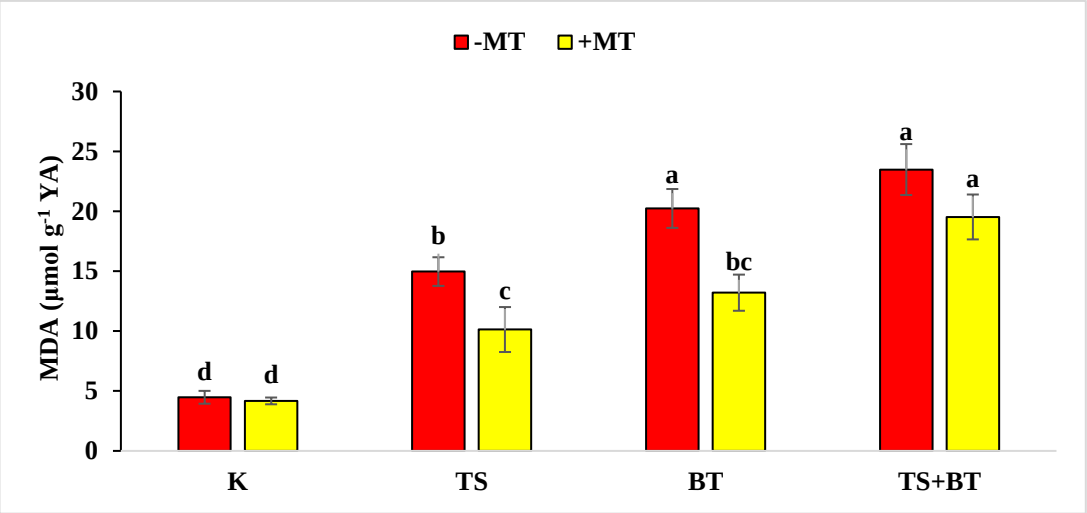
Yapılan uygulamaların biber bitkisi H_2O_2 içeriğine etkileri Şekil 4.9.'da verilmiştir. Yapılan BT uygulaması biber bitkisinde H_2O_2 içeriğini %147.3 oranında, TS uygulaması %110.1 oranında ve TS+BT uygulaması ise %163.7 oranında arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması oluşan hasarın etkisini %30.8 oranında, TS uygulamasına yapılan MT %16.6 oranında, TS+BT uygulamasına yapılan MT ise zararı %10.4 oranında azaltmış ve elde edilen bu değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Tek başına yapılan MT uygulaması sonuçları istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Sonuçlara göre iki bitki karşılaştırıldığı zaman, soya bitkisi streslerden daha fazla etkilenmiş ve H_2O_2 içeriği artmıştır. Yapılan MT uygulaması da soya bitkisinde daha fazla iyileşme sağlamıştır.

Yapılan birçok araştırma stres altındaki bitkilerde ROT seviyesinin arttığını ortaya koymuştur (Ahmad ve ark., 2017; Aziz ve ark., 2018). Bunun nedeni, stres durumlarının bitkilerde oksidatif stresi tetiklemesi ve ROS üretimini artırmasıdır (Bharti ve Barnawal, 2019). Bu konuda yapılmış çalışmalar vardır; Zhang ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, tuz stresi altında mısır bitkilerine uygulanan melatonin'in, bitkilerdeki hidrojen peroksit (H_2O_2) birikimini azalttığı ve bitki gelişimini artırdığı gösterilmiştir. Benzer şekilde, Jahan ve ark. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, tuz stresine maruz kalan fındık fidanlarına melatonin

uygulamasının, bitkilerdeki H_2O_2 birikimini azalttığı ve bitki büyümesini artırdığı bulunmuştur. Li ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, bor toksisitesi altında marul bitkisine uygulanan melatonin'in, bitkilerdeki hidrojen peroksit (H_2O_2) birikimini azalttığı ve bitki gelişimini artırdığı gösterilmiştir. Farklı türlerde soya bitkisi kurak koşullarda yetiştirildiğinde, stres artışı ile bitki yapraklarında H_2O_2 içeriğinin arttığı bildirilmiştir (Akitha Devi ve Giridhar, 2015). Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar benzer yapılan çalışmaları desteklemektedir (Niu ve ark., 2017; Zou ve ark., 2019).

4.1.5. Soya ve biber bitkisinin malondialdehid (MDA) içeriği sonuçları

Yapılan uygulamaların soya bitkisi MDA içeriği sonuçları Şekil 4.10.'da verilmiştir. Uygulanan stresler bitki MDA içeriklerini önemli oranda arttırmıştır. Yapılan BT uygulaması kontrol uygulaması ile kıyaslandığında MDA içeriğini %352.4 oranında, TS uygulaması %234.6 oranında ve TS+BT birlikte uygulaması da %425 oranında artış sağlamış ve elde edilen bulgular istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Stres etkilerine karşı yapılan MT uygulamasının etkili olduğu sonuçlarda görünmektedir. Buna göre, BT uygulamasına yapılan MT uygulaması MDA içeriğini %34.7 oranında, TS uygulamasına yapılan MT uygulaması %32.3 oranında ve TS+BT uygulamasına yapılan MT uygulaması da %16.8 oranında azaltarak stresin sebep olduğu zararı hafifletmede destek olmuş ve sonuçlar istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Kontrole kıyasla yapılan MT uygulaması MDA içeriğinde önemli bir değişikliğe neden olmamıştır



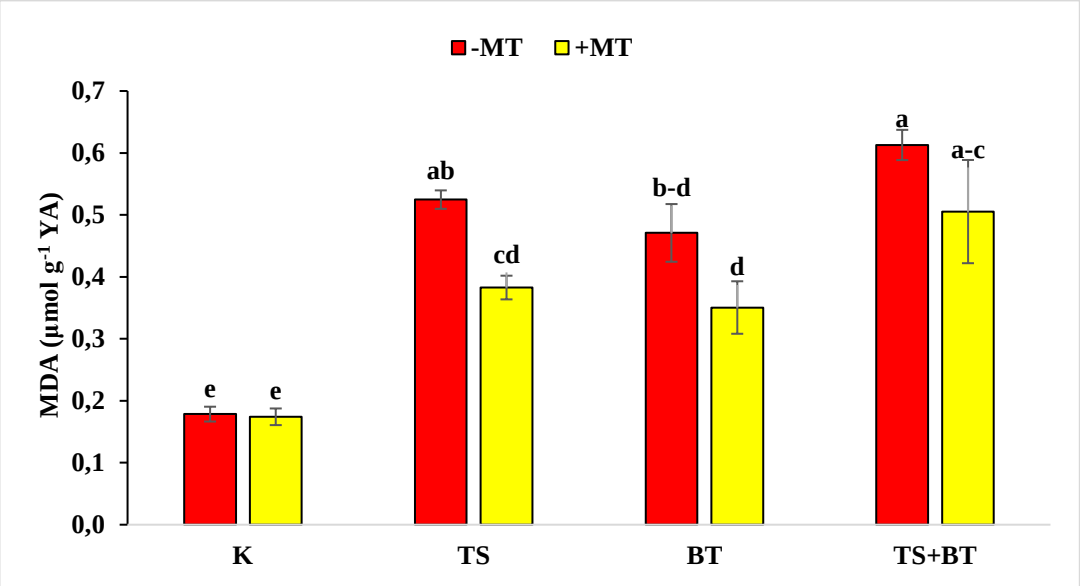
K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

Şekil 4.10. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının MDA içeriği sonuçları

Biber bitkisinin yapılan uygulamalar karşısında MDA içeriğine etkisi Şekil 4.11.'de verilmiştir. Kontrole kıyasla yapılan BT uygulaması biber bitkisi MDA içeriğini %163.8 oranında, TS uygulaması %193.9 oranında ve TS+BT uygulaması ise %243.3 oranında arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması oluşan MDA içeriğini %25.5 oranında, TS uygulamasında %27.1 oranında ve TS+BT uygulamasında ise %17.5 oranında azaltmış ve stresin olumsuz etkisini hafifletmiştir. Elde edilen bu sonuçlar da istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Kontrole kıyasla yapılan MT uygulaması MDA içeriğinde önemli bir değişiklik yaratmamıştır. MDA içeriği yönünden iki bitki karşılaştırıldığında, soya bitkisinin stres etkilerinden daha çok etkilendiği görülmektedir.

Birçok çalışma stres etkisinde bitkilerde ROT oluşumunun gerçekleştiğini ve buna bağlı olarak MDA içeriklerinde artışlar olduğunu bildirmektedir (Aziz ve ark., 2018; Rashid ve ark., 2018). MDA içeriğindeki bu artışlar oksidatif zararın bir göstergesi olmuş durumdadır (Negrão ve ark., 2017). Fazla tuz ve borun toksik seviyede bulunması lipid peroksidasyonunu arttırarak zarara yol açtığı daha önceki çalışmalarda da belirtilmiştir (Elsayed ve ark., 2021; Jiang ve ark., 2021). Domates ve soya bitkilerinde yapılan çalışmalarda tuz stresi uygulamasının bitkilerde MDA miktarını arttırdığını bildirmişlerdir (Bai ve ark., 2018; Vaishnav ve ark., 2015). Biber

bitkisinde yapılan bir başka çalışmada, bor uygulaması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda bor dozundaki artışla bitki yapraklarında MDA seviyesinin de arttığı tespit edilmiştir (Kayın, 2020). Çalışmamız sonunda ortaya çıkan MDA sonuçları, yoncada yapılmış denemede, (Cen ve ark., 2020), mısırda yapılan denemede (Ahmad ve ark., 2021), kavun denemsinde (Castanares ve Bouzo, 2019) ve pamukta (Chen ve ark., 2020) elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermiştir.

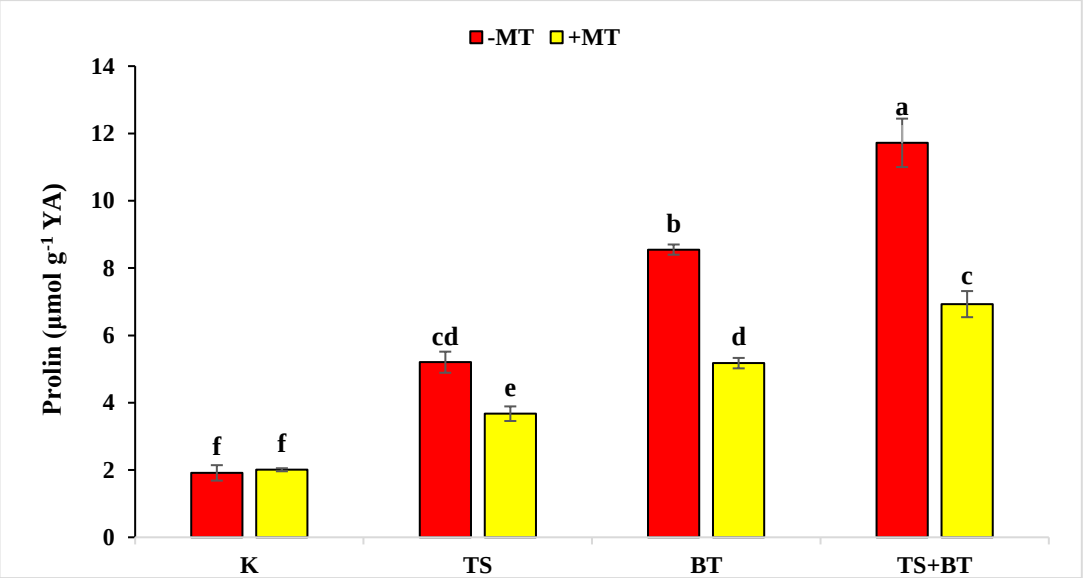


K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

Şekil 4.11. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının MDA içeriği sonuçları

4.1.6. Soya ve biber bitkisinin prolin içeriği sonuçları

Uygulamaların soya bitkisi prolin içeriği sonuçları (Şekil 4.12.) incelendiğinde, kontrole kıyasla yapılan BT uygulaması soya prolin içeriğini %346.7 oranında, TS uygulaması %171.8 oranında ve TS+BT uygulaması da %512.4 oranında arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması ise prolin içeriğini %39.4 oranında, TS uygulamasına yapılan MT ise %29.4 oranında ve TS+BT uygulaması ile yapılan MT uygulaması da %40.8 oranında prolin içeriğini azaltmış ve stres etkisini azaltmıştır. Değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Kontrole kıyasla yapılan MT uygulamasının soya prolin içeriğini etkilemediği belirlenmiştir.



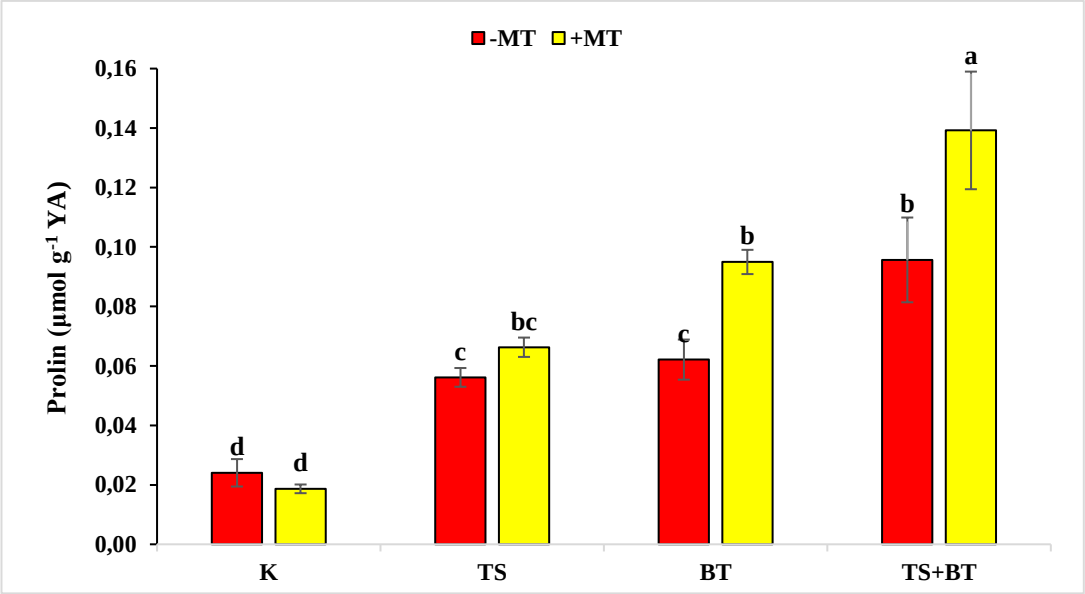
K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

Şekil 4.12. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının Prolin içeriği sonuçları

Uygulamaların biber bitkisi prolin içeriğine olan etkileri incelendiğinde (Şekil 4.13.), BT uygulamasının prolin içeriğini %158.2 oranında TS uygulaması %133.4 oranında ve TS+BT uygulamasının da %297.7 oranında arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması prolin içeriğini %52.87 oranında, TS uygulamasına yapılan MT ise %18.1 oranında ve TS+BT uygulamasına yapılan MT uygulaması ise %45.5 oranında daha fazla artış sağladığı ve elde edilen sonuçların da istatistiki olarak önemli bulunduğu ($P \leq 0.05$) sonucuna varılmıştır. Kontrole kıyasla yapılan MT uygulamasının prolin içeriğinde önemli bir değişime sebep olmadığı belirlenmiştir. Stres etkileri altında soya bitkisinde bibere göre daha fazla prolin birikiminin olduğu tespit edilmiştir. MT uygulaması ise iki bitkide farklı tepkilere neden olmuştur. Stres etkisi altında MT uygulaması ile soya bitkisinde prolin içeriği azalırken, biber bitkisinde prolin içeriğinin arttığı tespit edilmiştir.

Bitkiler stres altında bulundukları zaman oluşan olumsuz etkileri gidermek için prolin içeriğini arttırdığı yapılan çalışmalarla açıklanmıştır (Yuan ve ark., 2016; Heidari ve Karami 2014). Prolin stres etkisi altında olan bitkilerde serbest oksijen radikallerinin azalmasında etkili olarak hücre zar yapısını korumada rol oynamaktadır

(Tuna ve Eroğlu, 2017). Tuzlu koşullarda yapılan bir çalışmada, mısır bitkisinde tuz stresi ile prolin miktarının artığını, ancak uygulanan brassinosteroit (EBR) ile oluşan hasarın azaldığı ve buna bağlı olarak prolin seviyesinde düşme olduğunu tespit etmişlerdir (Altaş, 2016). Söylemez ve ark., (2017) domates bitkisinde yaptıkları bir çalışmada tuz uygulaması yapılmış ve bu uygulama ile bitkide prolin içeriğinin önemli oranda arttığını saptamışlardır. Stresin zararlı etkisini ortadan kaldırmak için yapılan 2 farklı dozda EBR uygulaması da prolin miktarını doz artışına bağlı olarak düşürmüş ve stres etkisini hafifletmiştir. Tuz stresi uygulanmış üzüm (*Vitis vinifera*) bitkisinde yapılan bir başka çalışmada, stres etkisi ile prolin içeriğinin arttığı buna karşın dışarıdan yapılan prolin uygulaması ile prolin içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir (Özden ve ark., 2011). Baran ve Doğan (2014) arpa bitkisinde yaptıkları çalışmada, tuz stresinde bitkinin prolin içeriğinin arttığını, yapılan salisilik asit uygulaması ile prolin de azalma meydana geldiğini göstermişlerdir. Kaya (2020) 2 mM bor uygulamasına karşın EBL uygulamasının bitki fizyolojisine olan etkilerini incelediği bir çalışmada, biber bitkisi bor toksisitesi altında prolin içeriğinin arttığını, dışarıdan yapılan EBL uygulamasının prolin içeriğine katkı sağlayarak artış sağladığını belirtmiştir. Kaya ve ark., (2018) yaptıkları bir başka çalışmada, bor toksisitesi altında mısır bitkisi yetiştirilmiştir. Uygulanan bor mısır bitkisinde prolin seviyesini arttırmıştır. Stres etkilerine karşı yapılan kinetin (KIN) ve indol asetik asit (IAA) ise prolin içeriğinin artmasına katkı sağladığı belirtilmiştir. Bizim çalışmamızda da elde edilen sonuçlar yapılan benzer çalışmaları doğrular niteliğe sahiptir.

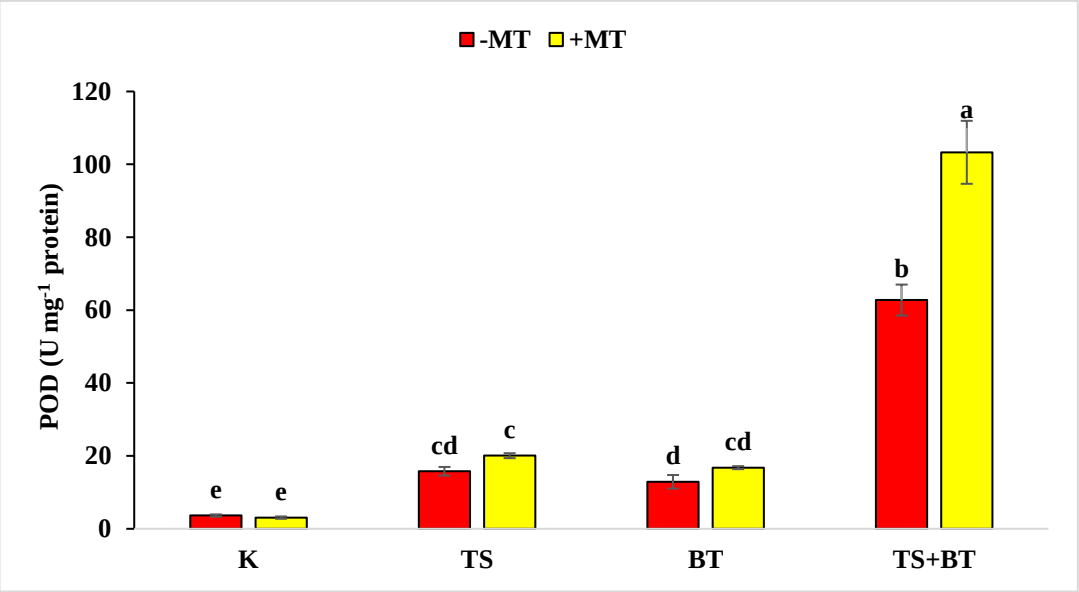


K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

Şekil 4.13. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının Prolin içeriği sonuçları

4.1.7. Soya ve biber bitkisinin peroksidaz (POD) aktivitesi sonuçları

Stres etkileri altında olan bitkilerde stres etkilerinin meydana getirdiği olumsuz etkiyi azaltmak için bitkilerin sentezlediği enzimlerden POD, CAT ve SOD aktiviteleri incelenmiştir. Yapılan uygulamaların soya bitkisi POD içeriğine olan etkileri Şekil 4.14.'de verilmiştir. Kontrole kıyasla yapılan BT uygulaması POD içeriğini %254.8 oranında, TS uygulaması %334.3 oranında ve iki stresin beraber (TS+BT) uygulaması da %1627.2 oranında yükseltmiştir. Stres etkilerine dışarıdan MT uygulaması bu değerleri arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması %30.1 oranında, TS uygulamasına yapılan MT uygulaması %27.21 oranında ve iki strese (TS+BT) yapılan MT uygulaması da %64.5 oranında POD içeriğini arttırmış ve ortaya çıkan değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Sonuçlar incelendiğinde, tek başına yapılan MT uygulaması soya POD içeriğini istatistiki olarak ($P \leq 0.05$) etkilememiştir.



K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

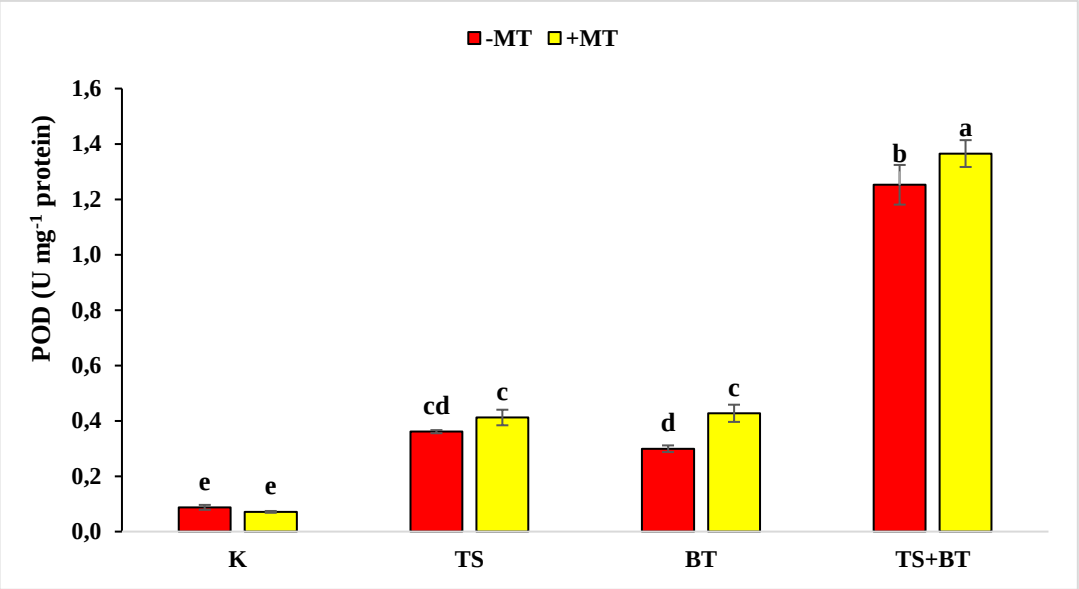
Şekil 4.14. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının POD aktivitesi sonuçları

Aynı şekilde yapılan uygulamaların biber bitkisi SOD içeriğine olan etkileri de Şekil 4.15.'te verilmiştir. Kontrol parametresine kıyasla yapılan BT uygulaması biber bitkisi SOD içeriğini %77.3 oranında, TS uygulaması %78.8 oranında ve TS+BT uygulaması da %153.7 oranında arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması SOD içeriğini %10.1 oranında, TS uygulamasına yapılan MT uygulaması %24.1 oranında ve TS+BT uygulamasına yapılan MT uygulaması da %10.8 oranında artı katkı sağlayarak arttırmış, elde edilen bu sonuçlarda istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Kontrol parametresine kıyasla yapılan MT uygulaması istatistiki olarak ($P \leq 0.05$) önemli bir değişime neden olmamıştır. Stres altındaki iki bitkide SOD artışı yönünden kıyaslandığında en yüksek artış soya bitkisinde olmuştur.

Uygulamaların biber bitkisi POD içeriği incelendiğinde (Şekil 4.15.); kontrole kıyasla yapılan BT uygulaması biber POD içeriğini %241.7 oranında, TS uygulaması %312.1 oranında ve TS+BT uygulaması da %1330.4 oranında arttırmıştır. Elde edilen bu sonuçlar MT uygulaması ile daha fazla artmıştır. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması POD içeriğini %42.7 oranında, TS uygulamasına yapılan BT uygulaması %14.1 oranında ve iki strese (TS+BT) yapılan MT uygulaması da %9 oranında katkı

sağlayarak değerleri arttırmıştır. Elde ettiğimiz bu değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Kontrole yapılan MT uygulaması biber POD içeriğinde bir etkiye sebep olmamıştır. İki bitkide stres etkisi ile POD artışı yönünden kıyaslandığında en yüksek artışın soya bitkisinde olduğu belirlenmiştir.

Tuz stresi ve bor toksisitesi etkisindeki bitkilerde oluşan stres etkilerine karşı bitkide, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) gibi antioksidan enzimlerin sentezi artmaya başlar (Qian ve ark., 2021). MT çoğu bitkide stres koşulları altında antioksidan enzimlerin aktivitesini teşvik eder ve düzenler (Arnao ve Hernandez-Ruiz, 2015). Tuz stresi altında yetişen salatalık bitkisinde yapılan bir çalışmada, MT uygulaması yapılmış ve bu uygulama ile bitkide SOD, POD ve CAT antioksidan enzimlerinin seviyesinin artarak membran hasarını azaltmış ve bitki strese olan toleransını arttırmıştır (Brengi ve ark., 2022). Mısır bitkisinde yapılan bir başka çalışmada, 2 mM düzeyinde uygulanan bor bitkide antioksidanların (SOD, POD ve CAT) artmasına neden olmuştur. Bitkide stres etkilerini gidermek için yapılan uygulamalar ile bu antioksidanların seviyesinin daha fazla arttığını belirtmişlerdir (Kaya ve ark., 2018). Tuna ve ark., (2017) yaptıkları bir çalışmada, domates bitkisine farklı dozlarda tuz uygulaması ile potasyum (K) uygulaması yapmışlardır. Tuz uygulamasının bitkide antioksidan enzimlerin aktivitelerini arttırırken, tuz+K uygulamasının enzim aktivitelerini düşürdüğü, ancak tuz dozunun artması ile antioksidan enzimlerde artış olmuştur. Moussa ve Algamal, (2017) bor stresindeki ıspanak bitkisine MT uygulaması yapılmışlardır. Elde edilen sonuçlarda ıspanak bitkisinin bor stresinde altında antioksidan aktivitelerinde artış olmuş, uygulanan MT ile antioksidan seviyelerinde daha fazla artışların olduğu saptanmıştır. Sonuçlarımız fasulye bitkisinde yapılan (Sharma ve ark., 2016) çalışma ve biber bitkisinde yapılan (Kayın, 2020) çalışma sonuçları ile benzerlik göstermiştir.

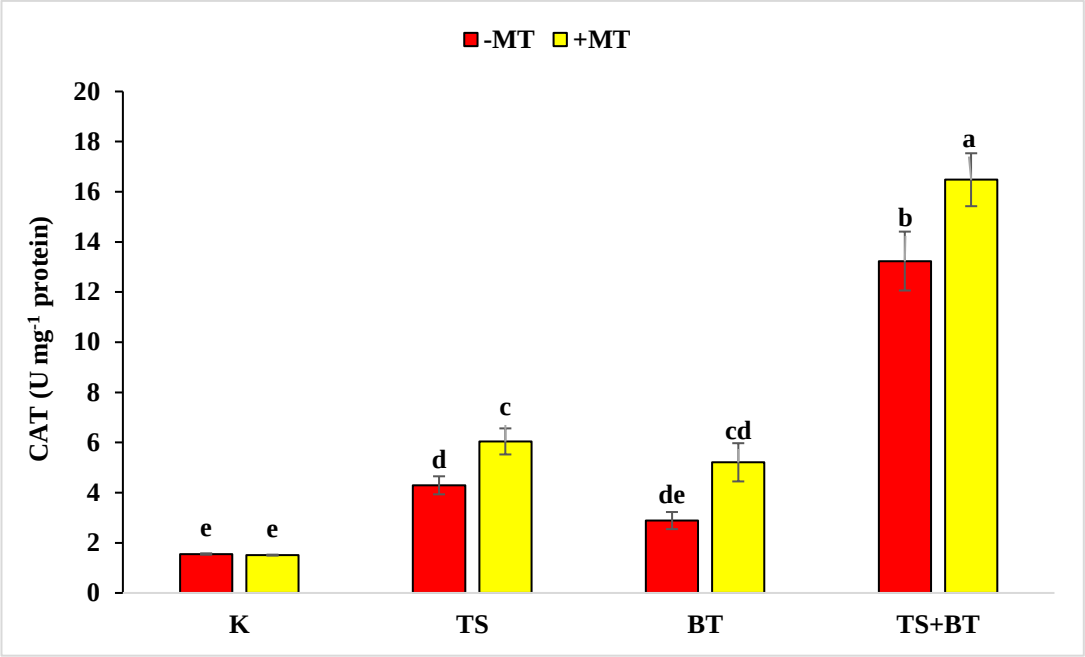


K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

Şekil 4.15. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının POD aktivitesi sonuçları

4.1.8. Soya ve biber bitkisinin katalaz (CAT) enzimi aktivitesi sonuçları

Yapılan uygulamaların soya bitkisinde diğer bir antioksidan olan CAT aktivitesine olan etkileri Şekil 4.16.'da verilmiştir. Kontrole kıyasla yapılan BT uygulaması soya bitkisi CAT aktivitesini %85.9 oranında, TS uygulaması %176.4 oranında ve TS+BT uygulaması da %752.5 oranında arttırmıştır. BT stresine karşı yapılan MT uygulaması %80.4 oranında, TS ile MT uygulaması %40.7 oranında ve TS+BT+MT uygulaması da %24.5 oranında soya CAT aktivitesine katkı sağlayarak stres etkisini hafifletmiştir. Soya bitkisinde elde edilen bu değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Kontrole kıyasla yapılan MT uygulaması CAT aktivitesini önemli oranda ($P \leq 0.05$) etkilememiştir.



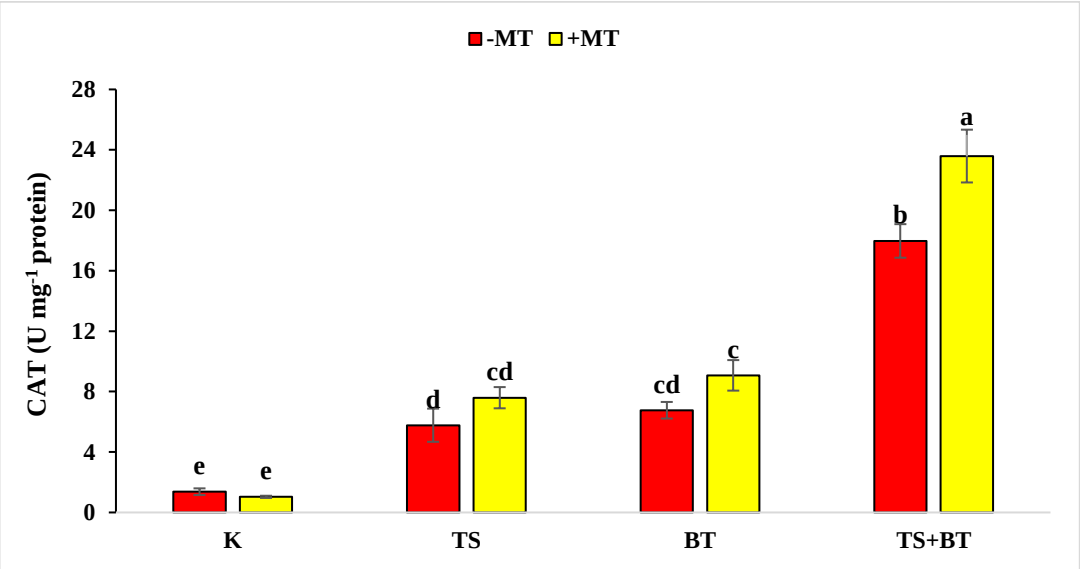
K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

Şekil 4.16. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının CAT aktivitesi sonuçları

Uygulamaların biber bitkisi CAT aktivitesine etkisi incelendiğinde (Şekil 4.17.); Kontrole kıyasla yapılan BT uygulaması CAT aktivitesini %392.4 oranında, TS uygulaması %320.3 oranında ve TS+BT uygulaması da %1208.3 oranına yükseltmiştir. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması CAT aktivitesini %34.1 oranında, TS uygulamasına yapılan MT uygulaması %31.5 oranında ve TS+BT ile MT'nin beraber uygulanması da %31.2 oranında daha fazla artmasını sağlamıştır. Elde edilen bütün değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Kontrole kıyasla yapılan MT uygulaması biber bitkisinde CAT aktivitesini istatistiki olarak ($P \leq 0.05$) önemli ölçüde etkilememiştir. Stres altındaki iki bitkide CAT artışı yönünden kıyaslandığında en yüksek artışın biber bitkisinde olduğu belirlenmiştir.

Soya fasulyesinde yapılan bir çalışmada, 100 mM tuz uygulaması yapılmış ve bu oluşan stres bitkide CAT aktivitesini önemli oranda arttığı bildirilmiştir (Jabeen ve ark., 2021). Nefissi ve ark., (2021) tuz stresi altında farklı türde arpa bitkileri yetiştirilmiştir. Tuz stresinin arpa bitkisinde CAT enzim aktivitesini arttırdığını, dayanıklı olan arpa bitkilerinde bu artışın daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan

bir başka çalışmada stres altındaki bitkilerde CAT aktivitesinin arttığı, dışarıdan yapılan melatonin uygulaması ile CAT artışının desteklendiği vurgulanmıştır (Liu ve ark., 2022).

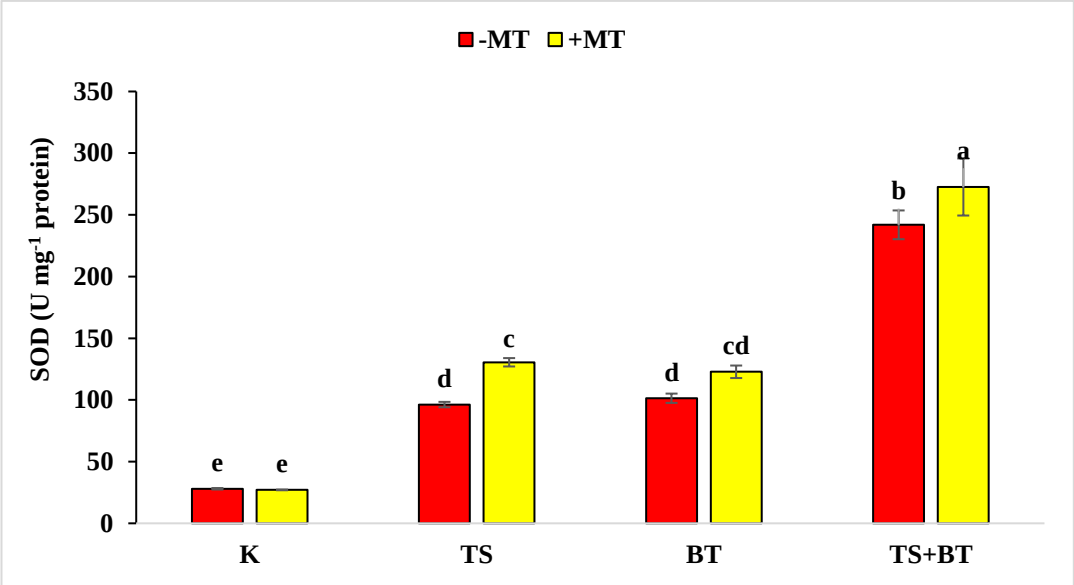


K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

Şekil 4.17. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının CAT aktivitesi sonuçları

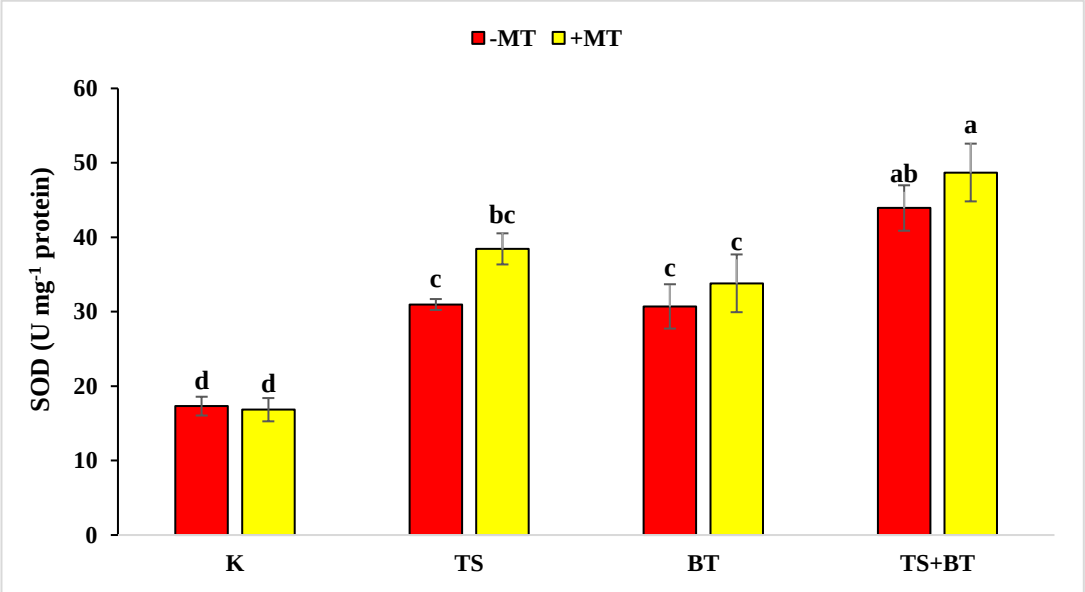
4.1.9. Soya ve biber bitkisinin süperoksit dismütaz (SOD) aktivitesi sonuçları

Yapılan uygulamaların soya bitkisinde SOD aktivitesinde olan değişimler Şekil 4.18.'de verilmiştir. Kontrol uygulamasına kıyasla yapılan BT uygulaması soya SOD içeriğini %262.1 oranında, TS uygulaması %243.7 oranında ve TS+BT birlikte uygulaması ise %764.1 oranında arttırmıştır. Stres uygulamaları ile yapılan MT uygulaması SOD aktivitesini arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması SOD aktivitesini %21.1 oranında, TS uygulamasına yapılan MT uygulaması %35.6 oranında ve TS+BT uygulamasına MT uygulaması da %12.6 oranında katkı sağlamış ve stres etkisini hafifletmiştir. Bulunan bütün sonuçlar istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Kontrol uygulamasına kıyasla dışarıdan yapılan MT uygulaması SOD içeriğinde istatistiki olarak ($P \leq 0.05$) önemli bir değişme sebep olmamıştır.



K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

Şekil 4.18. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin uygulamasının SOD aktivitesi sonuçları



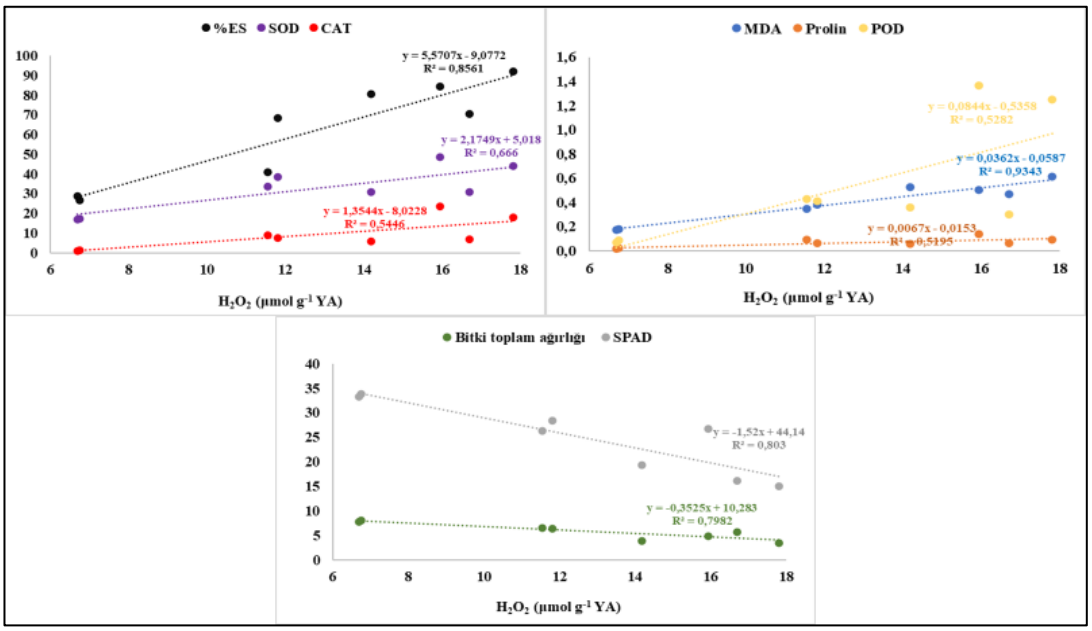
K: sadece besin solüsyonu ile beslenmiş muamele; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması

Şekil 4.19. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen biberde melatonin uygulamasının POD aktivitesi sonuçları

Aynı şekilde yapılan uygulamaların biber bitkisi SOD içeriğine olan etkileri de Şekil 4.19.'da verilmiştir. Kontrol parametresine kıyasla yapılan BT uygulaması biber bitkisi SOD içeriğini %77.3 oranında, TS uygulaması %78.8 oranında ve TS+BT

uygulaması da %153.7 oranında arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması SOD içeriğini %10.1 oranında, TS uygulamasına yapılan MT uygulaması %24.1 oranında ve TS+BT uygulamasına yapılan MT uygulaması da %10.8 oranında artı katkı sağlayarak arttırmış, elde edilen bu sonuçlarda istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Kontrol parametresine kıyasla yapılan MT uygulaması istatistiki olarak ($P \leq 0.05$) önemli bir değişime neden olmamıştır. Stres altındaki iki bitkide SOD artışı yönünden kıyaslandığında en yüksek artış soya bitkisinde olmuştur.

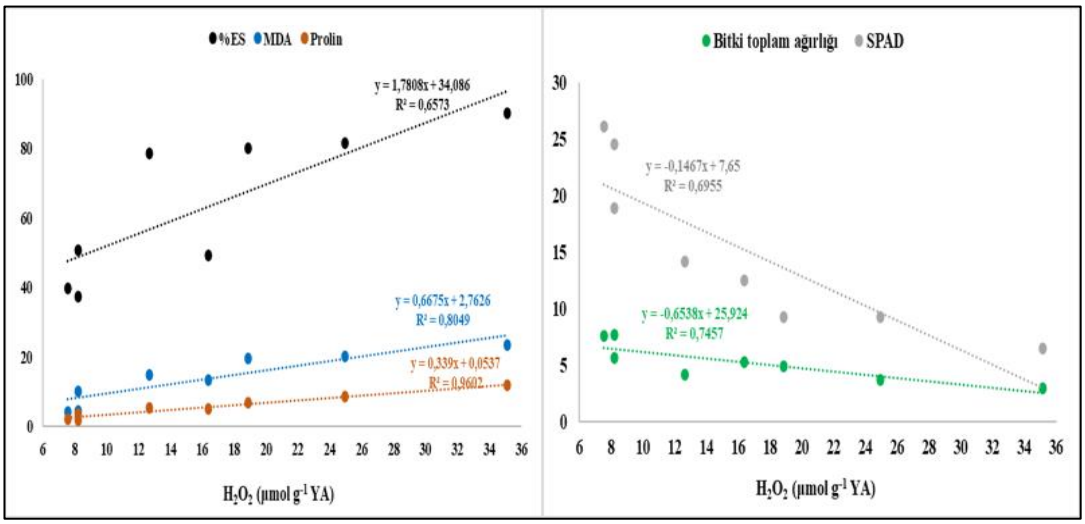
Barra ve ark. (2016) yaptıkları bir çalışmada, avakado bitkisinde artan dozlarda tuz uygulaması yapılmış, doz artış ile yapraklarda SOD içeriğinin arttığını belirtmişlerdir. Aspir bitkisinde yapılan tuz uygulamasında, bitki SOD aktivitesinin arttığı, yapılan askorbik asit uygulaması ile yapraklarda SOD enziminde düşüşlerin olduğunu bildirmişlerdir (Gengmao ve ark., 2015). Shah ve ark., (2021) mısırda yaptıkları çalışmada tuz stresi uygulaması bitkide SOD aktivitesini arttırdığın bildirmişlerdir.



Şekil 4.20. Biber bitkisinde H_2O_2 içeriğinin diğer stres parametreleri ile ilişkisi

Biber bitki analizinde stres sonucu artışa geçen H_2O_2 ile diğer parametreler arasında yapılan korelasyon analizi sonuçlarına göre (Şekil 4.20.), H_2O_2 ile bitki toplam ağırlığı arasında (r:-0.893 p: 0.003) ve spad değerleri arasında (r:-0.896 p: 0.003) anlamlı negatif güçlü korelasyon bulunmaktadır. Diğer parametrelerde ise H_2O_2 ile %ES arasında (r:0.925 p: 0.001),

MDA arasında (r:0.969 p: 0.000), prolin arasında (r:0.744 p: 0.034), SOD arasında (r:0.816 p: 0.014), POD arasında (r:0.726 p: 0.042) ve CAT arasında (r:0.738 p: 0.037) anlamlı pozitif güçlü korelasyon olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre, H_2O_2 ile bitki toplam ağırlığı ve spad parametreleri ile ters yönde ilişki bulunurken, diğer parametreler ile doğru yönde ilişkisi olduğu sonucuna varılmaktadır.



Şekil 4.21. Soya bitkisinde H_2O_2 içeriğinin diğer stres parametreleri ile ilişkisi

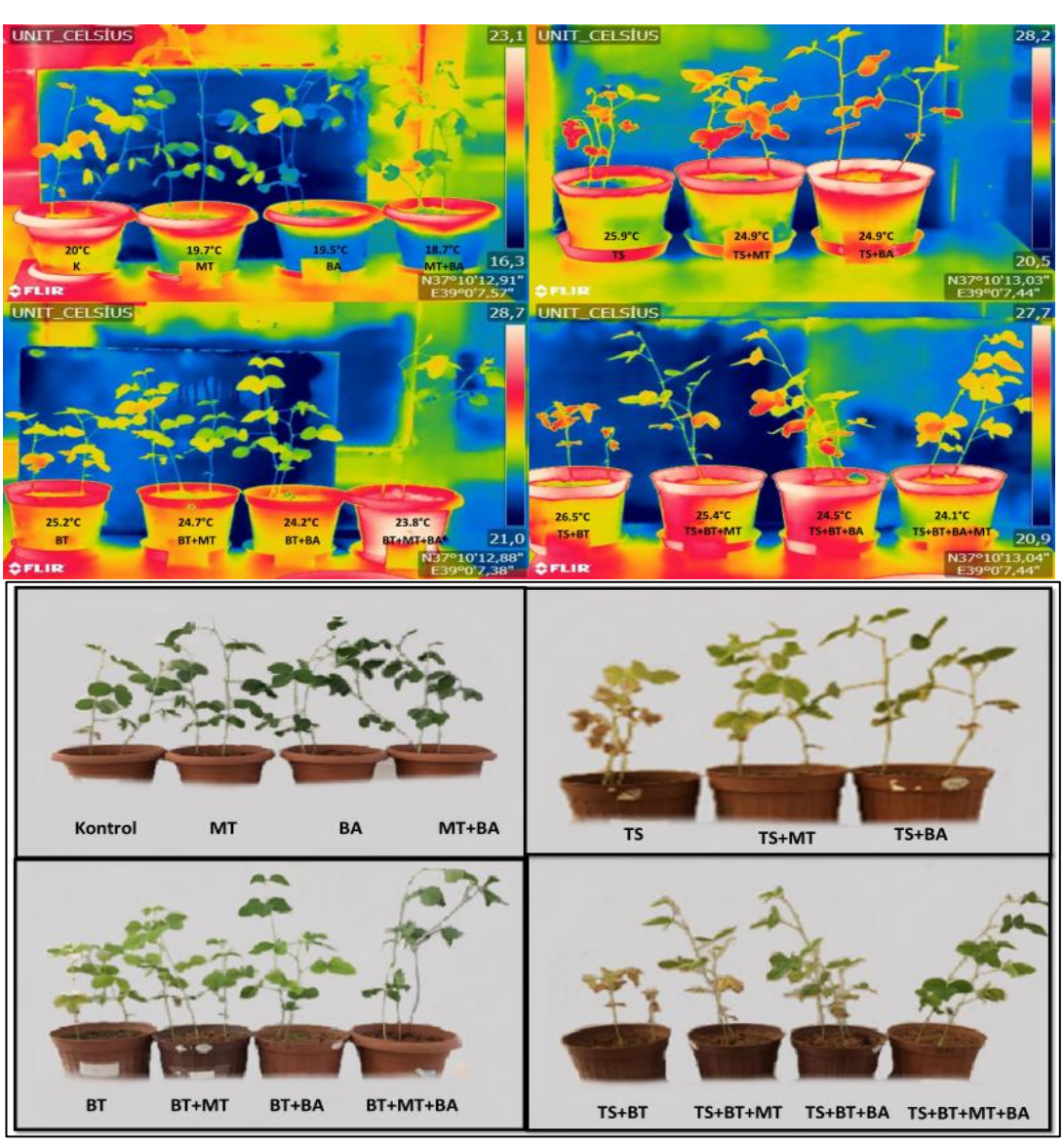
Soya bitki analizinde stres sonucu artışa geçen H_2O_2 ile diğer parametreler arasında yapılan korelasyon analizi sonuçlarına göre(Şekil 4.21.), H_2O_2 ile bitki toplam ağırlığı arasında (r: -0.950 p: 0.000), spad değerleri arasında (r:-0.982 p: 0.000), ve prolin arasında (r:-0.916 p: 0.001) anlamlı negatif güçlü korelasyon bulunmaktadır. Diğer parametrelerde ise H_2O_2 ile %ES arasında (r:0.897 p: 0.003), MDA arasında (r:0.958 p: 0.000) anlamlı pozitif güçlü korelasyon olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre, H_2O_2 ile bitki toplam ağırlığı , spad ve prolin parametreleri ile ters yönde ilişki bulunurken, %ES ve MDA parametreleri ile doğru yönde ilişkisi olduğu sonucuna varılmaktadır.

4.2. İkinci Deneme Sonuçları

Toprak ortamına gerçekleştirilen bu deneme soya bitkisinde kurulmuştur. Yapılan uygulamalara ek olarak bakteri aşılaması yapılmış ve bakteri aşılanmamış parametreler eklenmiş ve deneme sonunda bitki gelişimi, fizyolojik analizleri ve toprak mikrobiyal aktivite analiz sonuçları verilmiştir.

4.2.1. Termal kamera görüntüleri

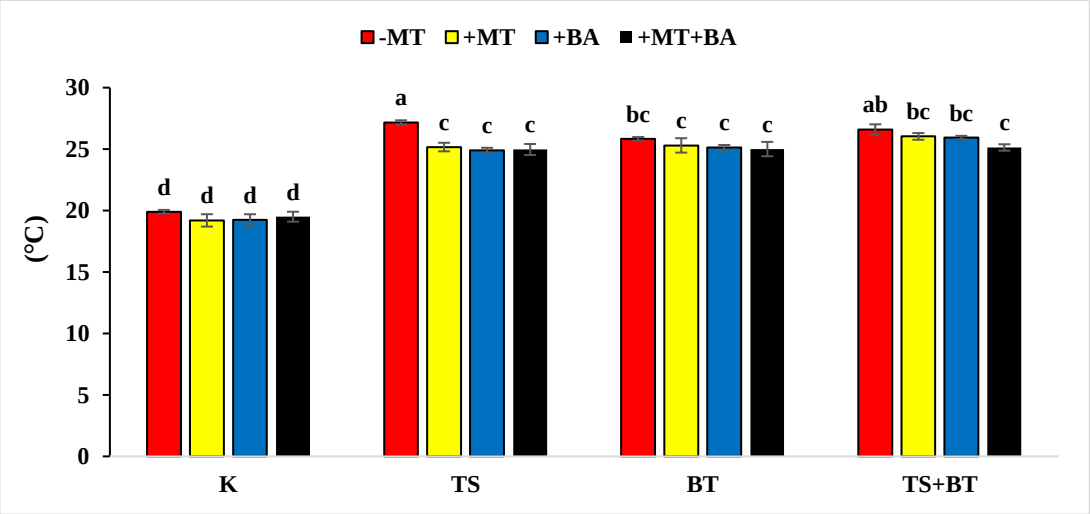
Çalışmamızın ikinci aşamasında bölümümüze kazandırılan FLIR T450 termal kamera kullanılarak soya bitkisinin termal kamera görüntüleri alınmış ve bitki sıcaklıkları not edilmiştir. Termal kamera ve normal görüntülerden bazı örnekler Şekil 4.22.'de verilmiştir.



Şekil 4.22. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının termal kamera ve normal görüntüleri

Uygulamaların bitki sıcaklık değerleri Şekil 4.23.'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde stres etkilerinin görülmediği kontrol, MT, BA ve MT+BA

uygulamalarında en düşük sıcaklık değerleri bulunmuştur. Uygulanan stres parametrelerinden TS uygulaması kontrol ile kıyaslandığında sıcaklığı %36.5 oranında, BT uygulaması %29.8 oranında ve TS+BT uygulaması ise %33.6 oranında arttırmış ve değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur (P≤0.05).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.23. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının termal kamera sıcaklık sonuçları

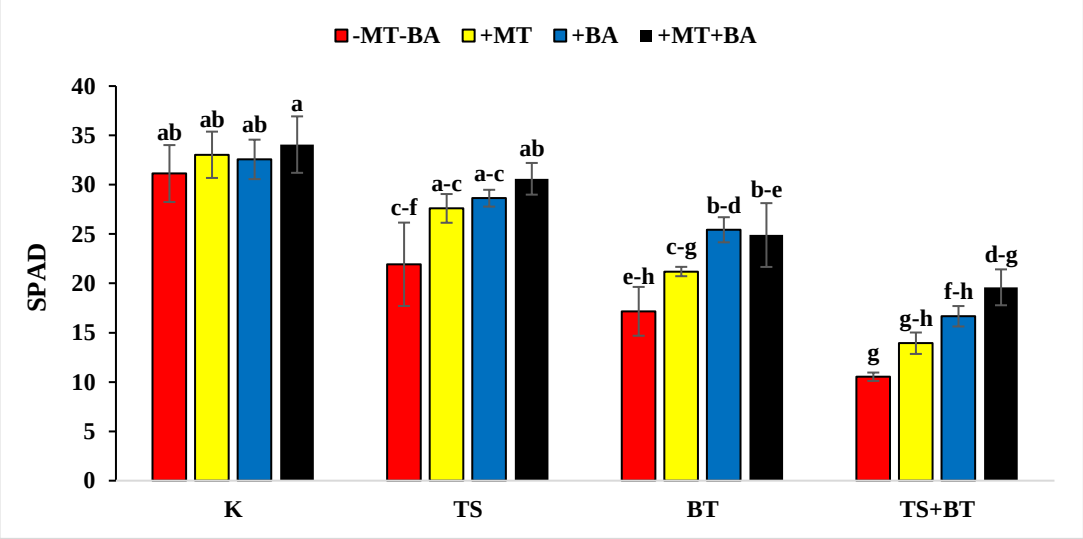
TS uygulamasının olumsuz etkilerini gidermek için yapılan MT, BA ve MT+BA uygulamaları TS ile kıyaslandığında sıcaklığı yaklaşık %8 oranında düşürmüş ve bu düşüş önemli bulunmuştur (P≤0.05). BT uygulamasına yapılan MT, BA ve MT+BA uygulamaları sıcaklığı yaklaşık %3 oranında düşürmüştür. TS+BT uygulamasına yapılan MT ve BA uygulamaları sıcaklığı yaklaşık %2.3 oranında düşürürken, MT+BA uygulaması %5.5 oranında düşürmüştür. Elde dilen değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur (P≤0.05).

Termal kamera görüntülerinin kullanıldığı bazı çalışmalar mevcuttur. Farklı azot dozları ile sulama sistemlerinin pamuk bitkisinde kullanılarak, bitkinin bazı morfolojik ve fizyolojik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan sulamalardan alınan ilk ölçümler dışındaki ölçümler ve azot dozlarının kullanımı konusunda termal kamera görüntülerinin istatistiki olarak önemli olmadığı (p<0.01) belirlenmiştir (Tüne, 2016). Biber bitkisinde yapılan diğer bir çalışmada, 4 farklı sulama uygulanmış (S100, S75,

S50 ve S25) ve bitkideki fizyolojik farkların belirlenmesinde termal görüntüler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda bitkilerde su stres seviyesinin artması ile termal kamera sonuçlarının da arttığı tespit edilmiştir (Eroğlu, 2020).

4.2.2. Spad sonuçları

Toprak ortamında kurulan ikinci aşama denememizde, bitkiler hasat edilmeden önce klorofil değerleri hakkında bilgi almak için baktığımız SPAD cihazı ile SPAD ölçümü yapılmıştır.



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.24. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının SPAD değerleri sonuçları

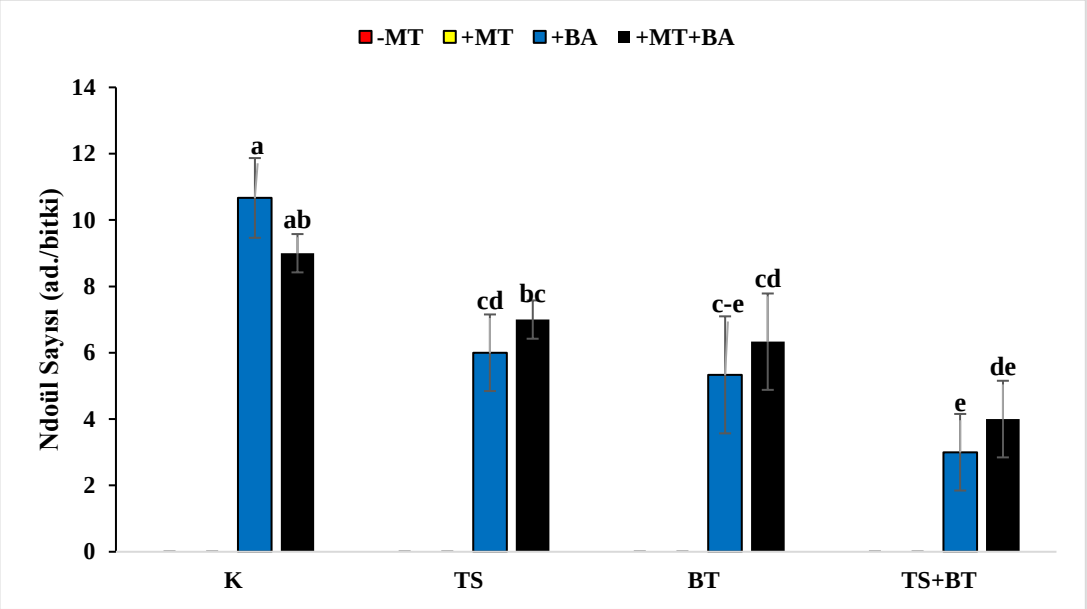
Uygulamalarımızın soya bitkisi SPAD değerleri Şekil 4.24.'te verilmiştir. Yaptığımız uygulamalar arasında önemli farklılıklar bulunmuştur ve bu farklılıklar istatistiki olarakta önemli bulunmaktadır ($P \leq 0.05$). Kontrol uygulamasına kıyasla yapılan MT ve BA uygulamaları tek başlarına bitki SPAD içeriğini önemli oranda etkilememiştir. Fakat MT ve BA'nın birlikte uygulaması SPAD değerini arttırmıştır ve bu artış en iyi sonuç olarak bulunmuştur. Kontrol uygulamasına yapılan stres parametrelerinden TS kontrole göre SPAD değerini %29.5 oranında, BT uygulaması %44.8 oranında ve TS+BT birlikte uygulaması ise %66.16 oranında düşürmüştür.

Stres etkilerine karşı yapılan MT ve BA uygulamaları bu değerleri önemli oranda arttırmıştır. TS uygulamasına yapılan MT uygulaması SPAD değerini %25.8 oranında, BA uygulaması %30.5 oranında ve MT+BA uygulaması ise bu değeri %39.5 oranında arttırarak stresin olumsuz etkisini hafifletmiştir. BT uygulamasının stres etkilerine karşı MT uygulaması ile %23.4 oranında BA uygulaması %48.15 oranında ve MT+BA uygulaması da %45.1 arttırmıştır. Çift strese (TS+BT) karşı yapılan MT uygulaması %32.2, BA uygulaması %58.2 ve MT+BA uygulaması da %86.1 oranında SPAD değerini arttırarak stresten meydana gelen olumsuz etkiyi azaltmıştır. Bu değerler istatistiki olarakta önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

Bor toksisitesi ve tuz stresi gibi stres etmenleri bitkilerde büyüme engelleme gibi etmenler ile metabolik bozukluklara da sebep olduğu bilinmektedir. Bunlarda birisi de fotosentezdir (Pandey ve ark., 2019). Stres koşullarında klorofil içeriğinin düşmesi, bitkide klorofilaz enzim aktivesinin artması ile klorofilin parçalanamasına neden olarak açıklanmaktadır (Mohsin ve ark., 2019). Aynı zamanda stres ile oluşan oksijen radikalleri klorofili parçalayarak klorozun oluşmasına sebep olmaktadır (Ünal, 2019). Çalışmamızda 100 mM NaCl ve 2 mM bor uygulaması bitki SPAD içeriğini azaltmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalar vardır. Biber bitkisinde yapılan bir araştırmada tuz uygulamalarının bitki SPAD içeriğinde azalmalar olduğu tespit edilmiştir (Shah ve ark., 2017). Yapılan bir başka araştırmada, tuz uygulamasının mısır bitkisinin SPAD değerini düşürdüğü, yapılan bakteri uygulaması ile SPAD değerinde artış olduğunu bildirmişlerdir (Sohaib ve ark., 2020). Ancak Turhan (2002)'de çilek bitkisinde yaptıkları çalışmada, farklı tuz dozları, tuz uygulama süreleri ve yetiştirme ortamı klorofil içeriğinin değişebileceğini söylemişlerdir. Kısa vade tuz uygulamalarının klorofil içeriğini değiştirmediği, uzun vade de ise arttırdığını belirtmişlerdir. Yapılan bakteri uygulaması ile kontrol uygulamasına kıyasla SPAD değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Tuzlu koşullar altında bitkiler EBR uygulamasının oksidatif stresi azalttığı da çeşitli araştırmacılar tarafında raporlanmıştır (Shahzad ve ark., 2021; Ahanger ve ark., 2019).

4.2.3. Nodül sayısı sonuçları

Yapılan uygulamalar sonunda elde edilen nodül sayısı sonuçları Şekil 4.25.'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde BA aşılamasının yapılmadığı parametrelerde nodül oluşumuna rastlanmamıştır. Kontrole kıyasla yapılan BA aşılamasının 10 nodül ile en yüksek nodül sayısına ulaşılmıştır. TS uygulamasına yapılan BA uygulamasında 6 nodül elde edilirken, MT+ BA uygulamasında 7 nodül elde edilmiş ve bu artış önemli bulunmuştur. BT uygulamasına yapılan BA aşılaması da ortalama 5.33 nodül oluşmuş, MT eklenmesi ile bu sayı ortalama 6.33'e çıkmıştır. TS+BT uygulamasına BA aşılaması da 3 nodül oluşmuş ve MT uygulaması ile bu sayı 4'e çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Nodül oluşumu ile ilgili bazı görüntüler Şekil 4.24.'te verilmiştir.

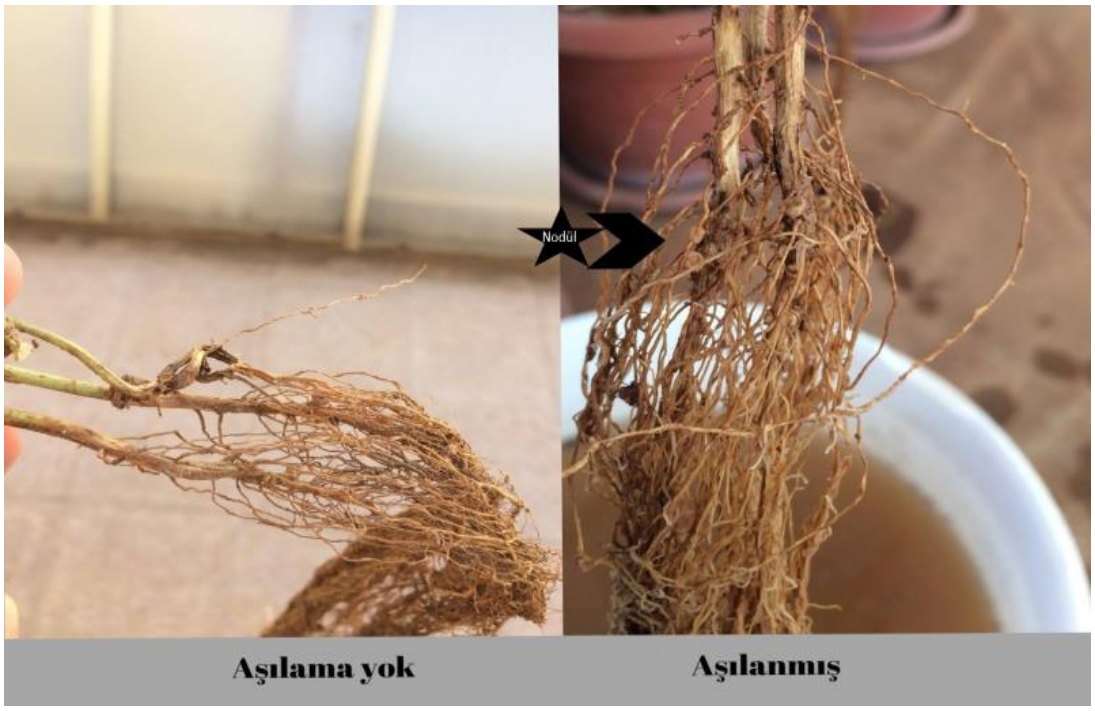


K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.25. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının nodül sayısı sonuçları

Soya bitkisine tuz uygulamasının nodül oluşumu üzerine yapılan bir çalışmada, bakteri aşılamasının bitkilerin tuz stresine karşı daha dayanıklı hale getirildiğini ve bitkilerin büyüme, yaprak klorofil içeriği ve antioksidan enzim aktivitesinde artış sağladığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, *Pseudomonas pseudoalcaligenes* ve

Bacillus subtilis'in tuz stresine maruz kalan soya fasulyesi bitkilerinde kullanımının, bitkilerin tuz stresine karşı daha dayanıklı hale getirilmesine ve verimliliklerinin artırılmasına yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır. (Yasmin ve ark., 2020). Abulfaraj ve Jalal (2021), soya fasulyesi bitkilerinde tuz stresine karşı dayanıklılığı artırmak için bitki büyüme bakterilerinin kullanımını araştırmaktadır. Araştırmacılar, *Pseudomonas fluorescens, Pseudomonas putida* ve *Bacillus megaterium* gibi üç farklı bakteri türünün, tuzlu ortamda yetiştirilen soya fasulyesi bitkilerinde büyümeyi arttırdığını ve bitkinin tuz stresine karşı daha dirençli hale getirdiğini ve nodül oluşturduğunu tespit etmişlerdir.

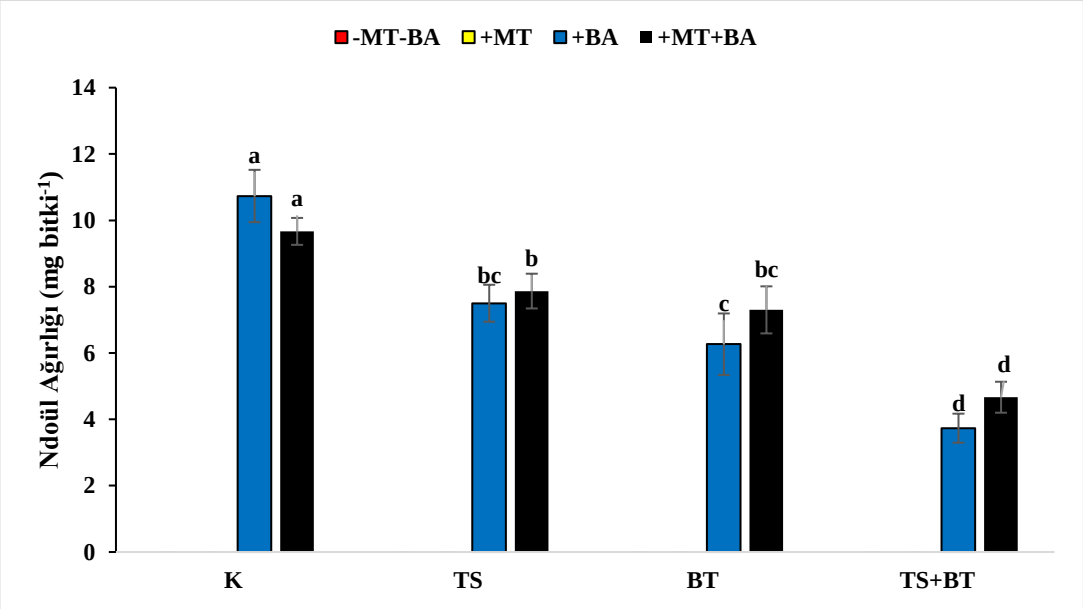


Şekil 4.26. Bakteri aşılaması sonucunda nodül oluşumu

4.2.4. Nodül ağırlığı sonuçları

Araştırmamızda elde edilen nodül sayılarının ağırlıkları Şekil 4.27.'de verilmiştir. Sonuçlar, nodül sayısında olduğu gibi BA aşılamasının yapılmadığı saksılarda nodül oluşmamasında dolayı 0'dır. En yüksek nodül ağırlığı BA aşılaması yapılan saksıda 10.73 mg/bitki olarak bulunmuştur. TS uygulamasına yapılan BA aşılamasında bu değer 7.50, BT uygulamasına yapılan BA 6.27 ve TS+BT uygulamasında ise 3.73 mg/bitki olarak bulunmuştur. Genel olarak stres etkisi alında

BA aşılamasına yapılan MT uygulaması nodül ağırlıklarında artışlara neden olmuştur. Elde edilen sonuçlar istatistiki olarak (P≤0.05) önemli bulunmuştur. Yapılan birçok farklı araştırmada yapılan uygulamalar nodül ağırlığı sonuçlarını arttırmıştır (Doğan ve ark., 2007; Doğan ve ark., 2008).



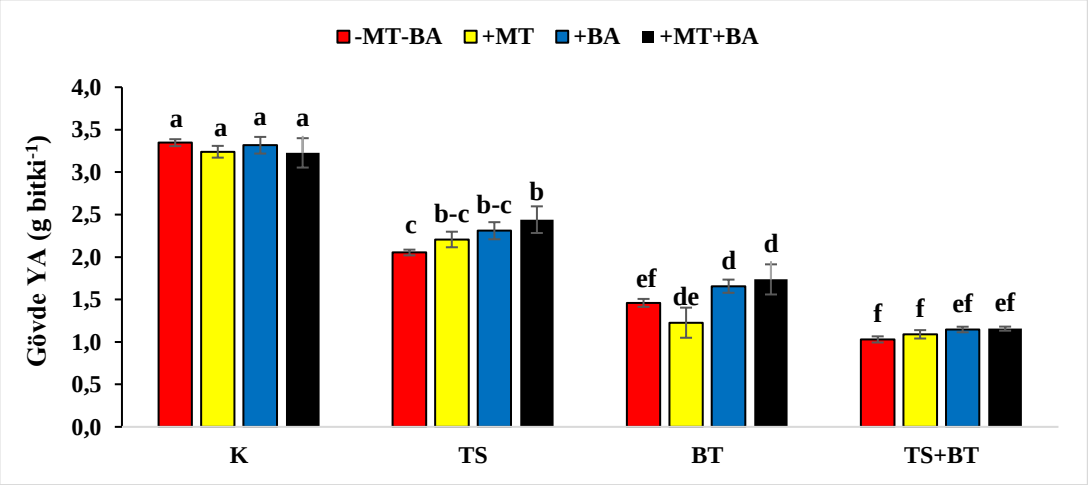
K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.27. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının nodül ağırlığı sonuçları

4.2.5. Yaş ve kuru ağırlıkları

Yapılan uygulamaların soya bitkisi gövde yaş ağırlıkları incelendiğinde (Şekil 4.28.); yapılan stres uygulamaları ile önemli düşüşler gözlenmiştir. TS uygulaması kontrole kıyasla %38.6 oranında, BT uygulaması %56.3 oranında ve TS+BT uygulaması ise %69.2 oranında gövde yaş ağırlığını düşürmüştür. TS stresine yapılan MT uygulaması stresin oluşturduğu düşüşü %7.4, BA uygulaması %12.5 ve MT+BA uygulaması da %18.8 oranında arttırmıştır. BT stres etkisine karşı MT uygulaması %15.9, BA uygulaması %13.4 ve MT+BA uygulaması da %18.9 oranında arttırmıştır. TS+BT stresine karşı MT uygulaması gövde yaş ağırlığını %5.8, BA uygulaması %11.3 ve MT+BA uygulaması da %12.2 oranında arttırarak stresin olumsuz etkilerini azaltmışlardır. Kontrol uygulamasına kıyasla yapılan MT ve BA uygulamalarının ayrı

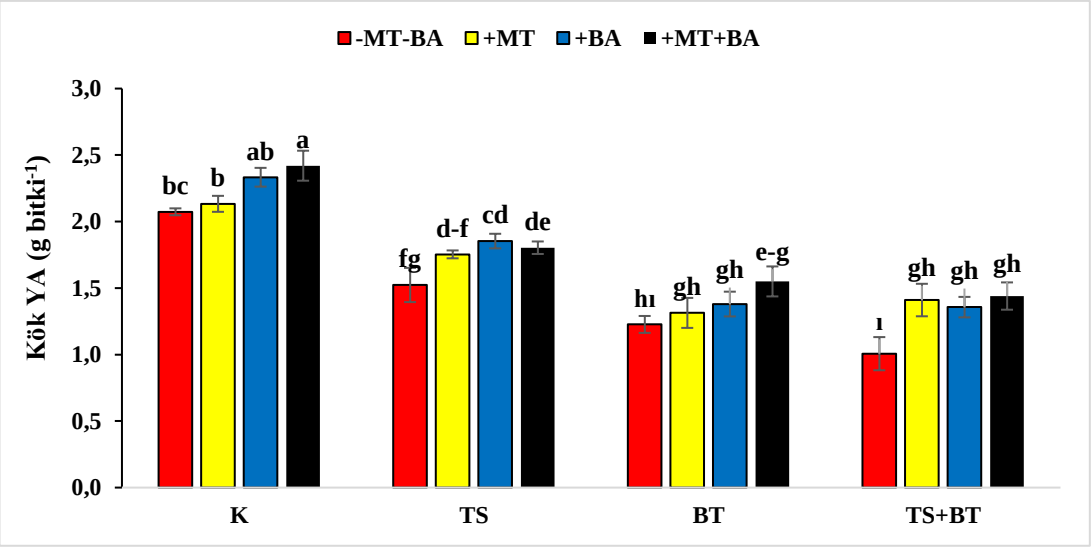
ayrı veya birlikte istatistiki (P≤0.05) olarak önemli etkileri bulunmamıştır. Bu sonuçlarımız istatistiki olarak önemli bulunmuştur (P≤0.05).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.28. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının gövde yaş ağırlık sonuçları

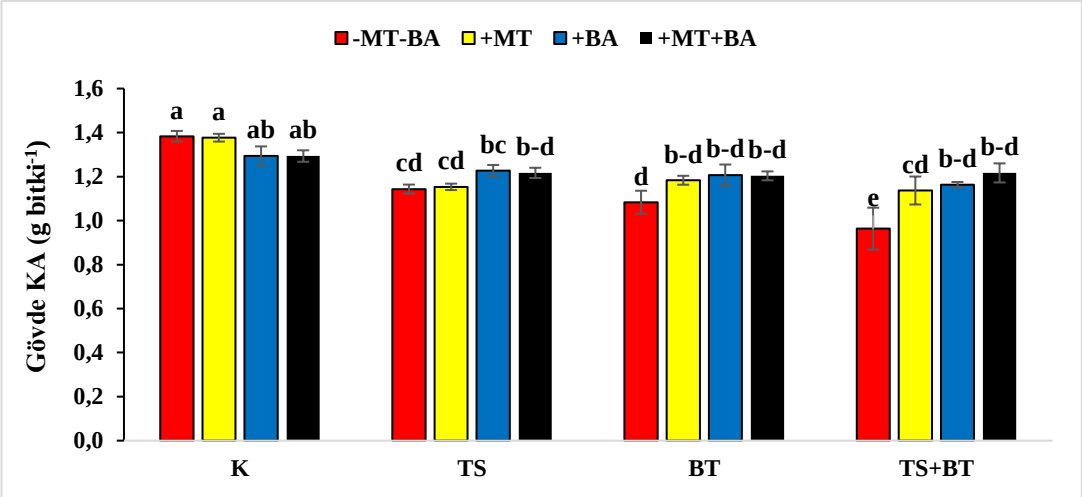
Uygulamaların soya bitkisi kök yaş ağırlığına etkileri Şekil 4.29.'da verilmiştir. Kök yaş ağırlıkları incelendiğinde kontrole yapılan MT uygulaması kök yaş ağırlığını %2.5, BA uygulaması %12.5 oranında arttırmıştır. MT+BA uygulaması yaş ağırlığında %16.7 oranında artış sağlayarak en yüksek değer olarak bulunmuş ve bu artışlar istatistiki olarak önemli bulunmuştur (P≤0.05). Kontrole kıyasla yapılan stres etkilerinde TS uygulaması kök yaş ağırlığını %26.5, BT uygulaması %40.8, TS+BT uygulaması ise %51.4 oranında düşürmüştür. TS stresine yapılan MT uygulaması stresin etkisini %15.1, BA uygulaması %21.6 ve MT+BA uygulaması da %18.3 oranında yükseltmiştir. BT stresine yapılan MT uygulaması ise %7.1, BA uygulaması %12.5 ve MT+BA uygulaması ise %26.3 oranında yükseltmiştir. Çift strese (TS+BT) yapılan MT uygulaması %40, BA uygulaması 34.7 ve MT+BA uygulaması %43 oranında yükseltmiş ve elde edilen sonuçlar istatistik olarak önemli bulunmuştur (P≤0.05).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.29. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının kök yaş ağırlık sonuçları

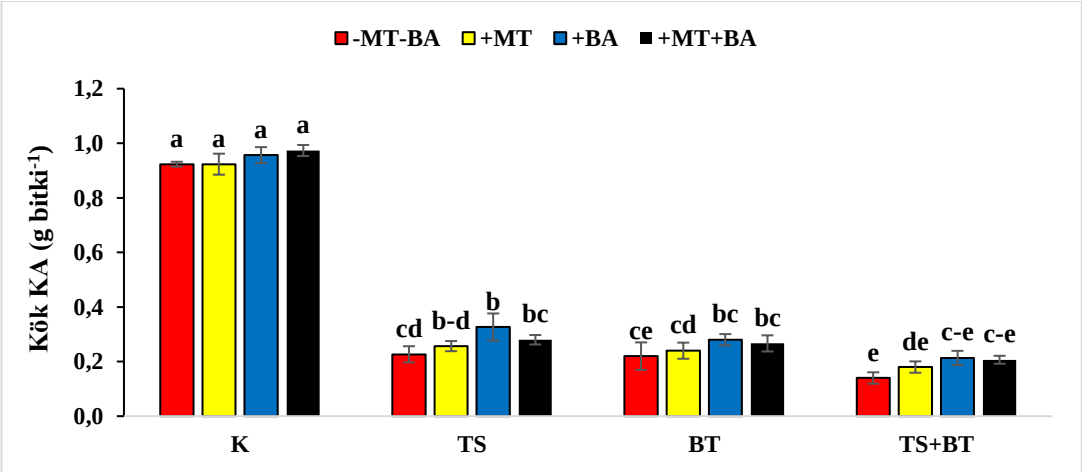
Uygulamaların soya bitkisi gövde kuru ağırlığı sonuçlarına bakıldığında ise (Şekil 4.30.), kontrole kıyasla yapılan BA uygulaması gövde kuru ağırlığında %6.5 oranında düşüş oluşturmuş ve bu düşüş önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Kontrol bitkisine TS uygulaması gövde kuru ağırlığını %17.3, BT uygulaması %21.6 ve TS+BT uygulaması da %30.3 oranında düşüşe neden olmuştur. TS uygulamasına karşı MT yapılması gövde kuru ağırlığını %0.8, BA uygulaması %7.2 ve MT+BA uygulaması ise %6.4 oranında arttırmıştır. BT uygulamasına karşı MT uygulaması %9.2, BA uygulaması %11.3 ve MT+BA uygulaması da %11.1 oranında arttırmıştır. TS+BT uygulamasına karşı MT uygulaması gövde kuru ağırlığını %17.9, BA uygulaması %20.7 ve MT+BA uygulaması da %26.2 oranında arttırmış ve bu değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.30. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının gövde kuru ağırlık sonuçları

Yapılan uygulamaların bitki kök kuru ağırlığına olan etkileri de Şekil 4.31.'de verilmiştir. MT ve BA uygulamaları ayrı ayrı ve birlikte yapıldığında kontrole göre bakıldığında önemli bir değişime neden olmamıştır ($P \leq 0.05$). Uygulanan TS ise kök kuru ağırlığını kontrole kıyasla %75.4 oranında, BT uygulaması %76.1 oranında ve TS+BT uygulaması da %84.8 oranında azaltmıştır.



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM borik asit; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.31. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının kök kuru ağırlık sonuçları

TS stres etkisine karşı yapılan MT uygulaması oluşan hasarı %13.2 oranında, BA uygulaması %44.1 oranında ve MT+BA uygulaması ise %23.5 oranında hafifletmiştir. BT uygulamasına karşı yapılan MT uygulaması ise %9.1 oranında, BA uygulaması %27.2 oranında ve MT+BA uygulaması da %21.2 oranında arttırmıştır. TS+BT uygulamasına karşı yapılan MT uygulaması %28.5 oranında, BA uygulaması %52.3 oranında ve MT+BA uygulaması da %47.6 oranında arttırmış ve stres etkisini hafifletmiştir. Kontrole kıyasla MT ve BA uygulamaları ayrı ayrı ve birlikte yapıldığında önemli bir değişime neden olmamıştır ($P \leq 0.05$). Değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

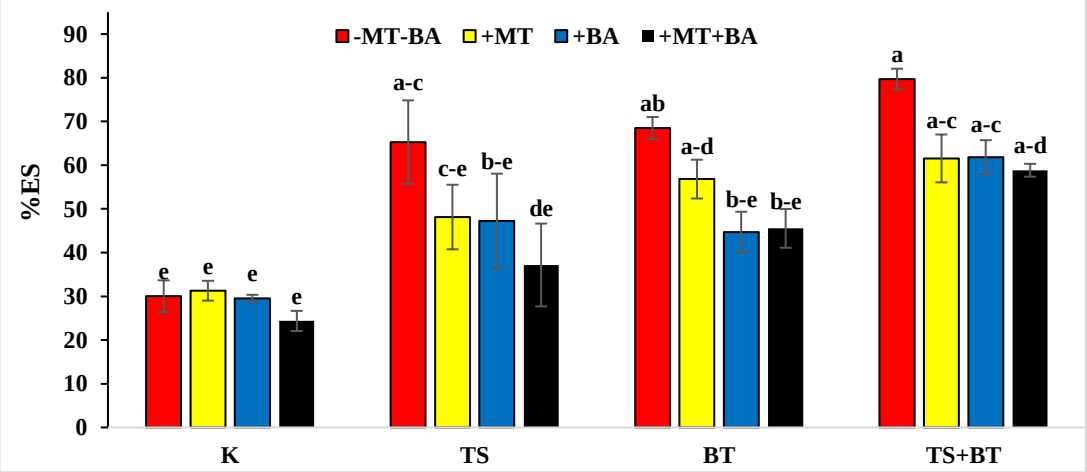
Yapılan stres uygulamaları bitki kök ve gövde de yaş ve kuru ağırlıklarının düşmesine sebebiyet vermiştir. Literatürde bu konuda çeşitli araştırmalar mevcuttur. Egamberdieva ve ark. (2016), tuz stresi altında soya fasulyesi bitkilerinin büyümesi ve nodülasyonuna olan etkilerini araştırmıştır. Deney, kontrollü koşullar altında yapılmıştır ve farklı tuz dozlarına maruz kalan bitkilerde iki bakteri ayrı ayrı ve birlikte uygulanmıştır. İki bakteri birlikte uygulandığında, sinerjik etkilerin ortaya çıktığı ve bitki büyümesinin ve nodülasyonun daha da arttığı görülmüştür. Ayrıca, bitkilerde tuz stresinin olumsuz etkilerinin azaldığı ve bitkilerin daha dirençli hale geldiği de tespit edilmiştir. Egamberdieva ve ark. (2017), yaptıkları başka bir araştırmada, soyada tuz stresinin neden olduğu kök sistemi gelişim bozukluklarını azaltmak için *Bradyrhizobium japonicum* ve *Pseudomonas fluorescens*'in birlikte kullanımının etkilerini araştırmaktadır. Çalışmada, bu iki bakteri türünün birlikte kullanımının, tuz stresine maruz kalan soya bitkilerinde kök sistemi gelişimini arttırdığı ve bitki büyümesini arttırdığı tespit edilmiştir. Farklı bitkilerde benzer çalışmalar yapılmıştır. Bunlar; biberde (Altunlu, 2020), domateste (Aydın ve ark., 2022) ve mısırda (Abdel Latef ve ark., 2020) rapor edilmiştir.

4.2.6. Elektrolit sızıntı (% ES) sonuçları

Yapılan stres uygulamalarına karşılık MT ve BA uygulamalarının soya bitkisi %ES sonuçları Şekil 4.32.'de verilmiştir. Kontrole kıyasla yapılan stres etmenlerinde TS uygulaması %ES değerini %117.6 oranında. BT uygulaması %128.2 oranında ve

TS+BT uygulaması da %165.6 oranında arttırmıştır. Bu stres etmenlerinde TS uygulamasına yapılan MT uygulaması hasarı %26.2 oranında, BA uygulaması %27.6 oranında ve MT+BA uygulaması ise %43.1 oranında hafifletmiştir. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması %17.1, BA uygulaması %34.7 ve MT+BA uygulaması %33.5 oranında hafifletmiştir. Çift stres (TS+BT) uygulamasına yapılan MT uygulaması %22.7, BA uygulaması %22.4 ve MT+BA uygulaması da %26.1 oranında stresin yarattığı hasarı hafifletmiştir. Kontrole kıyasla yapılan MT ve BA %ES değerini istatistiki olarak etkilememiştir ($P \leq 0.05$). Elde edilen değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

Stres etkileri altındaki bitkilerde oksidatif stres sonucunda elektrolit sızıntı (%ES) meydana gelmektedir (AbdElgawad ve ark., 2016). Çalışmamızda stres etkileri ile %ES değerleri artış göstermiştir.



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

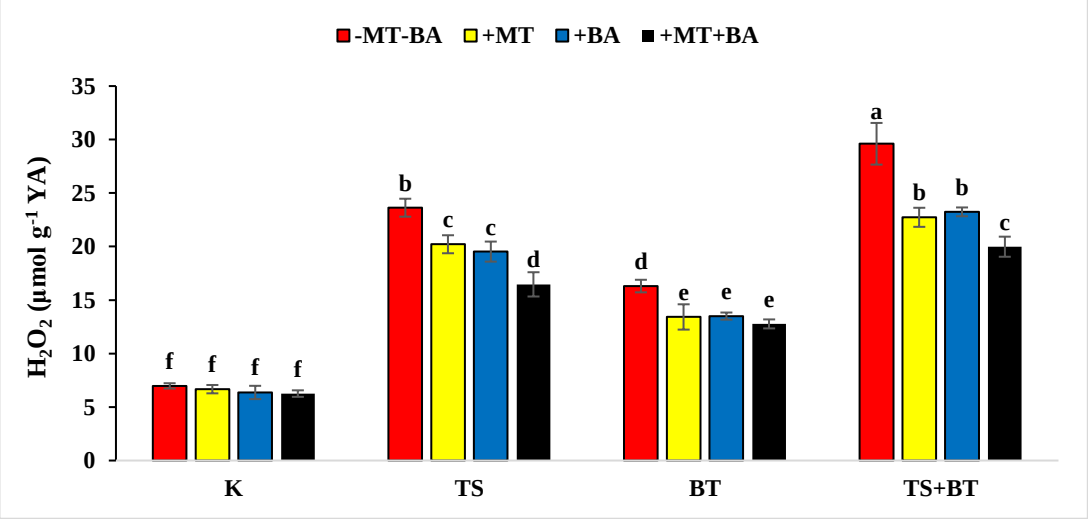
Şekil 4.32. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının elektrolit sızıntı (%ES) sonuçları

Bezostoya ve Kutluk 94 buğday türlerinde yapılan bir çalışmada, 1 mM B stresi uygulanmış ve bitkilerin %ES değerlerinin arttığı bildirilmiştir (Tepe, 2016). Kontrollü şartlarda yapılan bir başka çalışmada, lahana bitkisine tuz (0, 50, 100, 200 mM NaCl) uygulanmıştır. Tuzun artan dozları ile bitki %ES değerlerinin arttığı belirlenmiştir (Tuğcu, 2017). Mehboob ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, bor toleranslı bir bakteri olan Bacillus sp. türü bakterilerin bor koşullarında bitkide iyon

sızıntısının azalttığını tespit etmişlerdir. Benzer çalışmalar biber bitkisi (Samaddar ve ark., 2019) ve mısır bitkisinde de (Islam ve ark., 2016) rapor edilmiştir.

4.2.7. Hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriği sonuçları

Yapılan uygulamaların soya bitkisinde stres etkileri sonucu oluşan ROT'lardan biri olan H_2O_2 içeriği sonuçları incelendiğinde (Şekil 4.33.); stres uygulamaları H_2O_2 seviyesini önemli oranda arttırmıştır. Kontrol bitkisi ile kıyaslandığında TS uygulaması H_2O_2 içeriğini %238.5 oranında, BT uygulaması %133.6 oranında ve TS+BT uygulaması da %324.2 oranında arttırmıştır.



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.33. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının H_2O_2 içeriği sonuçları

Stres uygulamalarına yapılan MT ve BA uygulamaları stres sonucu oluşan H_2O_2 miktarının azalmasına katkı sağlamıştır. TS uygulamasına yapılan MT uygulaması oluşan stresin etkisini %14.4 oranında, BA uygulaması %17.3 oranında ve MT+BA uygulaması ise %30.3 oranında azaltmıştır. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması H_2O_2 içeriğini %17.7, BA uygulaması %17.2 ve MT+BA uygulaması da %21.6 oranında azaltmıştır. TS+BT uygulamasına yapılan MT uygulaması %23.2, BA uygulaması %21.4, ve MT+BA uygulaması ise %32.4 oranında stres sonucu oluşan H_2O_2 içeriğini azaltarak stresin etkisini hafifletmiştir. Kontrol bitkisine kıyasla yapılan

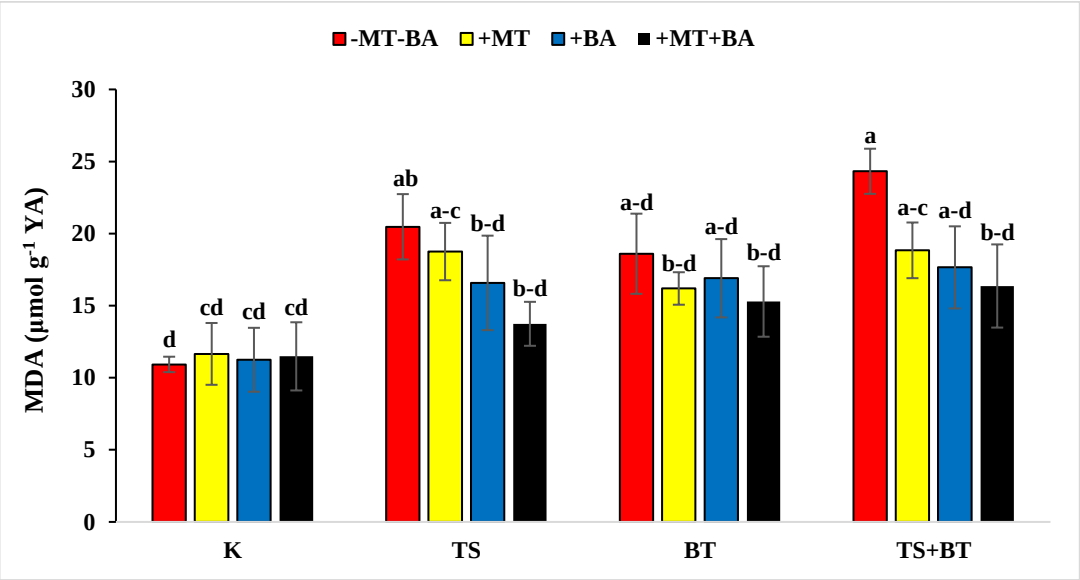
MT ve BA uygulamaları H_2O_2 içeriğini önemli oranda etkilememiştir ($P \leq 0.05$). Elde edilen değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

Stres etkilerinin bitkilerde oluşturduğu ROT olan H_2O_2 içeriğinin artmasının bitkide stres varlığının önemli bir göstergesi olduğu yapılan benzer çalışmalar ile gösterilmiştir (Özcan ve ark., 2015; Anjum ve ark., 2022). Soya bitkisinde yapılan bir çalışmada, artan tuz (0, 25, 50, 75 ve 100 mM NaCl) dozları uygulanmış ve tuz dozu arttıkça bitkide H_2O_2 miktarının da arttığını en yüksek artışın 100 mM NaCl dozunda olduğunu bildirmişlerdir (Kataria ve ark., 2019). Stres parametrelerine duyarlı bir bitki olan Arabidopsis sos 6-1 mutant bitkisine 100 mM NaCl uygulamasının aynı bitkinin yabani türü ile kıyaslandığında, H_2O_2 içeriğinde önemli bir artış meydana geldiği rapor edilmiştir (Zhao ve ark., 2021). Atıcı (2016) mısır bitkisinde yaptığı çalışmada, mısır bitkisine farklı dozlarda tuz (75, 150 ve 250 mM) uygulamış ve halofitik bitkilerin köklerinden izole ettiği bakteri türlerini mısır bitkisine uygulamıştır. Tuz uygulamalarının mısırda H_2O_2 seviyesini önemli oranda arttırdığı fakat yapılan bakteri aşılamasının da bu seviyeyi düşürdüğünü belirlemiştir. Bu çalışmamız da benzer sonuçlar bulunmuş ek olarak MT uygulamasının da H_2O_2 içeriğinin düşmesinde etkili olduğu görülmüştür. Kaya ve ark., (2020) biber yaptıkları çalışmada melatonin uygulamasının H_2O_2 içeriğini düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

4.2.8. Malondialdehid (MDA) içeriği sonuçları

Yaptığımız uygulamaların soya bitkisi MDA sonuçları Şekil 4.34.'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, kontrol bitkisine kıyasla MT ve BA uygulamaları MDA içeriğini yaklaşık %7 arttırmış ve bu artış önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Yapılan stres uygulamaları ise MDA miktarında önemli artışlar yaratmıştır. TS uygulaması kontrolle kıyaslandığında MDA içeriğini %87.4 oranında, BT uygulaması %70.2 oranında ve TS+BT uygulaması da %122.6 oranında arttırmıştır. Stres etkilerine karşı yapılan uygulamalar ile bu değerler de düşüşler tespit edilmiştir. TS uygulamasına yapılan MT değeri %8.4, BA uygulaması %19.1 oranında ve MT+BA ise %32.8 oranında azaltmıştır. BT uygulamasına yapılan MT stres etkisini %12.9 oranında, BA uygulaması %9.1 oranında ve MT+BA uygulaması da %17.8 oranında azaltmıştır.

TS+BT uygulamasına yapılan MT uygulaması MDA içeriğini %22.5, BA uygulaması %27.4 ve MT+BA uygulaması ise %32.7 oranında azaltmış ve stresin olumsuz etkisini hafifletmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistik olarak önemli bulunmuştur (P≤0.05).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

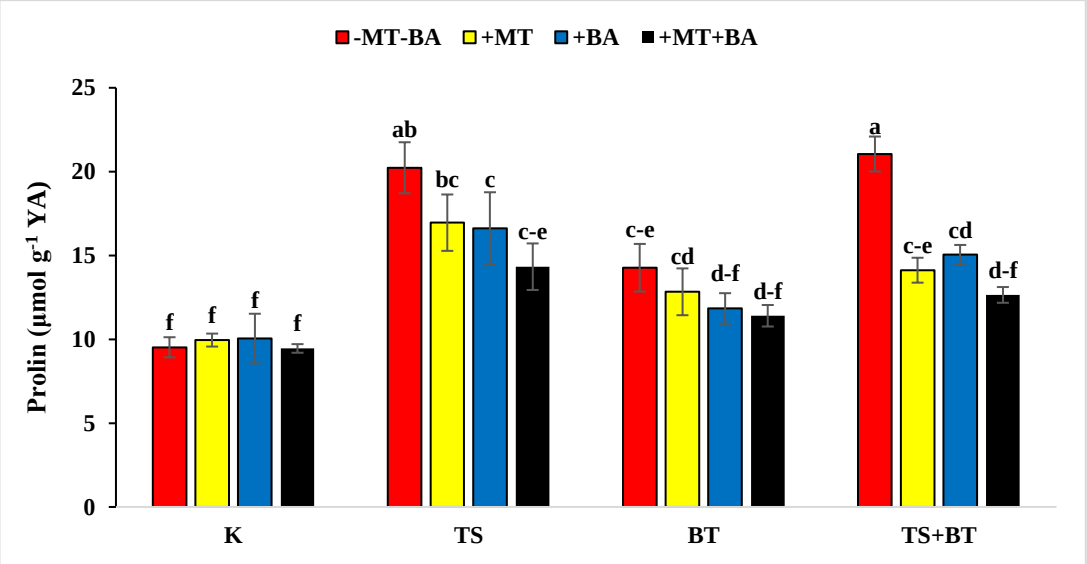
Şekil 4.34. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının MDA içeriği sonuçları

Stres etkileri sonucu oluşan ROT hücre membranlarında doymamış yağ asitlerinin oksidasyonuna neden olmakta ve bu oksidasyon olayı hücre membranlarında MDA miktarını arttırmaktadır (Taïbi ve ark., 2016; Mir ve ark., 2015). Mısır bitkisine yapılan tuz uygulamasına Pseudomonas putida bakterileri aşılaması yapılmıştır. Denemenin sonunda stres altında bitkide MDA içeriğinin arttığı, yapılan bakteri aşılaması ile MDA miktarının düştüğü belirlenmiştir (Abd El-Ghany ve ark., 2015). Hnilickova ve ark., (2021) tuzluluk stresinin Semizotu bitkisinde malondialdehit oluşumu ve prolin içeriği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre, yüksek tuz dozları bitkide malondialdehit oluşumunu arttırmıştır. Tepe (2016)'da 1 mM B stresi uyguladığı Bezostoya ve Kutluk 94 buğday türlerinin MDA içeriklerinde artışlar meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Rahman ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, soya fasulyesi bitkisinin tuz stresine maruz kalması sonucu oluşan oksidatif hasarı azaltmak için ek selenyum ve bor kullanımının etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, tuz stresinin soya fasulyesi bitkisinde oksidatif hasar ve stres

göstergesi olan malondialdehit (MDA) seviyesinin artırdığını göstermiştir. Yapılan çalışmalar, çalışmamız ile benzerlik göstermiştir.

4.2.9. Prolin içeriği sonuçları

Tuz stresi ve bor toksisitesi altında yetişen soya bitkisine yapılan melatonin ve bakteri aşılamasının prolin içeriği sonuçları Şekil 4.35.'te verilmiştir. Yapılan TS uygulaması kontrole kıyasla prolin içeriğini %112.4, BT uygulaması %49.8 ve TS+BT uygulamasında %121.1 oranında arttırmıştır. TS altındaki bitkiye yapılan MT uygulaması prolin seviyesini %16.1, BA uygulaması %17.8 ve MT+BA uygulaması da %29.1 oranında düşürmüştür. BT uygulamasına yapılan MT stres etkisini önemli oranda etkilememiş, BA uygulaması %12.2 ve MT+BA uygulaması da %12.1 oranında düşürmüştür. TS+BT streslerine karşı MT uygulaması %32.9, BA uygulaması %28.4 ve MT+BA uygulaması da %39.9 oranında prolin içeriğini düşürmüş ve stresin olumsuz etkisini hafifletmiştir. Veriler incelendiğinde, kontrol şartlarında uygulanan MT ve BA uygulamaları prolin içeriğinde önemli bir değişime neden olmamıştır. Elde edilen bulgular istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



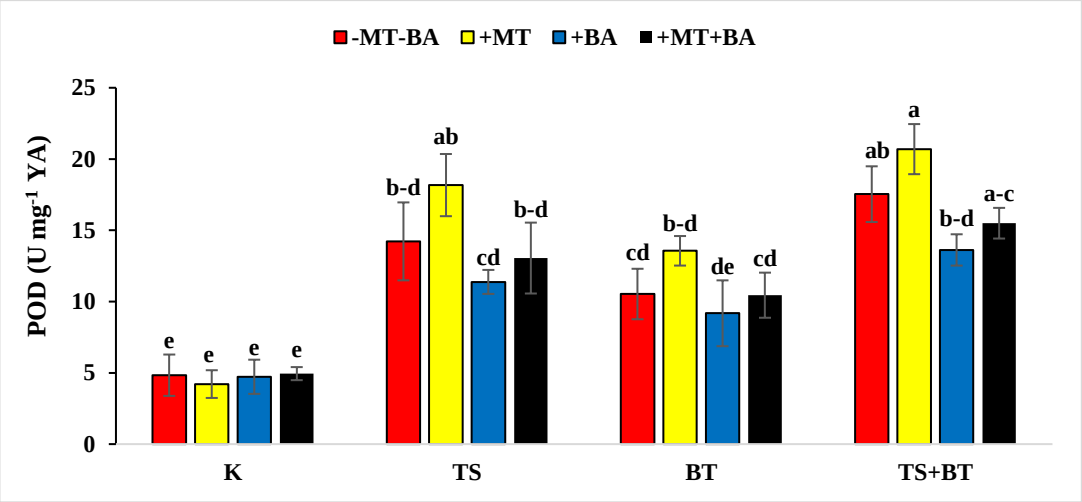
K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.35. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının Prolin içeriği sonuçları

Stres etkileri altındaki koşullarda bitkide prolin amino asidi birikerek, bitkiyi stres etkilerine karşı korumaktadır. Stres şartlarında prolin miktarı artmaktadır ve bu artış strese toleransın bir işaretedir (Yaish, 2015). Prolinin bu birikimi, elektron taşıma sisteminin zararlanması ile NADPH ve H birikimi ile açıklanmaktadır (Hossain ve ark., 2014). Prolin karbon ve azot içeriği yüksek olması ile stres altında bitki hücre zarının yapısını korumada ve ROT'un azalmasında etkilidir. Prolin içeriği bitki türüne hatta aynı türün farklı çeşitlerinde de değişiklik göstermektedir (Ali ve ark., 2015). Baran ve Doğan (2014) soya bitkisine yaptıkları tuz uygulamalarının bitkide prolin içeriğini arttırdığını belirlemişlerdir. Shafi ve ark. (2019) Prolinin, tuz stresine maruz kalan bitkilerde artan birikimiyle birlikte, stresi azaltıcı etkileri nedeniyle, bitki hücrelerindeki oksidatif hasarı önlemeye yardımcı olduğunu bildirmişlerdir. Bu durumda bitkilerin stresle daha toleranslı olduğu, prolin üretiminin arttığı görülmüştür (Ghosh ve ark., 2022). Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar önceki benzer çalışmaları destekler niteliktedir (Asghar ve ark., 2021; Sehar ve ark., 2019).

4.2.10. Peroksidaz (POD) aktivitesi sonuçları

Stres etkileri altında olan bitkilerde stres etkilerinin meydana getirdiği olumsuz etkiyi azaltmak için bitkilerin sentezlediği enzimlerden POD, CAT ve SOD aktiviteleri incelenmiştir. Yapılan uygulamaların stres altındaki bitkilerde oluşan bir diğer antioksidan enzim olan POD aktivitesine olan etkileri Şekil 4.36.'da verilmiştir. Kontrol bitkisine kıyasla uygulanan TS uygulaması POD içeriğini %194.2 oranında, BT uygulaması %117.8 oranında ve TS+BT uygulaması ise %262.8 oranında arttırmıştır. Stres parametrelerinden TS etkisine karşı yapılan MT uygulaması ise POD içeriğini %27.7 oranında daha fazla arttırırken, uygulanan BA ve MT+BA uygulamaları sırasıyla %19.9 ve %8.2 oranında POD içeriğini azaltmıştır. BT uygulamasına karşı yapılan MT uygulaması POD içeriğini %28.7 arttırırken, BA ve MT+BA uygulamaları %12.8 ve %1 oranında azaltmıştır. Çift strese (TS+BT) uygulanan MT uygulaması POD aktivitesini %18.1 oranında arttırmış, BA ve MT+BA uygulaması ise %22.3 ve %11.6 oranında azaltmış ve stres etkilerini hafifletmiştir. Sonuçlara göre kontrole kıyasla yapılan MT ve BA POD aktivitesi üzerine istatistiki olarak önemli bir etkisi olmamıştır ($P \leq 0.05$).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

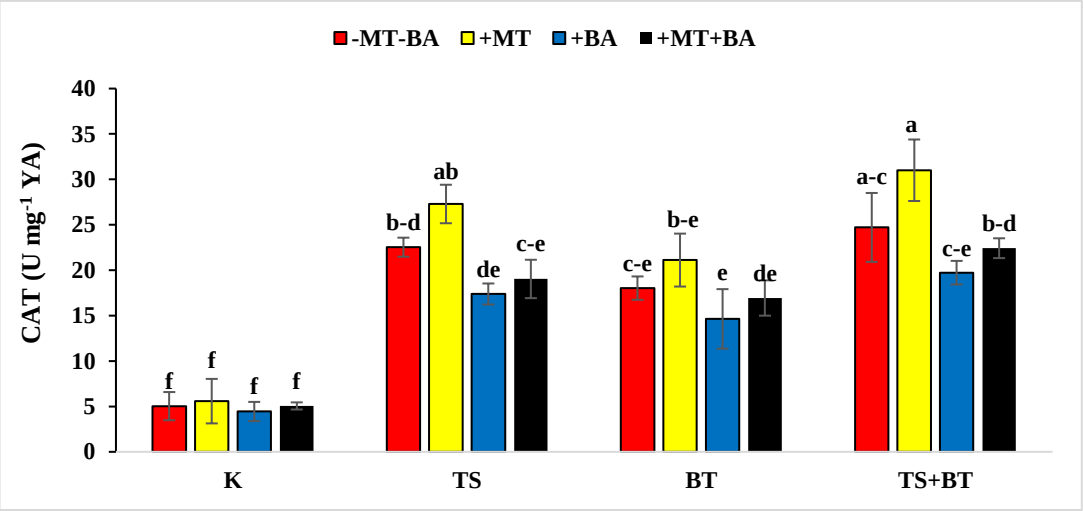
Şekil 4.36. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının POD aktivitesi sonuçları

Stres altındaki bitkilerde etkili olan POD, strese karşı tepki vermesi dışında, hücrede oluşum, bitkide büyüme, meyvenin gelişimi ve fizyolojik gelişim süreçleri ile de alakalıdır (Sheoran ve ark., 2015). POD enzimi hakkında literatürde çalışmalar bulunmaktadır. Asif ve ark. (2020) ıspanak bitkisinde yaptıkları bir çalışmada, üç farklı konsantrasyonda tuz uygulamıştır. Tuz stresine bağlı POD aktivitesinin arttığını, fakat en yüksek artışın 125 ppm NaCl dozunda görüldüğünü belirtmişlerdir. Yapılan melatonin ve PGPR uygulamalarının POD aktivitesini arttırdığını bulmuşlardır. Nane bitkisinde yapılan bir başka çalışmada, tuz uygulamaları sonucunda bitkide POD içeriğinin yükseldiğini, fakat yapılan 24-eBL uygulaması ile POD içeriğinin azalarak neredeyse kontrole yakın bir değer verdiğini bildirmiştir (Çoban, 2014). Soya bitkisinde yapılan bir başka çalışmada, 2 farklı (100-400 mM NaCl) tuz uygulamasına yapılan Glycine max bakterisinin etkinliğine bakılmıştır. Tuz uygulamaları ile POD aktivitesinin arttığını, fakat yapılan bakteri aşılaması ile POD seviyesinin düştüğü ve bu sonuçların önemli olduğu bildirilmiştir (Khan ve ark., 2019). Kaya ve ark., (2015) 2 farklı tür mısır bitkisinde yaptıkları çalışmada tuz (100 mM NaCl) uygulamışlardır. Uygulanan tuz bitkilerde POD aktivitesini önemli oranda arttırmıştır. Stres etkisine karşı yapraktan ve tohumdan 2 farklı dozda tiamin uygulamaları yapılmıştır. Tiamin uygulamaların POD seviyesinin artışına katkı sağladığı rapor edilmiştir. Çalışmamızda

antioksidan enzim aktivitelerine bakıldığında, BA uygulamalarının bitkinin strese toleransını arttırması ile antioksidan enzimlerinin aktivitesini azaltması, MT uygulamasının ise antioksidan enzimlerin sentezini teşvik etmesi nedeniyle artışa sebep olduğu yorumlanabilir.

4.2.11. Katalaz (CAT) enzim aktivitesi sonuçları

Yapılan araştırmada diğer bir antioksidan olan CAT aktivitesi sonuçları Şekil 4.37.'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kontrol uygulamasına kıyasla yapılan MT, CAT içeriğini %10 arttırmış ve BA uygulaması ise %10 düşürmüştür. Fakat bu sonuçlar istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($P \leq 0.05$). Bitkiye uygulanan TS kontrol ile kıyaslandığında CAT aktivitesini %327.8 oranında, BT uygulaması %258.2 oranında ve TS+BT uygulaması ise %391.1 oranında yükseltmiş ve sonuçlar önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). TS uygulamasına dışarıdan yapılan MT uygulaması CAT aktivitesini %21.1 arttırırken, yapılan BA ve MT+BA uygulamaları ise CAT aktivitesini sırasıyla %22.8 ve %15.5 oranında düşürmüştür. BT uygulamasına yapılan MT, CAT içeriğini %17.1 oranında arttırırken, BA ve MT+BA uygulamaları bu içeriği sırasıyla %18.8 ve %6.1 düşürmüştür. TS+BT uygulamasına yapılan MT uygulaması CAT aktivitesini %25.4 arttırmıştır. Fakat BA ve MT+BA uygulaması %20.1 ve %9.2 azaltmış ve stresin etkisini hafifletmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar SOD aktivitesine benzerlik göstermekte ve istatistiki olarak önemli kabul edilmektedir ($P \leq 0.05$).



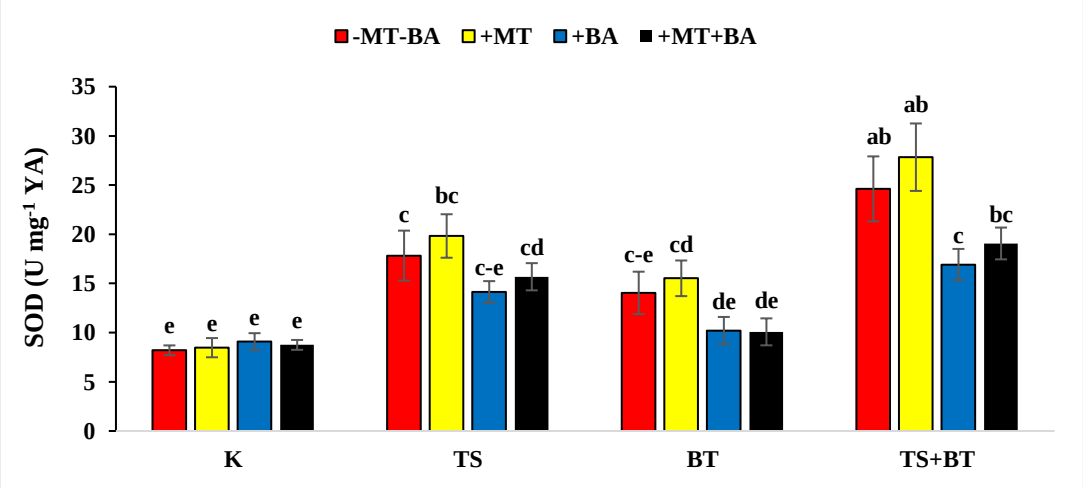
K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.37. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının CAT aktivitesi sonuçları

Stres altındaki bitkilerde zararlanmaları azaltan antioksidan enzimlerden bir olan CAT aktivitesi önemli bir enzimdir (Yaşar ve ark., 2016). Çalışmamızda MT uygulaması CAT aktivitesini arttırmış fakat BA uygulaması aktiviteyi azaltarak stres etkisini hafifletmiştir. Tuz stresi koşullarında biber bitkisinde yapılan çalışmada farklı dozlarda potasyum (K^+) uygulanmıştır. Uygulamalar sonunda tuzun CAT aktivitesini arttırdığını, fakat K^+ uygulamalarının doz artışıyla CAT aktivitesinin azaldığını belirtmişlerdir (Tuna ve Eroğlu, 2017). Domates bitkisinde yapılan bir başka araştırmada, tuz ile uygulanan potasyumun CAT aktivitesini kontrolle aynı seviyelere indirmiş ve stres etkisin hafifletmiştir (Tuna ve ark., 2017). Liu ve ark., (2022) yaptıkları çalışmada salatalık bitkisine uygulanan tuzun CAT aktivitesini arttırdığını, dışarıdan yapılan hidrojen sülfit (H_2S) uygulaması ile bu artışın daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Benzer şekilde patates bitkisinde ve yapılan diğer çalışmalarda da CAT aktivitesinin tuz uygulamaları ile arttığı tespit edilmiştir (Rahanama ve Ebrahimzadeh 2015; Kataria ve ark., 2019). Yapılan çalışmalar elde ettiğimiz bulgular ile benzerlik göstermektedir.

4.2.12. Süperoksit dismütaz (SOD) aktivitesi sonuçları

Yapılan uygulamaların bitkide antioksidan enzimlerden ve stres göstergelerinden biri olan SOD aktivitesi üzerine etkileri Şekil 4.38.'de verilmiştir. Stres uygulamalarından TS uygulaması SOD içeriğini %117.2 oranında, BT uygulaması %71.1 oranında ve çift stres (TS+BT) uygulamasında %199.9 oranında artmıştır. TS zararını azaltmak için yapılan MT uygulaması SOD içeriğini %11.2 oranında daha arttırmıştır. Fakat BA uygulaması %20.7 ve MT+BA uygulaması ise %12.1 oranında SOD içeriğini düşürmüştür. Aynı şekilde BT uygulamasına yapılan MT uygulaması SOD içeriğini %10.5 oranında arttırırken, BA ve MT+BA uygulamaları SOD içeriğini sırasıyla %27.3 ve %28.2 oranında azaltmıştır. Çift (TS+BT) stresin birlikte etkisine MT uygulaması SOD içeriğini %13.1 oranında daha arttırırken, BA ve MT+BA uygulaması %31.2 ve %22.5 oranında azaltmış ve stres etkisini hafifletmiştir. Yapılan MT uygulamasının stres ile başa çıkmak üzere SOD aktivitesini arttırdığı, BA uygulamasının ise stres etkisini azaltmasından kaynaklı SOD içeriğini düşürdüğü tahmin edilebilir. Verilen sonuçlara göre, kontrole kıyasla yapılan MT ve BA uygulamaları SOD içeriğini önemli oranda etkilemediği görülmektedir. Elde edilen bulgular istatistiki olarak önemli kabul edilmiştir ($P \leq 0.05$).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.38. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının SOD aktivitesi sonuçları

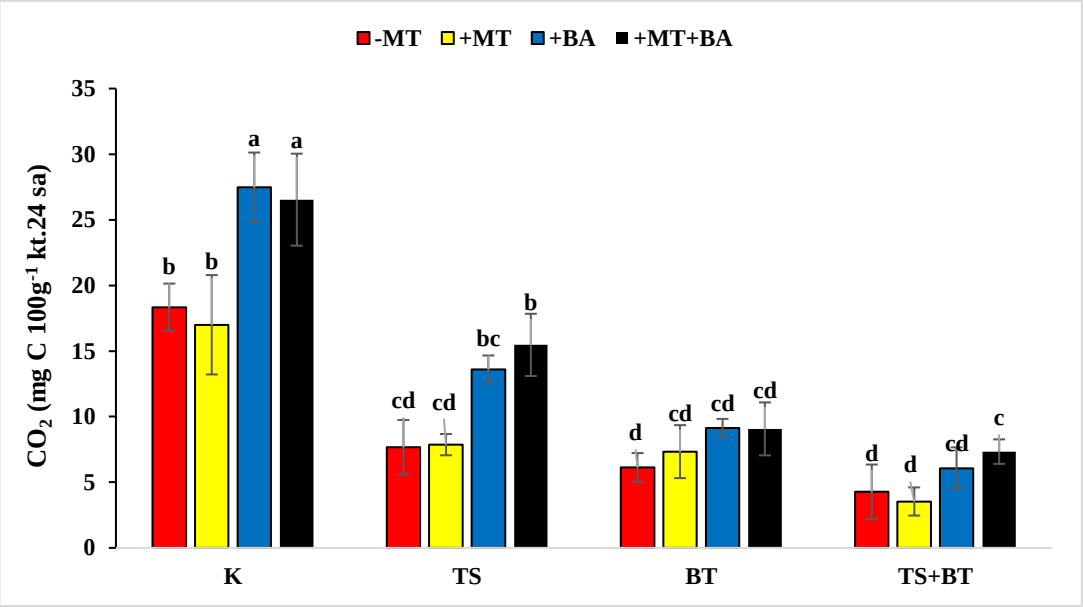
Stres faktörlerinin etkisi altında olan bitkilerde oluşan ROT'ların zararlı etkilerini gidermek amacıyla bitki bazı antioksidanların (SOD, CAT, POD) sentezini arttırmaktadır (Atıcı, 2016). SOD oluşan oksidatif strese ilk savunmayı oluşturan reaksiyonun katalizinde görev alır (Tanveer ve Shabala, 2018). Stres şartlarında bitkilerde SOD içeriği üzerine çalışmalar bulunmaktadır (Zeeshan ve ark., 2020; Akram ve ark., 2020). Kaya ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada, tuz stresinin buğday bitkisinde SOD aktivitesinin arttırdığını tespit etmişlerdir. Yapılan nitrik oksit ve hidrojen sülfür uygulamaları ile SOD aktivitesi daha fazla artarak bitki stres toleransını arttırmıştır. Yapılan bir başka araştırmada da mısır bitkisinde tuz uygulamasında SOD içeriğinin arttığını, tuz uygulamasına yapılan bakteri uygulamasında SOD artışını desteklediğini bildirmişlerdir (Atıcı, 2016). Fakat yapılan bazı çalışmalarda, patlıcan bitkisine tuz uygulamasında SOD içeriğinin etkilenmediği, bakteri aşılaması ile SOD içeriğinde artışlar olduğunu açıklayan raporlar da vardır (Fu ve ark., 2010).

4.3. Toprak Mikrobiyal Aktivite Analiz Sonuçları

Araştırmada kullanılan uygulamaların deneme sonunda toprak içerisinde bazı mikrobiyal aktivite (CO_2, DHA ve MBC) değerleri ölçülmüştür.

4.3.1. Toprak solunumu (CO_2) sonuçları

Yapılan uygulamaların CO_2 değerlerine ait sonuçlar Şekil 4.39.'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, kontrole kıyasla yapılan BA ve MT+BA uygulamaları CO_2 içeriğini yaklaşık %47 oranında arttırmış ve bu artış önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Kontrole kıyasla yapılan TS uygulaması CO_2 içeriğini %58.1, BT uygulaması %60 ve TS+BT uygulaması ise %76.2 oranında azaltmıştır.



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

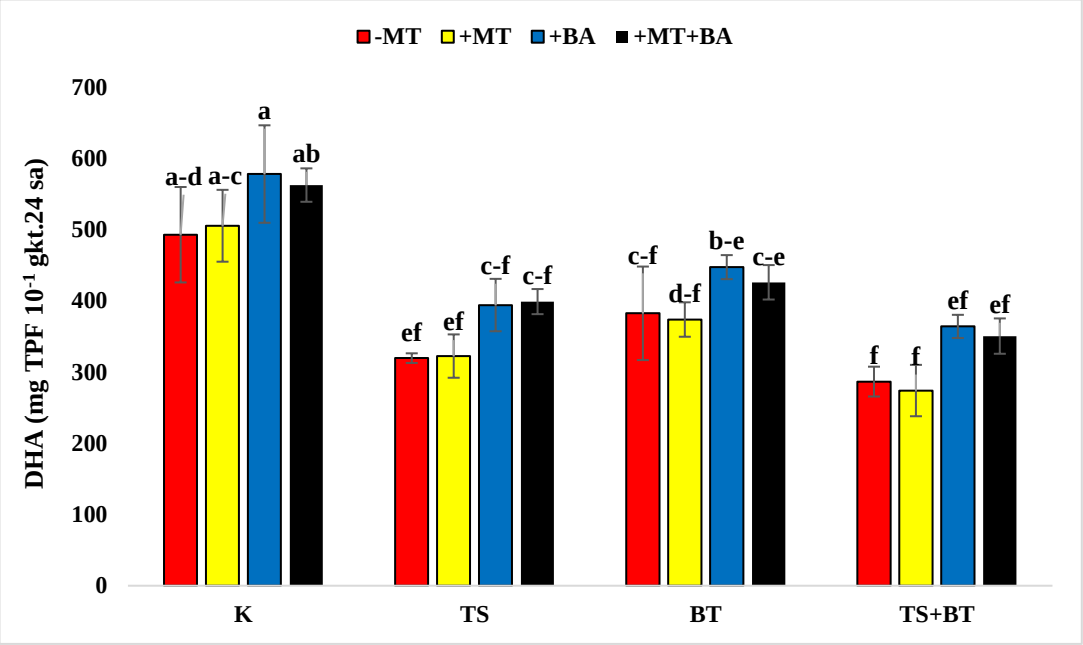
Şekil 4.39. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının toprak CO_2 aktivite sonuçları

Stres etkilerine karşı yapılan uygulamalar farklı sonuçlar vermektedir. TS uygulamasına yapılan MT uygulaması CO_2 içeriğini %2 oranında arttırmış fakat bu artış önemsiz bulunmuştur ($P \leq 0.05$). BA uygulaması %77.3 oranında ve MT+BA uygulaması da %101.7 oranında arttırmış ve bu artışlar önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). BT uygulamasına yapılan MT uygulaması %19, BA uygulaması %48.9 ve MT+BA uygulaması da %47.8 oranında arttırmıştır. TS+BT uygulamasına yapılan MT uygulaması istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. BA uygulaması %42.2 ve MT+BA uygulaması ise %71.8 oranında arttırmış ve bu artışlar da istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

4.3.2. Dehidrogenaz enzim aktivitesi (DHA) sonuçları

Yapılan uygulamaların DHA aktivitesi sonuçları Şekil 4.40.'ta verilmiştir. Kontrole kıyasla yapılan MT uygulamasının DHA içeriğini %2.5 oranında, BA uygulaması %17.2 ve MT+BA uygulaması ise %14.1 oranında arttırmış ve elde edilen değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Yapılan TS uygulaması

toprak DHA içeriğini %35.1 oranında, BT uygulaması %22.3 oranında ve TS+BT uygulaması ise %41.8 oranında düşürmüştür.



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.40. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının toprak DHA aktivite sonuçları

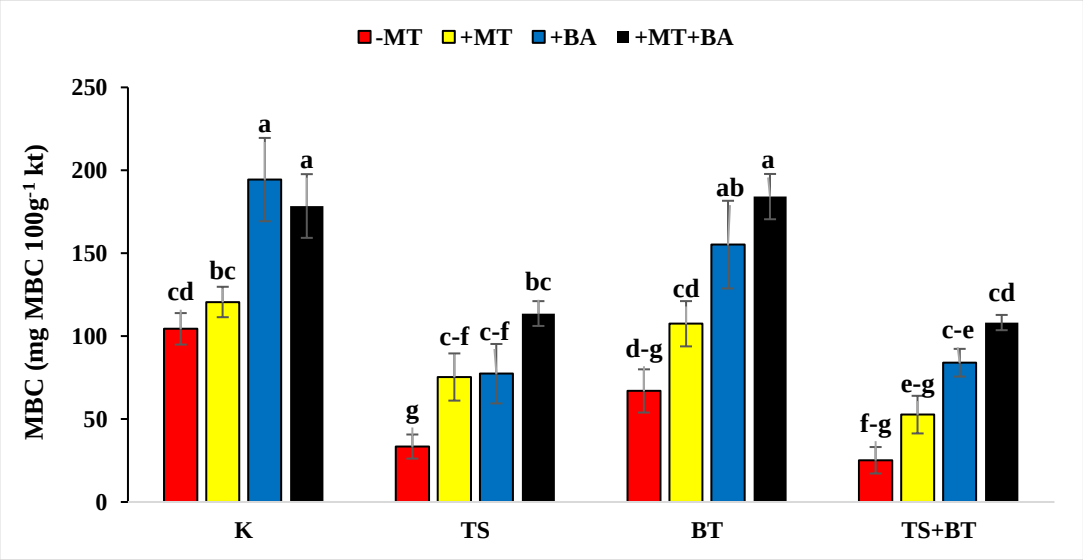
Stres etkilerine karşı yapılan uygulamalar ise DHA içeriğinin yükselmesinde etkili olmuştur. TS uygulamasına yapılan MT uygulaması DHA içeriğini %1 oranında, BA uygulaması %23.3 oranında ve MT+BA uygulaması da %24.8 oranında yükseltmiştir. BT uygulamasına yapılan MT uygulaması %2 oranında DHA içeriğini daha fazla düşürürken, BA uygulaması bu değeri %16.9 oranında, MT+BA uygulaması ise %11.4 oranında yükseltmiştir. Çift stres (TS+BT) uygulamasına yapılan MT uygulaması DHA içeriğini etkilememiştir. Fakat BA uygulaması %27.1 oranında ve MT+BA uygulaması %25 oranında yükseltmiştir. Elde edilen bu değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

Toprak mikrobiyal aktivitesi olarak DHA önemli bir göstergedir. Bu yüzden toprak mikrobiyal aktivitesi kalite analizlerinde kullanılan etkili bir göstergedir (Utobo ve Tewari, 2015; Adetunji ve ark., 2017). Tuz stresi, toprakta tuz birikmesine neden

olarak mikroorganizmaların su ve besin maddeleri alımını engeller, toksik etkilerine neden olur ve bu da mikrobiyal aktiviteyi azaltır (Kumar ve ark., 2020). Benzer şekilde, yüksek bor konsantrasyonları toksik etkiye neden olarak topraktaki mikroorganizmaların aktivitesini azaltabilir (Hua ve ark., 2021). Çalışmamızda soya bitkisine yapılan *rhizobium* bakteri aşılamasının stres altındaki bitkilerde önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir.

4.3.3. Mikrobiyal biyomas karbon (MBC) sonuçları

Yapılan uygulamaların MBC değerlerine ait sonuçlar Şekil 4.41.'de verilmiştir. Değerler incelendiğinde, kontrole kıyasla yapılan MT uygulaması %15.4, BA uygulaması %86.1 ve MT+BA uygulaması da %70.9 oranında MBC değerlerini arttırmıştır ($P \leq 0.05$). Kontrol ile karşılaştırıldığında, yapılan TS uygulaması MBC değerini %67.9, BT uygulaması %35.8 ve TS+BT uygulaması %75.9 oranında azaltmıştır.



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; MT: yapraktan 0.1mM melatonin uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.41. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada melatonin ve bakteri uygulamasının toprak MBC aktivite sonuçları

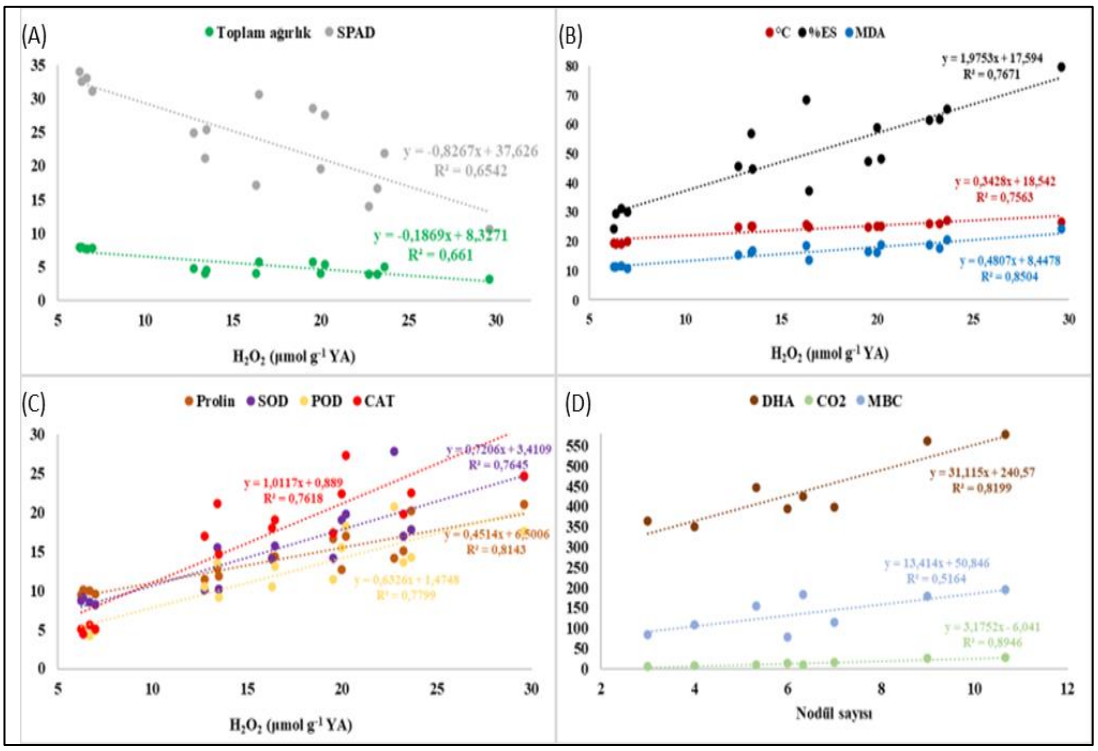
TS stres etmenine karşı yapılan MT uygulaması %125.4, BA uygulaması %131.5 ve MT+BA uygulaması da %239.9 oranında MBC değerini arttırmıştır. BT

stres etmenine karşı yapılan MT uygulaması MBC değerini %60.4, BA uygulaması %131.7 ve MT+BA uygulaması ise %174.9 oranında arttırmıştır. TS+BT uygulamasına karşı yapılan MT uygulaması %109.3 oranında, BA uygulaması ise %233.8 oranında ve MT+BA uygulaması da %330.1 oranında MBC değerini arttırmış ve elde edilen değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

Tuz stresi ve bor toksisitesi gibi stres faktörleri, toprak mikrobiyal biyomas karbon (MBC) içeriğini azaltabilir (Choudhary ve ark., 2022). Bu stres faktörleri topraktaki mikroorganizmaların aktivitelerini baskılayarak ve hatta öldürerek MBC'nin azalmasına neden olabilir (Sahab ve ark., 2021). Mahajan ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, farklı tuz içeriğine sahip topraklarda MBC aktivitelerinin değiştiğini, ancak artan tuz dozuna bağlı MBC değerinin azaldığını belirtmişlerdir. Bu çalışmamızda, tuz stresi ve bor uygulamasının MBC değerini azalttığı, yapılan uygulamalar ile artışa geçerek iyileşme sağladığı vurgulanmaktadır.

Baklagil bitkileri bor ve tuz stresi gibi stres etmenlerine hassasiyet göstermektedir (Farooq ve ark., 2017). Tuzluluk etkisi altındaki bitkilerde gelişme hızında azalmaya bağlı bazı enzimler, toplam protein ve nükleik asitler azalmaktadır. Toksik etki eden iyonlar da bitki dokularında birikerek enzim aktivitesini bozmaktadır (Das ve ark., 2016; Safdar ve ark., 2019). Aynı zamanda tuz bitkide fotosentez oranını azaltır ve respirasyonu arttırır (Che-Othman ve ark., 2020). Bütün bu olumsuzluklara ek nodül oluşumu, nodül aktivitesi ve toprak mikrobiyal aktivitesi üzerine de olumsuz etkileri vardır (Hashem ve ark., 2016). Yüksek tuz dozları ve yüksek bor seviyeleri, toprak solunumunu azaltarak mikrobiyal aktiviteyi baskılayabilir (Silva ve ark., 2021). Bu stres faktörleri, toprağın hava boşluklarını doldurarak oksijen difüzyonunu engelleyerek solunum sürecini yavaşlatabilir. Ayrıca, yüksek tuz ve bor seviyeleri, mikroorganizmaların aktivitesini inhibe ederek toprak solunumunu azaltabilir (Ben-Noah ve Friedman, 2018). Hou ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada iki stres faktörünün buğday toprağındaki solunum ve mikrobiyal topluluklar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bulgular hem bor toksisitesi hem de tuz stresinin, toprak solunumunu (CO_2) azalttığını göstermiştir. Baklagiller genel olarak *Rhizobium* bakterilerine göre strese daha hassaslardır. Fakat birlikte yaşam kurdukları baklagil bitkileri ile tuzluluğa

toleransı artmaktadır. Özellikle kurak bölgelerde izole edilen *Rhizobium* türleri daha dayanaklıdır (Etesami ve Adl, 2020). Altunkaynak ve Ceylan (2018) fasulye bitkisinde farklı azot dozları ve bakteri (*Bradyrhizobium japonicum*) aşılamasının tane verimi ve verim özellikleri üzerine etkisini incelenmişlerdir. Sonuç olarak, bitkilerde azot dozunun artması tane verimi ve diğer verim özelliklerini artırdığı ancak bakteri aşılamasının da aynı şekilde etkili olduğu bulunmuştur. Elde ettiğimiz sonuçlar yapılan benzer çalışmalar ile örtüşmektedir (Ndeddy Aka ve Babalola, 2016; Wei ve ark., 2018b).



Şekil 4.42. H_2O_2 içeriğinin diğer diğer stres parametreleri ile ilişkisi (A, B, C), Nodül oluşumunun mikrobiyal aktiviye etkisi (D)

Soya bitkisinde yapılan 2. denemede bitki analizleri arasında yapılan korelasyon analizi sonuçlarına göre (Şekil 4.42.), stres sonucu oluşan H_2O_2 ile bitki toplam ağırlığı arasında (r:-0.909 p: 0.000) ve spad değerleri arasında (r: -0.949 p: 0.000) anlamlı negatif güçlü korelasyon bulunmaktadır. Diğer parametrelerde ise H_2O_2 ile %ES arasında (r:0.876 p: 0.000), MDA arasında (r:0.931 p: 0.000), prolin arasında (r:0.775 p: 0.000), SOD arasında (r:0.767 p: 0.001), POD arasında (r: 0.764 p: 0.001), CAT arasında (r: 0.792 p: 0.000) ve sıcaklık değerleri arasında (r: 0.854 p: 0.000) anlamlı

pozitif güçlü korelasyon olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre, H_2O_2 ile bitki toplam ağırlığı ve spad parametreleri ile ters yönde ilişki bulunurken, diğer parametrelerle arasında doğru yönde ilişkisi olduğu sonucuna varılmaktadır.

Soya bitkisinde bakteri aşılamasının mikrobiyal aktivite etkileri arasında yapılan korelasyon analizi sonuçlarına göre (Şekil 4.42.), bakteri aşılamasının olumlu göstergelerinden olan nodul sayısı ile DHA arasında (r:-0.905 p: 0.002), CO_2 arasında (r: 0.946 p: 0.000) ve MBC arasında (r: 0.718 p: 0.045) anlamlı pozitif güçlü korelasyon bulunmaktadır. Nodül sayısı ile mikrobiyal parametreler arasında doğru yönlü ilişki bulunmaktadır.

4.4. Üçüncü Deneme Sonuçları

Toprak ortamında gerçekleştirilen bu deneme soya bitkisinde kurulmuştur. İkinci denemede kullanılan melatonin yerine salisilik asit kullanılmış ve diğer uygulamalar sabit kalmıştır. Deneme sonunda, ikinci denemeye ek olarak bitkide bazı element analizleri de yapılmıştır. Bitkideki fizyolojik analizler arttırılmıştır. Toprak mikrobiyal aktivitesi ile ilgili aynı analizler yapılmıştır.

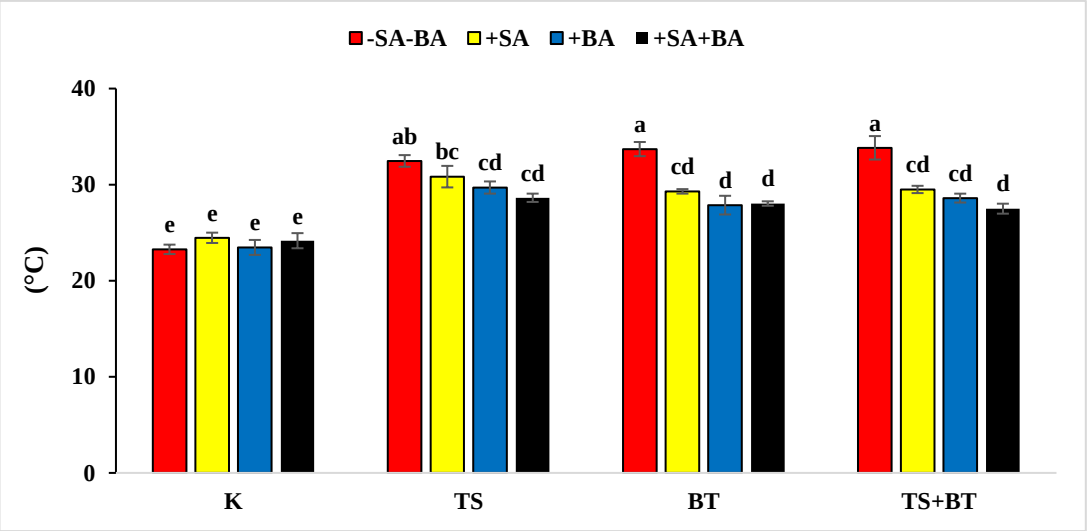
4.4.1. Termal kamera görüntüleri

Üçüncü denemede FLIR T450 termal kamera kullanılarak soya bitkisinin termal görüntüleri alınmış ve bitki sıcaklıkları not edilmiştir. Termal kamera ve normal görüntülerden bazı örnekler Şekil 4.43.'te verilmiştir.



Şekil 4.43. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının termal görüntüleri ve normal görüntüleri

Uygulamaların bitki sıcaklık değerleri Şekil 4.41.'de verilmiştir. Bitki termal görüntülerinden elde edilen yaprak sıcaklık sonuçları incelendiğinde, stres uygulanmayan, kontrol, SA, BA ve SA+BA uygulamalarında en düşük sıcaklık değerleri bulunmuştur. TS uygulaması kontrol uygulaması ile kıyaslandığında ortalama sıcaklığı %39.5, BT uygulaması %44.8 ve TS+BT uygulaması da %45.4 oranında artışa sebebiyet vermiştir ($P \leq 0.05$).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

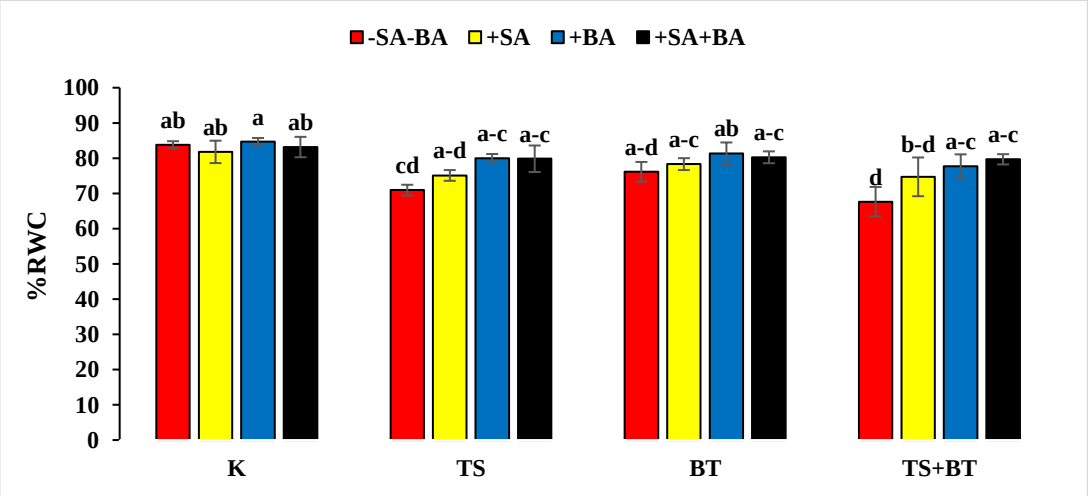
Şekil 4.44. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının termal kamera sıcaklık sonuçları

TS uygulamasını karşı yapılan SA, BA ve SA+BA uygulamaları TS ile kıyaslandığında sıcaklığı sırasıyla %5, 8.5 ve 11.8 oranında düşürmüştür. BT'nin olumsuz etkilerini gidermek için yapılan SA, BA ve SA+BA uygulamaları sıcaklıkları sırasıyla %13, 17.3 ve 16.8 oranında düşürmüştür. TS+BT uygulamasına yapılan uygulamalar ise sıcaklık değerlerini aynı sırayla %12.8, 15.5 ve 18.7 oranında düşürmüştür. Elde dilen değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

Genel anlamda susuzluk üzerine termal görüntülerin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Abiyotik streslerin bitkilerde verdiği tepkilerden biri de ısı değişimleridir. Bu ısı değişimleri bitkide meydana gelen fizyolojik olayları etkileyen bir etmendir (Zhou ve ark., 2021). Susam bitkisinde yapılan bir çalışmada 3 farklı su stresinde bitkilerden termal görüntüler alınmıştır. Alınan sıcaklık değerlerinde stres artışının bitkide terlemeyi engelleyerek sıcaklığı arttırdığı tespit edilmiştir (khorsandi ve ark. 2018). Yousefzadeh Najafabadi ve Ehsanzadeh (2017) yaptıkları çalışmada iki farklı su stresine yapılan salisilik asit uygulamasının bitkide zarar gören birçok parametrede iyileşme sağladığı rapor edilmiştir. Çalışmamızda tuz stresine bağlı olarak oluşan osmotik basınçta bitkide susuzluğa neden olması ile bitki sıcaklıklarının artışa geçtiği de görülmektedir. Buna benzer çalışmalar denememizi destekler niteliktedir (Egea ve ark., 2017; Khorsandi ve ark., 2018).

4.4.2. Yaprak su doygunluğu (%RWC) analiz sonuçları

Yapılan uygulamaların deneme sonunda yaprak su doygunluk (%RWC) oranlarına bakıldığında (Şekil 4.45.); kontrole kıyasla yapılan TS uygulaması %RWC değerini %15.3, BT uygulaması %9.1 ve TS+BT uygulamasıda %19.2 oranında düşürmüştür. TS uygulamasına yapılan SA uygulaması %5.8, BA uygulaması %12.8 ve SA+BA uygulaması ise %12.5 oranında artışlar sağlamıştır. BT uygulamasına yapılan SA uygulaması %2.8, BA uygulaması %6.8 ve SA+BA uygulaması ise %5.3 oranında artışlar sağlamıştır. TS+BT uygulamasına yapılan SA uygulaması %10.4, BA uygulaması %14.9 ve SA+BA uygulamasıda %17.7 oranında arttırmış ve sonuçlar önemli bulunmuştur (P≤0.05).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

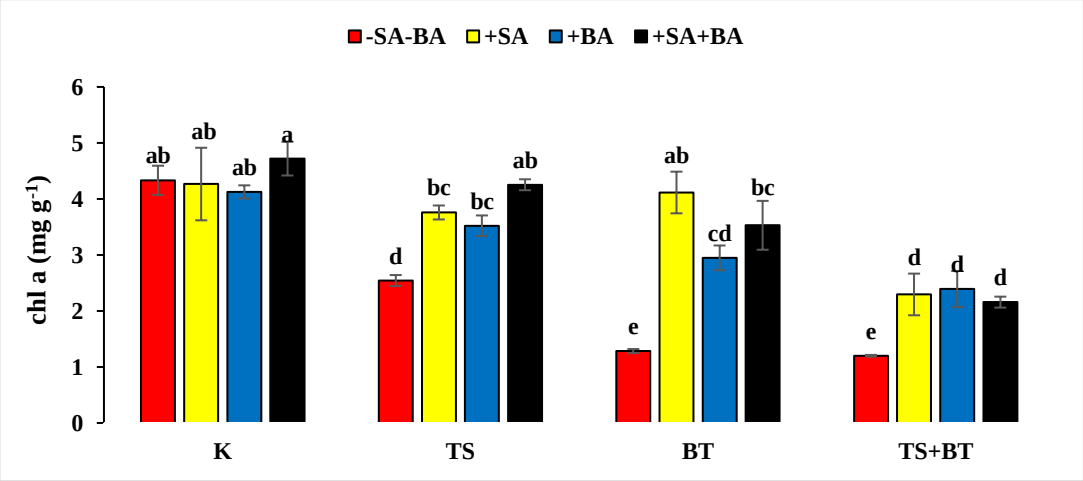
Şekil 4.45. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının %RWC içeriği sonuçları

%RWC değer ile ilgili Salisilik asit ve mikro canlıların kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Soyada farklı dozlarda tuz stresinin etkilerine karşı 4 farklı dozda salisilik asit uygulaması yapılmıştır. Tuzun bitkide %RWC değerini düşürdüğü ve yapılan salisilik asit uygulamaları ile bu zararın indirgendiği tespit edilmiştir (Kurt, 2020). Asma bitkisinde yapılan bir çalışmada farklı tuz dozlarına maruz kalan bitkilerde yaprak su potansiyelinin azaldığı ve yaprak su doygunluk oranının düştüğü

bulunmuştur (Vandelle ve ark., 2018). Akrami ve Arzani (2018) tuz uygulamasının kavun bitkisinde oluşan etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlar, yüksek tuz dozunun bitki yapraklarının su içeriğini azalttığını ve bitki stres seviyesi arttıkça %RWC'nin azaldığını göstermektedir. Elde edilen bulgularda %RWC'nin bitki stresinin bir göstergesi olarak kullanılabilir olduğunu vurgulamaktadır. Tuz stresinin olumsuz etkilerinin araştırıldığı bazı çalışmalarda, farklı AMF türlerinin tuz olumsuz etkilerini azalttığı ve %RWC değerini yükselttiği rapor edilmiştir (Kumar ve ark., 2015; Altunlu, 2019).

4.4.3. Klorofil a, klorofil b ve karotenoid analiz sonuçları

Soya bitkisinde klorofil içeriklerinin incelenmesi amacıyla, bitkiler hasat edilmeden önce yaprak örnekleri alınmış ve analizlere tabi tutulmuştur.

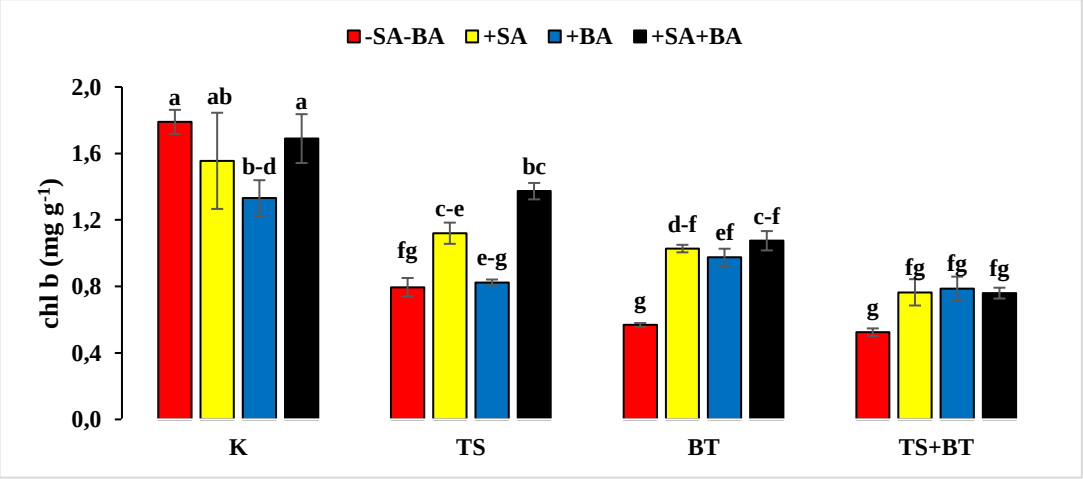


K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.46. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının klorofil a içeriği sonuçları

Uygulamalarımızın soya bitkisi klorofil a değerleri Şekil 4.46.'da verilmiştir. Kontrol uygulamasına kıyasla yapılan SA ve BA uygulamaları tek başlarına bitki klorofil a içeriğini önemli oranda etkilememiştir. Fakat SA ve BA'nın birlikte uygulaması klorofil a değerini %8.9 oranında arttırmıştır ve bu artış en iyi sonuç olarak bulunmuştur. Kontrol uygulamasına kıyasla uygulanan stres parametrelerinden TS

kontrole göre klorofil a değerini %41.3, BT uygulaması %70.3 ve TS+BT birlikte uygulaması ise %72.2 oranında düşürmüştür. Stres etkilerine karşı yapılan SA ve BA uygulamaları bu değerleri önemli oranda arttırmıştır. TS uygulamasına yapılan SA uygulaması klorofil a değerini %47.7, BA uygulaması %38.4 ve SA+BA uygulaması ise bu değeri %67.2 oranında artırarak stresin olumsuz etkisini hafifletmiştir. BT uygulamasının yapılan SA uygulaması klorofil a değerini %220.5, BA uygulaması %129.6 ve SA+BA uygulaması da %174.8 oranında arttırmıştır. Çift strese (TS+BT) karşı yapılan SA uygulaması %91.2, BA uygulaması %99.2 ve SA+BA uygulaması da %79.7 oranında klorofil a değerini arttırarak stresten meydana gelen olumsuz etkiyi azaltmıştır. Bu değerler istatistiki olarak da önemli bulunmuştur (P≤0.05).

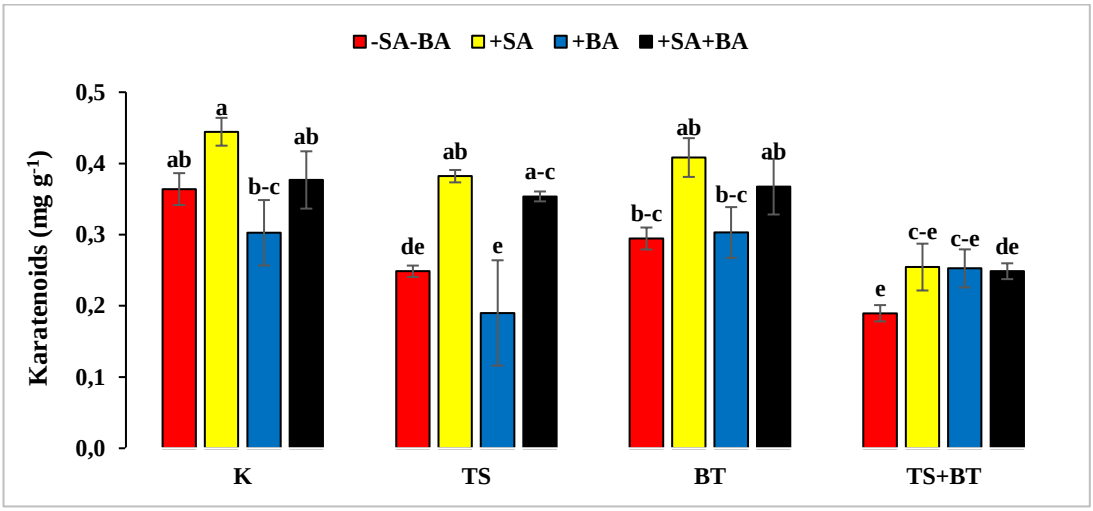


K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.47. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının klorofil b içeriği sonuçları

Yapılan uygulamaların klorofil b içeriği sonuçları incelendiğinde (Şekil 4.47.); stres etkisi alında olmayan bitkilerde yapılan SA ve BA uygulamaları klorofil b içeriğinde dalgalı sonuçlar verdiği görülmüştür. En yüksek sonuçlar kontrol ve SA+BA uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Stres parametrelerinden TS uygulaması kontrole göre %55.6, BT uygulaması %68.2 ve TS+BT uygulamasıda %70.2 oranında azaltmıştır. TS uygulamasına karşı yapılan SA klorofil b içeriğini %40.9, BA uygulaması %3.6 ve SA+BA uygulaması da %72.8 oranında arttırmıştır. BT uygulaması karşı yapılan SA bu içeriği %80.8, BA uygulaması %71.6 ve SA+BA uygulamasıda %89.1 oranında arttırmıştı. Çift strese karşı yapılan SA, BA ve SA+BA

uygulamaları sırasıyla %45.7, %50.1 ve %44.9 oranında klorofil b içeriğinde artış sağlamış ve bu sonuçlar istatistiki olarak da önemli bulunmuştur (P≤0.05).

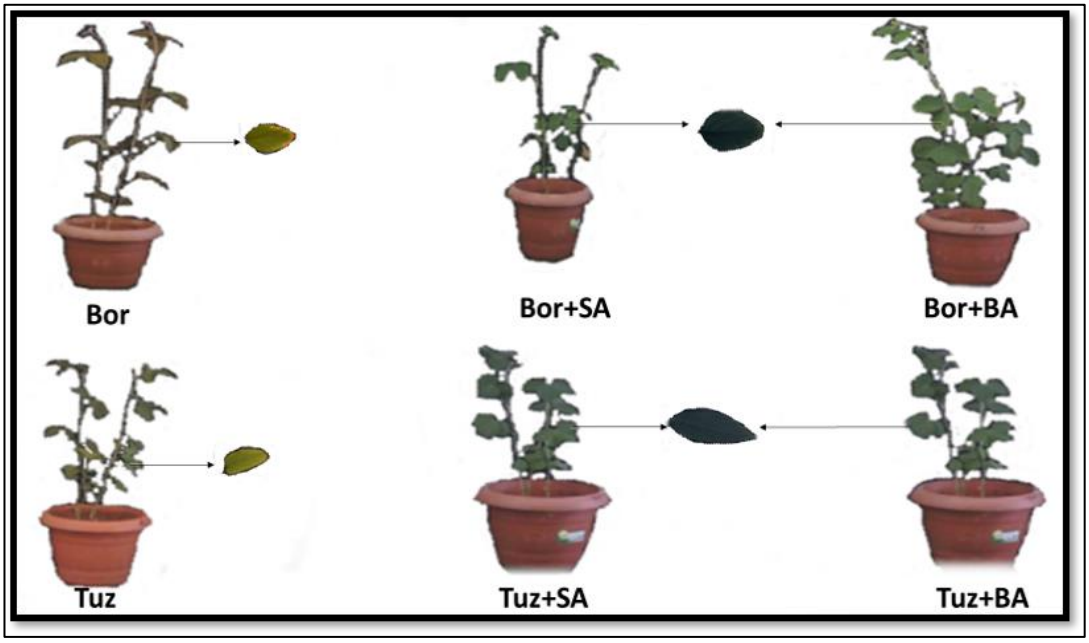


K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.48. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının karotenoid içeriği sonuçları

Uygulamaların soyada karotenoid sonuçları Şekil 4.48.'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde stres uygulanmamış konular arasında BA uygulaması kontrole göre %16.8 oranında azaltırken, SA uygulaması %8.8 oranında arttırmıştır. TS uygulaması kontrole kıyasla karotenoid içeriğini %31.7, BT uygulaması %19.1 ve TS+BT uygulamasıda %47.9 oranında düşürmüştür. TS uygulamasına yapılan SA uygulaması karotenoid içeriğini %53.7 ve SA+BA uygulamasıda %42.2 oranında arttırırken BA uygulaması %23.5 oranında azaltmıştır. BT uygulamasına yapılan SA uygulaması %49.9, BA uygulaması %2.8 ve SA+BA uygulamasıda %24.6 oranında karotenoid içeriğini arttırmıştır. TS+BT uygulamasına yapılan yapılan SA ise bu değeri %34.2, BA %33.2 ve SA+BA uygulamasıda %31.1 oranında arttımıştır. Yapılan uygulamaların karotenoid içeriğinde dalgalı sonuçlar verdiği görülmektedir. Genel olarak yapılan SA, BA ve SA+BA uygulamaları karotenoid içeriğinde önemli etkileri olmuştur (P≤0.05). Soya bitkisine yapılan uygulamalardan bazı görüntüler Şekil 4.46.'da verilmiştir.

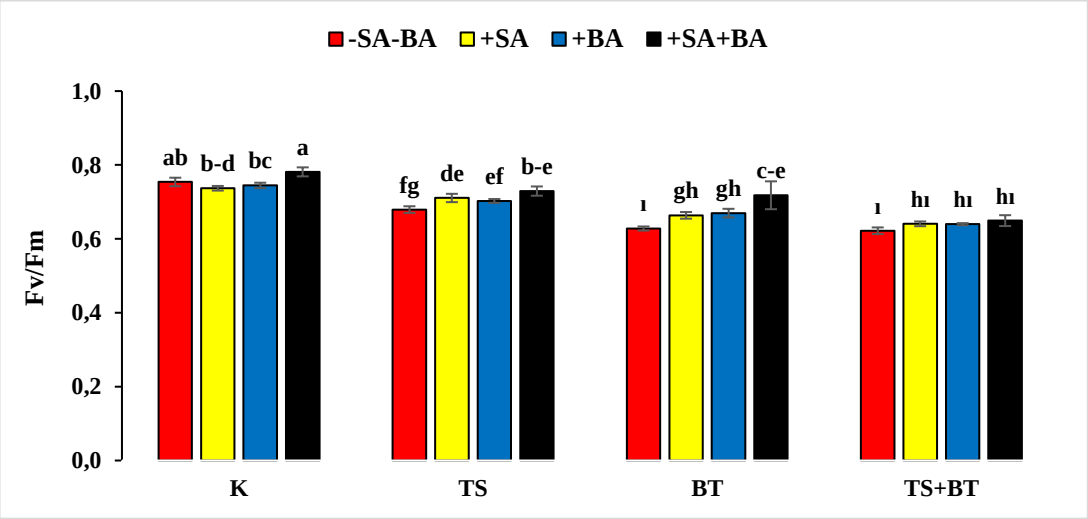
Çalışmamızda tuz ve borun, klorofil a, b ve karotenoid gibi fotosentetik pigmentleri önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Yapılan uygulamalardan salisilik asit uygulaması bakteri aşılamasına göre pigmentler üzerinde daha etkin olduğu belirlenmiştir. Stres şartları altında bitkilerin klorofil içerikleri hakkında bilgi veren birçok çalışma bulunmaktadır (Taïbi ve ark., 2016; Arshad ve ark., 2016; Salehi ve ark., 2016). Abiyotik stres koşulları altında soya bitkisinin klorofil içeriklerinde kloroz oluşumuna bağlı olarak önemli ölçüde azalmalar olduğu farklı çalışmalarda bildirilmiştir (Santos ve ark., 2018; Yarra ve Wei, 2021; Calzada ve ark., 2022). Buğday bitkisinde bor toksisitesi ve tuz stresi etkilerinin araştırıldığı bir araştırmada, çift stresin bireysel streslere göre bitki klorofil içeriklerini daha fazla azalttığı bildirilmiştir (Naz ve ark., 2019). Ayrıca mısır bitkisinde farklı bor konsantrasyonlarının bitkide klorofil birikimini azalttığı tespit edilmiştir (Ogunwole ve ark. 2015). Domates bitkilerinin klorofil içerikleri üzerinde bor stresi ve mikoriza uygulamalarının etkilerinin araştırıldığı bir başka çalışmada, bor stresinin domates bitkilerinin klorofil içeriklerini düşürdüğünü, ancak AMF uygulamasının bu etkiyi hafiflettiğini göstermektedir (Turhan, 2021). Benzer sonuçlar biberde (Sarafi ve ark., 2018) ve buğdayda (El-Shazoly ve ark., 2019) elde edilmiştir.



Şekil 4.49. Soya bitkisine SA ve BA uygulamalarının etkileri

4.4.4. Fotosistem II etkinliği (Fv/Fm)

Yapılan uygulamalarda deneme sonlanmadan önce bitkilerde fotosistem II'nin maksimum ışık yakalama etkinliği ölçülmüştür (Şekil 4.50.). Elde edilen sonuçlarda kontrole kıyasla en yüksek değer SA+BA uygulamasında bulunmuştur. TS uygulaması kontrol uygulamasına göre %9.9, BT ve TS+BT uygulamaları ise sırasıyla %16.7 ve %17.5 oranında düşürmüştür. TS uygulamasına yapılan SA bu değeri %4.6, BA %3.4 ve SA+BA uygulaması da %7.3 oranında arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan SA %5.6, BA %6.6 ve SA+BA uygulaması ise %14.3 oranında arttırmıştır. TS+BT stres etkilerine yapılan SA ve BA uygulamaları ortalama %3 yükseltmiş, SA+BA uygulaması ise %4.4 oranında arttırmış ve bu artışlar önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

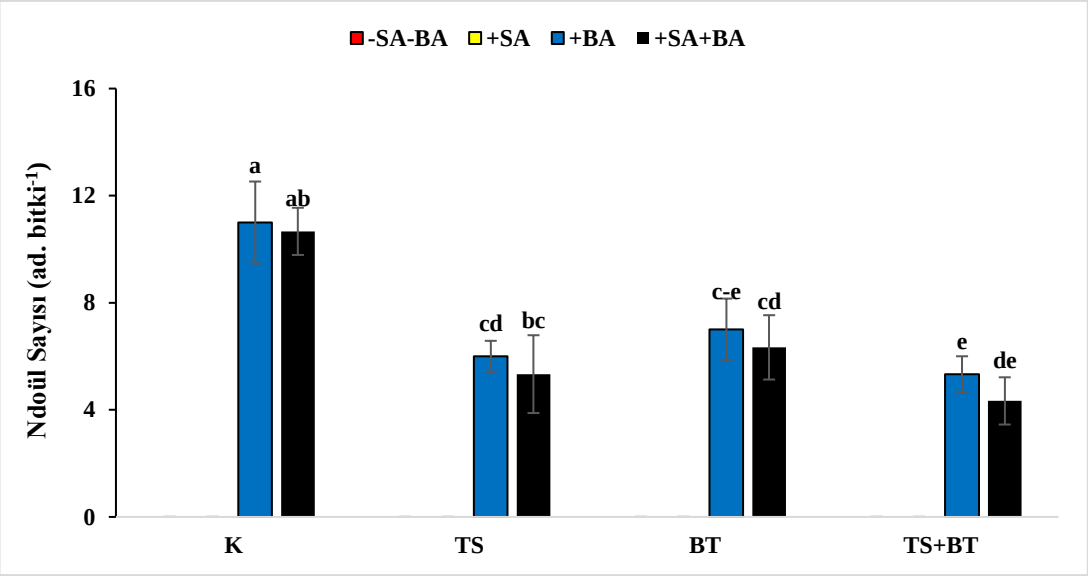
Şekil 4.50. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının Fv/Fm sonuçları

Fotosistem II'nin kuantum verim etkinliğinin yapılan ölçümler ile genellikle 0.75 il 0.85 arasında yeterli olduğu kabul edilmektedir (Markulj Kulundžić ve ark., 2021). Çalışmamızda tuz ve bor stres koşulları altında bitkilerin klorofil içeriğinde olduğu gibi Fv/Fm değerleri de etkilenmiş ve azalmıştır. Yapılan uygulamalarla Fv/Fm değeri daha az etkilenmiştir. Mısır ve ayçiçeğinde yapılan benzer çalışmalar ile bu durum desteklenmektedir (Mustafa etal., 2018, Ramadan ve ark., 2019). Bu durum yapılan uygulamalar ile antioksidan artışı ve buna bağlı olarak bitkide oluşan ROS'u

temizlenmesi ile açıklanabilir (Ali ve ark., 2019; Rizwan ve ark., 2019). Biber bitkisinde yapılan bir çalışmada kurşun stresinin etkileri araştırılmıştır. Kurşun uygulaması bitkide Fv/Fm değerini azalttığı ve yapılan salisilik asit uygulaması ile bu azalmanın gerilediği rapor edilmiştir (Kaya, 2021). Olivera ve ark. 2020'de yaptıkları bir çalışmada, bor toksisitesi altında bezelye bitkisine yapılan silicon ve salisilik asit uygulamalarının etkisini araştırmışlardır. Bor toksisitesi Fv/Fm değerinde düşüş olduğu yapılan uygulamalar ile değerin kontrol seviyesine ulaştığı belirtilmiştir. Konu ile alakalı yapılmış çalışmalarda araştırmamızı destekler niteliktedir (Kaya ve ark., 2020; Kaya ve ark., 2022).

4.4.5. Nodül sayısı sonuçları

Deneme sonunda hasat edilen bitkilerde uygulamaların nodül sayısına etkileri Şekil 4.51.'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde BA uygulaması yapılmayan saksılarda bitki köklerinde nodül oluşumu gerçekleşmemiştir. Stres olmadan yapılan bakteri aşılanmasında 11 nodül oluşmuş ve en yüksek sonuç bulunmuştur. TS uygulamasına yapılan bakteri aşılamasında 6 nodül oluşmuş, TS+SA+BA uygulamasında ise ortalama 5.33 nodül elde edilmiştir. BT uygulamasına yapılan BA ise bitkilerde ortalama 7 nodül oluşmuştur. BT uygulamasına SA+BA uygulamasında ise 6.33 nodül belirlenmiştir. TS+BT uygulamasına BA aşılaması da 5.33 nodül oluşmuş ve SA+BA uygulamasında ise 4.33 oluşmuştur. SA uygulamasının nodül oluşumunda önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



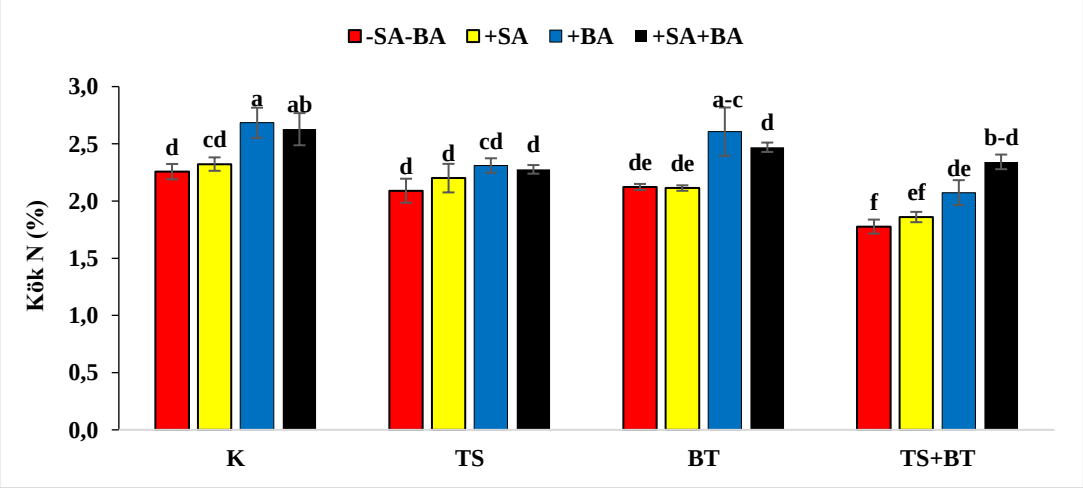
K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.51. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının nodül sayısı sonuçları

Çalışmamızda elde ettiğimiz nodül sayısı sonuçlarına baktığımızda, aşılama yapılmayan saksılarda nodül oluşumuna rastlanmaması önemli bir bulgudur. Bu sonuçlara bakılarak toprak içerisindeki mikrobiyal (Rhizobiyal) aktivitenin yetersiz olduğu yorumu yapılabilir. Bu konuda yapılmış çalışmalar mevcuttur (Baveye ve ark., 2018; Nannipieri ve ark., 2018). Birçok çalışma göstermiştir ki bakteri aşılaması kontrol ile kıyaslandığında nodül oluşumunu arttırmış ve bu sonuçlar önemli bulunmuştur (Abd-Alla ve ark., 2019; Abdiev ve ark., 2019). Farklı konsantrasyonlarda tuz uygulanan bir çalışmada, üçlü mikrobiyal aşılama yapılmış ve etkileri incelenmiştir. Artan tuz dozu bitkide nodül olışumunu azalttığı en yüksek dozda (150mM) nodül oluşmadığı belirtilmiştir (Etesami ve Adl, 2020). Stres altında yapılan farklı aşılamalar ile nodül oluşumu teşvik edilip arttığı rapor edilmiştir (Abd-Alla ve ark., 2019). Bu çalışmamızda stres şartlarının nodül oluşumunu azalttığı da tespit edilmiştir. Bu durumun bakteri kolonizasyonuna etki etmesi ile açıklanabilir. Dışarıdan SA uygulamasının nodül sayısına önemli bir etki yapmadığı da bulunmuştur.

4.4.6. Kök+nodül azot sonuçları

Yapılan uygulamaların kök azot içerikleri Şekil 4.52.'de verilmiştir. Stres bulunmayan saksılarda yapılan BA uygulamasının kök N içeriğini kontrol göre %18.9 ve SA+BA uygulaması da %16.4 oranında arttırmıştır. TS uygulaması kontrole göre kök N içeriğini %7.4, BT uygulaması %5.9 ve TS+BT uygulaması %21.2 oranında düşürmüştür. TS uygulamasına yapılan BA uygulaması kök N içeriğini %10, SA+BA uygulaması %8.9 oranında arttırmıştır. BT etkisine yapılan BA ve SA+BA uygulamaları ise bu değeri sırasıyla %22.7 ve %16.1 oranında arttırmıştır. Çift strese yapılan BA uygulaması %16.6 ve SA+BA uygulaması da %31.2 oranında artış sağlamıştır. SA uygulaması tek başına önemli bir etkide bulunmamıştır. Bu değerler istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

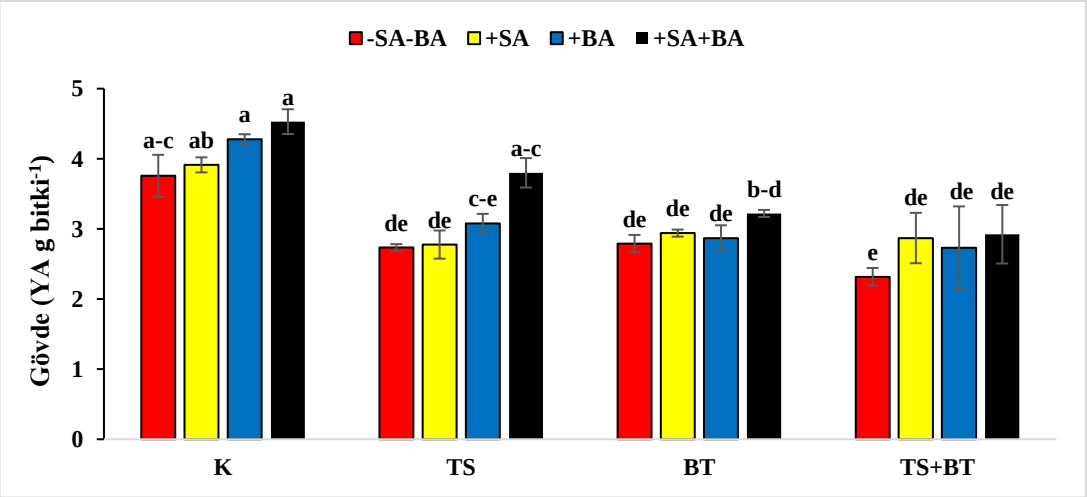
Şekil 4.52. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının kök+nodül N (%) içeriğine etkileri

Çalışmamızın kök+nodül N sonuçları, soyada bakteri aşılamasına bağlı olarak gerçekleşen azot fiksasyonunun bir etkisidir. Aşılama yapılmayan parametrelerde nodül oluşumunun gerçekleşmemiş olması kök N içeriğini de etkilemiştir. Soya üretimi için daha önce aşılanmamış topraklarda azot fiksasyonundan söz edilemez (Carciochi ve ark., 2019). Kibido ve ark. (2020) kuraklık etkisindeki soya bitkisinde

aşılamanın etkisine bakmışlardır. Kuraklık altında aşılamanın bitkide kök azot içeriğini arttırdığını tespit etmişleridir. Yavaş ve ünay (2018) sıcaklığın kök nodül ve azot fiksasyonuna etkisini inceledikleri araştırmada, yüksek sıcaklığın kök ve nodül oluşumunu ve azot fiksasyonunu olumsuz yönde etkilediğini göstermişlerdir. Yaptığımız çalışma stres etkilerinde kök azot içerikleri düşerken, yapılan aşılama ile artışa geçmiştir. Çalışmamıza benzer bir çalışma olmadığından sonuçlarımız literatüre katkı niteliği taşımaktadır.

4.4.7. Yaş ve kuru ağırlıkları

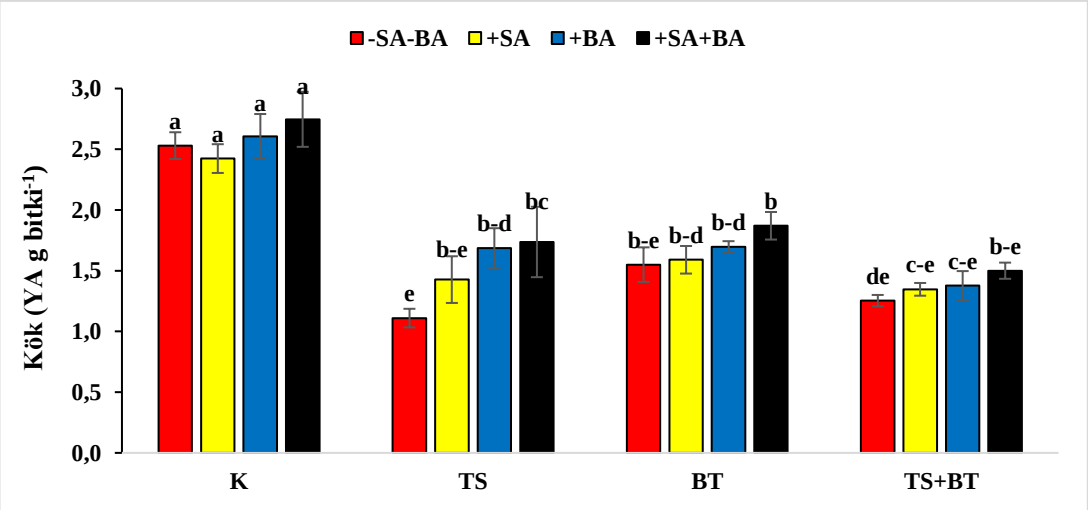
Uygulamaların bitki gövde yaş ağırlıkları incelendiğinde (Şekil 4.53.); kontrole göre en yüksek değerler BA ve SA+BA uygulamasında bulunmuştur. Bitkiler stres etkisi altında ise yaş ağırlıkta önemli kayıplar yaşamışlardır. TS uygulaması kontrole kıyasla %27.2 oranında, BT uygulaması %25.7 oranında ve TS+BT uygulaması ise %38.3 oranında gövde yaş ağırlığını düşürmüştür. TS stresine yapılan SA uygulaması stresin oluşturduğu düşüşü %1.6, BA uygulaması %12.7 ve SA+BA uygulaması da %39 oranında arttırmıştır. BT stres etkisine karşı SA uygulaması %5.4, BA uygulaması %2.8 ve SA+BA uygulaması da %15.4 oranında arttırmıştır. TS+BT stresine karşı SA uygulaması gövde yaş ağırlığını %23.8, BA uygulaması %17.8 ve SA+BA uygulaması da %26.2 oranında arttırarak stresin olumsuz etkilerini azaltmışlardır. Bu sonuçlarımız istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.53. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının gövde yaş ağırlık sonuçları

Uygulamaların soya bitkisi kök yaş ağırlığına etkileri Şekil 4.54.'te verilmiştir. Kök yaş ağırlıkları incelendiğinde kontrol dışında yapılan SA ve BA uygulamaları önemli bir değişiklik sağlamamıştır. Kontrole yapılan stres etkilerinden TS uygulaması kök yaş ağırlığını %56.1, BT uygulaması %38.7, TS+BT uygulaması ise %50.5 oranında düşürmüştür. TS stresine yapılan SA uygulaması %28.5, BA uygulaması %51.9 ve SA+BA uygulaması da %56.5 oranında kök yaş ağırlığını yükseltmiştir. BT stresine yapılan SA uygulaması ise %2.5, BA uygulaması %9.4 ve SA+BA uygulaması ise %20.6 oranında yükseltmiştir. Çift strese (TS+BT) yapılan SA uygulaması %7.4, BA uygulaması %9.8 ve SA+BA uygulaması %19.7 oranında yükseltmiş ve elde edilen sonuçlar istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

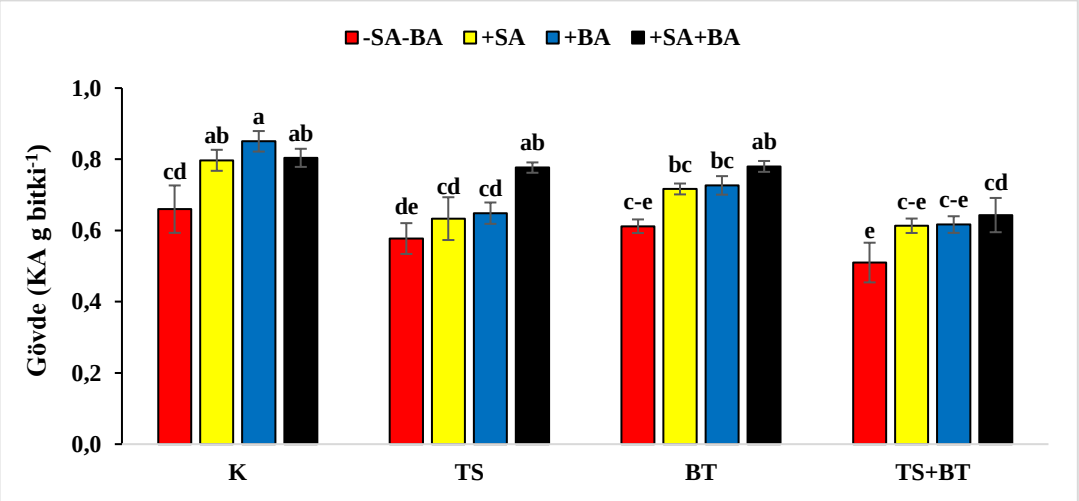


K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.54. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının kök yaş ağırlık sonuçları

Uygulamaların soya bitkisi gövde kuru ağırlığı sonuçlarına bakıldığında ise (Şekil 4.55.), kontrole kıyasla yapılan BA uygulaması gövde kuru ağırlığında %28.9, SA uygulaması %20.5 ve SA+BA uygulaması da %21.4 oranında arttırmış ve bu artış önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). TS uygulaması gövde kuru ağırlığını %12.5, BT

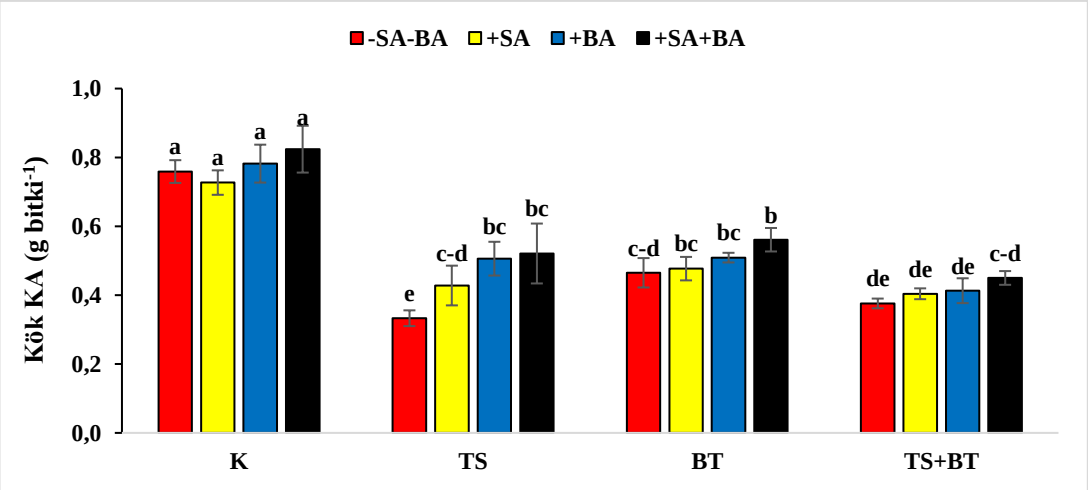
uygulaması %7.3 ve TS+BT uygulaması da %22.7 oranında düşüşe neden olmuştur. TS uygulamasına karşı SA yapılması gövde kuru ağırlığını %9.6, BA uygulaması %12.2 ve SA+BA uygulaması ise %34.4 oranında arttırmıştır. BT uygulamasına karşı SA uygulaması %17.2, BA uygulaması %18.7 ve SA+BA uygulaması da %27.4 oranında arttırmıştır. TS+BT uygulamasına karşı SA uygulaması gövde kuru ağırlığını %20.2, BA uygulaması %20.9 ve SA+BA uygulaması da %26.1 oranında arttırmış ve bu değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur (P≤0.05).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.55. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının gövde kuru ağırlık sonuçları

Yapılan uygulamaların bitki kök kuru ağırlığına olan etkileri de Şekil 4.56.'da verilmiştir. SA ve BA uygulamaları ayrı ayrı ve birlikte yapıldığında kontrol bitkisinde önemli bir değişime neden olmamıştır (P≤0.05). Uygulanan TS ise kök kuru ağırlığını kontrole kıyasla %56.4 oranında, BT uygulaması %38.7 oranında ve TS+BT uygulaması da %50.5 oranında azaltmıştır.



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.56. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının kök kuru ağırlık sonuçları

TS stres etkisine karşı yapılan SA uygulaması kök kuru ağırlığını %28.5, BA uygulaması %51.9 ve SA+BA uygulaması ise %56.5 oranında arttırmıştır. BT uygulamasına karşı yapılan SA uygulaması ise %2.5, BA uygulaması %9.4 ve SA+BA uygulaması da %20.6 oranında arttırmıştır. TS+BT uygulamasına karşı yapılan SA uygulaması %7.5, BA uygulaması %9.8 ve SA+BA uygulaması da %19.6 oranında arttırmış ve stresin olumsuz etkisini hafifletmiştir. Değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

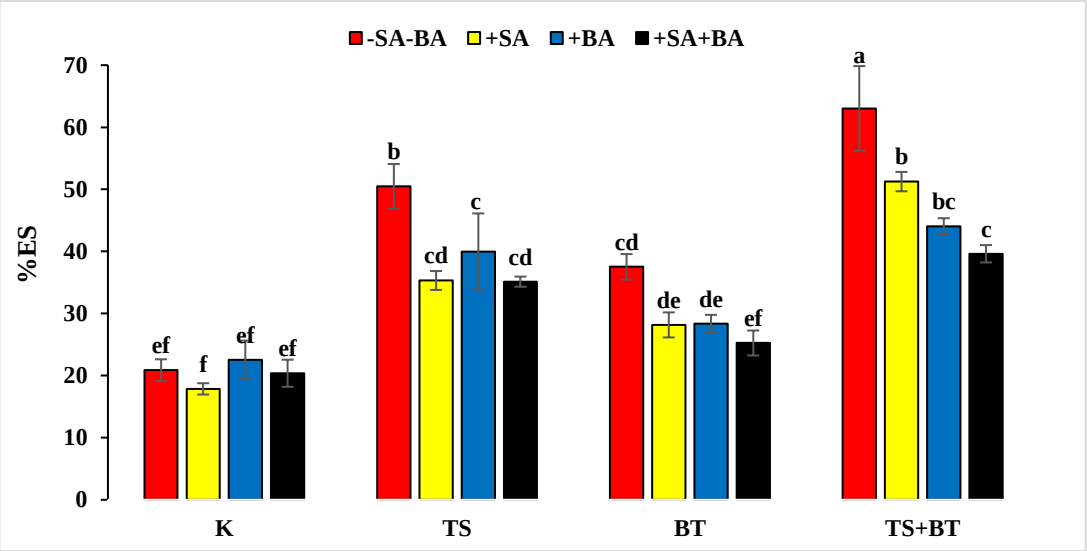
Çalışmamızda uygulanan stresler bitki yaş ve kuru ağırlıklarını etkilemiştir. Bu konuda ve benzer konularda yapılmış çalışmalar vardır. Farklı konsantrasyonlarda tuz uygulamasının soya bitkisinde konsantrasyon artışı ile yaş ve kuru ağırlıklarında azalma olduğu tespit edilmiştir (Özçınar ve ark., 2022). Erol ve ark. (2020) tuz stresinin fasulye bitkisinin yaş kuru ağırlığını azaltarak büyümede gerileme olduğunu belirtmişlerdir. Tuz stresine karşı salisilik asit uygulamasının soya bitkisinde iyileşme sağladığını belirten çalışmalarda vardır (Ghassemi-Golezani ve ark., 2018a). Bor toksisitesi üzerine yapılan çalışmalarda borun domates bitkisinde ağırlıkları düşürdüğü belirlenmişti (Ekinci, 2019). Yapılan çalışmalarda da stres etkilerinde büyüme düzenleyici olarak önemli rol oynayan salisilik asit kullanılmıştır (Ghassemi-Golezani ve ark., 2018b; Nigam ve ark., 2022).

Fasulye bitkisinde yapılan bir çalışmada, tuzun etkisi ile azalan bitki ağırlıkları, yapraktan yapılan salisilik asit uygulamasının konsantrasyon artışı ile bitki yaş ve kuru ağırlıklarında artış tespit etmişlerdir (Ghafoor ve ark., 2020). Tuz koşullarında yapılan bir başka çalışmada, G. intraradices, G. Margarita mikoriza türlerinin uygulanması tuz stresinde bitki gelişimini olumlu etkilediği belirlenmiş ve rapor edilmiştir (Abdulhadi ve ark., 2017). Benzer çalışmalarda tuz stresi altında toprağa yapılan AMF türleri bitkide gelişim parametrelerini olumlu etkilediği tespit edilmiştir (Egamberdieva ve ark., 2021). Sonuçlarımızı destekler çalışmalar vardır (Liu ve ark., 2016; Elhindi ve ark., 2017). Yapılan çalışmalar bizim elde ettiğimiz sonuçları destekler nitelikte olmaktadır.

4.4.8. Elektrolit sızıntısı (% ES) sonuçları

Yapılan tuz ve bor stres uygulamalarına karşılık SA ve BA uygulamalarının soya bitkisi %ES sonuçları Şekil 4.57.'de verilmiştir. Kontrole kıyasla yapılan tek başına SA uygulaması %ES değerini %14.5 oranında azaltmıştır. BA ve SA+BA uygulaması ise %ES değerini istatistiki olarak etkilememiştir ($P \leq 0.05$). Stres etmenlerinden TS uygulaması %ES değerini %141.6 oranında. BT uygulaması %79.5 oranında ve TS+BT uygulaması da %201.6 oranında arttırmıştır. TS uygulamasına yapılan SA uygulaması oluşan bu hasarı %30.2, BA uygulaması %20.6 ve SA+BA uygulaması ise %30.5 oranında azaltmıştır. BT uygulamasına yapılan SA uygulaması %24.9, BA uygulaması %24.1 ve SA+BA uygulaması %32.7 oranında azaltmıştır. Çift stres (TS+BT) uygulamasına yapılan SA uygulaması %18.7, BA uygulaması %30.1 ve SA+BA uygulaması da %37.1 oranında stresin yarattığı hasarı azaltmıştır. Elde edilen değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

Stres etkileri altında bitkilerde oluşan iyon sızıntısı oksidatif strese neden olmaktadır (Xie ve ark., 2019). Çalışmamızda stres etkileri ile oluşan iyon sızıntısı %ES değerlerinde artışa neden olmuştur.



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.57. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının elektrolit sızıntı (%ES) sonuçları

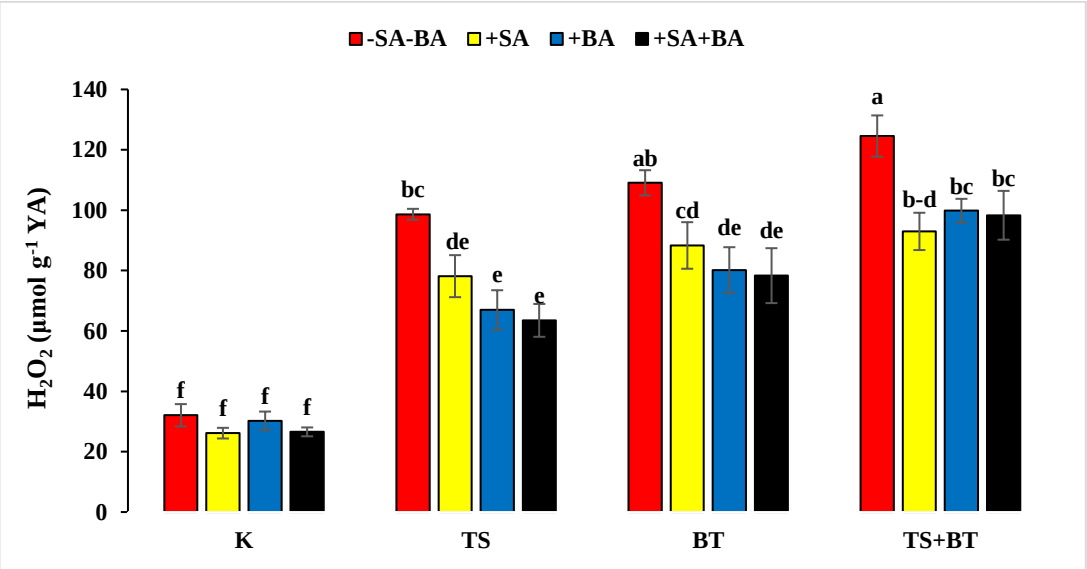
Çeltik bitkisinde yapılan bir çalışmada tuz stresinin bitkide %ES değerini arttırdığı bildirilmiştir (Vighi ve ark., 2017). Tuz stresinin %ES değerini arttırdığını salisilik asit uygulaması ile azalmaya geçtiğini bildiren çalışmalar vardır (Liu ve ark. 2016; Chauhan ve Sanadhya, 2019).

Bezostoya ve Kutluk 94 buğday türlerinde yaptıkları bir çalışmada, B toksisitesi uygulanmış ve bitkilerin %ES değerlerinin arttığı bildirilmiştir (Tepe, 2016). Tuğcu 2017' de yaptığı çalışmada tuzun artan dozları ile bitki %ES değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Egamberdieva ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, *Rhizobium* ve *Pseudomonas* türü bakterilerin tuz stresi koşullarında bitkide iyon sızıntısının azalttığını tespit etmişlerdir. Benzer çalışmalar biber bitkisi (Telek ve ark., 2019) ve soya bitkisinde (Subramanian ve ark., 2015) de rapor edilmiştir.

4.4.9. Hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriği sonuçları

Yapılan uygulamaların soya bitkisinde stres etkileri sonucu oluşan ROT'lardan biri olan H_2O_2 içeriği sonuçları verilmiştir (Şekil 4.58.). Stres uygulamaları H_2O_2 seviyelerini arttırmıştır. Kontrol bitkisi ile kıyaslandığında TS uygulaması H_2O_2

içeriğini %207.5 oranında, BT uygulaması %240.1 oranında ve TS+BT uygulaması da %288.4 oranında arttırmıştır.



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.58. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının H_2O_2 içeriği sonuçları

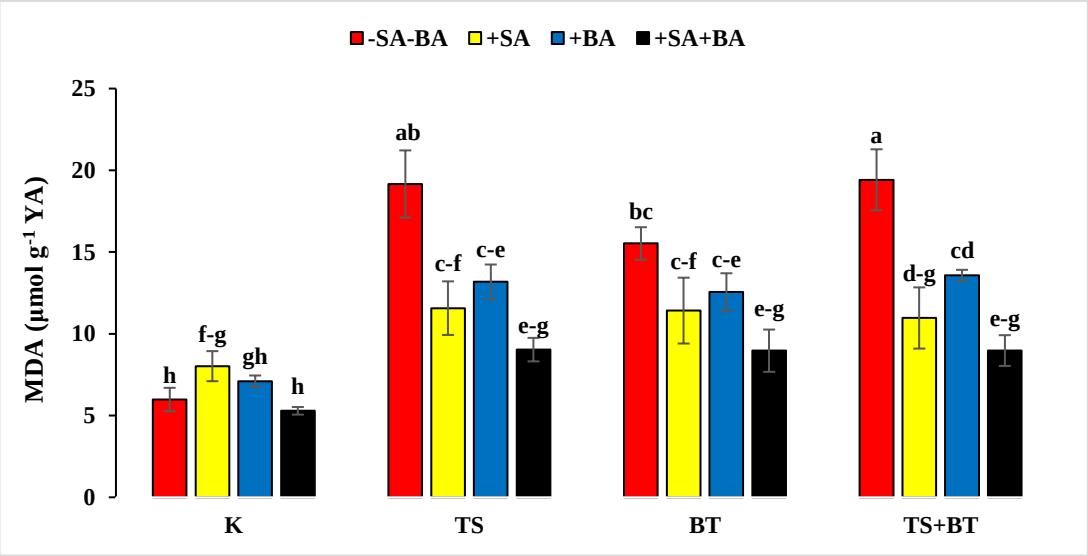
Stres uygulamalarına yapılan SA ve BA uygulamaları stres sonucu oluşan H_2O_2 miktarının azalmasına katkı sağlamıştır. TS uygulamasına yapılan SA uygulaması oluşan stresin etkisini %20.7, BA uygulaması %32.1 ve SA+BA uygulaması ise %35.6 oranında azaltmıştır. BT uygulamasına yapılan SA uygulaması H_2O_2 içeriğini %25.3, BA uygulaması %26.4 ve SA+BA uygulaması da %28.2 oranında azaltarak hafifletmiştir. TS+BT uygulamasına yapılan SA uygulaması %25.3, BA uygulaması %19.8, ve SA+BA uygulaması ise %21.8 oranında stres sonucu oluşan H_2O_2 içeriğini azaltarak stresin etkisini hafifletmiştir. Kontrol bitkisi dışında yapılan SA ve BA uygulamaları H_2O_2 içeriğini önemli oranda etkilememiştir. Elde edilen değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

H_2O_2 bitki bünyesinde normal şartlar altında bulunan ve bitkide biyokimyasal ve fizyolojik süreçlerde etkin rol oynayan bir ROS türüdür. Fakat yüksek konsantrasyonlarda bulunması bitkide oksidatif hasarın oluştuğuna bir işarettir (Khan

ve ark., 2019). Yüksek H_2O_2 içeriğinin yapılan SA uygulaması ile azaldığının rapor edildiği çalışmalar vardır (Jini ve Joseph 2017). SA uygulamaları bitkide antioksidan enzimlerin üretimini teşvik ederek H_2O_2'nin su ve oksijene ayrılmasına katkı sağlayarak stres etkilerini inhibe eder (Gratão ve ark., 2015; Alves ve ark., 2017; Alves ve ark., 2018). Halofitik bitkilerden elde edilen tuza toleranslı bakteri türlerinin mısır bitkisine uygulamasının etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, tuz stresi mısırda H_2O_2 seviyesini yükseltirken bakteri aşılaması seviyeyi düşürmüştür (Atıcı 2016). Bor toksisitesinin bitkilerde oksidatif hasara neden olduğuda bilinmektedir (Çatav ve ark., 2018). Yaptığımız çalışma ile elde ettiğimiz değerler literatürü destekler niteliktedir.

4.4.10. Malondialdehid (MDA) içeriği sonuçları

Yaptığımız uygulamaların soya bitkisi MDA sonuçları Şekil 4.59.'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, kontrol bitkisine göre SA ve BA uygulamaları MDA içeriğinde dalgalı sonuçlar vermiştir. SA uygulaması %34, BA uygulaması ise %18.7 oranında artış olmuş, SA+BA uygulaması ise değişikliğe neden olmamıştır. Yapılan stres uygulamaları ise MDA miktarında önemli artışlar yaratmıştır. TS uygulaması kontrolle kıyaslandığında MDA içeriğini %220.4, BT uygulaması %159.7 ve TS+BT uygulaması da %224.8 oranında arttırmıştır ve bitkide stres etkileri görülmüştür. Stres etkilerine karşı yapılan uygulamalar ile bu değerler de düşüşler tespit edilmiştir. TS uygulamasına yapılan SA değeri %39.6, BA uygulaması %31.1 ve SA+BA ise %52.8 oranında azaltmıştır. BT uygulamasına yapılan SA stres etkisini %26.4, BA uygulaması %19.1 ve SA+BA uygulaması da %42.2 oranında azaltmıştır. TS+BT uygulamasına yapılan SA uygulaması MDA içeriğini %43.5, BA uygulaması %30.1 ve SA+BA uygulaması ise %53.7 oranında azaltmış ve stresin olumsuz etkisini hafifletmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



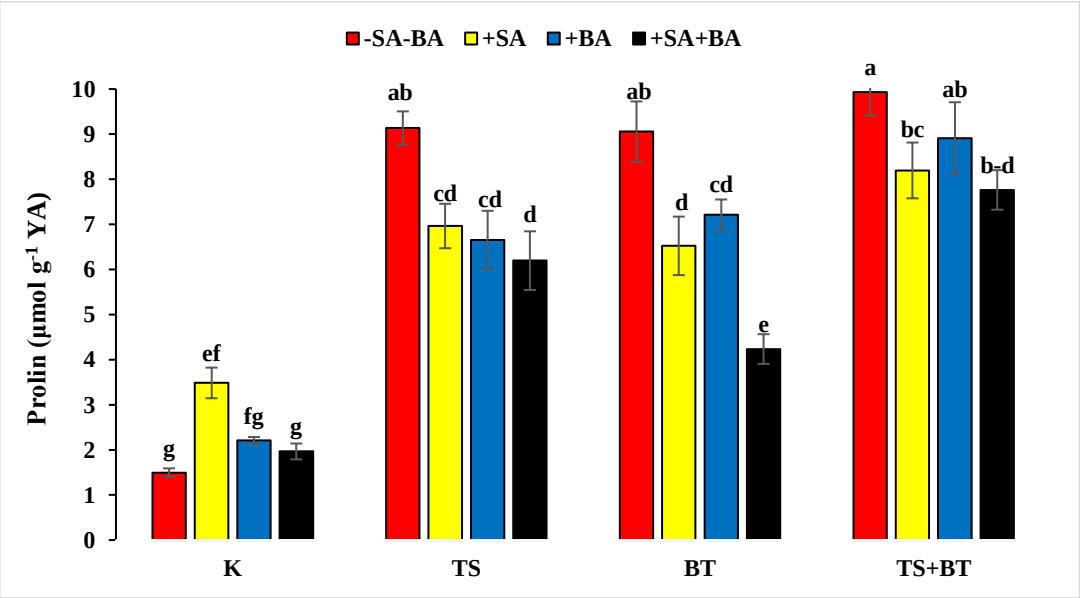
K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.59. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının MDA içeriği sonuçları

Bitkilerde oluşan stres faktörleri bitki bünyesinde ilk olarak hücre membran hasarına yol açmaktadır. Doymamış yağ asitlerinin yıkılması sonucu MDA birikimi olmakta ve bu birikimin miktarı ile membran hasarı belirlenmektedir (Jannatizadeh ve ark., 2019). Tuza toleransı olmayan bitkilerde tuz dozu artışı bitkilerde MDA artmasıyla membran hasarı artmıştır (Li ve Jiang, 2017; Liang ve ark., 2018). SA uygulaması tuz etkisinde domates bitkisinde MDA miktarını azalttığı belirlenmiştir (Naeem ve ark., 2020). Yapılan bir çalışmada kuraklığın mısır bitkilerine yapılan SA uygulaması ile bitkide MDA miktarında azalmaya neden olduğu rapor edilmiştir (Shemi ve ark., 2021). Bir başka çalışmada bor toksisitesinin uygulandığı bezelye bitkisine, dışarıdan uygulanan SA bitki bünyesinde biriken MDA içeriğini düşürdüğü tespit edilmiştir (Oliveira ve ark., 2020). Benzer olarak yapılan başka çalışmalarda abiyotik stres etkisinde mısır bitkisine yapılan aşılama, aşılama olmayanlara göre stres sonucu oluşan MDA içeriklerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Pedranzani ve ark., 2016). Yapılan farklı çalışmalarda da tuz ve bor stresinin beraberliğinin bitkide MDA içeriğinde önemli artış olduğu bildirilmiştir (Aydın ve ark., 2019; Rahman ve ark., 2021). Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar, diğer çalışmaları destekler niteliktedir.

4.4.11. Prolin içeriği sonuçları

Tuz stresi ve bor toksisitesi altında yetişen soya bitkisine yapılan salisilik asit uygulaması ve bakteri aşılamasının prolin içeriği sonuçları Şekil 4.60.'da verilmiştir. SA uygulaması kontrole göre %132, BA uygulaması %47 oranında prolin içeriğini arttırmış ve bu artışta önemli bulunmuştur (P≤0.05). SA+BA uygulaması da %31 artış olmuş fakat bu artış istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Yapılan TS uygulaması kontrole kıyasla prolin içeriğini %510.4, BT uygulaması %505.2 ve TS+BT uygulamasında %563.1 oranında arttırmıştır. TS altındaki bitkiye yapılan SA uygulaması prolin seviyesini %23.7, BA uygulaması %27.8 ve SA+BA uygulaması da %32.1 oranında düşürmüştür. BT uygulamasına yapılan SA %27.9, BA uygulaması %20.2 ve SA+BA uygulaması da %53.1 oranında düşürmüştür. TS+BT streslerine karşı SA uygulaması %17.9, BA uygulaması %10.4 ve SA+BA uygulaması da %21.9 oranında prolin içeriğini düşürmüş ve stresin olumsuz etkisini hafifletmiştir. Elde edilen bulgular istatistiki olarak önemli bulunmuştur (P≤0.05).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

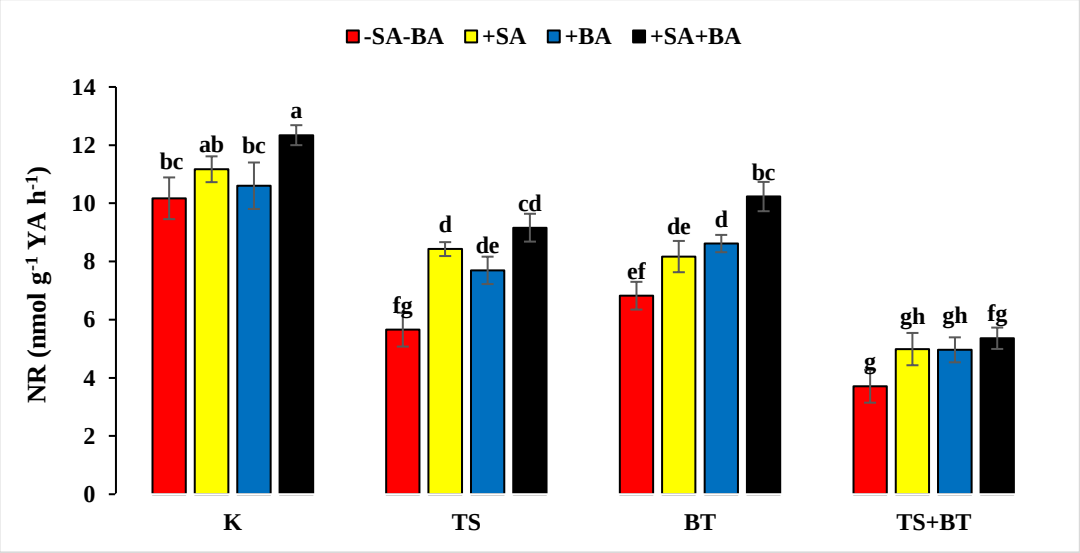
Şekil 4.60. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının Prolin içeriği sonuçları

Prolin, bitkilerde stres sonucu artışa geçen bir organik çözücüdür. Ozmotik basıncın düzenlenmesinde bitkiye destek sağlar (El Moukhtari ve ark., 2020). Stres altındaki bitkilerde organik çözünen maddelerin miktarında artış olduğu tespit edilmiştir (Slama ve ark., 2015). Prolin, hücre membran korunması protein dengesi ve stres sonucu oluşan ROS'ların temizlenmesi gibi işlemlerde bulunmakta olduğu bilinmektedir (Zhang ve ark., 2016a). Yapılan birçok araştırma ile kanıtlanmıştır ki prolin, stres etkisi altında bitkilerde birikmekte ve stresten oluşan zararı indirgemektedir (Öztürk ve ark., 2021; Ghost ve ark., 2022). Tuz stresinin oluşturduğu olumsuz etkiye karşın prolin seviyelerinde artış olduğu yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Mansour ve Ali, 2017; Bhusan ve ark., 2016). Yapılan bazı çalışmalarda ise bitki türüne bağlı olarak SA uygulamasının stres altında prolin miktarını ekstra arttırdığı rapor edilmiştir (Elhindi ve ark., 2017; Torun ve Ayaz, 2019). Bor toksisitesinde yapılan bazı çalışmalarda da artan bor dozlarına bağlı olarak bitkilerde prolin birikiminin arttığı belirlenmiştir. (Choudhary ve ark. 2020; Ashraf ve ark., 2022). Çalışmamızda da tuz stresi ve bor toksisitesi koşullarında prolin miktarı yükselmiştir. En yüksek sonuç ise çift stresin birlikte uygulanması ile olmuştur. Stres altında SA uygulaması ve BA uygulaması prolin miktarını düşürmüştür. Yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar bulunmuştur. Tuz stresi ve bor toksisitesi altında bitkide prolin miktarı arttığı ve yapılan uygulamalar ile prolin birikiminin azaldığı tespit edilmiştir (Lata ve ark., 2017; Mallahi ve ark., 2018). Bir başka çalışmada tuz stresi altında mısır bitkisinde prolin miktarı artmış ancak yapılan PGPR bakteri aşılaması ile prolin miktarı düşmüştür (Abdel Latef ve ark., 2020). Bu durum yapılan uygulamaların bitkide büyüme ve gelişmeyi teşvik etmesiyle prolinde azalma olabileceği ile açıklanabilir. Abiyotik stresler ile prolin arasında pozitif uyum olduğunu gösteren kanıtlar olmasına rağmen, sonuçlar tartışılmaya devam etmektedir (Ashraf ve Foolad, 2007).

4.4.12. Nitrat redüktaz (NR) aktivitesi sonuçları

Deneme sonunda bitkilerde nitrat redüktaz (NR) aktivite analizi yapılmıştır (Şekil 4.61.). Elde edilen sonuçlara bakıldığında, SA ve BA uygulaması tek başına önemli bir etki yaratmazken SA+BA uygulaması kontrole göre aktiviteyi %21.3

oranında arttırmış ve en yüksek sonucu vermiştir. Stres uygulamaları ise NR aktivitesini önemli oranlarda düşürmüştür. TS uygulaması bu aktiviteyi %44.3, BT uygulaması %32.9 ve TS+BT ise %63.5 oranında düşürdüğü belirlenmiştir. Stres etkisine yapılan SA ve BA uygulamaları aktivitede artışlar sağlamıştır. TS uygulamasına yapılan SA, BA ve SA+BA uygulamaları NR aktivitesini sırasıyla %48.9, %36.1 ve %61.9 oranlarında arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan SA, BA ve SA+BA uygulamaları NR aktivitesini sırasıyla %19.7, %26.2 ve %49.9 oranlarında arttırmıştır. TS+BT etkisindeki bitkilere yapılan SA, BA ve SA+BA uygulamaları ise sırasıyla %34.4, %33.7 ve %44.4 oranında arttırmış ve bu artışlar önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

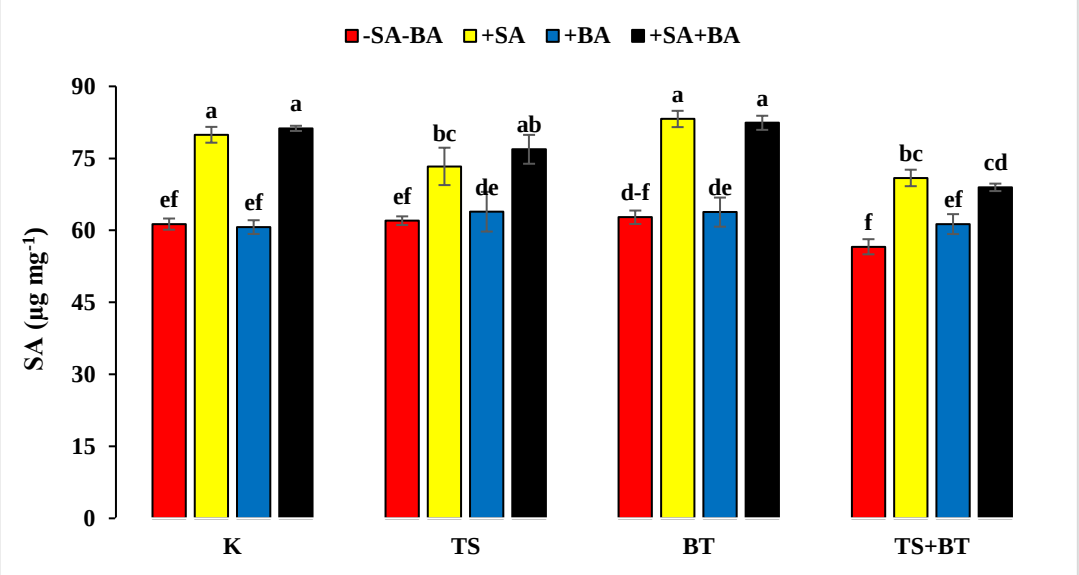
Şekil 4.61. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının NR aktivitesi sonuçları

Nitrat redüktaz enzimi (NR) bitkide mevcut nitratın indirgenmesinde önemli bir role sahiptir. Nitrojen, bitkiler tarafından ana katalitik enzim olan NR etkisiyle bitki hücrelerinde önce nitrite (NO_2) indirgenen nitrat (NO_3) formunda alınır (Zhang ve Chu, 2020; Karwat ve ark., 2019). Daha sonra NR, NO_2''yi NH_4 formuna dönüştürür (Andrews ve ark., 2020). NR çeşitli abiyotik stres faktörlerine duyarlıdır ve en çok tuz stresine karşı aşırı duyarlıdır (Rohilla ve Yadav, 2019). Soya bitkilerinde stres kaynaklı NO_3 içerikleri transpirasyonun azalmasıyla ilişkilendirilebilir (Vezza ve ark.,

2021). Ayrıca stres kaynaklı oluşan ROS hücre zarı zararına neden olarak kök hücrelerinin nitrat alımını azaltabilir (Shahid ve ark., 2019). Abiyotik streslere karşı bitkideki NR aktivitesindeki değişimlerle ilgili yapılmış çalışmalar mevcuttur (Agnihotri ve Seth, 2016; Karmakar ve ark., 2021). Farklı tuz dozlarının kullanıldığı bir çalışmada artan dozda kullanılan tuz bitkide NR aktivitesini azaltmış ve yapılan SA uygulaması ile yapraklarda NR aktivitesinin arttığı rapor edilmiştir (Husen ve ark., 2018). Bir başka yapılan çalışmada iki farklı tuz dozunda tuz uygulanmıştır. Bitkide tuz etkisiyle NR önemli düşüş yaşarken uygulamalar ile bu düşüş hafifletilmiştir (Akram, 2014). Hashem ve ark. (2016) PGPR bakterilerinin kullanıldığı çalışmada tuz stresi uygulaması yapmışlardır. Tuz uygulaması bitkide NR aktivitesini düşürürken yapılan bakteri aşılaması stres etkisini azaltmış ve NR aktivitesini yükseltmiştir. Bor toksisitesinde de benzer çalışmalar yapılmış ve benzer sonuçlar alınmıştır (Jovelina da Silva ve ark., 2017). Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar diğer çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Shi ve ark., 2020; Vega-Mas ve ark., 2019; Ca˜nas ve ark., 2020).

4.4.13. Salisilik asit (SA) aktivitesi sonuçları

Deneme sonunda, yapılan salisilik asit (SA) uygulamasının bitkide birikimini tespit etmek için SA analizi yapılmıştır (Şekil 4.62.). Kontrol uygulamasına kıyasla SA ve SA+BA uygulaması yapılan bitkilerde yaklaşık %30 artış belirlenmiştir. Kontrole kıyasla TS, BT ve TS+BT uygulamaları SA içeriğini etkilememiştir. TS uygulamasına yapılan SA ve SA+BA uygulamaları sırasıyla %18.2 ve %23.9 oranında arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan SA ve SA+BA uygulamaları sırasıyla %32.6 ve %31.3 oranında arttırmıştır. TS+BT uygulamasına yapılan SA ve SA+BA uygulamaları sırasıyla %15.6 ve %12.4 oranında arttırmıştır. BA uygulamasının bitki SA içeriğini etkilemediği belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar önemli olarak kabul edilmiştir ($P \leq 0.05$).



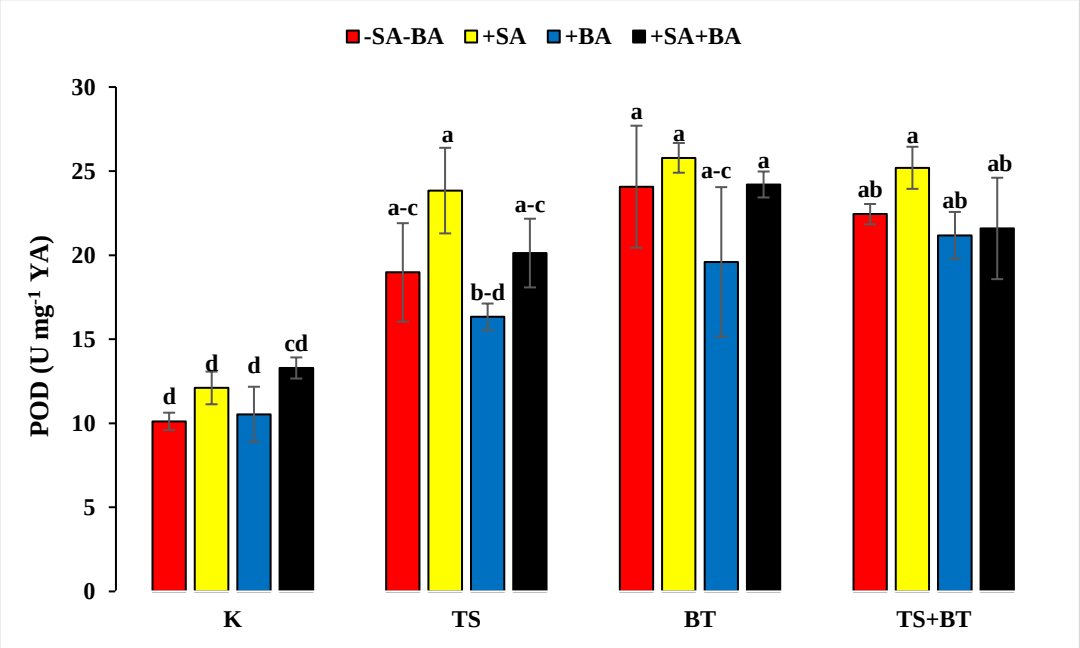
K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.62. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının SA aktivitesi sonuçları

Stres bitki dokularında önemli zararlar verir. SA bitki dokularında iyonik akışlara karşı koymak için, stresle başa çıkan bir fitohormondur. Bitki ve stres etkileşiminde bitkilerde indirgenmiş sistematik direncin teşvik edilmesinde önemli rol oynar (Khan ve ark., 2022). Yapılan son çalışmalar SA'nın abiyotik stresleri de iyileştirerek ROS oluşumu azalttığı belirtilmiştir (Wang ve ark., 2016). Bitkide artan SA büyümeyi teşvik ederek bitkide zar yapısı, gaz değişimleri, su ilişkisi gibi iyonik olayları programlayabilir (Jayakannan ve ark., 2015). Çalışmamızda da SA uygulanan parametrelerde SA oranı önemli düzeyde artmıştır. BA uygulaması az da olsa SA artışını sağladığı görülmekte ve diğer çalışmalar ile uyumlu bulunmaktadır (Shahzad ve ark., 2016). Ek olarak, Kang ve ark., (2014), bitki büyümesini teşvik eden bakterilerle işleme tabi tutulduktan sonra salatalık bitkilerinde tuzlu koşullarda ve ozmotik streste artmış endojen SA seviyeleri bildirmiştir. Benzer sonuçlar yapılan diğer çalışmalar ile desteklenmektedir (Khan ve ark., 2017; Shahzad ve ark., 2017).

4.4.14. Peroksidaz (POD) aktivitesi sonuçları

Yapılan uygulamaların stres altındaki bitkilerde oluşan bir diğer antioksidan enzim olan POD aktivitesine olan etkileri Şekil 4.63.'te verilmiştir. Sonuçlara göre kontrole kıyasla yapılan SA ve BA uygulamaları POD aktivitesi üzerine istatistiki olarak önemli bir etkide olmamıştır (P≤0.05). Fakat SA+BA uygulaması %31.4 oranında POD içeriğini arttırmıştır. Uygulanan TS ise POD içeriğini %87.2, BT uygulaması %138.8 ve TS+BT uygulaması ise %121.8 oranında arttırmıştır. Stres parametrelerinden TS etkisine karşı yapılan SA uygulaması ise POD içeriğini %25.7 oranında daha fazla arttırırken, uygulanan BA %13.9 oranında azalmaya sebep olmuştur. SA+BA uygulaması ise %6 oranında artış sağlamıştır. BT uygulamasına karşı yapılan SA uygulaması POD içeriğini %7.7 arttırırken, BA %18.5 oranında azalma görülmüştür. Çift strese (TS+BT) uygulanan SA uygulaması POD aktivitesini %12.1 oranında arttırmıştır. BA ve SA+BA uygulaması ise %5.3 ve %3.6 oranında azaltmış ve stres etkilerini hafifletmiştir.



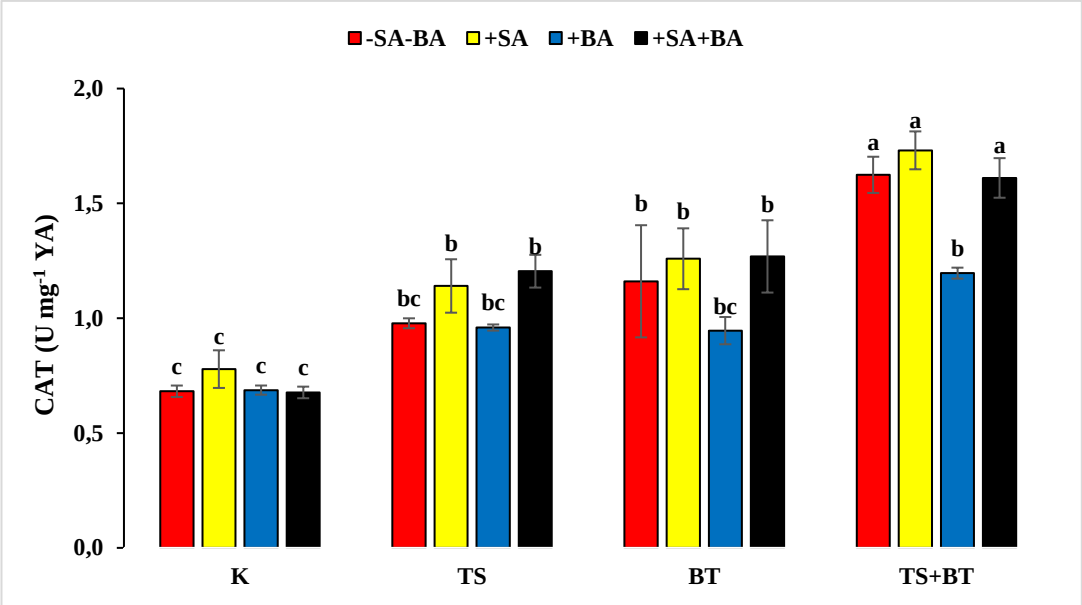
K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.63. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının POD aktivitesi sonuçları

Bu çalışmamızda elde ettiğimiz bulgulardan POD enzimi CAT ve APX gibi H_2O_2'yi substrat olarak kullanarak H_2O ve O_2'ye indirger (Rohman ve ark., 2016). Bu nedenle stres altında POD enzimi artışa geçebilir (Duman ve ark., 2016). Soya bitkisinde yapılan bir çalışmada, uygulanan tuzun POD enzim aktivitesini artırdığı tespit edilmiştir (Jin ve ark., 2019). Tuz uygulamasının nane bitkisine etkisinin araştırıldığı çalışmada, tuz stresi ile artan POD aktivitesi, uygulanan 24-eBL ile azaldığı tespit edilmiştir (Çoban, 2014). Bor toksisitesi altında yetişen soya bitkisinde POD enzimi artmış ve dışarıdan uygulanan 24-eBL ile artış desteklenmiştir (Pereira ve ark., 2022). Bu çalışmamız stres etkisiyle artan POD aktivitesi uygulamalar ile bitki büyümesi teşvik edilmesiyle stres etkilerini hafifletmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar literatürü destekler niteliktedir (Perveen ve ark., 2017; Khan ve ark., 2019).

4.4.15. Katalaz (CAT) enzimi aktivitesi sonuçları

Yapılan araştırmada diğer bir antioksidan olan CAT aktivitesi sonuçları Şekil 4.64.'te verilmiştir. TS uygulaması kontrol ile kıyaslandığında CAT aktivitesini %43.8, BT uygulaması %70.2 ve TS+BT uygulaması ise %138.1 oranında yükseltmiştir. TS uygulamasına dışarıdan yapılan SA uygulaması CAT aktivitesini %16.6 arttırırken, yapılan BA uygulaması değişime neden olmamıştır. SA+BA uygulaması ise CAT aktivitesini %23.5 oranında düşürmüştür. BT uygulamasına yapılan SA, CAT içeriğini %8.5 oranında arttırırken, BA bu aktiviteyi %18,5 oranında düşürmüştür. SA+BA uygulaması bu içeriği %9.8 arttırmıştır. TS+BT uygulamasına yapılan SA uygulaması %6.4 arttırmıştır. Fakat BA uygulaması %26.3 oranında azaltmıştır. SA+BA uygulaması ise önemli bir etki yaratmamıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kontrol uygulamasına göre yapılan SA ve BA uygulamaları CAT aktivitesinde önemli bir değişime sebep olamamıştır. Elde ettiğimiz sonuçlar istatistiki olarak önemli kabul edilmektedir ($P \leq 0.05$).



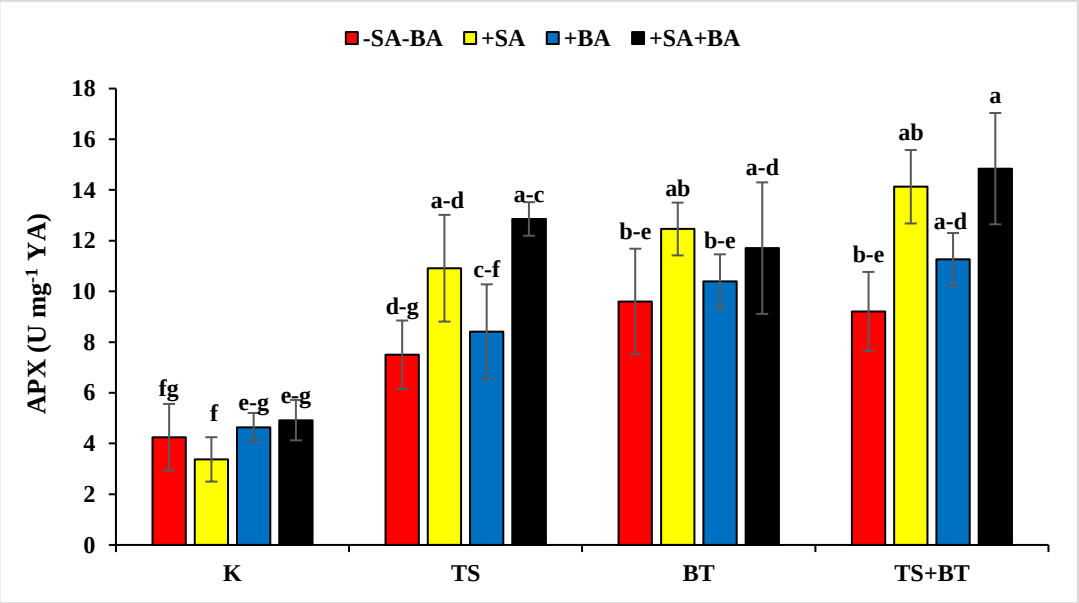
K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.64. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının CAT aktivitesi sonuçları

Oluşan stres etmenleri bitkilerde uyarılan antioksidan sistemleri yardımıyla azaltılmaktadır. Stres etkisinde bitkilerde antioksidanlar uyarılmakta ve stres etkisini azaltmaktadırlar (Anjum ve ark., 2016; Kireçci, 2018). CAT enzimi stres etkisi ile oluşan H_2O_2'yi O_2 ve H_2O' ya dönüştürmektedir (Kaushal ve ark., 2018). Stres sonucu oluşan ROS'lar detoksifikasyon yoluyla temizlenmektedir. CAT artışı bitkide H_2O_2'nin toksik etkisini indirgemekte ve stres etkisini azaltmaktadır (Kaushal ve ark., 2018; Kireçci, 2018). Çalışmamızda tuz ve bor stresi CAT aktivitesini arttırmış uygulanan SA ile bu artış desteklenmiştir. BA uygulaması ise toprak içerisinde stres etkisini azaltarak etki göstermiştir. Tuz stresi altında yapılan bir çalışmada, stresin bitkide CAT aktivitesini arttırdığı ve yapılan SNP-SA uygulamaları ile bu aktivitenin desteklendiği tespit etmişler (Dong ve ark., 2015). Mısır bitkisinde yapılan bir çalışmada, tuz uygulaması CAT aktivitesini arttırmıştır. Yapılan SA uygulaması ile CAT aktivitesinde azalma olduğu tespit edilmiştir (Tahjib-Ul-Arif ve ark., 2018). Yapılan farklı çalışmalarda da mikoriza uygulamalarının tuz stresi altında oluşan hasarı azalttığı ve CAT değerini düşürdüğü bildirilmiştir (Evelin ve Kapoor., 2014; Altunlu, 2019). Bu çalışmamız elde ettiğimiz sonuçlar literatür çalışmalarını desteklemektedir (Silva ve ark., 2020; Imran ve ark., 2021).

4.4.16. Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi sonuçları

Yapılan uygulamaların bitkide antioksidan enzimlerden ve stres göstergelerinden biri olan APX aktivitesi üzerine etkileri Şekil 4.65.'te verilmiştir. Verilen sonuçlara göre, kontrole yapılan SA uygulaması APX içeriğini %20.5 düşürürken BA ve SA+BA uygulamaları APX içeriğini sırasıyla %9 ve %15 oranında arttırmıştır. Stres uygulamalarından TS uygulaması APX içeriğini %76.7, BT uygulaması %126.1 ve çift stres (TS+BT) uygulamasında %125.9 oranında artmıştır. TS etkisini hafifletmek için yapılan SA uygulaması APX içeriğini %45.2, BA uygulaması %12.1 ve SA+BA uygulaması da %71.4 oranında daha arttırmıştır. Aynı şekilde BT uygulamasına yapılan SA uygulaması APX içeriğini %29.1, BA uygulaması %8.3 ve SA+BA %21.9 oranında arttırmıştır. Çift (TS+BT) stresin birlikte etkisine SA uygulaması APX içeriğini %53.1, BA %22.2 ve SA+BA uygulaması %61.5 oranında daha arttırmış ve stres etkisini hafifletmiştir. Yapılan SA uygulamasının stres ile başa çıkmak üzere APX aktivitesini arttırdığı, BA uygulamasının ise stres etkisini azaltmasından kaynaklı APX içeriğini düşürdüğü tahmin edilebilir. Elde edilen bulgular istatistiki olarak önemli kabul edilmiştir ($P \leq 0.05$).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

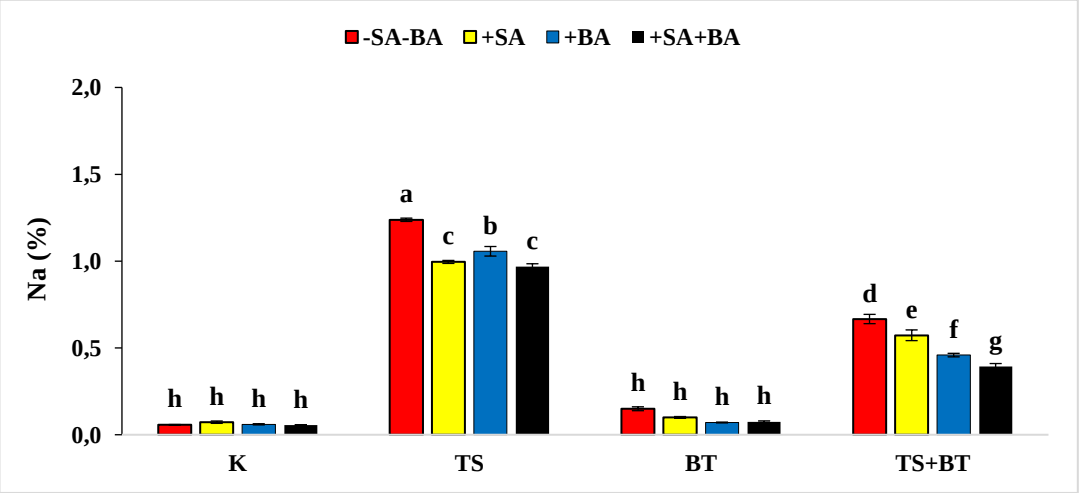
Şekil 4.65. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının APX aktivitesi sonuçları

Tuz, bor ve diğer farklı abiyotik stresler sonucu oluşan ROS'lar bitkide hasara neden olurlar. Bu hasarı ortadan kaldırmak için bitkiler antioksidan enzimler ile bir savunma mekanizması oluşturma yeteneğindedirler (Xia ve ark. 2016). Askorbat peroksidaz (APX) H_2O_2'nin zararlarını ortadan kaldırmada etkin bir rol oynamaktadır. APX H_2O_2'yi kullanarak hücredeki askorbatı katalize eder ve böylelikle H_2O_2 hücreden uzaklaştırılır (Sofo ve ark., 2015). Bu çalışmamız tuz ve bor stresinin etkisi ile APX enziminde artış olduğu görülmektedir. Uygulanan SA etkin bir rol oynamış ve APX aktivitesindeki artışa katkı sağlamıştır. Tuz stresinin etkisinde yetiştirilen tütün bitkisinde de APX seviyesinin arttığı tespit edilmiştir (Cao ve ark., 2017). Farklı tuz dozlarının uygulandığı bir çalışmada, tuz dozundaki artışın APX aktivitesini de arttırdığı tespit edilmiştir (Guan ve ark., 2015). Yapılan bir başka çalışmada soya bitkisinde kurak koşullarda APX seviyesinin arttığı, ancak kuraklığa duyarlı bitkilerde önemli bir değişimin olmadığı belirtilmiştir (Rezayian ve ark., 2020). Yapılan bazı çalışmalarda da bakteri aşılamasının abiyotik streslerinde etkisindeki bitkilerde enzim aktivitesini destekleyerek bitki büyümesine katkı sağlayacağı ifade edilmiştir (Singh ve ark. 2020). Tuz stresi etkisindeki mısır bitkisine yapılan bakteri aşılamasının bitkide fenolik bileşik içeriğini arttırdığı ve büyümeye katkı sağladığı vurgulanmıştır (Li ve

Jiang, 2017). Sonuçlarımız yapılan farklı çalışmaları destekler niteliktedir (Nahar ve ark., 2015; Ghaderi ve ark., 2015; Moloi ve ark., 2016).

4.4.17. Besin elementi (Na, B, K, Ca, N) konsantrasyon sonuçları

Araştırmamız da yapılan stres uygulamalarının bitki bünyesinde bazı element içeriklerine etkilerine bakılmıştır. Tuz uygulamasına yönelik olarak bitkide Na içeriğine bakılmış ve sonuçlar Şekil 4.66.'da verilmiştir. TS uygulamasının yapılmadığı saksılarda Na içeriği önemli oranda değişiklik göstermemiştir ($P \leq 0.05$). TS uygulaması konrol ile kıyaslandığında bitki bünyesinde Na içeriğini %2000 oranında arttırmış ve bu artış en yüksek değer olmuştur. TS etkisine yapılan SA uygulaması bu artışı %19.6, BA uygulaması %14.6 ve SA+BA uygulaması da %21.8 oranında azaltmıştır. TS+BT uygulaması ise TS uygulamasındaki artışa göre daha düşük kalmıştır. Bu artış kontrol ile kıyaslandığında TS+BT uygulaması bitki Na içeriğini %1072 oranında arttırmıştır. SA uygulaması ise bu oranı %14.1 oranında, BA uygulaması %31.2 ve SA+BA uygulaması da %41.5 oranında azaltarak katkı sağlamıştır ($P \leq 0.05$). BT uygulaması bitki Na içeriğini etkilemediği tespit edilmiştir.

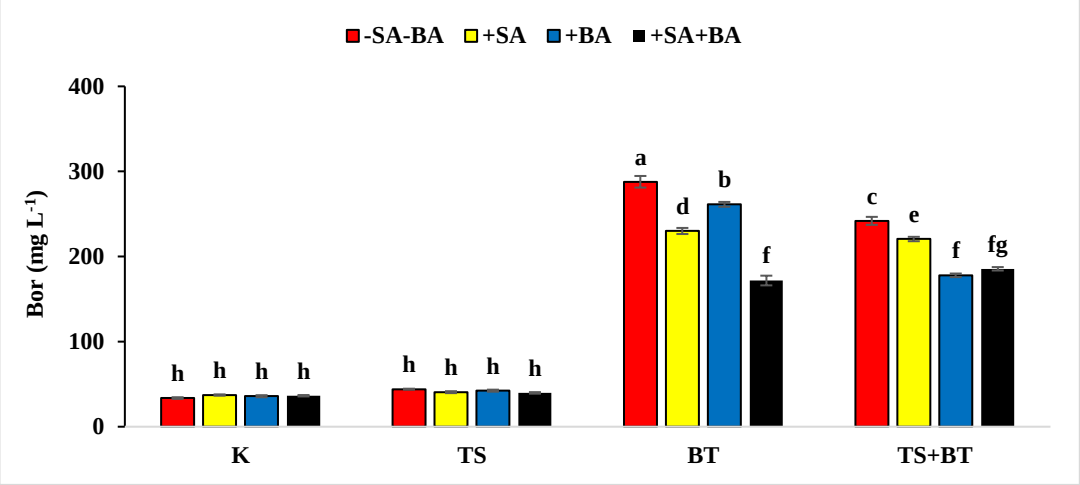


K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.66. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının %Na içeriği sonuçları

Yaptığımız çalışma ile elde ettiğimiz sonuçlara göre tuz uygulaması bitki Na içeriğini önemli düzeyde arttırmıştır. Tuz stresinde toprak içerisinde Na iyonları bulunur ve bitki kökleri ile Na alımı artar. Tuz stresi bitki köklerinin su alınımı bozar ve bitki normalde alması gerekenden daha fazla Na alır. Alınan yüksek Na bitkide toksisiteye neden olur (Hussain ve ark., 2019). Yapılan farklı araştırmalarda da Na artışının hücre zarının yapısını bozmasıyla önemli zararlat verdiği açıklanmıştır (Feng ve ark., 2018). Tuz uygulamasının bitki hücresinde Na ve Cl birikimini arttırarak bitki su potansiyelinde düşüşe ve gelişimini engellemeye neden olmaktadır (Safdar ve ark., 2019). Yapılan birkaç araştırmada, farklı çeşitteki buğday bitkilerine uygulanan tuz ile bitkide Na içeriğinin önemli oranda arttığı tespit edilmiştir (Ahmad ve ark., 2014; Yossif ve ark., 2018). Tuz stresine karşı yapılan uygulamaların ise Na alımında azalmalara neden olduğu rapor edilmiştir (Ali ve ark., 2017; Farhangi-Abriz ve Torabian, 2017). Bakteri aşılaması soyada osmatik dengenin korunmasını destekleyebilir. Bu da Na alınımını azaltabilir (Hasanuzzaman ve ark., 2022). Singh ve ark. (2015) yaptıkları bir çalışmada, PGPR uygulamasının bitki Na içeriğini sadece tuzlu koşullar ile kıyaslandığında azalttığını tespit etmişlerdir. Çalışmamızda tuz ve bor'un birlikte uygulanması bitki Na alımını azaltmıştır. Omay (2019) yaptığı çalışmada, farklı buğday çeşitlerine tuz ve bor'un beraber uygulanmasında Na konsantrasyonunda azalma olduğunu tespit etmiştir. Bir başka yapılan çalışmada da asma bitkisinde tuz uygulanması ile artan Na içeriği, yapılan bor uygulanması ile düştüğü tespit edilmiştir (Şahin, 2009).

Uygulamaların bitki bor içeriğine etkileri Şekil 4.67.'de verilmiştir. Bor uygulaması yapılmayan saksıların bor içeriğinde değişiklik gözlenmemiştir. BT uygulaması yapılan saksıda ise kontrole göre %755 oranında artmış, TS+BT uygulaması ise %618 oranında artmıştır. BT uygulamasının etkilerini azaltmak için yapılan SA, BA ve SA+BA uygulaması sırasıyla bu etkiyi %20.1, %12.4 ve %40.3 oranında azaltmıştır. TS+BT uygulamasına yapılan SA uygulaması %8.8, BA uygulaması %23.2 ve SA+BA uygulaması ise %26.7 oranında düşürmüş ve bu düşüşler önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



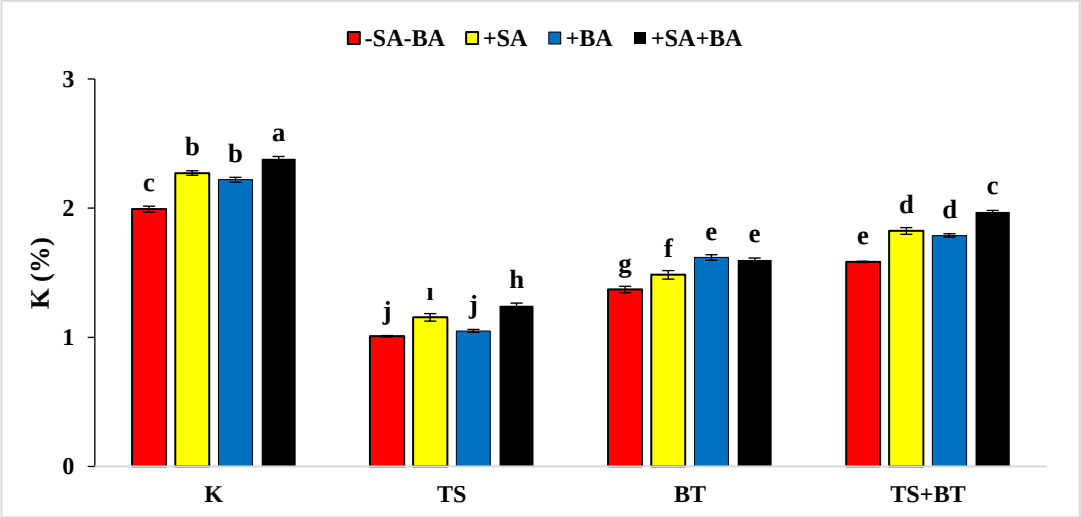
K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.67. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının Bor(ppm) içeriği sonuçları

Çalışmamızda yaptığımız BT uygulaması saksılarda bitki bor içeriğini önemli oranda arttırmıştır. Bor bitkiler için önemli bir elementtir ve bitki gelişimi için gereklidir. Bor'un bitki bünyesinde birçok temel işlevi vardır. Ancak yüksek bor bitkide toksisite yaratabilir (Landi ve ark.,2019). Toprakta borun fazla olması ya da bor içeriği yüksek sulama suları toksisiteye neden olur (Princi ve ark. 2016). Yüksek bor uygulamalarının yapıldığı çalışmalar vardır. Turp bitkisinde yapılan bir çalışmada, farklı dozlarda bor uygulanmış ve bor dozunun artması bitki bor miktarında artışa sebep olduğu bildirilmiştir (Emir, 2017). Yapılan farklı çalışmalarda da bor uygulamasının bitkide bor konsantrasyonunu arttırdığı bildirilmiştir (Gündeş, 2018). Çalışmamızda tuz ve borun beraber uygulanması, sadece bor uygulamasına göre daha düşük konsantrasyonda bor birikmesine sebebiyet vermiştir. Sera ortamında yapılan bir çalışmada, bor uygulaması bor içeriğini arttırırken, aynı zamanda tuz uygulaması bor içeriğini düşürmüştür (Shalaby ve El-messairy, 2018). Yapılan diğer çalışmalarda sonuçlarımızı destekler niteliktedir (Seferoğlu ve Kaptan, 2020). Bakteri aşılaması, soya bitkisinde bor alımının azalmasına ve toksisite oluşturma potansiyelinin düşmesine neden olmaktadır. Rhizobium bakterilerinin soya bitkisi ile olan simbiyotik ilişkisi, bitkinin daha iyi beslenmesini ve stres faktörlerine karşı daha dayanıklı olmasını sağlar ve bitkinin daha iyi büyüme ve gelişme potansiyelini arttırır. (Rosa ve ark. 2020). Bakteri aşılaması, bitkinin azot kaynaklarını daha verimli kullanmasını

sağlar, bu da bitki gelişimini teşvik eder. Böylece bitkinin bor gibi diğer besinlere daha fazla enerji aktarmasını sağlar ve sonuç olarak bor toksisitesi riski azalabilir (Sing ve ark., 2018). Çalışmamızda yaptığımız SA ve BA uygulamalarının bor içeriğini azalttığı tespit edilmiştir. Mehbood ve ark., (2021) yaptıkları çalışmada bor toksisitesi altında nohut bitkisine yaptıkları bakteri aşılamasının, bitkilerde bor alımını azalttığını tespit etmişlerdir. Hussain ve ak., (2020) soya bitkisine bakteri aşılamasının bor uygulamasına göre bor içeriğini %17 düşürdüğünü bildirmişlerdir. Yapılan diğer çalışmalarda bu sonucumuzu desteklemektedir (Mehbood ve ark., 2021). SA uygulaması gibi yapraktan yapılan uygulamalarında bor içeriğini azalttığını bildiren çalışmalarda mevcuttur (Metwally ve ark., 2018; El-Shazoly ve ark., 2019; Nawaz ve ark., 2020). Sonuçlarımız literatür sonuçlarına benzerlik göstermektedir.

Yapılan uygulamaların bitkide K içerikleri Şekil 4.68.'de verilmiştir. Stres uygulaması yapılmayan saksılarda SA, BA ve SA+BA uygulamaları kontrol ile kıyaslandığında K içeriğini sırasıyla %14.1, %11.3 ve %19.6 oranında arttırmış ve bu artışlar istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). TS uygulaması ise K içeriğini kontrole kıyasla %36.3, BT uygulaması %31.3 ve TS+BT uygulaması da %20.5 oranında azaltmıştır. TS etkisini azaltmak için yapılan SA uygulaması %14.5, BA uygulaması %4.7 ve SA+BA uygulaması %23.6 oranında bitki K içeriğini arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan SA uygulaması %8.2, BA uygulaması %18.2 ve SA+BA uygulaması da %16.6 oranında arttırmıştır. TS+BT uygulamasına yapılan SA, BA ve SA+BA uygulamaları ile bu oran sırasıyla %15, %12.4 ve %24.3 seviyelerinde artmıştır. Bu artışlar istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



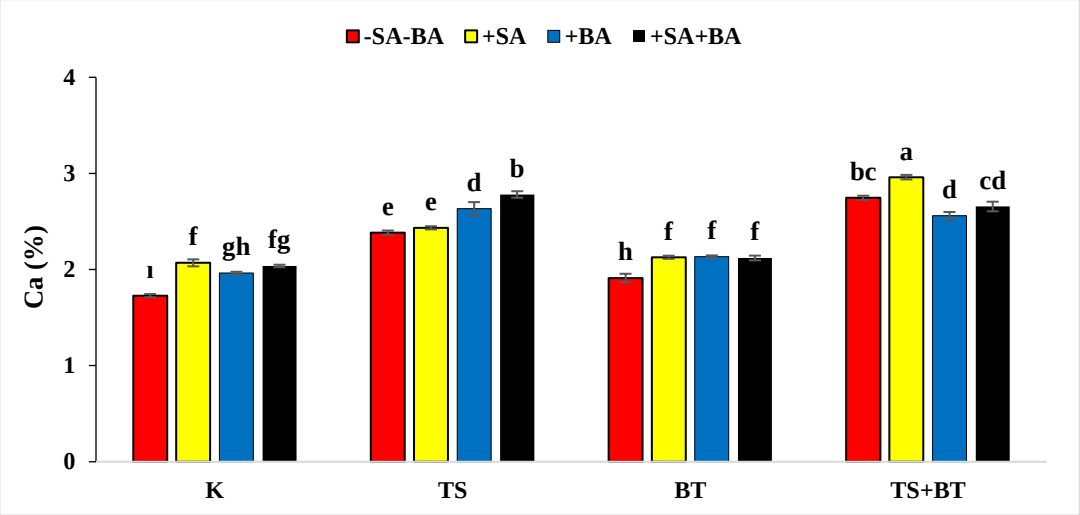
K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.68. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının K (%) içeriği sonuçları

Bitki bünyesi K içeriği yönünden incelendiğinde, tuz uygulamasının K içeriğini önemli oranda azalttığı görülmektedir. Yapılan uygulamalar K konsantrasyonunda artış sağlamıştır. Tuz uygulamaları bitki kök bölgesinde Na birikimini arttırması ile K alınabilirliği azalmaktadır (Hussain ve ark., 2019). SA uygulaması ise K içeriğinde artışa sebep olmaktadır. Bor toksisitesi altında yetişen mısır bitkisine yapılan SA uygulamasının bitki K konsantrasyonunu arttırdığı rapor edilmiştir (Nawaz ve ark., 2020). Mikrobiyal uygulamaların stres altında bitki K konsantrasyonunda artış yaptığı yapılan çalışmalar ile bildirilmiştir (Zhang ve ark. 2019). Artan dozlarda tuz uygulanan buğday bitkisinde, doz artışının K alınabilirliğini düşürdüğü bulunmuştur. Stres altında PGPR uygulaması ise K alınımını desteklemiştir (Singh ve ark., 2015). Fakat bu durumun her zaman için geçerli olmadığı bazı çalışmalar da ise mikoriza uygularında K ve Ca gibi besin elementlerinde artış olmadığı da ifade edilmiştir (Karagiannidis ve ark., 2002).

Uygulamaların bitkide Ca içerikleri sonuçları Şekil 4.69.'da verilmiştir. Stres içermeyen uygulamalara yapılan SA ve BA uygulamaları bitki Ca içeriğini %13-15 aralığında arttırmıştır ve bu artış önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). TS uygulaması bitki Ca içeriğini kontrole kıyasla %37.9, BT uygulaması %10.6 ve TS+BT uygulaması da %58.8 oranında arttırmıştır. Tuz stresindeki bitkilere yapılan SA uygulaması Ca

içeriğini %2.5, BA uygulaması %10.4 ve SA+BA uygulaması da %16.6 oranında daha fazla arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan SA, BA ve SA+BA uygulamaları bu değeri sırasıyla %11.3, %11.6 ve %10.9 oranında daha fazla arttırmıştır. Çift strese SA uygulamasında %7.8 artarken, BA uygulaması %6.7 ve SA+BA %3.6 oranında düşmüştür.



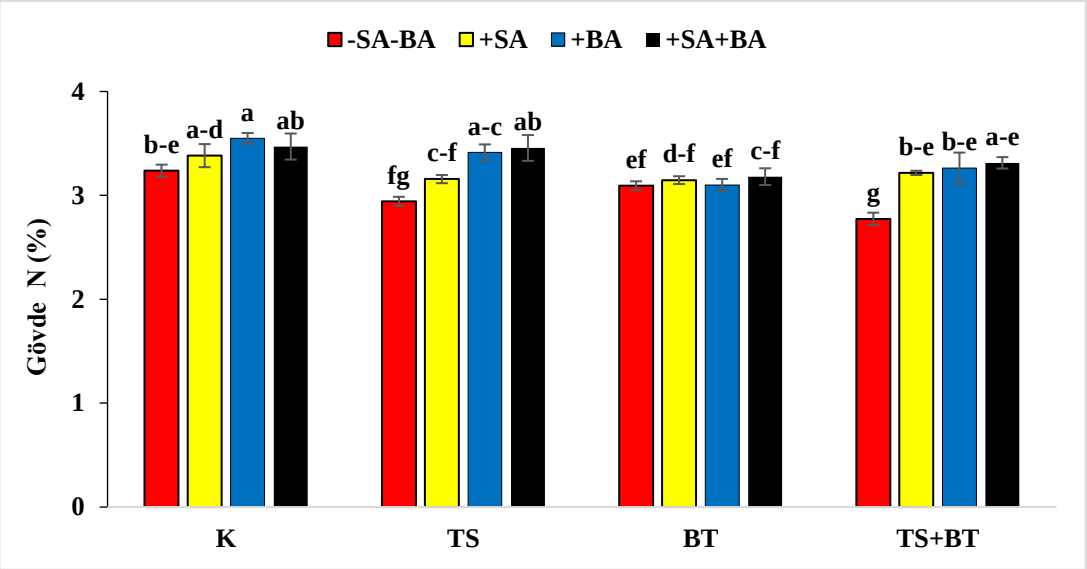
K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.69. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının Ca (%) içeriği sonuçları

Soya bitkisinde elde ettiğimiz sonuçlar bitki Ca içeriklerinde dalgalı sonuçlar vermiştir. Genel olarak bakıldığında tuz ve bor uygulamasında Ca içeriklerinin arttığı tespit edilmiştir. Yapılan SA ve BA uygulamalarının da bu artışı kısmen de olsa desteklediği gözlenmiştir. Yapılan bazı çalışmalarda da bu durum görülmektedir (Zhang ve ark., 2019; Zhao ve ark., 2021). Tuz stresi altındaki buğday bitkisinde yapılan bir çalışmada, tuz uygulamasının Ca içeriğini arttırdığı rapor edilmiştir (Ahmad ve ark., 2014). Bor ve tuzun birlikte uygulandığı farklı bir çalışmada da iki uygulamanın birlikte bitkide Ca içeriğini arttırdığı rapor edilmiştir (Pandey ve ark., 2019). Gül bitkisine tuz ve borun birlikte uygulanmasının bitkide kademeli olarak Ca içeriğini arttırdığı belirlenmiştir (Yousefi ve ark., 2020). Rojas-Tapias ve ark., (2015) yaptıkları başka bir çalışmada, 2 farklı tuz uygulamasının mısır bitkisinde doz artışına bağlı olarak bitki Ca içeriğini arttırdığı, tuz ile PGPR bakteri aşılamasının da bu artışı desteklediği sonucunu bulmuşlardır. Buna karşın tuz uygulamasının Ca içeriğinde

düşüşe neden olduğu çalışmalarda vardır. Patlıcan bitkisinde yapılan çalışmada tuza toleransı olmayan patlıcan çeşidinde tuz uygulaması ile Ca konsantrasyonunun azaldığı tespit edilmiştir (Yaşar ve ark., 2006). Çilek bitkisinde yapılan bir başka çalışmada da tuz uygulaması ile bitki Ca içeriği azalırken dışarıdan yapılan SA uygulaması Ca içeriğinde artışa sebep olduğu rapor edilmiştir (Tohma, 2007). Bitki Ca içeriği hakkında bitki çeşidi ve türüne bağlı olarak farklı sonuçların elde edildiği anlaşılmaktadır. Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar literatüre katkı niteliği sağlamaktadır.

Tuz stresi ve bor toksisitesindeki bitkilere salisilik asit ve bakteri uygulamasının, bitkide gövde azot içerikleri incelenmiştir (Şekil 4.70.). Elde edilen sonuçlarda stres etkisi olmayan saksılara yapılan SA uygulaması N içeriğini %4.4, SA+BA uygulaması %7.1 ve en yüksek değer olan BA uygulaması da %9.3 oranında arttırmıştır. TS uygulaması kontrole göre bitkide N içeriğini %9.1, BT uygulaması %4.4 ve TS+BT uygulamasıda %14.3 oranında azaltmıştır. TS uygulamasına yapılan SA uygulaması N içeriğini %7.2, BA %15.9 ve SA+BA %17.4 oranında arttırmıştır. BT uygulamasına yapılan SA, BA ve SA+BA uygulamaları bu değerde önemli değişiklik yapmamıştır. TS+BT uygulamasına yapılan SA uygulaması ile bu değer %15.4, BA uygulaması ile %17.7 ve SA+BA uygulaması ile de %19.9 oranında artış olmuş ve bu artışlar önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.70. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının N (%) içeriği sonuçları

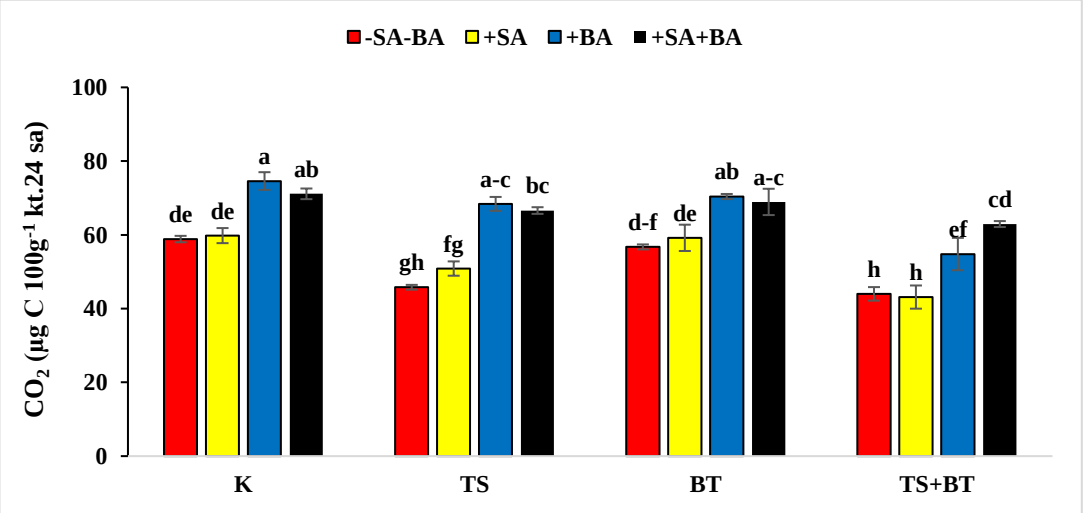
Çalışmamızın bitkide azot sonuçlarına baktığımızda, stres etkisiyle bitkide N içeriğinde azalmalar olduğu, fakat özellikle bakteri aşılamasının N içeriğini arttırdığı görülmektedir. Tuz uygulamasının bitkilerde N konsantrasyonunda azalmaya neden olduğu daha önceki çalışmalarda bildirilmiştir (Farooq ve ark., 2015b; Abiala ve ark., 2018). Mushtaq ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada artan dozlarda tuz uygulamışlardır. Tuz uygulaması bitki N içeriğini azaltmıştır. Yapılan *rhizobium* aşılaması ile N içeriğinde artışlar olduğu bildirilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda tuz uygulanan bir başka çalışmada, üçlü mikrobiyal aşılama yapılmış ve etkileri incelenmiştir. Artan tuz dozunun bitkide N içeriğini azalttığı belirtilmiştir. Stres altında yapılan farklı aşılamalar ile N içeriğinin artışa geçtiği vurgulanmıştır (Abd-Alla ve ark., 2019). Ji ve ark. (2020) buğday bitkisine farklı dozlarda tuz uygulamış ve artan tuz dozu N içeriğini azaltmıştır. Buna karşın tuz stresine toleranslı Bacillus subtilis HG-15 bakteri aşılaması ile bitki N içeriğinin arttığını bulmuşlardır. Sonuçlarımız daha önce yapılan çalışmaları doğrular niteliktedir (Kaya ve Ashraf, 2015; Al-Huqai ve ark., 2020).

4.5. Toprak Mikrobiyal Aktivite Analiz Sonuçları

Araştırmada sonunda uygulamalardan alınan toprak örneklerinde, toprak içerisinde bazı mikrobiyal aktivite (CO_2, DHA ve MBC) değerleri ölçülmüştür.

4.5.1. Toprak solunumu (CO_2) sonuçları

Yapılan uygulamaların CO_2 değerlerine ait sonuçlar Şekil 4.71.'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, kontrole kıyasla yapılan BA ve SA+BA uygulamaları CO_2 içeriğini yaklaşık %23 oranında arttırmış ve bu artış önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Kontrole göre yapılan TS uygulaması CO_2 içeriğini %22.1, BT uygulaması %3.6 ve TS+BT uygulaması ise %26.2 oranında azaltmıştır.



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.71. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının Toprak CO_2 aktivite sonuçları

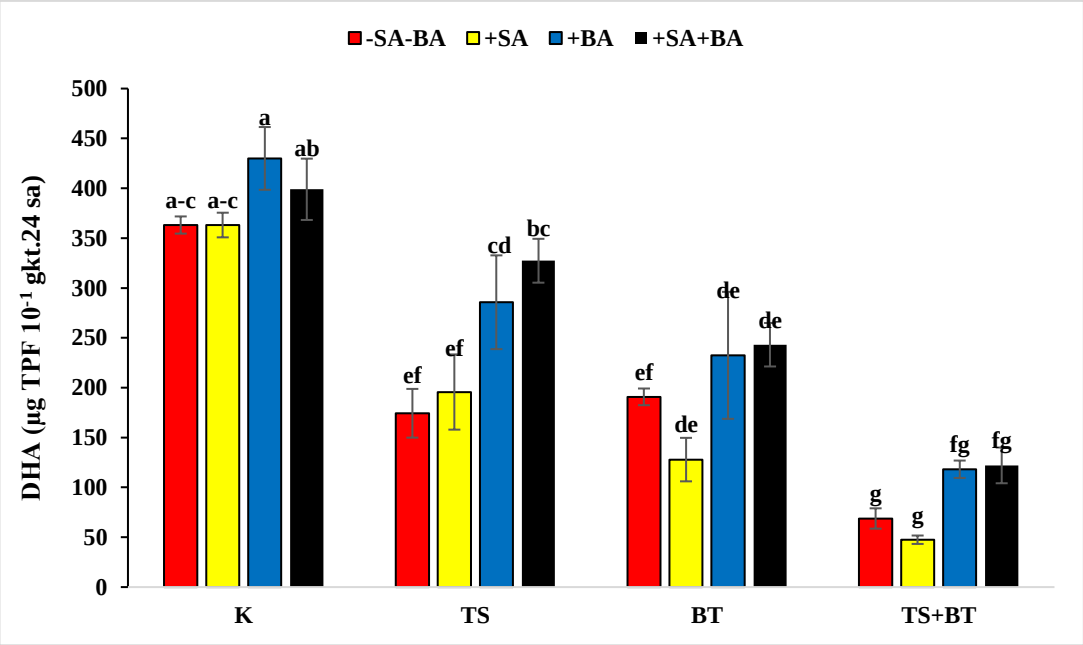
Stres etkilerine karşı yapılan uygulamalar farklı sonuçlar vermektedir. TS uygulamasına yapılan SA uygulaması CO_2 içeriğini %11 oranında arttırmış fakat bu artış önemsiz bulunmuştur ($P \leq 0.05$). BA uygulaması %49.3 oranında ve SA+BA uygulaması da %45.7 oranında arttırmış ve bu artışlar önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). BT uygulamasına yapılan SA uygulaması %4, BA uygulaması %24.9 ve SA+BA uygulaması da %21.8 oranında arttırmıştır. TS+BT uygulamasına yapılan SA

uygulaması istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. BA uygulaması %24.2 oranında ve SA+BA uygulaması ise %43.8 oranında arttırmış ve bu artışlar da istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

Toprak solunumu (CO_2) toprakta bulunan mikroorganizmalar yardımı ile organik maddenin parçalanması sonucu açığa çıkan önemli bir mikroorganizma aktivite göstergesidir (Demirtok ve ark., 2015). Bu noktada toprak besin döngüsünde de olumlu bir rol oynamaktadır (Thies, Rillig ve Graber 2015; Heidari ve ark., 2016). Yapılan farklı çalışmalarda toprak organik madde uygulamaları veya aşılamanın CO_2 içeriğini arttırdığı bildirilmiştir (Luo ve diğerleri 2014; Cooper ve ark., 2020). Sheng ve Zhu (2018) yaptıkları çalışmada artan bakteri çeşitliliğinin CO_2'de artış sağladığını rapor etmişlerdir. Organik madde artışının da CO_2 konsantrasyonunu arttırdığını açıklayan çalışmalarda vardır (Soinne ve ark., 2020). Elde ettiğimiz sonuçlar literatürü destekler ve katkı niteliği taşımaktadır.

4.5.2. Dehidrogenaz enzim aktivitesi (DHA) sonuçları

Yapılan uygulamaların toprak DHA aktivitesi sonuçları Şekil 4.72.'de verilmiştir. Kontrole kıyasla yapılan SA uygulamasının DHA içeriğini %1.5 oranında, BA uygulaması %26.2 ve SA+BA uygulaması ise %20.1 oranında arttırmış ve elde edilen değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Yapılan TS uygulaması toprak DHA içeriğini %22.1, BT uygulaması %3.6 ve TS+BT uygulaması ise %25.8 oranında düşürmüştür.



K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.72. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının toprak DHA aktivite sonuçları

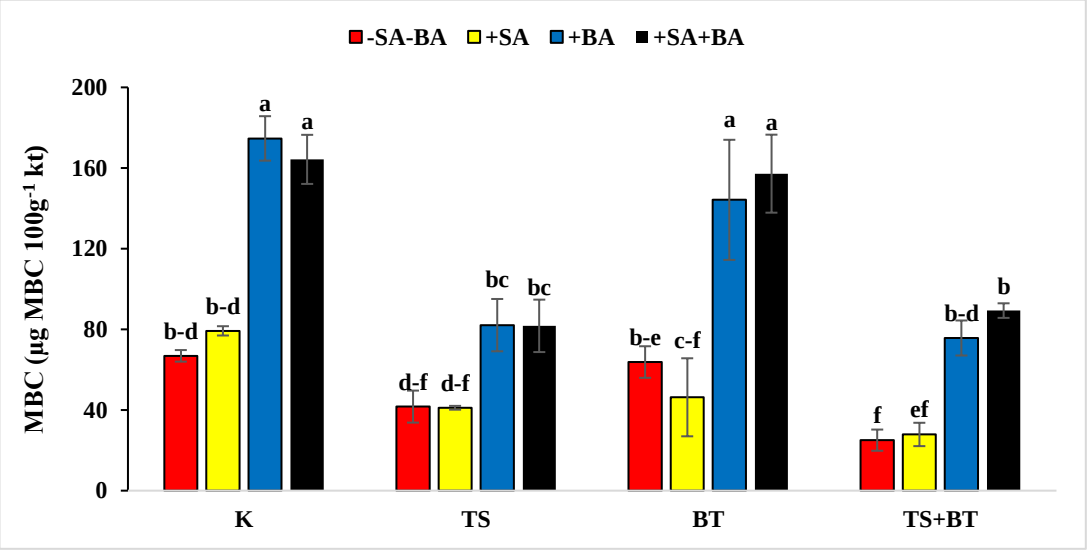
Stres etkilerine karşı yapılan uygulamalar ise DHA içeriğinin yükselmesinde etkili olmuştur. TS uygulamasına yapılan SA uygulaması DHA içeriğini %11, BA uygulaması %49.3 ve SA+BA uygulaması da %45.8 oranında yükseltmiştir. BT uygulamasına yapılan SA uygulaması %4.3, BA uygulaması bu değeri %24.9 ve SA+BA uygulaması ise %21.4 oranında yükseltmiştir. Çift stres (TS+BA) uygulamasına yapılan SA uygulaması DHA içeriğini etkilememiştir. Fakat BA uygulaması %24.5 ve SA+BA uygulaması %43 oranında yükseltmiştir. Elde edilen bu değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

Yapılan çalışma sonunda bazı toprak mikrobiyal aktivite sonuçlarına bakılmıştır. Bunlardan biri de DHA aktivitesidir. Toprak DHA aktivitesi, toprak mikroorganizmalarının oksidatif aktivitesini yansıttığından, artan DHA aktivitesi, toprak mikrobiyal içeriği, toprak verimliliği, sağlığı ve dinamizminde hayati bir role sahiptir (Datt ve Singh, 2019). Önceki çalışmalar, tuzlu koşulların toprak enzim aktivitelerini ciddi şekilde engellediğini göstermiştir (Guangming ve ark., 2017). Elde ettiğimiz sonuçlarda bakteri aşılamasının etkisi dikkat çekmektedir. Stres etkisi altında

bu aktivite kontrole kıyasla önemli oranda düşmüştür. Mısır bitkisinde yapılan bir çalışmada tuz stresi toprak mikrobiyal aktivitesini azaltırken, yapılan mikrobiyal uygulamalar ile aktivitede artış olduğu saptanmıştır (Sadeghi ve Taban 2021). Besin elementi stresi gibi farklı stres şartları altında da DHA aktivitesinin azaldığını bildiren çalışmalarda vardır (Aponte ve ark., 2020). Çalışmamızda stres altındaki soya bitkisine yapılan aşılamanın etkili olduğu belirlenmiştir. Konu ile alakalı literatürde çok az çalışma bulunmakta ve çalışmamız literatüre katkı niteliği sağlamıştır.

4.5.3. Mikrobiyal biyomas karbon (MBC) sonuçları

Yapılan uygulamaların MBC değerlerine ait sonuçlar Şekil 4.73.'te verilmiştir. Değerler incelendiğinde, kontrole yapılan SA uygulaması %18.4 oranında, BA uygulaması %161.1 oranında ve SA+BA uygulaması da %145.9 oranda MBC değerlerini arttırmıştır ($P \leq 0.05$). TS stres uygulaması MBC değerini %37.9, BT uygulaması %4.8 ve TS+BT uygulaması %62.9 oranında azaltmıştır.



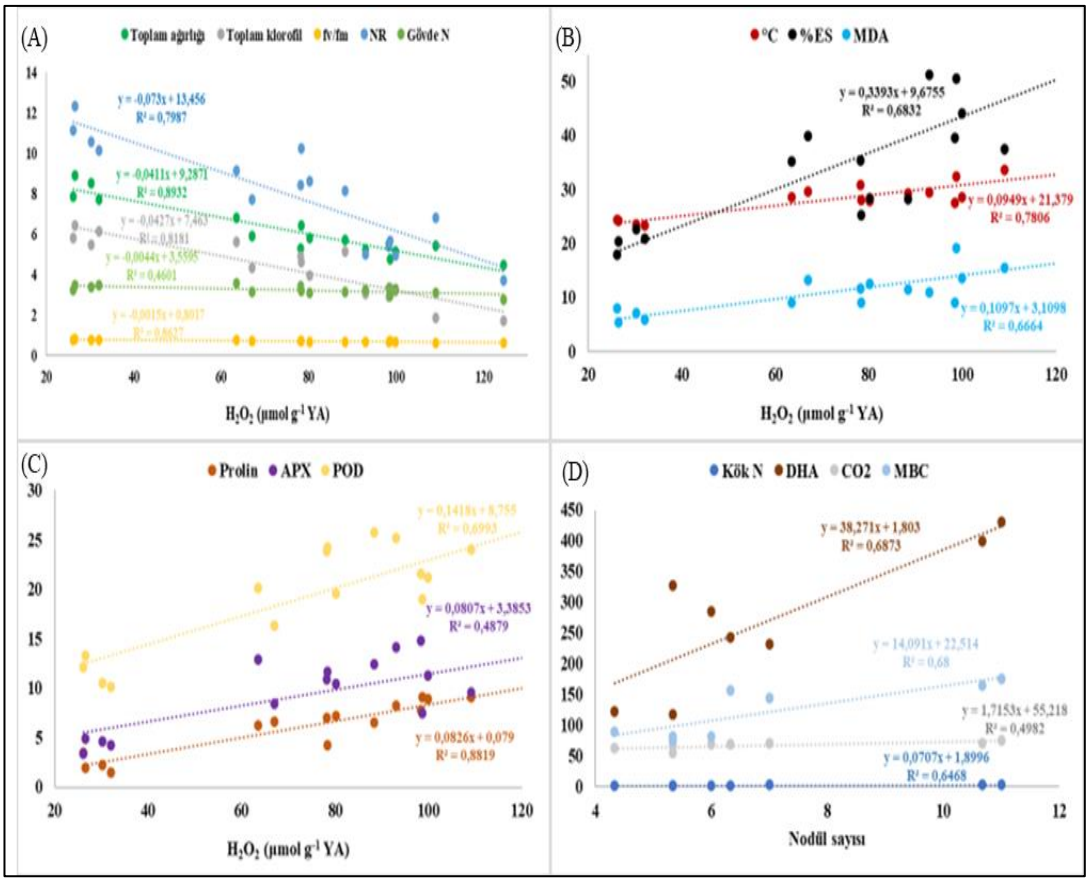
K: sadece sulama yapılmış; TS: 100mM NaCl; BT: 2mM H_3BO_3; SA: yapraktan 0.5mM salisilik asit uygulaması; BA: Bakteri aşılanmış

Şekil 4.73. Yüksek Tuz ve bor etkisinde yetişen soyada salisilik asit ve bakteri uygulamasının toprak MBC aktivite sonuçları

TS stres etmenine karşın yapılan SA uygulaması %1.4 oranında düşürürken, BA uygulaması %96.5 oranında ve SA+BA uygulaması da %96.9 oranında MBC değerini

arttırmıştır. BT stres etmenine karşı yapılan SA uygulaması MBC değerini %27.4 oranında düşüş sağlarken, BA uygulaması %126.7 oranında ve SA+BA uygulaması ise %146.9 oranında arttırmıştır. TS+BT stres etmenlerine karşı yapılan SA uygulaması %11.3, BA uygulaması ise %202.8 ve SA+BA uygulaması da %256.1 oranında MBC değerini arttırmış ve elde edilen değerler istatistik açısından önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

Çalışma sonun elde edilen ve toprak mikrobiyal aktivitesi göstergelerinden biri olan MBC sonuçları, aşılamanın olduğu parametrelerde en yüksek seviyede bulunmuştur. Yapılan çalışmalarda aşılamanın MBC'yi önemli ölçüde arttırdığını ve stres koşullarında dahi mikrobiyal aktiviteyi arttırdığını göstermektedir (Islam ve ark., 2015). Tuzlu şartlar altında toprak enzim aktiviteleri; toprak mikroorganizma bolluğu ve aktivitelerindeki azalma veya enzim proteinleri üzerindeki tuzlanmadan kaynaklı azalan enzim sentezinden etkilenebilir (Hou ve ark., 2021). Domates bitkisinde yapılan bir araştırmada artan tuz dozu MBC içeriğini azaltmış, yapılan bakteri aşılaması ile MBC içeriği artışa geçtiği bildirilmiştir (Naseri ve ark., 2022). Yapılan benzer araştırma sonuçlarına göre de stres şartlarında MBC aktivitesinde azalma olduğu rapor edilmiştir (Babu ve ark., 2020). Araştırma sonuçlarımızda bakteriyel aşılamanın, stres şartlarında azalan mikrobiyal aktiviteyi iyileştirmede önemli olduğu belirtilmektedir. Literatürdeki benzer çalışmaları elde ettiğimiz sonuçlar destekler nitelikte ve literatüre katkı niteliğindedir.



Şekil 4.74. H_2O_2 içeriğinin diğer stres parametreleri ile ilişkisi (A, B, C), Nodül oluşumunun mikrobiyal aktiviye etkisi (D)

Soya bitkisinde yapılan 3. denemede bitki analizleri arasında yapılan korelasyon analizi sonuçlarına göre (Şekil 4.74.), stres sonucu oluşan H_2O_2 ile bitki toplam ağırlığı arasında (r:-0.945 p: 0.000), toplam krolofil arasında (r: -0.905 p: 0.000), %RWC arasında (r: -0.813 p: 0.000), Fv/Fm arasında (r: -0.925 p: 0.000) ve NR arasında (r: -0.894 p: 0.000) anlamlı negatif güçlü korelasyon bulunmaktadır. Diğer parametrelerde ise H_2O_2 ile sıcaklık arasında (r: 0.883 p: 0.000), %ES arasında (r:0.827 p: 0.000), MDA arasında (r:0.816 p: 0.000), prolin arasında (r:0.939 p: 0.000), POD arasında (r:0.836 p: 0.000) ve CAT arasında (r: 0.797 p: 0.000) anlamlı pozitif güçlü korelasyon olduğu görülmektedir. Ayrıca H_2O_2 ile APX arasında (r: 0.698 p: 0.003) anlamlı pozitif orta düzeyde korelasyon ilişkisi bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre, H_2O_2 ile bitki toplam ağırlığı, toplam krolofil, %RWC, Fv/Fm ve NR parametreleri ile ters yönde ilişki bulunurken, diğer parametrelerle arasında doğru yönde ilişkisi olduğu sonucuna varılmaktadır. Yapılan BT uygulaması sonucu artan bor içeriği ile H_2O_2

arasında (r:0.719 p: 0.002) anlamlı pozitif güçlü korelasyon saptanırken, N arasında (r: -0.552 p: 0.027) anlamlı negatif orta düzeyde korelasyon bulunmaktadır.

Soya bitkisinde bakteri aşılamasının mikrobiyal aktivite etkileri arasında yapılan korelasyon analizi sonuçlarına göre, bakteri aşılamasının olumlu göstergelerinden olan nodul sayısı ile kök+nodül N arasında (r:-0.750 p: 0.001), CO_2 arasında (r: 0.818 p: 0.000) ve MBC arasında (r: 0.895 p: 0.000) anlamlı pozitif güçlü korelasyon bulunurken, nodul sayısı ile DHA arasında (r:0.536 p: 0.032) ise anlamlı pozitif orta düzeyde korelasyon bulunmaktadır. Nodül sayısı ile mikrobiyal parametreler arasında doğru yönlü ilişki bulunmaktadır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Mevcut çalışma, yarı kurak ve kurak bölgelerde TS ve BT bitki büyümesi ve toprak mikrobiyal aktivitesi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için potansiyel stratejiler hakkında yeni veriler sunmaktadır. Çalışma, yapraktan MT ve SA uygulamnaları ile toprak ortamında BA'nın etkilerine odaklanan biber ve soya fasulyesi bitkilerinde kurulmuştur. Denemeler kontrol, TS, BT ve TS+BT stresi altında MT, SA ve BA'nın farklı muamelelerini inceleyen üç ayrı çalışmadan oluşmaktadır.

İlk deneyde, TS+BT işleminin bitki büyümesi ve klorofil içeriği üzerinde en olumsuz etkiyi gösterdiği, reaktif oksijen türlerinin, prolin ve malondialdehit içeriklerinin seviyelerinin arttığının belirlendiği görülmüştür. Bununla birlikte, 100 µM'lik bir konsantrasyonda yaprak MT uygulaması, her iki bitkide de taze ve kuru ağırlıkları ve klorofil içeriğini arttırırken, reaktif oksijen türlerinin seviyelerini ve malondialdehit içeriğini azaltmıştır. Ayrıca MT uygulaması antioksidan enzim aktivitesini arttırarak stresin olumsuz etkilerini azaltmaya yardımcı olmuştur.

İkinci deneyde, birinci deneydeki uygulamalara bakteri aşılaması eklenmiştir. Bakteri aşılaması yapılmayan bitkilerde nodül oluşmadığı; fakat aşılama yapılan bitkilerde nodül oluştuğu görülmüştür. Yapılan TS, BT ve TS+BT uygulamaları soya bitkisinde bitki büyümesi, klorofil içeriğinde ve toprak mikrobiyal aktivitesinde azalmaya neden olurken, elektrolit sızıntı, reaktif oksijen türleri, prolin, hidrojen peroksit ve melondialdehit seviyelerinde artışa neden olmuştur. Ayrıca, MT, BA ve MT+BA uygulamaları, TS, BT ve TS+BT uygulamalarından oluşan zararlardan hidrojen peroksit, elektrolit sızıntı ve melondialehit seviyelerinde azalma sağlarken, bitki büyümesi, klorofil içeriği, reaktif oksijen türleri ve toprak mikrobiyal içerikleri üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmıştır.

Üçüncü deneyde, yaprak MT uygulaması yerine SA uygulaması gerçekleştirilmiş ve ikinci deneydeki uygulamalar tekrarlanmıştır. SA'nın toprak mikrobiyal aktivitesi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı, ancak bakteriyel aşılamanın mikrobiyal aktiviteyi önemli ölçüde artırdığı ve strese karşı bitki direncini geliştirdiği belirlenmiştir. İkinci deneyde olduğu gibi, TS, BT ve TS+BT uygulamaları

soya bitkisinde bitki büyümesinde, klorofil içeriğinde ve toprak mikrobiyal aktivitesinde azalmaya neden olurken, elektrolit sızıntı, reaktif oksijen türleri, prolin, hidrojen peroksit ve melondialdehit seviyelerinde artışa neden olmuştur. SA, BA ve SA+BA uygulamalarının stresten oluşan zararlı etkileri azalttığı görülmüştür. İkinci denemeye ek olarak yaprak su doygunluk oranı, fotosistem II etkinliği ve K, gövde N ve kök+nodül N içerikleri stres etkisiyle azaldığı tespit edilmiştir. Stres uygulamalarının bitki içeriğinde Na ve B miktarlarının arttığı tespit edilmiştir. Yapılan SA, BA ve SA+BA uygulamalarının bitkide kök ve gövde azot içeriğinde ve K içeriğinde artış sağladığı tespit edilmiştir.

Toprak ortamında kurulan 2. ve 3. denemelerde yapraktan uygulanan MT ve SA'nın soya bitkisi toplam ağırlıkları yönünden etkileri incelendiğinde; MT uygulamasının bireysel streslerde bitki toplam ağırlığını ortalama %4.5 oranında arttırırken, SA uygulaması %7.5 oranında arttırarak daha etkili olmuştur. TS+BT stresinde ise SA uygulaması toplam bitki ağırlığını %17 oranında arttırırken, MT uygulaması %21 oranında arttırarak daha etkili olmuştur.

Mevcut çalışma, toprak mikrobiyal aktivitesini arttırırken bitki büyümesini ve abiyotik strese karşı toleransı arttırmada yapraktan MT ve SA uygulamasının ve bakteri aşılamasının potansiyel etkilerinin anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, bu çalışma, bitki büyümesini ve stres toleransını iyileştirmede, toprak mikrobiyal aktivitesinin rolünün önemli olduğunu vurgulamaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, yarı kurak ve kurak bölgelerdeki tarımsal uygulamalar için önemli çıkarımlara sahiptir.

Elde edilen bulgulara dayanarak, kurak ve yarı kurak bölgelerdeki üreticilerin maruz kaldıkları tuz ve bor stresine bağlı üretim problerinin çözümünde yapraktan uygulanan MT ve SA ile bakteri aşılaması, etkili bir uygulama strateji olarak önerilebilir. Daha ileri çalışmalar ile, faydalarını en üst düzeye çıkarmak için MT ve SA'nın optimum uygulama oranları, zamanlaması ve farklı ürünlerde ve toprak türlerinde bakteri aşılaması konuları araştırılmalıdır.

Yapraktan uygulanan MT ve SA ile bakteri aşılaması yapılan bitkilerde elde ettiğimiz sonuçlar, abiyotik streslere karşı dayanıklılığı ve bitki büyümesini artırdığı gibi toprak mikrobiyal aktivitesini de olumlu yönde etkileyebileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, yarı kurak ve kurak bölgelerdeki tarımsal uygulamalar için önemli bir potansiyel taşımaktadır. Bu nedenle, bu çalışma, yarı kurak ve kurak bölgelerde abiyotik stresin bitki büyümesi ve toprak mikrobiyal aktivitesi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için kullanılabilecek stratejilere bilimsel bir yaklaşım olarak katkıda bulunmaktadır.

Bu çalışmanın kapsam ve içeriği açısından, çift stres ve farklı iyileştirici uygulamalar kullanılması ile yenilikçi ve öncü bir yanı bulunmaktadır. Bunun yanında, çalışmada elde edilen saonuçlar, yarı kurak ve kurak bölgelerdeki üreticiler için hem ekonomik hem de ekolojik açıdan önemli yapıcı etkilere sebep olabilecektir.

KAYNAKLAR

ABAYDINULFARAJ, A. A. and JALAL, R. S., 2021. Use of plant growth-promoting bacteria to enhance salinity stress in soybean (*Glycine max L.*) plants. Saudi Journal of Biological Sciences, 28(7), 3823-3834.

ABBASİ, G.H., AKHTAR, J., HAQ, M.A.U., ALİ, S., CHEN, Z. H. and MALİK, W., 2014. Exogenous potassium differentially mitigates salt stress in tolerant and sensitive maize hybrids. Pak. Journal. Botanic, 46(1), 135-146.

ABD EL-MAGEED, T.A., RADY, M.M., TAHA, R.S., ABD EL AZEAM, S., SİMPSON, C.R., SEMİDA, W.M., 2020. Effects of integrated use of residual sulfur-enhanced biochar with effective microorganisms on soil properties, plant growth and short-term productivity of Capsicum annuum under salt stress. Scientia Horticulturae, 261: 108930.

ABD-ALLA, M. H., NAFADY, N. A., BASHANDY, S. R., and HASSAN, A. A., 2019. Mitigation of effect of salt stress on the nodulation, nitrogen fixation and growth of chickpea (*Cicer arietinum L.*) by triple microbial inoculation. Rhizosphere, 10, 100148.

ABDEL LATEF, A. A. H., ABU ALHMAD, M. F., KORDROSTAMİ, M., ABO–BAKER, A. B. A. E., and ZAKİR, A., 2020. Inoculation with Azospirillum lipoferum or Azotobacter chroococcum reinforces maize growth by improving physiological activities under saline conditions. Journal of Plant Growth Regulation, 39, 1293-1306.

ABDELAAL, K. A., MAZROU, Y. S., and HAFEZ, Y. M., 2020. Silicon foliar application mitigates salt stress in sweet pepper plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield. Plants, 9(6), 733.

ABDELGAWAD, H., ZİNTA, G., HEGAB, M. M., PANDEY, R., ASARD, H., and ABUELSOUD, W., 2016. High salinity induces different oxidative stress and antioxidant responses in maize seedlings organs. Frontiers in plant science, 7, 276.

ABDİEV, A., KHAİTOV, B., TODERİCH, K., and PARK, K. W., 2019. Growth, nutrient uptake and yield parameters of chickpea (*Cicer arietinum L.*) enhance by Rhizobium and Azotobacter inoculations in saline soil. Journal of Plant Nutrition, 42(20), 2703-2714.

ABDULHADİ, S., SEYMEN, M. ve TÜRKMEN, Ö., 2017. Tuzlu toprak koşullarında kabakta arbusküler mikoriza fungi uygulamalarının fide gelişmesine etkisi. Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences, 7 (2). induced by salicylic acid and salinity. Plant Science, 164: 317–322.

ABİALA, M. A., ABDELRAHMAN, M., BURRİTT, D. J., and TRAN, L. S. P., 2018. Salt stress tolerance mechanisms and potential applications of legumes for sustainable reclamation of salt-degraded soils. Land Degradation and Development, 29(10), 3812-3822.

ADETUNJİ, A. T., LEWU, F. B., MULİDZİ, R., and NCUBE, B., 2017. The biological activities of β-glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. Journal of soil science and plant nutrition, 17(3), 794-807.

ADHİKARİ, B., DHUNGANA, S. K., KİM, I. D., and SHİN, D. H., 2020. Effect of foliar application of potassium fertilizers on soybean plants under salinity stress. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 19(4), 261-269.

AGNİHOTRİ, A. and SETH, C.S., 2016. Exogenously applied nitrate improves the photosynthetic performance and nitrogen metabolism in tomato (*Solanum lycopersicum L. cv Pusa Rohini*) under arsenic (V) toxicity. Physiology and Molecular Biology of Plants 22 (3), 341–349.

AHANGER, M. A., QİN, C., MAODONG, Q., DONG, X. X., AHMAD, P., ABD_ALLAH, E. F., and ZHANG, L., 2019. Spermine application alleviates salinity induced growth and photosynthetic inhibition in Solanum lycopersicum by modulating osmolyte and secondary metabolite accumulation and differentially regulating antioxidant metabolism. Plant Physiology and Biochemistry, 144, 1-13.

AHMAD I, MOHAMMAD F, TAJ S, MUNSİF F and AKBER S., 2017. Performance of F1 hybrids in sunflower (*Helianthus annuus L*.) under the envi-ronmental conditions of Peshawar valley. İnternational journal of agriculture and environmental science. 3(1):112–115

AHMAD, P., ALYEMENİ, M. N., AHANGER, M. A., EGAMBERDİEVA, D., WİJAYA, L., and ALAM, P., 2018. Salicylic acid (SA) induced alterations in growth, biochemical attributes and antioxidant enzyme activity in faba bean (*Vicia faba L*.) seedlings under NaCl toxicity. Russian Journal of Plant Physiology, 65, 104-114.

AHMAD, R., ALİ, S., and KHAN, M. A., 2018. Interactive effect of salinity and boron toxicity on growth, mineral nutrition and root morphology of maize (*Zea mays L*.) seedlings. Plant Physiology and Biochemistry, 125, 251-260.

AHMAD, S., CUİ, W., KAMRAN, M., AHMAD, I., MENG, X., WU, X., ... and HAN, Q., 2021. Exogenous application of melatonin induces tolerance to salt stress by improving the photosynthetic efficiency and antioxidant defense system of maize seedling. Journal of Plant Growth Regulation, 40, 1270-1283.

AHMAD, Z., TAHİR, S., ABİD, M. and AMANULLAH, M., 2014. Salt-induced variations in physiological parameters and nutrient concentrations of two wheat cultivars. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 45 (1), 29-41.

AKIN, S., ŞİMŞEK, M., SARİOĞLU, A., KESKİNER, A. D. 2020. Effect of mycorrhiza application and different irrigation level on yield and yield components of cucumber grown in late period. Harran Tarim ve Gida Bilimleri Dergisi/Harran Journal of Agricultural and Food Science, 24(2), 241-249.

AKİTHA DEVİ, M. K., and GİRİDHAR, P., 2015. Variations in physiological response, lipid peroxidation, antioxidant enzyme activities, proline and isoflavones content in soybean varieties subjected to drought stress. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 85, 35-44.

AKLADİOUS, S. A., and MOHAMED, H. I., 2018. Ameliorative effects of calcium nitrate and humic acid on the growth, yield component and biochemical attribute of pepper (*Capsicum annuum*) plants grown under salt stress. Scientia Horticulturae, 236, 244-250.

AKRAM, M., 2014. Effect of nitrogen nutrition on solute accumulation and ion contents of maize under sodium chloride stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 45, 86-100.

AKRAM, N. A., HAFEEZ, N., FARİD-UL-HAQ, M., AHMAD, A., SADİQ, M., and ASHRAF, M., 2020. Foliage application and seed priming with nitric oxide

causes mitigation of salinity-induced metabolic adversaries in broccoli *(Brassica oleracea L.*) plants. Acta Physiologiae Plantarum, 42, 1-9.

AKRAMİ, M., and ARZANİ, A., 2018. Physiological alterations due to field salinity stress in melon (*Cucumis melo L.*). Acta Physiologiae Plantarum, 40, 1-14.

AKTAS, H., KARNİ, L., CHANG, D-C., TURHAN, E., BAR-TAL, A. and ALONİ, B., 2005. The suppression of salinity-associated oxygen radicals production, in pepper (*Capsicum annuum L.*) fruit, by manganese, zinc and calcium in relation to its sensitivity to blossom-end rot, Physiologia Plantarum, 123(1), 67-74.

AL-HUQAİL, A. A., KHAN, M. N., ALİ, H. M., SİDDİQUİ, M. H., AL-HUQAİL, A. A., ALZUAİBR, F. M., ... and AL-HUMAİD, L. A., 2020. Exogenous melatonin mitigates boron toxicity in wheat. Ecotoxicology and Environmental Safety, 201, 110822.

ALİ, B., GİLL, R. A., YANG, S., GİLL, M. B., FAROOQ, M. A., LİU, D., DAUD, M. K., ALİ, S., ZHOU, W. 2015. Regulation of Cadmium-Induced Proteomic and Metabolic Changes by 5- Aminolevulinic Acid in Leaves of *Brassica napus L*. PLoS One, 10, e0123328.

ALİ, Q.; HAİDER, M.Z.; SHAHİD, S.; ASLAM, N.; SHEHZAD, F.; NASEEM, J.; ASHRAF, R.; ALİ, A.; HUSSAİN, S.M., 2019. Role of amino acids in improving abiotic stress tolerance to plants. In Plant Tolerance to Environmental Stress; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2019; pp. 175–204.

ALİ, S., RİZWAN, M., QAYYUM, M.F., OK, Y.S., IBRAHİM, M., RİAZ, M. and SHAHZAD, A.N., 2017. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. Environmental Science and Pollution Research, 24 (14): 12700-12712.

ALTAŞ, İ., 2016. Brassinosteroit ve mikrobiyal gübrenin tuz stresinde yetişen mısır bitkisine etkileri/The effects of brassinosteroid and microbial fertilizer on maize plants grown under salt stress (Doctoral dissertation).

ALTUNLU, H., 2019. The effects of mycorrhiza application on growth and antioxidative enzymes of capia type pepper (*Capsicum annuum L.*) seedling under salty conditions. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 56 (2): 139-146.

ALTUNLU, H., 2020. Tuz Stresi Altındaki Biberde (*Capsicum annuum L.*) Mikoriza ve Rizobakteri Uygulamasının Bitki Gelişimi ve Bazı Fizyolojik Parametreler Üzerine Etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 57(4), 501-510.

ALTUNTAS, O., DASGAN, H. Y., and AKHOUNDNEJAD, Y., 2018. Silicon-induced salinity tolerance improves photosynthesis, leaf water status, membrane stability, and growth in pepper (Capsicum annuum L.). HortScience, 53(12), 1820-1826.

ALVES, L.R., MONTEİRO, C.C., CARVALHO, R.F., RİBEİRO, P.C., TEZOTTO, T., AZEVEDO, R.A. and GRATÃO, P.L., 2017. Cadmium stress related to root-to-shoot communication depends on ethylene and auxin in tomato plants. Environmental and Experimental Botany. 134, 102–115.

ALVES, R.C., MEDEİROS, A.S., NİCOLAU, M.C.M., NETO, A.P., LİMA, L.W., TEZOTTO, T. and GRATÃO, P.L., 2018. The partial root-zone saline irrigation system and antioxidant responses in tomato plants. Plant Physiol. Biochem. 127, 366–379.

ANDREWS, M., CONDRON, L.M., KEMP, P.D., TOPPİNG, J.F., LİNDSEY, K., HODGE, S. and RAVEN, J. A., 2020. Will rising atmospheric CO2

concentration inhibit nitrate assimilation in shoots but enhance it in roots of C3 plants. Physiologia Plantarum. 170 (1), 40–45.

ANGELİNİ, R., and FEDERİCO, R., 1989. Histochemical evidence of polyamine oxidation and generation of hydrogen peroxide in the cell wall. Journal of Plant Physiology, 135(2), 212-217.

ANGELİNİ, R., MANES, F. and FEDERİCO, R., 1990. Spatial and functional correlation between diamine-oxidase and peroxidase activities and their dependence upon de-etiolation and wounding in chick-pea stems. Planta, 182(1), 89-96.

ANJUM, N. A., SHARMA, P., GİLL, S. S., HASANUZZAMAN, M., KHAN, E. A., KACHHAP, K. and TUTEJA, N., 2016. Catalase and ascorbate peroxidase—representative H2O2-detoxifying heme enzymes in plants. Environmental Science and Pollution Research, 23 (19): 19002-19029.

ANZUAY, M. S., CİANCİO, M. G. R., LUDUEÑA, L. M., ANGELİNİ, J. G., BARROS, G., PASTOR, N., and TAURİAN, T., 2017. Growth promotion of peanut (Arachis hypogaea L.) and maize (Zea mays L.) plants by single and mixed cultures of efficient phosphate solubilizing bacteria that are tolerant to abiotic stress and pesticides. Microbiological Research, 199, 98-109.

APONTE, H., MELİ, P., BUTLER, B., PAOLİNİ, J., MATUS, F., MERİNO, C., ... and KUZYAKOV, Y., 2020. Meta-analysis of heavy metal effects on soil enzyme activities. Science of the Total Environment, 737, 139744.

ARAUJO, SS, BEEBE, S., CRESPİ, M., DELBREİL, B., GONZALEZ, EM, GRUBER, V., ... and PATTO, MCV., 2015. Baklagillerde abiyotik stres tepkileri: çevresel zorluklarla başa çıkmak için kullanılan stratejiler. Bitki Bilimlerinde Eleştirel İncelemeler, 34 (1-3), 237-280.

ARNAO, M. B., and HERNÁNDEZ-RUİZ, J., 2019. Melatonin: a new plant hormone and/or a plant master regulator. Trends in Plant Science, 24(1), 38-48.

ARNAO, M.B. and HERNANDEZ-RUİZ, J., 2015. Functions of Melatonin in Plants: A Review. Journal of Pineal Research, 59: 133–150.

ARSHAD, M., ALİ, S., NOMAN, A., ALİ, Q., RİZWAN, M., FARİD, M., and IRSHAD, M. K., 2016. Phosphorus amendment decreased cadmium (Cd) uptake and ameliorates chlorophyll contents, gas exchange attributes, antioxidants, and mineral nutrients in wheat (*Triticum aestivum L.*) under Cd stress. Archives of Agronomy and Soil Science, 62(4), 533-546.

ARUN K, D., SABARİNATHAN, K. G., GOMATHY, M., KANNAN, R., and BALACHANDAR, D., 2020. Mitigation of drought stress in rice crop with plant growth-promoting abiotic stress-tolerant rice phyllosphere bacteria. Journal of basic microbiology, 60(9), 768-786.

ASGHAR, N., AKRAM, N.A., AMEER, A., SHAHİD, H., KAUSAR, S., ASGHAR, A., IDREES, T., MUMTAZ, S., ASFAHAN, H.M., SULTAN, M., JAHANGİR, I., 2021. Foliar-applied hydrogen peroxide and proline modulates growth, yield and biochemical attributes of wheat (*Triticum aestivum L.*) Under varied n and p levels. Fresenius environmental bulletin. 30, 5445–5465.

ASHRAF, M. A., RASHEED, R., HUSSAİN, I., IQBAL, M., FAROOQ, M. U., SALEEM, M. H., and Ali, S., 2022. Taurine modulates dynamics of oxidative defense, secondary metabolism, and nutrient relation to mitigate boron and chromium toxicity in Triticum aestivum L. plants. Environmental Science and Pollution Research, 29(30), 45527-45548.

ASHRAF, M. and FOOLAD, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany. 59, 206–216.

ATAKLI, S. B., ŞAHİN, S., and BELGÜZAR, S., 2022. Soya Bitkisinin Gelişiminde Gübre, Kompost, Mikoriza ve Bakteri Uygulamalarının Etkileri. Turkish Journal of Agriculture: Food Science and Technology.

ATAR, F., ve BAYRAKTAR, A., 2022. Klorofil İçeriğinin Tespitinde Ekstraksiyon Yöntemi Ve Klorofilmetre (Spad) Ölçümleri Arasındaki İlişki. Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Uluslararası Araştırmalar IV, 5.

ATICI, D. Ö., 2016 Halofitik bitkilerin rizosferinden izole edilen halotolerant bakteriler kullanılarak mısırda (*Zea mays L*.) tuz stresi toleransının artırılması (Doctoral dissertation).

AYDEMİR, O., 1992. Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği. Atatürk Üniversitesi Yayınları. No: 734. Erzurum.

AYDIN, A., ÇETİN, A. N., BAŞAK, H., and BAŞPINAR, A., 2022. Tuz Stresi Altındaki Domates Bitkilerine Yapılan Mikrobiyal (*Glomus iranicum var. tenuihypharum* ve *Trichoderma Harzianum* T78) Uygulamaların Morfolojik ve Fizyolojik Özellikler Üzerine Etkileri. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2(1), 32-42.

AYDİN, M., TOMBULOGLU, G., SAKCALİ, M. S., HAKEEM, K. R., and TOMBULOGLU, H., 2019. Boron alleviates drought stress by enhancing gene expression and antioxidant enzyme activity. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 19, 545-555.

AYVAZ M, GUVEN A and FAGERSTEDT K., 2015. Does excess boron affect hormone levels of potato cultivars. Biotechnology equipments. 29(5):887–891

AZİZ A, AKRAM NA and ASHRAF M., 2018. Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) plants under water deficit regimes. Plant Physiol Biochem 123:192–203

BABU, S., MOHAPATRA, K. P., YADAV, G. S., LAL, R., SİNGH, R., AVASTHE, R. K., ... and KUMAR, A., 2020. Soil carbon dynamics in diverse organic land use systems in North Eastern Himalayan ecosystem of India. Catena, 194, 104785.

BACK, K., 2021. Melatonin metabolism, signaling and possible roles in plants. The Plant Journal, 105(2), 376-391.

BANDYOPADHYAY, S., and MAİTİ, S. K., 2021. Different soil factors influencing dehydrogenase activity in mine degraded lands—state-of-art review. Water, Air, & Soil Pollution, 232(9), 360.

BARAN, A. ve DOĞAN, M., 2014. Tuz stresi uygulanan soyada(*Glycine max L*.) salisilik asidin fizyolojik etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Dergisi, 18 (1): 78-84.

BARRA, P. J., INOSTROZA, N. G., ACUÑA, J. J., MORA, M. L., CROWLEY, D. E., and JORQUERA, M. A., 2016. Formulation of bacterial consortia from avocado (*Persea americana Mill.*) and their effect on growth, biomass and superoxide dismutase activity of wheat seedlings under salt stress. Applied Soil Ecology, 102, 80-91.

BARUA, D., MİSHRA, A., KİRTİ, P. B., and BARAH, P., 2022. Identifying signal-crosstalk mechanism in maize plants during combined salinity and boron stress using integrative systems biology approaches. BioMed Research International.

BATES, L.S., WALDREN, R.P. and TEARE, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress stıdies. Plant and Soil, 39: 205-207.

BAVEYE, P. C., OTTEN, W., KRAVCHENKO, A., BALSEİRO-ROMERO, M., BECKERS, É., CHALHOUB, M., ... and VOGEL, H. J., 2018. Emergent properties of microbial activity in heterogeneous soil microenvironments: different research approaches are slowly converging, yet major challenges remain. Frontiers in Microbiology, 9, 1929.

BAYRAKLI, B., ÖZYAZICI, G., ve ÖZYAZICI, M. A., 2017. Samsun ilinden toplanan farklı nodozite bakteri kültürü ile sera ve tarla koşullarında aşılamanın soya fasulyesi (*Glycine max L.*)'nin verimine ve azot kapsamına etkisi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 4(2), 131-142.

BEAUCHAMP, C. and FRİDOVİCH, I., 1971. Superoxide dismutase: improved assay and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry, 44, 276-287.

BEN-NOAH, I., and FRİEDMAN, S. P., 2018. Review and evaluation of root respiration and of natural and agricultural processes of soil aeration. Vadose Zone Journal, 17(1), 1-47.

BERTAMİNİ, M., ZULİNİ, L., MUTHUCHELİAN, K. and NEDUNCHEZHİAN, N., 2006. Effect of Water Deficit on Photosynthetic and Other Physiological Responses in Grapevine (*Vitis vinifera L. cv. Riesling*) Plants. Photosynthetica, 44(1), 151-154.

BHARTİ, N., and BARNAWAL, D., 2019. Amelioration of salinity stress by PGPR: ACC deaminase and ROS scavenging enzymes activity. In PGPR amelioration in sustainable agriculture (pp. 85-106). Woodhead Publishing.

BHUSAN, D., DAS, D. K., HOSSAİN, M., MURATA, Y., and HOQUE, M. A., 2016. Improvement of salt tolerance in rice (*Oryza sativa'L.*) by increasing antioxidant defense systems using exogenous application of proline. Australian Journal of Crop Science, 10(1), 50-56.

BORA, M., 2014. Değişik Vejetasyon Dönemlerine Kadar Uygulanan Farklı Tuz Konsantrasyonlarının Biberde Meydana Getirdiği Fizyolojik, Morfolojik ve Kimyasal Değişikliklerin Belirlenmesi (yüksek lisans tezi). NKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

BRDAR-JOKANOVİĆ, M., 2020. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. International Journal of Molecular Sciences, 21(4), 1424.

BREMNER, J. M., 1965. Total nitrogen. Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties, 9, 1149-1178.

BRENGİ, S. H., ABD ALLAH, E. M., and ABOUELSAAD, I. A., 2022. Effect of melatonin or cobalt on growth, yield and physiological responses of cucumber (*Cucumis sativus L.*) plants under salt stress. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 21(1), 51-60.

CA˜NAS, R.A., YESBERGENOVA-CUNY, Z., BELANGER, L., ROUSTER, J., BRUL´E, L. and GİLARD, F., 2020. NADH-GOGAT overexpression does not improve maize *(Zea mays L.*) performance even when pyramiding with NAD-IDH, GDH and GS. Plants 9, 130.

CAO, K., YU, J., XU, D., Aİ, K., BAO, E., and ZOU, Z., 2018. Exposure to lower red to far-red light ratios improve tomato tolerance to salt stress. BMC plant biology, 18(1), 1-12.

CAO, S., DU, X. H., Lİ, L. H., LİU, Y. D., ZHANG, L., PAN, X., ... and LU, H., 2017. Overexpression of Populus tomentosa cytosolic ascorbate peroxidase enhances abiotic stress tolerance in tobacco plants. Russian Journal of Plant Physiology, 64, 224-234.

CARCİOCHİ, W. D., ROSSO, L. H. M., SECCHİ, M. A., TORRES, A. R., NAEVE, S., CASTEEL, S. N., ... and CİAMPİTTİ, I. A., 2019. Soybean yield, biological N2 fixation and seed composition responses to additional inoculation in the United States. Scientific reports, 9(1), 19908.

CASTAÑARES, J. L., and BOUZO, C. A., 2019. Effect of exogenous melatonin on seed germination and seedling growth in melon (*Cucumis melo L.*) under salt stress. Horticultural Plant Journal, 5(2), 79-87.

CEN, H., WANG, T., LİU, H., TİAN, D., and ZHANG, Y., 2020. Melatonin application improves salt tolerance of alfalfa (Medicago sativa L.) by enhancing antioxidant capacity. Plants, 9(2), 220.

CHANCE B. and MAEHLY AC., 1955. Assay of catalases and peroxidases. Methods Enzymol 2:764– 775.

CHATZİSTATHİS, T., FANOURAKİS, D., ALİNİAEİFARD, S., KOTSİRAS, A., DELİS, C., and TSANİKLİDİS, G., 2021. Leaf age-dependent effects of boron toxicity in two Cucumis melo varieties. Agronomy, 11(4), 759.

CHAUHAN, R., SANADHYA, D., 2019. Individual and combined effect of drought and salinity on electrolyte leakage, relative leaf water content and lipid peroxidation in *Brassica juncea sp*. supplemented with salicylic acid. J. Plant Sci. Res. 35 (2).

CHEN, L., LİU, L., LU, B., MA, T., JİANG, D., Lİ, J., ... and Lİ, C., 2020. Exogenous melatonin promotes seed germination and osmotic regulation under salt stress in cotton (*Gossypium hirsutum L.*). PLoS One, 15(1), e0228241.

CHEN, X., LABORDA, P., and LİU, F., 2020. Exogenous melatonin enhances rice plant resistance against Xanthomonas oryzae pv. oryzae. Plant disease, 104(6), 1701-1708.

CHEN, Y. E., CUİ, J. M., Lİ, G. X., YUAN, M., ZHANG, Z. W., YUAN, S., and ZHANG, H. Y., 2016. Effect of salicylic acid on the antioxidant system and photosystem II in wheat seedlings. Biologia plantarum, 60(1), 139-147.

CHE-OTHMAN, M. H., JACOBY, R. P., MİLLAR, A. H., and TAYLOR, N. L., 2020. Wheat mitochondrial respiration shifts from the tricarboxylic acid cycle to the GABA shunt under salt stress. New Phytologist, 225(3), 1166-1180.

CHOUDHARY, M., CHANDRA, P., DİXİT, B., NEHRA, V., CHOUDHARY, U., and CHOUDHARY, S., 2022. Plant Growth-Promoting Microbes: Role and Prospective in Amelioration of Salt Stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 53(13), 1692-1711.

CHOUDHARY, S., ZEHRA, A., MUKARRAM, M., WANİ, K. I., NAEEM, M., KHAN, M. M. A., and 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.

CHOUDHARY, S., ZEHRA, A., NAEEM, M., KHAN, M. M. A., and AFTAB, T., 2020. Effects of boron toxicity on growth, oxidative damage, antioxidant enzymes and essential oil fingerprinting in Mentha arvensis and Cymbopogon flexuosus. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 7, 1-11.

CHU, H., LİN, X., FUJİİ, T., MORİMOTO, S., YAGİ, K., HU, J., and ZHANG, J., 2007. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. Soil Biology and Biochemistry, 39(11), 2971-2976.

CHUNG, M. H., and DENG, T. S., 2020. Effects of circadian clock and light on melatonin concentration in Hypericum perforatum L. (St. John's Wort). Botanical studies, 61, 1-9.

COOPER, J., GREENBERG, I., LUDWİG, B., HİPPİCH, L., FİSCHER, D., GLASER, B., and KAİSER, M., 2020. Effect of biochar and compost on soil properties and organic matter in aggregate size fractions under field conditions. Agriculture, Ecosystems and Environment, 295, 106882.

CORDEİRO, C. F. D. S., and ECHER, F. R., 2019. Interactive effects of nitrogen-fixing bacteria inoculation and nitrogen fertilization on soybean yield in unfavorable edaphoclimatic environments. Scientific Reports, 9(1), 15606.

CORDERO, I., BALAGUER, L., RİNCÓN, A., and PUEYO, J. J., 2018. Inoculation of tomato plants with selected PGPR represents a feasible alternative to chemical fertilization under salt stress. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 181(5), 694-703.

COSKUN D, BRİTTO DT, HUYNH WQ and KRONZUCKER HJ., 2016. The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. Front Plant Sci 7: 1072

ÇATAV, Ş. S., GENÇ, T. O., KESİK OKTAY, M., and KÜÇÜKAKYÜZ, K., 2018. Effect of boron toxicity on oxidative stress and genotoxicity in wheat (Triticum aestivum L.). Bulletin of environmental contamination and toxicology, 100, 502-508.

ÇATAV, Ş. S., KÖŞKEROĞLU, S., and TUNA, A. L., 2022. Selenium supplementation mitigates boron toxicity induced growth inhibition and oxidative damage in pepper plants. South African Journal of Botany, 146, 375-382.

ÇOBAN, Ö., 2014. Brassinosteroid uygulamalarının tuz stresi altındaki nanede (*mentha piperita l.*) bazı fiziksel ve biyokimyasal özellikler ile sekonder metabolit birikimi üzerine etkileri (Doctoral dissertation, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

DAR, M. I., NAİKOO, M. I., REHMAN, F., NAUSHİN, F., and KHAN, F. A., 2016. Proline accumulation in plants: roles in stress tolerance and plant development. Osmolytes and plants acclimation to changing environment: emerging omics technologies, 155-166.

DAS, S. K., PATRA, J. K., and THATOİ, H., 2016. Antioxidative response to abiotic and biotic stresses in mangrove plants: A review. International Review of Hydrobiology, 101(1-2), 3-19.

DATT, N., and SİNGH, D., 2019. Enzymes in relation to soil biological properties and sustainability. Sustainable management of soil and environment, 383-406.

DAVİD, O. A., JOHNSON, R. A., OLOMOLA, D. B., JAMES, A. S., and JOLAYEMİ, O. L., 2022. Effect of exogenous melatonin on antioxidant defense

system and osmo-regulatory solutes of drought-stressed Morinda citrifolia. Ife Journal of Science, 24(2), 295-308.
DAY, S., and AASİM, M., 2020. Role of boron in growth and development of plant: Deficiency and toxicity perspective. Plant Micronutrients: Deficiency and Toxicity Management, 435-453.
DE FREİTAS, V. F., CEREZİNİ, P., HUNGRİA, M., and NOGUEİRA, M. A., 2022. Strategies to deal with drought-stress in biological nitrogen fixation in soybean. Applied Soil Ecology, 172, 104352.
DEMİRBAŞ, A., COŞKAN, A., and JAWAD, A. A., 2020. Seçilmiş bakteri izolatlarının kadmiyum ile zenginleştirilmiş topraklarda şeker pancarının gelişimi ve besin elementi alımı üzerine etkisi. Ziraat Fakültesi Dergisi, 95-102.
DEMİRKOL, G., YILMAZ, N., and ÖZLEM, Ö., 2019. Tuz stresinin yem bezelyesi (*Pisum sativum ssp. arvense L*.) seçilmiş genotipinde çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkileri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 22(3), 354-359.
DEMİRTOK, M., KILIÇ, Ş., and DOĞAN, K., 2015. Mapping of microbial activities in the widespread soil series of Amik plain. Toprak Su Dergisi, 4(2), 14-20.
DESİRE, M. ve ARSLAN, H., 2021. The Effect of salicylic acid on photosynthetic characteristics, growth attributes, and some antioxidant enzymes on parsley (*petroselinum crispum l.*) under salinity stress. Gesunde Pflanzen, 73(4), 435-444.
DIONISIO-SESE M.L. and TOBITA S., 1998. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. Plant Sci, 135: 1–9.
DİNÇ, U., KUMOVA, Y., BAHTİYAR, M., ÇEVİK, B., ÇULLU, M. A., BAHÇECİ, İ., ÖZER, N., ve YANAR, M., 1999. Toprak Tuzlulaşması Türkiye Erozyonla Mücadele Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı Yayınları. No:30. İstanbul. s.7-30.
DİNG, P., and DİNG, Y., 2020. Stories of salicylic acid: a plant defense hormone. Trends in plant science, 25(6), 549-565.
DOĞAN, K., 2016. Amik ovası yaygın toprak serilerinin mikrobiyal aktiviteleri ve bu aktivitelerin bazı toprak özellikleri ile interaksiyonları. Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 21(1).
DOMİNİC V. J., JİTHİN T., 2012. "Effect of NaCl and Boron Toxicityon Proline Biosynthesis of Oryza sativa(POKKALI VTL-4)", International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research, 1, 73-83.
DONG, Y. J., WANG, Z. L., ZHANG, J. W., LİU, S., HE, Z. L., and HE, M. R., 2015. Interaction effects of nitric oxideand salicylic acid in alleviating salt stress of Gossypium hirsutum L. Journal of soil science and plant nutrition, 15(3), 561-573.
DUBEY, A., SAİYAM, D., KUMAR, A., HASHEM, A., ABD_ALLAH, E. F., and KHAN, M. L., 2021. Bacterial root endophytes: Characterization of their competence and plant growth promotion in soybean (*Glycine max (L.) Merr.*) under drought stress. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(3), 931.
DUMAN, Y. A., ACEMİ, A., TOYGAR, H., YÜZÜGÜLLÜ, Y., and FAZIL, Ö. Z. E. N., 2016. Investigation of Antioxidant Enzymes of Amsonia orientalis in the Presence of Salt Stress and BAP/Tuz Stresi ve BAP Varlığında Amsonia

orientalis' in Antioksidan Enzimlerinin İncelenmesi. Celal Bayar University Journal of Science, 12(3), 543-551.

EGAMBERDİEVA, D., JABBOROVA, D. and BERG, G., 2016. Synergistic interactions between Bradyrhizobium japonicum and the endophyte Stenotrophomonas rhizophila and their effects on growth, and nodulation of soybean under salt stress. Plant Soil 405, 35–45.

EGAMBERDİEVA, D., WİRTH, S., JABBOROVA, D., RÄSÄNEN, L. A., and LİAO, H., 2017. Coordination between *Bradyrhizobium* and *Pseudomonas* alleviates salt stress in soybean through altering root system architecture. Journal of Plant Interactions, 12(1), 100-107.

EGEA, G., PADİLLA-DÍAZ, C. M., MARTİNEZ-GUANTER, J., FERNÁNDEZ, J. E., and PÉREZ-RUİZ, M., 2017. Assessing a crop water stress index derived from aerial thermal imaging and infrared thermometry in super-high density olive orchards. Agricultural Water Management, 187, 210-221.

EKEROĞLU GÜLER, E., 2019. Çiçeklenme zamanı ve tuz stres toleransı arasındaki etkileşimde hücresel reaktif oksijen türevlerinin (ROS) düzenlenmesinin araştırılması (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

EL MOUKHTARI, A., CABASSA-HOURTON, C., FARISSI, M., and SAVOURE, A., 2020. How does proline treatment promote salt stress tolerance during crop plant development. Frontiers in plant science, 11, 1127.

ELHADY, A., HALLMANN, J., and HEUER, H., 2020. Symbiosis of soybean with nitrogen fixing bacteria affected by root lesion nematodes in a density-dependent manner. Scientific Reports, 10(1), 1-12.

ELHİNDİ, K. M., AL-AMRİ, S. M., ABDEL-SALAM E. M. and N. A. AL-SUHAİBANİ, 2017. Effectiveness of salicylic acid in mitigating saltinduced adverse effects on different physiobiochemical attributes in sweet basil (*Ocimum basilicum L.*), Journal Of Plant Nutrıtıon 2017, Vol. 40, No. 6, 908–919.

ELSAYED, A. I., RAFUDEEN, M. S., GOMAA, A. M., and HASANUZZAMAN, M., 2021. Exogenous melatonin enhances the reactive oxygen species metabolism, antioxidant defense-related gene expression, and photosynthetic capacity of Phaseolus vulgaris L. to confer salt stress tolerance. Physiologia plantarum, 173(4), 1369-1381.

EL-SHAZOLY, R. M., METWALLY, A. A., and HAMADA, A. M., 2019. Salicylic acid or thiamin increases tolerance to boron toxicity stress in wheat. Journal of plant Nutrition, 42(7), 702-722.

EMİR, C., 2017. Bor gübrelemesinin kereviz (*Apium graveolens L.*) ve turp (*Raphanus sativus L.*) bitkilerinin verim ve bazı bitki özelliklerine etkisi (Master's thesis, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

ERASLAN, F., ARICI, Ş. E., ERDAL, İ., and KÜÇÜKYUMUK, Z., 2016. Kiraz Anaçlarının in vitro koşullarda tuz stresine tolerans mekanizmalarının fizyolojik parametreler ve antioksidan enzim izoformları ile belirlenmesi. Journal of Agricultural Sciences, 22(1), 117-128.

ERLAND, L. A., MURCH, S. J., REİTER, R. J., and SAXENA, P. K., 2015. A new balancing act: The many roles of melatonin and serotonin in plant growth and development. Plant signaling and behavior, 10(11), e1096469.

EROĞLU, İ, ÇAMOĞLU G, and DEMİREL, K ., 2020. Termografi Tekniği ile Biber Bitkisinde Su Stresinin ve Bazı Fizyolojik Özelliklerin Belirlenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 30 (3) , 486-497 .

EROL, O. R. A. L., TUNÇTÜRK, R., TUNÇTÜRK, M., and KULAZ, H., 2020. Silisyumun Fasulyede (*Phaseolus vulgaris L.*) Tuz (NaCl) Stresini Azaltmadaki Etkisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 23(6), 1616-1625.

ETESAMİ, H., and ADL, S. M. 2020. Can interaction between silicon and non–rhizobial bacteria help in improving nodulation and nitrogen fixation in salinity–stressed legumes? A review. Rhizosphere, 15, 100229.

ETESAMİ, H., BEATTİE, G. A., 2018. Mining halophytes for plant growth-promoting halotolerant bacteria to enhance the salinity tolerance of non-halophytic crops. Frontiers in Microbiology, 9: 148.

EVELİN, H. and KAPOOR, R., 2014. Arbuscular mycorrhizal symbiosis modulates antioxidant response in salt-stressed Trigonella foenum-graecum plants. Mycorrhiza, 24 (3): 197-208.

FAOSTAT, 2019. Food and Agricultural commodities production, http://faostat.fao.org /site/339/ default.aspx. (Erişim tarihi: 10.03.2023).

FARGHALY, F. A., SALAM, H. K., HAMADA, A. M., and RADİ, A. A., 2021. The role of benzoic acid, gallic acid and salicylic acid in protecting tomato callus cells from excessive boron stress. Scientia Horticulturae, 278, 109867.

FARHANGİ-ABRİZ, S., and TORABİAN, S., 2018. Biochar improved nodulation and nitrogen metabolism of soybean under salt stress. Symbiosis, 74, 215-223.

FAROOQ, M. A., SAQİB, Z. A., and AKHTAR, J., 2015a. Silicon-mediated oxidative stress tolerance and genetic variability in rice (*Oryza sativa L.*) grown under combined stress of salinity and boron toxicity. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 39(5), 718-729.

FAROOQ, M., GOGOİ, N., HUSSAİN, M., BARTHAKUR, S., PAUL, S., BHARADWAJ, N., ... and SİDDİQUE, K. H., 2017. Effects, tolerance mechanisms and management of salt stress in grain legumes. Plant Physiology and Biochemistry, 118, 199-217.

FAROOQ, M., HUSSAİN, M., WAKEEL, A., and SİDDİQUE, K. H., 2015b. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. Agronomy for Sustainable Development, 35, 461-481.

FAYEZ K.A. and BAZAİD, S. A., 2014. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13, 45–55.

FENG, W., KİTA, D., PEAUCELLE, A., CARTWRİGHT, H. N., DOAN, V., DUAN, Q., ... and DİNNENY, J. R., 2018. The FERONIA receptor kinase maintains cell-wall integrity during salt stress through Ca^{2+} signaling. Current Biology, 28(5), 666-675.

FU, Q., LİU, C., DİNG, N., LİN, Y. and GUO, B., 2010. Ameliorative effects of inoculation with the plant growth-promoting rhizobacterium Pseudomonas sp. DW1 on growth of eggplant (*Solanum melongena L.*) seedlings under salt stres. Agricultural Water Management, 97, 1994–2000.

FUKAMİ, J., NOGUEİRA, M. A., ARAUJO, R. S., and HUNGRİA, M., 2016. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. Amb Express, 6, 1-13.

GENGMAO, Z., YU, H., XİNG, S., SHİHUİ, L., QUANMEİ, S., and CHANGHAİ, W., 2015. Salinity stress increases secondary metabolites and enzyme activity in safflower. Industrial crops and products, 64, 175-181.

GHADERİ N, NORMOHAMMADİ S, JAVADİ T., 2015. Morpho-physiological responses of strawberry (Fragaria × ananassa) to exogenous salicylic acid application under drought stress. J Agric Sci Technol 17:167–178

GHAFOOR, M. F., ALİ, Q., and MALİK, A., 2020. Effects of salicylic acid priming for salt stress tolerance in wheat. Biological and Clinical Sciences Research Journal, 1.

GHASSEMI-GOLEZANI, K., FARHANGI-ABRIZ, S., and BANDEHAGH, A., 2018b. Salicylic acid and jasmonic acid alter physiological performance, assimilate mobilization and seed filling of soybean under salt stress. Acta Agriculturae Slovenica, 111(3), 597-607.

GHASSEMİ-GOLEZANİ, K., and FARHANGİ-ABRİZ, S., 2018a. Changes in oil accumulation and fatty acid composition of soybean seeds under salt stress in response to salicylic acid and jasmonic acid. Russian Journal of Plant Physiology, 65, 229-236.

GHOSH, U. K., ISLAM, M. N., SİDDİQUİ, M. N., CAO, X., and KHAN, M. A. R., 2022. Proline, a multifaceted signalling molecule in plant responses to abiotic stress: understanding the physiological mechanisms. Plant Biology, 24(2), 227-239.

GRATÃO, P. L., POLLE, A., LEA, P. J., ve AZEVEDO, R. A., 2005. Making The Life Of Heavy Metal-Stressed Plants A Little Easier. Functional plant biology, 32(6), 481-494.

GUAN, Q., WANG, Z., WANG, X., TAKANO, T., AND LİU, S., 2015. A peroxisomal APX from Puccinellia tenuiflora improves the abiotic stress tolerance of transgenic Arabidopsis thaliana through decreasing of H_2O_2 accumulation. J. Plant Physiol. 175, 183–191.

GUANGMİNG, L., XUECHEN, Z., XİUPİNG, W., HONGBO, S., JİNGSONG, Y., and XİANGPİNG, W., 2017. Soil enzymes as indicators of saline soil fertility under various soil amendments. Agriculture, Ecosystems and Environment, 237, 274-279.

GUO, B., LİU, C., LİANG, Y., Lİ, N., and FU, Q., 2019. Salicylic acid signals plant defence against cadmium toxicity. International Journal of Molecular Sciences, 20(12), 2960.

GÜNDEŞ, F. A. (2018). Bor toksisitesinde farklı azot ve fosfor uygulamalarının domatesin gelişimi üzerine etkisi.

GÜNEŞ, H., 2022. Tuz Stresi Altında Yetiştirilen Biber (*Capsicum Annuum L*)'de Arbusküler Mikorhizal Fungus (Amf) ve Biyoçarın Verticillium Dahliae Kleb.'ye ve Bitki Gelişimine Etkisi (Doktora Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi).

GÜNHAN, R. S., 2021. Melatonin ve önemi. Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma, 14(2), 342-350.

GÜVENÇ, İ., 2020. Türkiye'de Biber Üretimi, Dış Ticareti ve Rekabet Gücü. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 23(2), 441-445.

HAJİHASHEMİ, S., SKALİCKY, M., BRESTİC, M., and PAVLA, V., 2020. Cross-talk between nitric oxide, hydrogen peroxide and calcium in salt-stressed Chenopodium quinoa Willd. At seed germination stage. Plant Physiology and Biochemistry, 154, 657-664.

HAMURCU M, SEKMEN A.H., TURKANİ, S. GEZGİN, T. DEMİRAL and BELL R.W., 2013. Induced anti-oxidant activity in soybean alleviates oxidative stress under moderate boron toxicity J. Plant Growth Regul., 70, pp. 217-226

HAMURCU, M., ARSLAN, D., HAKKİ, E. E., OZCAN, M. M., PANDEY, A., KHAN, M. K., and GEZGİN, S., 2019. Boron application affecting the yield and fatty acid composition of soybean genotypes. Plant, Soil and Environment, 65(5), 238-243.

HARDOİM, P. R., VAN OVERBEEK, L. S., BERG, G., PİRTTİLÄ, A. M., COMPANT, S., CAMPİSANO, A., ... and SESSİTSCH, A., 2015. The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 79(3), 293-320.

HASANUZZAMAN, M., PARVİN, K., ANEE, T. I., MASUD, A. A. C., and NOWROZ, F., 2022. Salt stress responses and tolerance in soybean. Plant Stress Physiology-Perspectives in Agriculture. IntechOpen: London, 47-82.

HASHEM, A., ABD_ALLAH, E. F., ALQARAWİ, A. A., AL-HUQAİL, A. A., WİRTH, S., and EGAMBERDİEVA, D., 2016. The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic bacteria enhances plant growth of Acacia gerrardii under salt stress. Frontiers in microbiology, 7, 1089.

HAYAT, S., HAYAT, Q., ALYEMENİ, M. N., WANİ, A. S., PİCHTEL, J. AHMAD, A., 2012. Role of Proline under Changing Environments. Plant Signaling and Behavior 7, 1456–1466.

HEİDARİ M and KARAMİ V., 2014. Effects of different mycorrhiza species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress. J Saudi Soc Agric Sci 13(1):9–13

HNİLİCKOVA, H., KRAUS, K., VACHOVA, P., and HNİLİCKA, F., 2021. Salinity stress affects photosynthesis, malondialdehyde formation, and proline content in Portulaca oleracea L. Plants, 10(5), 845.

HOSSAİN, M. A., HOQUE, A., BURRİTT D., FUJİTA, M., 2014. Proline Protects Plants Against Abiotic Oxidative Stress: Biochemical and Molecular Mechanisms.Oxidative Damage to Plants : Antioxidant Networks and Signaling. Editör: Ahmad, P. USA: Academic Press.

HOU, Y., ZENG, W., HOU, M., WANG, Z., LUO, Y., LEİ, G., ... and HUANG, J., 2021. Responses of the soil microbial community to salinity stress in maize fields. Biology, 10(11), 1114.

HUA, T., ZHANG, R., SUN, H., and LİU, C., 2021. Alleviation of boron toxicity in plants: Mechanisms and approaches. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 51(24), 2975-3015.

HUANG, B., CHEN, Y. E., ZHAO, Y. Q., DİNG, C. B., LİAO, J. Q., HU, C., ... and YUAN, M., 2019. Exogenous melatonin alleviates oxidative damages and protects photosystem II in maize seedlings under drought stress. Frontiers in plant science, 10, 677.

HUANG, W., WANG, Y., Lİ, X., and ZHANG, Y., 2020. Biosynthesis and regulation of salicylic acid and N-hydroxypipecolic acid in plant immunity. Molecular plant, 13(1), 31-41.

HUNGRİA, M., NOGUEİRA, M. A., and ARAUJO, R. S., 2015. Alternative methods of soybean inoculation to overcome adverse conditions at sowing.

HUSEN, A., IQBAL, M., SOHRAB, S. S., and ANSARİ, M. K. A., 2018. Salicylic acid alleviates salinity-caused damage to foliar functions, plant growth and antioxidant system in Ethiopian mustard (*Brassica carinata A. Br.*). Agriculture and Food Security, 7(1), 1-14.

HUSSAİN, H. A., MEN, S., HUSSAİN, S., ZHANG, Q., ASHRAF, U., ANJUM, S. A., ... and WANG, L., 2020. Maize tolerance against drought and chilling stresses varied with root morphology and antioxidative defense system. Plants, 9(6), 720.

HUSSAİN, S., KHALİD, M. F., HUSSAİN, M., ALİ, M. A., NAWAZ, A., ZAKİR, I., ... and AHMAD, S., 2018. Role of micronutrients in salt stress tolerance to plants. Plant nutrients and abiotic stress tolerance, 363-376.

HUSSAİN, S., SHAUKAT, M., ASHRAF, M., ZHU, C., JİN, Q., and ZHANG, J., 2019. Salinity stress in arid and semi-arid climates: Effects and management in field crops. Climate change and agriculture, 13.

IMRAN, M., LATİF KHAN, A., SHAHZAD, R., AAQİL KHAN, M., BİLAL, S., KHAN, A., ... and LEE, I. J., 2021. Exogenous melatonin induces drought stress tolerance by promoting plant growth and antioxidant defence system of soybean plants. AoB Plants, 13(4), plab026.

IMTİAZ, M., MUSHTAQ, M. A., RİZWAN, M. S., ARİF, M. S., YOUSAF, B., ASHRAF, M., ... and TU, S., 2016. Comparison of antioxidant enzyme activities and DNA damage in chickpea (*Cicer arietinum L.*) genotypes exposed to vanadium. Environmental Science and Pollution Research, 23, 19787-19796.

ISAYENKOV, S. V., and MAATHUİS, F. J., 2019. Plant salinity stress: many unanswered questions remain. Frontiers in plant science, 10, 80.

ISERMEYER. H., 1952, Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Böden. Z. Pflanzenaehr. Bodenkd 5. 56-60.

ISLAM, S., AHMED, K., and MASUNAGA, S., 2015. Potential ecological risk of hazardous elements in different land-use urban soils of Bangladesh. Science of the total environment, 512, 94-102.

İSLAM, F., YASMEEN, T., ALİ, Q., ALİ, S., ARİF, M. S., HUSSAİN, S. and RİZVİ, H., 2016. Influence of Pseudomonas aeruginosa as PGPR on oxidative stress tolerance in wheat under Zn stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 104, 285-293.

JABEEN, Z., FAYYAZ, H. A., IRSHAD, F., HUSSAİN, N., HASSAN, M. N., Lİ, J., ... and ALSUBEİE, M. S., 2021. Sodium nitroprusside application improves morphological and physiological attributes of soybean (*Glycine max L.*) under salinity stress. PLoS One, 16(4), e0248207.

JANNATİZADEH, A., AGHDAM, M. S., LUO, Z., and RAZAVİ, F., 2019. Impact of exogenous melatonin application on chilling injury in tomato fruits during cold storage. Food and bioprocess technology, 12, 741-750.

JARECKİ, W., 2020. Reaction of soybean [*Glycine max (L.) Merr.*] to seed inoculation with Bradyrhizobium japonicum bacteria. Plant, Soil and Environment, 66(5), 242-247.

JAWORSKİ, E. G., 1971. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. Biochemical and biophysical research communications, 43(6), 1274-1279.

JAYAKANNAN, M., BOSE, J., BABOURİNA, O., SHABALA, S., MASSART, A., POSCHENRİEDER, C. and RENGEL, Z., 2015. The NPR1-dependent salicylic

acid signalling pathway is pivotal for enhanced salt and oxidative stress tolerance in Arabidopsis. J. Exp. Bot. 66 (7), 1865–1875.
Jİ, C., TİAN, H., WANG, X., SONG, X., JU, R., Lİ, H., ... and LİU, X., 2020. Bacillus subtilis HG-15, a halotolerant rhizoplane bacterium, promotes growth and salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum*). BioMed Research International.
JİANG, D., LU, B., LİU, L., DUAN, W., MENG, Y., Lİ, J., ... and Lİ, C., 2021. Exogenous melatonin improves the salt tolerance of cotton by removing active oxygen and protecting photosynthetic organs. BMC Plant Biology, 21, 1-19.
JİN, T., SUN, Y., ZHAO, R., SHAN, Z., GAİ, J., and Lİ, Y., 2019. Overexpression of peroxidase gene GsPRX9 confers salt tolerance in soybean. International journal of molecular sciences, 20(15), 3745.
JİNİ, D., and JOSEPH, B., 2017. Physiological mechanism of salicylic acid for alleviation of salt stress in rice. Rice Science, 24(2), 97-108.
JOVELİNA DA SİLVA C, FONTES EPB. and MODOLO LV., 2017. Salinity-induced accumulation of endogenous H_2S and NO is associated with modulation of the antioxidant and redox defense systems in Nicotiana tabacum L. cv. Havana. Plant Sci 256:148–159
KAN, G., ZHANG, W., YANG, W., MA, D., ZHANG, D., HAO, D., ... and YU, D., 2015. Association mapping of soybean seed germination under salt stress. Molecular Genetics and Genomics, 290, 2147-2162.
KANG, S.M., KHAN, A.L., WAQAS, M., YOU, Y.H., KİM, J.H., KİM, J.G., HAMAYUN, M. and LEE, I.J., 2014. Plant growth-promoting rhizobacteria reduce adverse effects of salinity and osmotic stress by regulating phytohormones and antioxidants in *Cucumis sativus*. J Plant Interact. 9, 673–682.
KARACA, P., 2019. Tuz stresi uygulanan domates bitkisinde ekzojen melatoninin bazı fizyolojik parametreler üzerine etkisi (Master's thesis, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
KARAGİANNİDİS, N., BLETSOS, F. and STAVROPOULOS, N., 2002. Effect of Verticillium wilt (*Verticillium dahliae Kleb*.) and mycorrhiza (*Glomus mosseae*) on root colonization, growth and nutrient uptake in tomato and eggplant seedlings. Scientia Horticulturae, 94 (1-2): 145-156.
KARMAKAR, S., PRAKASH, P., CHATTOPADHYAY, A. and DUTTA, D., 2021. Zinc sulphate and vermicompost mitigate phytotoxic effects of arsenic by altering arsenic uptake, biochemical and antioxidant enzyme activities in wheat (*Triticum aestivum L.*). Russ. J. Plant Physiol. 68 (1), S72–S81.
KARWAT, H., SPARKE, M.A., RASCHE, F., ARANGO, J., NU˜NEZ, J., RAO, I.. and CADİSCH, G., 2019. Nitrate reductase activity in leaves as a plant physiological indicator of in vivo biological nitrification inhibition by Brachiaria humidicola. Plant Physiol. Biochem. 137, 113–120.
KATARİA, S., BAGHEL, L., JAİN, M., and GURUPRASAD, K. N., 2019. Magnetopriming regulates antioxidant defense system in soybean against salt stress. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 18, 101090.
KAUSHAL, J., MEHANDİA, S., SİNGH, G., RAİNA, A. and ARYA, S. K., 2018. Catalase enzyme: Application in bioremediation and food industry. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 16: 192-199.
KAYA C, AYDEMİR S, AKRAM NA and ASHRAF M., 2018b. Epibrassinolide application regulates some key physio-biochemical attributes as well as

oxidative defense system in maize plants grown under saline stress. J Plant Growth Regul 37: 1244–1257

KAYA C. and ASHRAF M., 2015. Exogenous application of nitric oxide promotes growth and oxidative defense system in highly boron stressed tomato plants bearing fruit. Sci Hortic-Amsterdam, 185, 43-7.

KAYA C., HİGGS D., ASHRAF M., ALYEMENİ M.N. and AHMAD P., 2020. Integrative roles of nitric oxide and hydrogen sulfide in melatonin-induced tolerance of pepper (*Capsicum annuum L.*) plants to iron deficiency and salt stress alone or in combination Physiol. Plant., 10.1111/ppl.12976.

KAYA, A. ve 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.

KAYA, C., 2020. Role of l-cysteine desulfhydrase in epibrassinolide-induced tolerance to boron toxicity in pepper (*Capsicum annuum L.*) plants. Journal of Plant Growth Regulation, 39(4), 1531-1542.

KAYA, C., AKRAM, N. A., and ASHRAF, M., 2018a. Kinetin and indole acetic acid promote antioxidant defense system and reduce oxidative stress in maize (*Zea mays L.*) plants grown at boron toxicity. Journal of Plant Growth Regulation, 37(4), 1258-1266.

KAYA, C., and ASHRAF, M., 2015. Exogenous application of nitric oxide promotes growth and oxidative defense system in highly boron stressed tomato plants bearing fruit. Scientia Horticulturae, 185, 43-47.

KAYA, C., and SHABALA, S., 2023. Sodium hydrosulfide-mediated upregulation of nitrogen metabolism improves drought stress tolerance in pepper plants. Environmental and Experimental Botany, 105305.

KAYA, C., ASHRAF, M., ALYEMENİ, M. N., CORPAS, F. J., and AHMAD, P., 2020. Salicylic acid-induced nitric oxide enhances arsenic toxicity tolerance in maize plants by upregulating the ascorbate-glutathione cycle and glyoxalase system. Journal of Hazardous Materials, 399, 123020.

KAYA, C., OKANT, M., UGURLAR, F., ALYEMENİ, M. N., ASHRAF, M., and AHMAD, P., 2019. Melatonin-mediated nitric oxide improves tolerance to cadmium toxicity by reducing oxidative stress in wheat plants. Chemosphere, 225, 627-638.

KAYA, C., SARIOGLU, A., ASHRAF, M., ALYEMENİ, M. N., and AHMAD, P., 2022. The combined supplementation of melatonin and salicylic acid effectively detoxifies arsenic toxicity by modulating phytochelatins and nitrogen metabolism in pepper plants. Environmental Pollution, 297, 118727.

KAYA, C., SARIOĞLU, A., ASHRAF, M., ALYEMENİ, M.N. and AHMAD, P., 2020. Gibberellic acid-induced generation of hydrogen sulfide alleviates boron toxicity in tomato (*Solanum lycopersicum L.*) plants Plant Physiol. Biochem., 153, pp. 53-63.

KAYA, C., SARİOĞLU, A., AKRAM, N. A. and ASHRAF, M., 2019. Thiourea-mediated nitric oxide production enhances tolerance to boron toxicity by reducing oxidative stress in bread wheat (*Triticum aestivum L.*) and durum wheat (*Triticum durum Desf.*) plants. J. Plant Growth Regul., 1–16.

KAYIN, G. B., 2020. Nitrik Oksit Uygulamasının Biber Bitkisinde (Capsicum Annuum L.) Kimi Stres Faktörleri Uzerine Etkisi (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).

KAZEROONİ, E. A., MAHARACHCHİKUMBURA, S. S., ADHİKARİ, A., AL-SADİ, A. M., KANG, S. M., KİM, L. R., and LEE, I. J., 2021. Rhizospheric Bacillus amyloliquefaciens protects *Capsicum annuum cv*. Geumsugangsan from multiple abiotic stresses via multifarious plant growth-promoting attributes. Frontiers in plant science, 12, 669693.

KHAN, A., NUMAN, M., KHAN, A. L., LEE, I. J., IMRAN, M., ASAF, S., and AL-HARRASİ, A., 2020. Melatonin: Awakening the defense mechanisms during plant oxidative stress. Plants, 9(4), 407.

KHAN, I., RAZA, M. A., AWAN, S. A., SHAH, G. A., RİZWAN, M., ALİ, B., ... and HUANG, L., 2020. Amelioration of salt induced toxicity in pearl millet by seed priming with silver nanoparticles (AgNPs): The oxidative damage, antioxidant enzymes and ions uptake are major determinants of salt tolerant capacity. Plant Physiology and Biochemistry, 156, 221-232.

KHAN, M. A., SAHİLE, A. A., JAN, R., ASAF, S., HAMAYUN, M., IMRAN, M., ... and LEE, I. J., 2021. Halotolerant bacteria mitigate the effects of salinity stress on soybean growth by regulating secondary metabolites and molecular responses. BMC Plant Biology, 21(1), 1-15.

KHAN, M. I. R., POOR, P., and JANDA, T., 2022. Salicylic acid: A versatile signaling molecule in plants. Journal of Plant Growth Regulation, 41(5), 1887-1890.

KHAN, M. IQBAL R., MEHAR FATMA, TASİR S. PER, NASER A. ANJUM, AND NAFEES A. KHAN., 2015. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. Frontiers in plant science 6: 462.

KHAN, M. S. A., KARİM, M. A., HAQUE, M. M., ISLAM, M. M., KARİM, A. J. M. S., and MİAN, M. A. K., 2016. Influence of Salt and Water Stress on Growth and Yield of Soybean Genotypes. Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science, 39(2).

KHAN, M. S., AKTHER, T., ALİ, D. M., and HEMALATHA, S., 2019. An investigation on the role of salicylic acid alleviate the saline stress in rice crop (*Oryza sativa* (*L*)). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 18, 101027.

KHAN, MIR, FATMA, M., PER, TS, ANJUM, NA ve KHAN, NA., 2015. Salisilik asit kaynaklı abiyotik stres toleransı ve bitkilerde altta yatan mekanizmalar. Bitki biliminde sınırlar, 6, 462.

KHORSANDİ, A., HEMMAT, A., MİREEİ, S. A., AMİRFATTAHİ, R., and EHSANZADEH, P., 2018. Plant temperature-based indices using infrared thermography for detecting water status in sesame under greenhouse conditions. Agricultural water management, 204, 222-233.

KILIÇ, S., İLHAN, S., ÖNCEL, İ., and OKAY, S., 2015. Soybean reactions under salt stress: Growth, ion content, osmotic adjustment and nodule nitrogen fixation. African Journal of Agricultural Research, 10(45), 4279-4288.

KİBİDO, T., KUNERT, K., MAKGOPA, M., GREVE, M., and VORSTER, J., 2020. Improvement of rhizobium-soybean symbiosis and nitrogen fixation under drought. Food and Energy Security, 9(1), e177.

KİREÇCİ, O. A., 2018. Bitkilerde enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlar. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7 (2): 473-483.

KOŁODZİEJCZYK, I., BAŁABUSTA, M., SZEWCZYK, R., and POSMYK, M. M., 2015. The levels of melatonin and its metabolites in conditioned corn (*Zea mays L.*) and cucumber (*Cucumis sativus L.*) seeds during storage. Acta Physiologiae Plantarum, 37, 1-11.

KORKMAZ, A., DEMİR, Ö., KOCAÇINAR, F., ve Yakup, C. U. C. İ., 2016. Biber fidelerinde yapraktan yapılan melatonin uygulamalarıyla üşüme stresine karşı toleransın arttırılması. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, 19(3), 348-354.

KORKMAZ, A., KARACA, A., KOCACİNAR, F., and YAKUP, C. U. C. İ., 2017. The effects of seed treatment with melatonin on germination and emergence performance of pepper seeds under chilling stress. Journal of Agricultural Sciences, 23(2), 167-176.

KOUR, D., RANA, K. L., YADAV, A. N., YADAV, N., KUMAR, V., KUMAR, A., ... and SAXENA, A. K., 2019. Drought-tolerant phosphorus-solubilizing microbes: biodiversity and biotechnological applications for alleviation of drought stress in plants. Plant growth promoting rhizobacteria for sustainable stress management: Volume 1: Rhizobacteria in abiotic stress management, 255-308.

KÖKLÜ, N., BÜYÜKÖZTÜRK, Ş. ve ÇOKLUK BÖKEOĞLU, Ö., 2006. Sosyal bilimler için istatistik. Ankara: Pegem A Yayıncılık.

KRAUS, T. E., and FLETCHER, R. A., 1994. Paclobutrazol protects wheat seedlings from heat and paraquat injury. Is detoxification of active oxygen involved. Plant and cell physiology, 35(1), 45-52.

KUMAR, A., SİNGH, S., GAURAV, A. K., SRİVASTAVA, S., and VERMA, J. P., 2020. Plant growth-promoting bacteria: biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. Frontiers in Microbiology, 11, 1216.

KUMAR, M., SHARMA, S., GUPTA, S., and KUMAR, V., 2018. Mitigation of abiotic stresses in Lycopersicon esculentum by endophytic bacteria. Environmental sustainability, 1, 71-80.

KUMARİ SR, MRİDULA G and HEMA K., 2013. Effect of growth regulators and weedicides as defoliants (harvest aids) on seed cotton yield of cotton. J Cotton Res Dev 27(1):56–59

KUMAWAT, K. C., SHARMA, P., NAGPAL, S., GUPTA, R. K., SİRARİ, A., NAİR, R. M., ... and SİNGH, S., 2021. Dual microbial inoculation, a game changer bacterial biostimulants with multifunctional growth promoting traits to mitigate salinity stress in spring mungbean. Frontiers in microbiology, 11, 600576.

KURT, C., 2020. Salisilik Asit Uygulamalarının Tuz Stresi Koşullarında Yetiştirilen Soya (*Glycine Max. L.*)' Nın Havva., Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi (Doktora Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi).

LANDİ, M., MARGARİTOPOULOU, T., PAPADAKİS, IE ve ARANİTİ, F., 2019. Yüksek bitkilerde bor toksisitesi: bir güncelleme. Planta, 250, 1011-1032.

LATA, C., KUMAR, A., SHARMA, S. K., SİNGH, J., SHEOKAND, S., MANN, A., and RANİ, B., 2017. Tolerance to combined boron and salt stress in wheat varieties: Biochemical and molecular analyses.

LATA, R., CHOWDHURY, S., GOND, SK ve WHİTE JR, JF., 2018. Endofitik mikroplar tarafından bitkilerde abiyotik stres toleransının uyarılması. Uygulamalı mikrobiyolojide mektuplar,66 (4), 268-276.

Lİ H, HE J, YANG X, Lİ X, LUO D, WEİ C, MA J, ZHANG Y, YANG J and ZHANG X., 2016. Glutathione-dependent induction of local and systemic defense against

oxidative stress by exogenous melatonin in cucumber (*Cucumis sativus L*). J Pineal Res 60: 206–216

Lİ, H. Q., and JİANG, X. W., 2017. Inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) improves salt tolerance of maize seedling. Russian Journal of Plant Physiology, 64, 235-241.

Lİ, Q., WANG, G., WANG, Y., YANG, D., GUAN, C., and Jİ, J., 2019. Foliar application of salicylic acid alleviate the cadmium toxicity by modulation the reactive oxygen species in potato. Ecotoxicology and environmental safety, 172, 317-325.

Lİ, Z., SU, X., CHEN, Y., FAN, X., HE, L., GUO, J., ... and YANG, Q., 2021. Melatonin improves drought resistance in maize seedlings by enhancing the antioxidant system and regulating abscisic acid metabolism to maintain stomatal opening under PEG-induced drought. Journal of Plant Biology, 64, 299-312.

LİANG, W., MA, X., WAN, P., and LİU, L., 2018. Plant salt-tolerance mechanism: A review. Biochemical and biophysical research communications, 495(1), 286-291.

LİU, J., WANG, W., WANG, L. and SUN, Y., 2015. Exogenous Melatonin improves Seedling Health Index and Drought Tolerance in Tomato. Plant Growth Regulation, 77: 317–326.

LİU, L., WANG, Z., GAİ, Z., WANG, Y., WANG, B., ZHANG, P., ... and Lİ, C., 2022. Exogenous application of melatonin improves salt tolerance of sugar beet (*Beta vulgaris L*.) seedlings. Acta Physiologiae Plantarum, 44(6), 57.

LİU, Y., WEİ, L., FENG, L., ZHANG, M., HU, D., TİE, J., LİAO, W., 2022. Hydrogen sulfide promotes adventitious root development in cucumber under salt stress by enhancing antioxidant ability. Plants 11 (7), 935.

LİU, Z., CAI, J. S., LI, J. J., LU, G. Y., LI, C. S., FU, G. P., ... and CHENG, Y., 2018. Exogenous application of a low concentration of melatonin enhances salt tolerance in rapeseed (*Brassica napus L.*) seedlings. Journal of Integrative Agriculture, 17(2), 328-335.

LİU, Z., DİNG, Y., WANG, F., YE, Y., and ZHU, C., 2016. Role of salicylic acid in resistance to cadmium stress in plants. Plant cell reports, 35, 719-731.

LOPES, M. J. D. S., DİAS-FİLHO, M. B., and GURGEL, E. S. C., 2021. Successful plant growth-promoting microbes: Inoculation methods and abiotic factors. Frontiers in Sustainable Food Systems,5, 606454.

LOPES, M. J. D. S., DİAS-FİLHO, M. B., and GURGEL, E. S. C., 2021. Successful plant growth-promoting microbes: Inoculation methods and abiotic factors. Frontiers in Sustainable Food Systems, 5, 606454.

LORETO F. and VELİKOVA V., 2001. Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. Plant Physiol, 27: 1781-1787.

MA, J., BRUCE, T. J., JONES, E. M., and CAİN, K. D., 2019. A review of fish vaccine development strategies: Conventional methods and modern biotechnological approaches. Microorganisms, 7(11), 569.

MAHAJAN, G. R., DAS, B., MORAJKAR, S., DESAİ, A., MURGAOKAR, D., PATEL, K. P., and KULKARNİ, R. M., 2021. Comparison of soil quality indexing methods for salt-affected soils of Indian coastal region. Environmental Earth Sciences, 80, 1-19.

MALLAHİ, T., SAHARKHİZ, M. J., and JAVANMARDİ, J., 2018. Salicylic acid changes morpho-physiological attributes of feverfew (*Tanacetum parthenium L.*) under salinity stress. Acta Ecologica Sinica, 38(5), 351-355.

MANDAL, M. K., SUREN, H., WARD, B., BOROUJERDİ, A., and KOUSİK, C., 2018. Differential roles of melatonin in plant-host resistance and pathogen suppression in cucurbits. Journal of Pineal Research, 65(3), e12505.

MANSOUR, M. M. F., and ALİ, E. F., 2017. Evaluation of proline functions in saline conditions. Phytochemistry, 140, 52-68.

MARKULJ KULUNDŽİĆ, A., VİLJEVAC VULETİĆ, M., MATOŠA KOČAR, M., MİJİĆ, A., VARGA, I., SUDARİĆ, A., ... and LEPEDUŠ, H., 2021. The combination of increased temperatures and high irradiation causes changes in photosynthetic efficiency. Plants, 10(10), 2076.

MARTİNEZ V, MESTRE TC, RUBİO F, GİRONES-VİLAPLANA A, MORENO DA, MİTTLER R. and RİVERO RM., 2016. Accumulation of flavonols over hydroxycinnamic acids favors oxidative damage protection under abiotic stress. Front Plant Sci 7: 838

MARTİNEZ V, NİEVES-CORDONES M, LOPEZ-DELACALLE M, RODENAS R, MESTRE TC, GARCİA-SANCHEZ F, RUBİO F, NORTES PA, MİTTLER R. and RİVERO RM., 2018. Tolerance to stress combination in tomato plants: new insights in the protective role of melatonin. Molecules 23: 535

MARURİ-LÓPEZ, I., AVİLES-BALTAZAR, N. Y., BUCHALA, A., and SERRANO, M., 2019. Intra and extracellular journey of the phytohormone salicylic acid. Frontiers in Plant Science, 10, 423.

MEHBOOB, N., HUSSAİN, M., MİNHAS, W. A., YASİR, T. A., NAVEED, M., FAROOQ, S., ... and ZUAN, A. T. K., 2021. Soil-applied boron combined with boron-tolerant bacteria (*Bacillus sp. mn54*) improve root proliferation and nodulation, yield and agronomic grain biofortification of chickpea (Cicer arietinum L.). Sustainability, 13(17), 9811.

METWALLY, A. M., RADİ, A. A., EL-SHAZOLY, R. M., and HAMADA, A. M., 2018. The role of calcium, silicon and salicylic acid treatment in protection of canola plants against boron toxicity stress. Journal of plant research, 131, 1015-1028.

MİR, B.A., MİR, S.A., KHAZİRD, J., TONFACKE, L.B., COWANB, D.A., VYASA, D. AND KOULA, S., 2015. Cold stress affects antioxidative response and accumulation of medicinally important withanolides in *Withania somnifera* (*L.*) Dunal. Industrial Crops and Products, 74, 1008–1016.

MOHSİN, S. M., HASANUZZAMAN, M., BHUYAN, M. B., PARVİN, K., and FUJİTA, M., 2019. Exogenous tebuconazole and trifloxystrobin regulates reactive oxygen species metabolism toward mitigating salt-induced damages in cucumber seedling. Plants, 8(10), 428.

MOLOİ, M. J., MWENYE, O. J., and VAN DER MERWE, R., 2016. Differential involvement of ascorbate and guaiacol peroxidases in soybean drought resistance. South African Journal of Science, 112(9-10), 1-4.

MORETTİ, L. G., CRUSCİOL, C. A., KURAMAE, E. E., BOSSOLANİ, J. W., MOREİRA, A., COSTA, N. R., ... and HUNGRİA, M., 2020. Effects of growth-promoting bacteria on soybean root activity, plant development, and yield. Agronomy Journal, 112(1), 418-428.

MOUSSA, H. R., and ALGAMAL, S. M. A., 2017. Does exogenous application of melatonin ameliorate boron toxicity in spinach plants. International Journal of Vegetable Science, 23(3), 233-245.

MOUSTAFA-FARAG, M., MAHMOUD, A., ARNAO, M. B., SHETEİWY, M. S., DAFEA, M., SOLTAN, M., ... and Aİ, S., 2020. Melatonin-induced water stress tolerance in plants: Recent advances. Antioxidants,9(9), 809.

MUHAMMAD, I., YANG, L., AHMAD, S., MOSAAD, I. S., AL-GHAMDİ, A. A., ABBASİ, A. M., and ZHOU, X. B., 2022. Melatonin application alleviates stress-induced photosynthetic inhibition and oxidative damage by regulating antioxidant defense system of maize: A meta-analysis. Antioxidants, 11(3), 512.

MUHAMMAD, I., YANG, L., AHMAD, S., MOSAAD, I. S., AL-GHAMDİ, A. A., ABBASİ, A. M., and ZHOU, X. B., 2022. Melatonin application alleviates stress-induced photosynthetic inhibition and oxidative damage by regulating antioxidant defense system of maize: A meta-analysis. Antioxidants, 11(3), 512.

MURCH, S. J., and ERLAND, L. A., 2021. A systematic review of melatonin in plants: an example of evolution of literature. Frontiers in Plant Science, 12, 683047.

MURCHİE, E. H., and LAWSON, T., 2013. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. Journal of experimental botany, 64(13), 3983-3998.

MUSHTAQ, Z., FAİZAN, S., GULZAR, B., and HAKEEM, K. R., 2021. Inoculation of Rhizobium alleviates salinity stress through modulation of growth characteristics, physiological and biochemical attributes, stomatal activities and antioxidant defence in *Cicer arietinum L*. Journal of Plant Growth Regulation, 40, 2148-2163.

MUSTAFA, A.; IMRAN, M.; ASHRAF, M.; MAHMOOD, K., 2018. Perspectives of Using L-Tryptophan for Improving Productivity of Agricultural Crops: A Review. Pedosphere. 28, 16–34.

NAEEM, M., BASİT, A., AHMAD, I., MOHAMED, H. I., and WASİLA, H., 2020. Effect of Salicylic Acid and Salinity Stress on the Performance of Tomato Plants. Gesunde Pflanzen, 72(4).

NAHAR K, HASANUZZAMAN M, ALAM MM, FUJİTA M., 2015. Regulatory roles of exogenous glutathione in conferring salt tolerance in mung bean (*Vigna radiata L*.): implication of antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems. Biol Plant.

NANNİPİERİ, P., TRASAR-CEPEDA, C., and DİCK, R. P., 2018. Soil enzyme activity: a brief history and biochemistry as a basis for appropriate interpretations and meta-analysis. Biology and Fertility of Soils, 54, 11-19.

NASERİ, S., AGHA, A. B. A., SHARİFİ, R., and BAHRAMİNEJAD, S., 2022. Rhizobacteria modify soil biological indices and induce tolerance to osmotic stress in tomato depending on the salinity level and bacteria species. Brazilian Journal of Microbiology, 53(3), 1473-1481.

NAWAZ, M. A., HUANG, Y., BİE, Z., AHMED, W., REİTER, R. J., NİU, M., and HAMEED, S., 2016. Melatonin: current status and future perspectives in plant science. Frontiers in plant science, 6, 1230.

NAWAZ, M. A., JİAO, Y., CHEN, C., SHİREEN, F., ZHENG, Z., IMTİAZ, M., ... and HUANG, Y., 2018. Melatonin pretreatment improves vanadium stress tolerance of watermelon seedlings by reducing vanadium concentration in the

leaves and regulating melatonin biosynthesis and antioxidant-related gene expression. Journal of Plant Physiology, 220, 115-127.

NAWAZ, M., ISHAQ, S., ISHAQ, H., KHAN, N., IQBAL, N., ALİ, S., ... and ALYEMENİ, M. N., 2020. Salicylic acid improves boron toxicity tolerance by modulating the physio-biochemical characteristics of maize (*Zea mays L.*) at an early growth stage. Agronomy, 10(12), 2013.

NAZ, T., ALİHTAR, J., IQBAL, M. M., ANWAR-UL-HAQ, M., MURTAZA, G., NİAZİ, N. K., ... and DELL, B., 2019. Assessment of gas exchange attributes, chlorophyll contents, ionic composition and antioxidant enzymes of bread wheat genotypes in boron toxic, saline and boron toxic-saline soils. International Journal of Agriculture and Biology, 21(6), 1271-1281.

NAZ, T., IQBAL, M. M., AKHTAR, J., SAQİB, M., ALİ, M., ZAFAR, M. I., ... and FAHAD, S., 2022. Carbohydrate Partitioning, Growth and Ionic Compartmentalisation of Wheat Grown under Boron Toxic and Salt Degraded Land. Agronomy, 12(3), 740.

NDEDDY AKA, R. J., and BABALOLA, O. O., 2016. Effect of bacterial inoculation of strains of *Pseudomonas aeruginosa*, *Alcaligenes feacalis* and *Bacillus subtilis* on germination, growth and heavy metal (Cd, Cr, and Ni) uptake of Brassica juncea. International Journal of Phytoremediation, 18(2), 200-209.

NEFİSSİ OUERTANİ, R., ABİD, G., KARMOUS, C., BEN CHİKHA, M., BOUDAYA, O., MAHMOUDİ, H., ... and GHORBEL, A., 2021. Evaluating the contribution of osmotic and oxidative stress components on barley growth under salt stress. AoB Plants, 13(4), plab034.

NEGRÃO, S., SCHMÖCKEL, S. M., and TESTER, M. J. A. O. B., 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. Annals of botany, 119(1), 1-11.

NİGAM, B., DUBEY, R. S., and RATHORE, D., 2022. Protective role of exogenously supplied salicylic acid and PGPB (Stenotrophomonas sp.) on spinach and soybean cultivars grown under salt stress. Scientia Horticulturae, 293, 110654.

OGUNWOLE, A. A., OTUSANYA, O. O., OLOYEDE, F. A., and OLABAMİJİ, T. M., 2015. Comparative effects of boron toxicity and deficiency on the growth, chlorophyll, protein and some cations accumulation in *Zea mays* seedlings. International Journal of Innovation and Scientific Research, 17(2), 316-335.

OLİVEİRA, K. R., JUNİOR, J. P. S., BENNETT, S. J., CHECCHİO, M. V., DE CÁSSİA ALVES, R., FELİSBERTO, G., ... and GRATAO, P. L., 2020. Exogenous silicon and salicylic acid applications improve tolerance to boron toxicity in field pea cultivars by intensifying antioxidant defence systems. Ecotoxicology and Environmental Safety, 201, 110778.

OLUR, Ü., 2020. Tuzlu ortamda gelişen bitkilerden izole edilen endofit bakterilerin hıyar bitkisinde köşeli yaprak leke hastalığı (*Pseudomonas syringae pv. lachrymans*), tuz stresi ve bitki gelişimine etkileri (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

OMAY, M. R., 2019. Geliştirilmiş melez ekmeklik buğday hatlarının yüksek bor ve tuz uygulamalarına karşı verdikleri fizyolojik cevapların araştırılması (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

OZTURK, M., TURKYİLMAZ UNAL, B., García-Caparrós, P., Khursheed, A., Gul, A., and Hasanuzzaman, M., 2021. Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. Physiologia plantarum, 172(2), 1321-1335.

ÖHLİNGER. R., 1993. Bestimmung des Biomasse-Kohlenstoffs mittels Fumigation-Exstraktion. In: Schinner. F. Öhlinger. R. Kandler. E. Margesin. R. (eds.). Bodenbiologische Arbeits methoden. 2. Auflage. Springer Verlag. Berlin. Heidelberg.

ÖZ M. T., TURAN Ö., KAYIHAN C., EYİDOĞAN F., EKMEKÇİ Y., YÜCEL M. ve ÖKTEM H. A., 2014. Evaluation of photosynthetic performance of wheat cultivars exposed to boron toxicity by the JIP fluorescence test. PHOTOSYNTHETICA, 52 (4): 555-563.

ÖZCAN, O., ERDAL, H., ÇAKIRCA, G., and YÖNDEN, Z., 2015. Oksidatif stres ve hücre içi lipit, protein ve DNA yapıları üzerine etkileri. Journal of Clinical and Experimental Investigations, 6(3), 331-336.

ÖZÇINAR, A. B., ARSLAN, H., and ARSLAN, D., 2022. Soya (*Glycine max. L. Merill*)'Da Tuz Uygulamasının Fizyolojik Ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkisinin İncelenmesi. ISPEC Journal of Agricultural Sciences, 6(4), 762-776.

ÖZDEN, M., DİKİLİTAŞ, M., GÜRSÖZ, S., AK, B.E., 2011. 110r anacı üzerine aşılı şiraz üzüm (*Vitis Vinifera L.*) çeşidinin NaCl ve prolin uygulamalarına karşı fizyolojik ve biyokimyasal tepkileri. Harran. Ü.Z.F. Der. 15(1): 1-9.

PAN, Y., WANG, Z., YANG, L., SHİ, L., NARAN, R., AZADİ, P., XU, F., 2012. Differences in Cell Wall Components and Allocation of Boron to Cell Walls Confer Variations in 60 Sensitivities of Brassica napus Cultivars to Boron Deficiency, Plant and Soil, 354, 383–394.

PANDEY, A., KHAN, M. K., HAKKİ, E. E., GEZGİN, S., and HAMURCU, M., 2019. Combined boron toxicity and salinity stress—An insight into its interaction in plants. Plants, 8(10), 364.

PARDO-HERNÁNDEZ, M., LÓPEZ-DELACALLE, M., and RİVERO, R. M., 2020. ROS and NO regulation by melatonin under abiotic stress in plants. Antioxidants, 9(11), 1078.

PARİHAR, P., SİNGH, S., SİNGH, R., SİNGH, V. P., PRASAD, S. M., 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. Environmental Science and Pollution Research, 22 (6): 4056-4075.

PASTERNAK, T., GROOT, E. P., KAZANTSEV, F. V., TEALE, W., OMELYANCHUK, N., KOVRİZHNYKH, V., ... and MİRONOVA, V. V., 2019. Salicylic acid affects root meristem patterning via auxin distribution in a concentration-dependent manner. Plant Physiology, 180(3), 1725-1739.

PEDRANZANİ, H., RODRÍGUEZ-RİVERA, M., GUTİÉRREZ, M., PORCEL, R., HAUSE, B., and RUİZ-LOZANO, J. M., 2016. Arbuscular mycorrhizal symbiosis regulates physiology and performance of Digitaria eriantha plants subjected to abiotic stresses by modulating antioxidant and jasmonate levels. Mycorrhiza, 26, 141-152.

PEÑA CALZADA, K., OLİVERA VİCİEDO, D., HABERMANN, E., CALERO HURTADO, A., LUPİNO GRATÃO, P., DE MELLO PRADO, R., and RODRÍGUEZ, J. C., 2022. Exogenous application of amino acids mitigates the deleterious effects of salt stress on soybean plants. Agronomy, 12(9), 2014.

PEREİRA, Y. C., NASCİMENTO, A. N. D. S., AGUİAR, B. T. D. S., SİLVA, B. R. S. D., BARBOSA, M. A. M., BATİSTA, B. L., ... and LOBATO, A. K. D. S., 2022. Anatomical Modifications Modulated by Pretreatment with 24-Epibrassinolide Alleviate Boron Stress in Soybean Plants: Valuable

Repercussions on Nutrient Contents, Photosynthesis, and Biomass. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 1-18.

PERVEEN, S., IQBAL, M., PARVEEN, A., AKRAM, M. S., SHAHBAZ, M., AKBER, S., and MEHBOOB, A., 2017. Exogenous triacontanol-mediated increase in phenolics, proline, activity of nitrate reductase, and shoot k+ confers salt tolerance in maize (*Zea mays L.*). Brazilian Journal of Botany, 40, 1-11.

PRİNCİ, M. P., LUPİNİ, A., ARANİTİ, F., LONGO, C., MAUCERİ, A., SUNSERİ, F., and ABENAVOLİ, M. R., 2016. Boron toxicity and tolerance in plants: Recent advances and future perspectives. Plant metal interaction, 115-147.

QADOS, A. A., 2015. Effects of salicylic acid on growth, yield and chemical contents of pepper (Capsicum annuum L,) plants grown under salt stress conditions. International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS), 8 (2): 107-113.

QİAN, R., MA, X., ZHANG, X., HU, Q., LİU, H., and ZHENG, J., 2021. Effect of exogenous spermidine on osmotic adjustment, antioxidant enzymes activity, and gene expression of Gladiolus gandavensis seedlings under salt stress. Journal of Plant Growth Regulation, 40(4), 1353-1367.

RAFİQUE, M., SULTAN, T., ORTAS, I., and CHAUDHARY, H. J., 2017. Enhancement of maize plant growth with inoculation of phosphate-solubilizing bacteria and biochar amendment in soil. Soil science and plant nutrition, 63(5), 460-469.

RAGHUWANSHİ, R., and PRASAD, J. K., 2018. Perspectives of rhizobacteria with ACC deaminase activity in plant growth under abiotic stress. Root biology, 303-321.

RAHMAN, M., RAHMAN, K., SATHİ, K. S., ALAM, M. M., NAHAR, K., FUJİTA, M., and HASANUZZAMAN, M., 2021. Supplemental selenium and boron mitigate salt-induced oxidative damages in Glycine max L. Plants, 10(10), 2224.

RAHNAMA, H., and EBRAHİMZADEH, H., 2005. The effect of NaCl on antioxidant enzyme activities in potato seedlings. Biologia plantarum, 49, 93-97.

RAİ, K. K., PANDEY, N., and RAİ, S. P., 2020. Salicylic acid and nitric oxide signaling in plant heat stress. Physiologia plantarum, 168(2), 241-255.

RAMADAN, A.A.; ELHAMİD, E.M.A.; SADAK, M.S., 2019. Comparative study for the effect of arginine and sodium nitroprusside on sunflower plants grown under salinity stress conditions. Bull. Natl. Res. Cent. 43, 118.

RASHİD N, BASRA SMA, SHAHBAZ M, IQBAL S, HAFEEZ MB., 2018. Foliar applied moringa leaf extract induces terminal heat tolerance in quinoa. Int J Agric Biol 20:157–164

RASHİD, M. I., MUJAWAR, L. H., SHAHZAD, T., ALMEELBİ, T., ISMAİL, I. M., and OVES, M., 2016. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. Microbiological research, 183, 26-41.

RAZZAQ, A., ALİ, A., SAFDAR, L. B., ZAFAR, M. M., RUİ, Y., SHAKEEL, A., ... and YUAN, Y., 2020. Salt stress induces physiochemical alterations in rice grain composition and quality. Journal of food science, 85(1), 14-20.

REHAMAN, A., MİSHRA, A. K., FERDOSE, A., PER, T. S., HANİEF, M., JAN, A. T., and ASGHER, M., 2021. Melatonin in plant defense against abiotic stress. Forests, 12(10), 1404.

REZAYİAN, M., EBRAHİMZADEH, H., and NİKNAM, V., 2020. Nitric oxide stimulates antioxidant system and osmotic adjustment in soybean under drought stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20, 1122-1132.

RİAZ, M., YAN, L., WU, X., HUSSAİN, S., AZİZ, O., EL-DESOUKİ, Z., and JİANG, C., 2019. Excess boron inhibited the trifoliate orange growth by inducing oxidative stress, alterations in cell wall structure, and accumulation of free boron. Plant Physiology and Biochemistry, 141, 105-113.

RİZWAN, M., ALİ, S., ALİ, B., ADREES, M., ARSHAD, M., HUSSAİN, A., ... and WARİS, A. A., 2019. Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. Chemosphere, 214, 269-277.

ROHİLLA, P., and YADAV, J. P., 2019. Acute salt stress differentially modulates nitrate reductase expression in contrasting salt responsive rice cultivars. Protoplasma, 256(5), 1267-1278.

ROHMAN, M. M., TALUKDER, M. Z. A., HOSSAİN, M. G., UDDİN, M. S., AMİRUZZAMAN, M., BİSWAS, A., ... and CHOWDHURY, M. A. Z., 2016. Saline sensitivity leads to oxidative stress and increases the antioxidants in presence of proline and betaine in maize (*Zea mays L.*) inbred. Plant omics, 9(1), 35-47.

ROJAS-TAPİAS, D., MORENO-GALVÁN, PARDO-DÍAZ, S., OBANDO, M., RİVERA, D., and BONİLLA, R., 2012. Effect of inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) on amelioration of saline stress in maize (Zea mays), Appl. Soil Ecol. vol. 61, pp. 264–272.

ROSA, P. A. L., MORTİNHO, E. S., JALAL, A., GALİNDO, F. S., BUZETTİ, S., FERNANDES, G. C., ... and TEİXEİRA FİLHO, M. C. M., 2020. Inoculation with growth-promoting bacteria associated with the reduction of phosphate fertilization in sugarcane. Frontiers in Environmental Science, 32.

SADAK, M. S., ABD EL-HAMEİD, A. R., ZAKİ, F. S., DAWOOD, M. G., and EL-AWADİ, M. E., 2020. Physiological and biochemical responses of soybean (*Glycine max L.*) to cysteine application under sea salt stress. Bulletin of the National Research Centre, 44, 1-10.

SADEGHİ, H., ve TABAN, A., 2021. Crushed maize seeds enhance soil biological activity and salt tolerance in caper (Capparis spinosa L.). Industrial Crops and Products, 160, 113103.

SAFARİ, F., AKRAMİAN, M., SALEHİ-ARJMAND, H., and KHADİVİ, A., 2019. Physiological and molecular mechanisms underlying salicylic acid-mitigated mercury toxicity in lemon balm (Melissa officinalis L.). Ecotoxicology and environmental safety, 183, 109542.

SAFDAR, H., AMİN, A., SHAFİQ, Y., ALİ, A., YASİN, R., SHOUKAT, A., ... and SARWAR, M. I., 2019. A review: Impact of salinity on plant growth. Nat. Sci, 17(1), 34-40.

SAHAB, S., SUHANİ, I., SRİVASTAVA, V., CHAUHAN, P. S., SİNGH, R. P., and PRASAD, V., 2021. Potential risk assessment of soil salinity to agroecosystem sustainability: Current status and management strategies. Science of The Total Environment, 764, 144164.

SALEHİ, A., TASDİGHİ, H., and GHOLAMHOSEİNİ, M., 2016. Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of nutrients in the German chamomile (*Matricaria chamomilla L.*) under drought stress and organic

fertilizer treatments. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 6(10), 886-891.

SAMADDAR, S., CHATTERJEE, P., CHOUDHURY, A. R., AHMED, S., and SA, T., 2019. Interactions between Pseudomonas spp. and their role in improving the red pepper plant growth under salinity stress. Microbiological research, 219, 66-73.

SAMET, H., CİKİLİ, Y., and DURSUN, S., 2015. The role of potassium in alleviating boron toxicity and combined effects on nutrient contents in pepper (*Capsicum annuum L.*). Bulgarian Journal of Agricultural Science, 21(1), 64-70.

SANTOS, C. S., OZGUR, R., UZİLDAY, B., TURKAN, I., RORİZ, M., RANGEL, A. O., ... and VASCONCELOS, M. W., 2019. Understanding the role of the antioxidant system and the tetrapyrrole cycle in iron deficiency chlorosis. Plants, 8(9), 348.

SARAFİ, E., SİOMOS, A., TSOUVALTZİS, P., CHATZİSSAVVİDİS, C., and THERİOS, I., 2017a. Boron toxicity effects on grafted and non-grafted pepper (*Capsicum annuum*) plants. Journal of soil science and plant nutrition, 17(2), 441-460.

SARAFİ, E., SİOMOS, A., TSOUVALTZİS, P., THERİOS, I., and CHATZİSSAVVİDİS, C., 2018. Boron toxicity effects on the concentration of pigments, carbohydrates and nutrient elements in six non-grafted pepper cultivars (*Capsicum annuum L.*). Indian Journal of Plant Physiology, 23, 474-485.

SARAFİ, E., TSOUVALTZİS, P., CHATZİSSAVVİDİS, C., SİOMOS, A., and THERİOS, I., 2017b. Melatonin and resveratrol reverse the toxic effect of high boron (B) and modulate biochemical parameters in pepper plants (*Capsicum annuum L.*). Plant Physiology and Biochemistry, 112, 173-182.

SECKİN, B., TURKAN, I., SEKMEN, A.H. VE OZFIDAN, C., 2010. The role of antioxidant defense systems at differential salt tolerance of Hordeum marinum Huds. (*sea barleygrass*) and Hordeum vulgare L. (cultivated barley), Environmental and Experimental Botany, 69, 76–85.

SEFEROĞLU, S., and KAPTAN, M. A., 2020. Farklı bor içeren sulama sularının arpa ve buğday bitkisine etkileri. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 57(1), 137-144.

SEHAR, Z., MASOOD, A., KHAN, N.A., 2019. Nitric oxide reverses glucose-mediated photosynthetic repression in wheat (*Triticum aestivum L.*) under salt stress. Environ. Exp. Bot. 161, 277–289.

SHAFİ, A., ZAHOOR, I., and MUSHTAQ, U., 2019. Proline accumulation and oxidative stress: Diverse roles and mechanism of tolerance and adaptation under salinity stress. Salt Stress, Microbes, and Plant Interactions: Mechanisms and Molecular Approaches: Volume 2, 269-300.

SHAH, S. H., HOUBORG, R., and MCCABE, M. F., 2017. Response of chlorophyll, carotenoid and SPAD-502 measurement to salinity and nutrient stress in wheat (*Triticum aestivum L.*). Agronomy, 7(3), 61.

SHAH, T., LATİF, S., SAEED, F., ALİ, I., ULLAH, S., ALSAHLİ, A. A., ... and AHMAD, P., 2021. Seed priming with titanium dioxide nanoparticles enhances seed vigor, leaf water status, and antioxidant enzyme activities in maize (*Zea mays L.*) under salinity stress. Journal of King Saud University-Science, 33(1), 101207.

SHAHİD, M.A., BALAL, R.M., KHAN, N., ZOTARELLİ, L., LİU, G.D., SARKHOSH, A. and GARCİA- SANCHEZ, F., 2019. Selenium impedes cadmium and arsenic toxicity in potato by modulating carbohydrate and nitrogen metabolism. Ecotoxicol. Environ. Saf. 180, 588–599.

SHAHZAD, B., FAHAD, S., TANVEER, M., SAUD, S., and KHAN, I. A., 2019. Plant responses and tolerance to salt stress. In Approaches for enhancing abiotic stress tolerance in plants (pp. 61-78). CRC Press.

SHAHZAD, H., ULLAH, S., IQBAL, M., BİLAL, H. M., SHAH, G. M., AHMAD, S., ... and AHMAD, I., 2019. Salinity types and level-based effects on the growth, physiology and nutrient contents of maize (*Zea mays*). Italian journal of agronomy, 14(4), 199-207.

SHAHZAD, K., HUSSAİN, S., ARFAN, M., HUSSAİN, S., WARAİCH, E. A., ZAMİR, S., ... and EL-ESAWİ, M. A., 2021. Exogenously applied gibberellic acid enhances growth and salinity stress tolerance of maize through modulating the morpho-physiological, biochemical and molecular attributes. Biomolecules, 11(7), 1005.

SHAHZAD, R., WAQAS, M., KHAN, A.L., ASAF, S., KHAN, M.A., KANG, S.M., YUN, B.W. and LEE, I.J., 2016. Seed-borne endophytic Bacillus amyloliquefaciens RWL-1 produces gibberellins and regulates endogenous phytohormones of Oryza sativa. Plant Physiol. Biochem. 106, 236–243.

SHALABY, O. A. E. S., and EL-MESSAIRY, M. M., 2018. Humic acid and boron treatment to mitigate salt stress on the melon plant. Acta Agriculturae Slovenica, 111(2), 349-356.

SHAMA, M.A., MOUSSA, S.A. and EL FADEL, N.I.A., 2016. Salicylic acid efficacy on resistance of garlic plants (*Allium sativum L.*) to water salinity stress on growth, yield and its quality. Alexandrıa Scıence Exchange, 37:(2) 166.

SHAMS, M. K., 2019. Tuz stresinin biberde bitki gelişimi, fizyolojik ve biokimyasal özellikler, dna metilasyonu ile tohum çimlenmesi üzerine etkisi.

SHARMA, A., SİDHU, G. P. S., ARANİTİ, F., BALİ, A. S., SHAHZAD, B., TRİPATHİ, D. K., ... and LANDİ, M., 2020. The role of salicylic acid in plants exposed to heavy metals. Molecules, 25(3), 540.

SHARMA, L., PRİYA, M., BİNDUMADHAVA, H., NAİR, R. M., and NAYYAR, H., 2016. Influence of high temperature stress on growth, phenology and yield performance of mungbean [*Vigna radiata (L.) Wilczek*] under managed growth conditions. Scientia Horticulturae, 213, 379-391.

SHEMİ, R., WANG, R., GHEİTH, E. S., HUSSAİN, H. A., HUSSAİN, S., IRFAN, M., ... and WANG, L., 2021. Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. Scientific Reports, 11(1), 1-14.

SHENG, Y., and ZHU, L., 2018. Biochar alters microbial community and carbon sequestration potential across different soil pH. Science of the Total Environment, 622, 1391-1399.

SHEORAN, S., THAKUR, V., NARWAL, S., TURAN, R., MAMRUTHA, H. M., SİNGH, V., ... and SHARMA, I., 2015. Differential activity and expression profile of antioxidant enzymes and physiological changes in wheat (*Triticum aestivum L.*) under drought. Applied biochemistry and biotechnology, 177(6), 1282-1298.

SHETEİWY, M. S., ALİ, D. F. I., XİONG, Y. C., BRESTİC, M., SKALİCKY, M., HAMOUD, Y. A., ... and EL-SAWAH, A. M., 2021. Physiological and biochemical responses of soybean plants inoculated with Arbuscular mycorrhizal fungi and Bradyrhizobium under drought stress. BMC plant biology, 21(1), 1-21.

SHİ, D., ZHUANG, K., CHEN, Y., XU, F., HU, Z. and SHEN, Z., 2020. Effects of excess ammoniacal nitrogen (NH4+-N) on pigments, photosynthetic rates, chloroplast ultrastructure, proteomics, formation of reactive oxygen species and enzymatic activity in submerged plant Hydrilla verticillata (Lf) Royle. Aquat. Toxicol. 226, 105585.

SILVA, A. A. R. D., LIMA, G. S. D., AZEVEDO, C. A. V. D., VELOSO, L. L. D. S. A., and Gheyi, H. R., 2020. Salicylic acid as an attenuator of salt stress in soursop. Revista Caatinga, 33, 1092-1101.

SİDDİQUİ, M. H., ALAMRİ, S., AL-KHAİSHANY, M. Y., KHAN, M. N., AL-AMRİ, A., ALİ, H. M., ... and ALSAHLİ, A. A., 2019. Exogenous melatonin counteracts NaCl-induced damage by regulating the antioxidant system, proline, and carbohydrates metabolism in tomato seedlings. International journal of molecular sciences, 20(2), 353.

SİDDİQUİ, M. H., ALAMRİ, S., KHAN, M. N., CORPAS, F. J., AL-AMRİ, A. A., ALSUBAİE, Q. D., ... and AHMAD, P., 2020. Melatonin and calcium function synergistically to promote the resilience through ROS metabolism under arsenic-induced stress. Journal of Hazardous Materials, 398, 122882.

SİKDER, R. K., WANG, X., ZHANG, H., GUİ, H., DONG, Q., JİN, D., and SONG, M., 2020. Nitrogen enhances salt tolerance by modulating the antioxidant defense system and osmoregulation substance content in Gossypium hirsutum. Plants, 9(4), 450.

SİLVA, A. A. R. D., LİMA, G. S. D., AZEVEDO, C. A. V. D., GHEYİ, H. R., SOUZA, L. D. P., and VELOSO, L. L. D. S. A., 2019. Gas exchanges and growth of passion fruit seedlings under salt stress and hydrogen peroxide. Pesquisa Agropecuária Tropical, 49.

SİLVA, T. A., CASTRO, J. S. D., RİBEİRO, V. J., RİBEİRO JÚNİOR, J. I., TAVARES, G. P., and CALİJURİ, M. L., 2021. Microalgae biomass as a renewable biostimulant: meat processing industry effluent treatment, soil health improvement, and plant growth. Environmental Technology, 1-17.

SİMÓN-GRAO, S., NİEVES, M., MARTÍNEZ-NİCOLÁS, J. J., CÁMARA-ZAPATA, J. M., ALFOSEA-SİMÓN, M., and GARCÍA-SÁNCHEZ, F., 2018. Response of three citrus genotypes used as rootstocks grown under boron excess conditions. Ecotoxicology and Environmental Safety, 159, 10-19.

SİNGH, D. P., SİNGH, V., GUPTA, V. K., SHUKLA, R., PRABHA, R., SARMA, B. K., and PATEL, J. S., 2020. Microbial inoculation in rice regulates antioxidative reactions and defense related genes to mitigate drought stress. Scientific reports, 10(1), 1-17.

SİNGH, R. P., JHA, P., and JHA, P. N., 2015. The plant-growth-promoting bacterium Klebsiella sp. SBP-8 confers induced systemic tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) under salt stress. Journal of plant physiology, 184, 57-67.

SİNGH, R., UPADHYAY, A. K., CHANDRA, P., and SİNGH, D. P., 2018. Sodium chloride incites reactive oxygen species in green algae Chlorococcum humicola

and Chlorella vulgaris: implication on lipid synthesis, mineral nutrients and antioxidant system. Bioresource technology, 270, 489-497.

SİNGH, V. K., SİNGH, A. K., SİNGH, P. P., and KUMAR, A., 2018. Interaction of plant growth promoting bacteria with tomato under abiotic stress: a review. Agriculture, Ecosystems and Environment, 267, 129-140.

SLAMA, I., ABDELLY, C., BOUCHEREAU, A., FLOWERS, T., and SAVOURÉ, A., 2015. Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. Annals of botany, 115(3), 433-447.

SOFO, A., SCOPA, A., NUZZACİ, M., and VİTTİ, A., 2015. Ascorbate peroxidase and catalase activities and their genetic regulation in plants subjected to drought and salinity stresses. International Journal of Molecular Sciences, 16(6), 13561-13578.

SOHAİB, M., ZAHİR, Z. A., KHAN, M. Y., ANS, M., ASGHAR, H. N., YASİN, S., and AL-BARAKAH, F. N., 2020. Comparative evaluation of different carrier-based multi-strain bacterial formulations to mitigate the salt stress in wheat. Saudi Journal of Biological Sciences, 27(3), 777-787.

SOİNNE, H., KESKİNEN, R., HEİKKİNEN, J., HYVÄLUOMA, J., UUSİTALO, R., PELTONİEMİ, K., ... and RASA, K., 2020. Are there environmental or agricultural benefits in using forest residue biochar in boreal agricultural clay soil. Science of the Total Environment, 731, 138955.

SOYLEMEZ, S., KAYA, C., and DİKİLİTAS, S. K., 2017. Promotive effects of epibrassinolide on plant growth, fruit yield, antioxidant, and mineral nutrition of saline stressed tomato plants. Pak J Bot, 49(5), 1655-1661.

SUBRAMANİAN, P., KİM, K., KRİSHNAMOORTHY, R., SUNDARAM, S., and SA, T., 2015. Endophytic bacteria improve nodule function and plant nitrogen in soybean on co-inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* MN110. Plant Growth Regulation, 76, 327-332.

SZAFRANSKA, K., CVİKROVA, M., KOWALSKA, U., GORECKA, K., GORECKİ, R., MARTİNCOVA, O., JANAS, K. M., 2011. Influence of Copper Ions on Growth, Lipid Peroxidation,and Proline and Polyamines Content in Carrot Rosettes Obtained from Anther Culture. Acta Physiologiae Plantarum, 33, 851–859.

ŞAHİN, Ö., 2009. Farklı asma anaçları üzerine aşılı Sultani Çekirdeksiz (Vitis vinifera L.) üzüm çeşidinin bor ve tuz tolerans mekanizmalarının stresle ilgili fizyolojik parametreler ve antioksidan enzimlerle belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Ana Bilim Dalı, Ankara

ŞEN, M. F., 2018. Fasulyede (*Phaseolus vulgaris L.*) potasyum humat uygulaması ve bakteri aşılamasının verim ve verim öğeleri üzerine etkisi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

TAHJİB-UL-ARİF, M., SİDDİQUİ, M. N., SOHAG, A. A. M., SAKİL, M. A., RAHMAN, M. M., POLASH, M. A. S., ... and TRAN, L. S. P., 2018. Salicylic acid-mediated enhancement of photosynthesis attributes and antioxidant capacity contributes to yield improvement of maize plants under salt stress. Journal of plant growth regulation, 37, 1318-1330.

TAÏBİ, K., TAÏBİ, F., ABDERRAHİM, L. A., ENNAJAH, A., BELKHODJA, M., and MULET, J. M., 2016. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content,

lipid peroxidation and antioxidant defence systems in Phaseolus vulgaris L. South African Journal of Botany, 105, 306-312.
TANVEER, M., and SHABALA, S., 2018. Targeting redox regulatory mechanisms for salinity stress tolerance in crops. Salinity Responses and Tolerance in Plants, Volume 1: Targeting Sensory, Transport and Signaling Mechanisms, 213-234.
TASSİ, E., GİORGETTİ, L., MORELLİ, E., PERALTA-VİDEA, J. R., GARDEA-TORRESDEY, J. L., and BARBAFİERİ, M., 2017. Physiological and biochemical responses of sunflower (*Helianthus annuus L.*) exposed to nano-CeO_2 and excess boron: modulation of boron phytotoxicity. Plant physiology and biochemistry, 110, 50-58.
TELEK, Ü., AKINCI, İ. E., and KÜSEK, M., 2019. Rhizobakteri İzolatlarının Kırmızı Biberin (Capsicum annuum L.) Verim ve Bitkisel Özellikleri Üzerine Etkileri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 22(1), 62-70.
TEPE, D., H., 2016. Bor Stresine Maruz KalmıĢ Buğday Bitkisine Eksojen Nitrik Oksit (NO) İlavesinin Fizyolojik Etkilerinin İncelenmesi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Manisa.
TEWARİ, R. K., YADAV, N., GUPTA, R., and KUMAR, P., 2021. Oxidative stress under macronutrient deficiency in plants. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21, 832-859.
THAKUR, M. P., DEL REAL, I. M., CESARZ, S., STEİNAUER, K., REİCH, P. B., HOBBİE, S., ... and EİSENHAUER, N., 2019. Soil microbial, nematode, and enzymatic responses to elevated CO_2, N fertilization, warming, and reduced precipitation. Soil Biology and Biochemistry, 135, 184-193.
THALMANN. A., 1967. Über die mikrobielle Aktivitaet und ihre Beziehungen zur Fruchtbarkeit smerkmalen einiger Ackerböden unter besonderer Berücksichtigung der Dehydrogenase aktivitaet (TTC-Reduktion) Diss. Giessen (FRG).
THİES, J. E., RİLLİG, M. C., and GRABER, E. R., 2015. Biochar effects on the abundance, activity and diversity of the soil biota. Biochar for environmental management: science, technology and implementation, 2, 327-389.
TOHMA Ö., 2007. Çilekte salisilik asit uygulamasının tuz stresine dayanıklılık üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi, Türkiye.
TOMA, M., POPESCU, S., ALEXE, C., and CHIRA, A., 2020. Behaviour of the sweet pepper at short-term storage, depending on crop fertilization schedule. Sci Papers Ser B Hortic, 1, 481-489.
TORUN H. ve AYAZ, F.A., 2019. Tuz Stresi Koşullarında Salisilik Asidin Zamana Bağlı Uygulanmasının Arpa (Hordeum Vulgare L.) Koklerinin Antioksidan Savunma Sistemi Uzerine Etkileri, Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology C- Life Sciences and Biotechnology, 8(1), syf.69 – 84.
TOTU GENÇ, E. 2021. Arıtma çamuru uygulamalarının açıkta biber yetiştiriciliğinde kullanım olanakları ile bitki besin ve ağır metal içeriği üzerine etkileri (Master's thesis, Malatya Turgut Özal Üniversitesi/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü/Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı).
TUĞCU, D., 2017, Değişik vejetasyon dönemlerine kadar uygulanan farklı tuz konsantrasyonlarının yaprak lahanada meydana getirdiği fizyolojik, morfolojik ve kimyasal değişikliklerin belirlenmesi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

TUNA, A. L., and EROĞLU, B., 2017a. Tuz stresi altindaki biber (*Capsicum annuum L.*) bitkisinde bazi organik ve inorganik bileşiklerin antioksidatif sisteme etkileri. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 32(1), 121-131.

TUNA, A. L., YILDIZTEKİN, M., KÖŞKEROĞLU, S., and YOKAŞ, İ., 2017b. Tuz Etkisi Altındaki Domates Bitkisinde Potasyum ve Kalsiyum Antioksidatif Sistemi Etkiler mi? Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 4(1), 71-78.

TURAN, M., KİTİR, N., ELKOCA, E., URAS, D., ÜNEK, C., NİKEREL, E., ... and GÜNEŞ, A., 2017. Nonsymbiotic and symbiotic bacteria efficiency for legume growth under different stress conditions. Microbes for Legume Improvement, 387-404.

TURHAN, A. ve KUŞÇU, H., 2020. Sulama suyu bor kapsamları ile kırmızı biber bitkisinin verim ve kalite karakteristikleri arasındaki ilişkiler. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34(1), 201-212.

TURHAN, A., 2021. Interactive effects of boron stress and mycorrhizal (AMF) treatments on tomato growth, yield, leaf chlorophyll and boron accumulation, and fruit characteristics. Archives of Agronomy and Soil Science, 67(14), 1974-1985.

TÜNE C., 2016. Farklı sulama yönetim sistemi koşullarında pamuk bitkisinde su stresinin kızılötesi termal görüntüler kullanarak belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi.

UTOBO, E. B., and TEWARİ, L., 2015. Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status. Applied ecology and environmental research, 13(1), 147-169.

ÜNAL, Z., 2019. Bazı abiyotik streslerin prolinle desteklenen turuçgil anacı çöğürleri üzerine morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal etkileri.

VAN OVERBEEK, L., and VAN ELSAS, J. D., 2008. Effects of plant genotype and growth stage on the structure of bacterial communities associated with potato (*Solanum tuberosum L.*). FEMS Microbiology Ecology, 64(2), 283-296.

VAN ZELM, E., ZHANG, Y., and TESTERİNK, C., 2020. Salt tolerance mechanisms of plants. Annual review of plant biology, 71, 403-433.

VAN ZWİETEN, L., ROSE, T., HERRİDGE, D., KİMBER, S., RUST, J., COWİE, A. ve MORRİS, S., 2015. Biyokömür ilavesinin ardından asit bir toprakta gelişmiş biyolojik N_2 fiksasyonu ve faba fasulyesi (*Vicia faba L.*) verimi: nedensel mekanizmaların incelenmesi. Bitki ve Toprak, 395, 7-20.

VANDELLE, E., VANNOZZİ, A., WONG, D., DANZİ, D., DİGBY, A. M., DAL SANTO, S., and ASTEGNO, A., 2018. Identification, characterization, and expression analysis of calmodulin and calmodulin-like genes in grapevine (*Vitis vinifera*) reveal likely roles in stress responses. Plant physiology and biochemistry, 129, 221-237.

VEGA-MAS, I., ROSSİ, M.T., GUPTA, K.J., GONZ´ALEZ-MURUA, C., RATCLİFFE, R.G., ESTAVİLLO, J.M. and GONZ´ALEZ-MORO M.B., 2019. Tomato roots exhibit in vivo glutamate dehydrogenase aminating capacity in response to excess ammonium supply. J. Plant Physiol. 239, 83–91.

VEZZA, M.E., ALEMANO, S., AGOSTİNİ, E. and TALANO, M.A., 2021. Arsenic toxicity in soybean plants: impact on chlorophyll fluorescence, mineral nutrition and phytohormones. J. Plant Growth Regul. 1–13.

VİGHİ, I. L., BENİTEZ, L. C., AMARAL, M. N., MORAES, G. P., AULER, P. A., RODRİGUES, G. S., ... and BRAGA, E. J. B., 2017. Functional characterization

of the antioxidant enzymes in rice plants exposed to salinity stress. Biologia plantarum, 61(3), 540-550.

WAADT, R., SELLER, C. A., HSU, P. K., TAKAHASHİ, Y., MUNEMASA, S., and SCHROEDER, J. I., 2022. Plant hormone regulation of abiotic stress responses. Nature Reviews Molecular Cell Biology, 23(10), 680-694.

WANG LY, LİU JL, WANG WX, and SUN Y., 2016. Exogenous melatonin improves growth and photosynthetic capacity of cucumber under salinity-induced stress.

WANG, K., XİNG, Q., AHAMMED, G. J., and ZHOU, J., 2022. Functions and prospects of melatonin in plant growth, yield, and quality. Journal of Experimental Botany, 73(17), 5928-5946.

WANG, Q.J., SUN, H., DONG, Q.L., SUN, T.Y., JİN, Z.X., HAO, Y.J. and YAO, Y.X., 2016. The enhancement of tolerance to salt and cold stresses by modifying the redox state and salicylic acid content via the cytosolic malate dehydrogenase gene in transgenic apple plants. Plant Biotechnol. J. 14 (10), 1986–1997.

WEİ, W., Lİ, Q. T., CHU, Y. N., REİTER, R. J., YU, X. M., ZHU, D. H., ... and CHEN, S. Y., 2015. Melatonin enhances plant growth and abiotic stress tolerance in soybean plants. Journal of Experimental Botany, 66(3), 695-707.

WEİ, Y., LİU, G., CHANG, Y., HE, C., and SHİ, H., 2018a. Heat shock transcription factor 3 regulates plant immune response through modulation of salicylic acid accumulation and signalling in cassava. Molecular plant pathology, 19(10), 2209-2220.

WEİ, Y., ZHAO, Y., SHİ, M., CAO, Z., LU, Q., YANG, T., ... and WEİ, Z., 2018b. Effect of organic acids production and bacterial community on the possible mechanism of phosphorus solubilization during composting with enriched phosphate-solubilizing bacteria inoculation. Bioresource Technology, 247, 190-199.

WEİ, Z., Lİ, C., GAO, T., ZHANG, Z., LİANG, B., LV, Z., ... and MA, F., 2019. Melatonin increases the performance of Malus hupehensis after UV-B exposure. Plant Physiology and Biochemistry, 139, 630-641.

WEİSANY W., SOHRABİ Y., HEİDARİ G., SİOSEMARDEH A. and GHASSEMİ-GOLEZANİ K., 2012. Changes in antioxidant enzymes activity and plant performance by salinity stress and zinc application in soybean (*Glycine max L.*). Plant Omics J, 5: 60–67.

WİTHAM, F. H., FEUNG, C. S., and HAMİLTON, R. H., 1971. Metabolism of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid by soybean cotyledon callus tissue cultures. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 19(3), 475-479.

XİA, L.J., YANG, L.Q., SUN, N.L., Lİ, J., FANG, Y.J., and WANG, Y.P., 2016. Physiological and antioxidant enzyme gene expression analysis reveals the improved tolerance to drought stress of the somatic hybrid offspring of Brassica napus and Sinapis alba at vegetative stage, Acta Physiol. Plant. vol. 38, pp. 1–10.

XİE, X., HE, Z., CHEN, N., TANG, Z., WANG, Q., and CAI, Y., 2019. The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plant. BioMed research international, 2019.

XUE, H., ZHANG, F., ZHANG, Z. H., FU, J. F., WANG, F., ZHANG, B., and MA, Y., 2015. Differences in salt tolerance between diploid and autotetraploid apple seedlings exposed to salt stress. Scientia Horticulturae, 190, 24-30.

YAISH, M. W., 2015. Proline Accumulation is A General Responseto Abiotic Stress in The Date Palm Tree (*Phoenix dactylifera L.*).Genetics and Molecular Research, 14, 9943–9950.
YAKUPOĞLU, G., 2020. Biberde Tuz Stresine Karşı Melatonin Uygulamasının Bazı Fide Özellikleri Üzerine Etkisi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 36(1), 77-82.
YAN, F., ZHAO, H., WU, L., HUANG, Z., NİU, Y., Qİ, B., ... and ZHANG, G., 2022. Basic Cognition of Melatonin Regulation of Plant Growth under Salt Stress: A Meta-Analysis. Antioxidants, 11(8), 1610.
YANG, J., ZHANG, C., WANG, Z., SUN, S., ZHAN, R., ZHAO, Y., ... and Lİ, M., 2019. Melatonin-mediated sugar accumulation and growth inhibition in apple plants involves down-regulation of fructokinase 2 expression and activity. Frontiers in Plant Science, 10, 150.
YANG, X., REN, J., Lİ, J., LİN, X., XİA, X., YAN, W., ... and KE, Q., 2023. Meta-analysis of the effect of melatonin application on abiotic stress tolerance in plants. Plant Biotechnology Reports, 17(1), 39-52.
YANG, Z., Lİ, J. L., LİU, L. N., XİE, Q., and SUİ, N., 2020. Photosynthetic regulation under salt stress and salt-tolerance mechanism of sweet sorghum.Frontiers in plant science, 10, 1722.
YARRA, R., and WEİ, W., 2021. The NAC-type transcription factor GmNAC20 improves cold, salinity tolerance, and lateral root formation in transgenic rice plants. Functional and Integrative Genomics, 21(3-4), 473-487.
YASAR, F., UZAL, O., and YASAR, O., 2016. Antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation amount of pea varieties (*Pisum sativum sp. arvense L.*) under salt stress. Fresenius Environmental Bulletin, 25(1), 37-42.
YASMİN, H., NAEEM, S., BAKHTAWAR, M., JABEEN, Z., NOSHEEN, A., NAZ, R., ... and HASSAN, M. N., 2020. Halotolerant rhizobacteria Pseudomonas pseudoalcaligenes and Bacillus subtilis mediate systemic tolerance in hydroponically grown soybean (*Glycine max L.*) against salinity stress. PLoS One, 15(4), e0231348.
YAVAŞ, İ., and İLKER, E., 2020a. Çevresel Stres Koşullarına Maruz Kalan Bitkilerde Fotosentez ve Fitohormon Seviyelerindeki Değişiklikler. Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi, 9(2), 295-311.
YAVAŞ, İ., and ÜNAY, A., 2018. Baklagillerde Kök, Nodül Oluşumu ve Azot Fiksasyonu Üzerine Bazı Küresel İklim Değişikliği Parametrelerinin Etkisi. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 4(2), 270-278.
YAVAŞ, İ., ÇINAR, V. M., and AYDIN, Ü., 2020b. Bitkilerde abiyotik stres koşullarında selenyum metabolizması ve fizyolojik etkileri. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (18), 840-849.
YOUSEFİ, H., DALİR, N., RAHNEMAİE, R., and BABAEİ, A., 2020. The alleviation of salinity-induced stress by using boron in soilless grown rose. Journal of plant nutrition, 43(4), 526-537.
YUAN, Y., ZHONG, M., SHU, S., DU, N., SUN, J., and GUO, S., 2016. Proteomic and physiological analyses reveal putrescine responses in roots of cucumber stressed by NaCl. Frontiers in plant science, 7, 1035.
ZAHEER, A., MALİK, A., SHER, A., QAİSRANİ, M. M., MEHMOOD, A., KHAN, S. U., ... and RASOOL, M., 2019. Isolation, characterization, and effect of

phosphate-zinc-solubilizing bacterial strains on chickpea (*Cicer arietinum L.*) growth. Saudi Journal of Biological Sciences, 26(5), 1061-1067.

ZEESHAN, M., LU, M., SEHAR, S., HOLFORD, P., and WU, F., 2020. Comparison of biochemical, anatomical, morphological, and physiological responses to salinity stress in wheat and barley genotypes deferring in salinity tolerance. Agronomy, 10(1), 127.

ZHAN, H., NİE, X., ZHANG, T., Lİ, S., WANG, X., DU, X., ... and SONG, W., 2019. Melatonin: a small molecule but important for salt stress tolerance in plants. International Journal of Molecular Sciences, 20(3), 709.

ZHANG, H., KİM, M. S., SUN, Y., DOWD, S. E., SHİ, H., and PARÉ, P. W., 2017. Soil bacteria confer plant salt tolerance by tissue-specific regulation of the sodium transporter HKT1. Molecular Plant-Microbe Interactions, 30(5), 435-444.

ZHANG, J., WANG, X., VİKASH, V., YE, Q., WU, D., LİU, Y., and DONG, W., 2016a. ROS and ROS-mediated cellular signaling. Oxidative medicine and cellular longevity, 2016.

ZHANG, J., YANG, D., Lİ, M., and SHİ, L., 2016b. Metabolic profiles reveal changes in wild and cultivated soybean seedling leaves under salt stress. PLoS One, 11(7), e0159622.

ZHANG, N., SUN, Q., ZHANG, H., CAO, Y., WEEDA, S., REN, S., ... and GUO, Y., 2016. Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. Journal of experimental botany, 67(15), 4321-4331.

ZHANG, R., SUN, Y., LİU, Z., JİN, W., and SUN, Y., 2017. Effects of melatonin on seedling growth, mineral nutrition, and nitrogen metabolism in cucumber under nitrate stress. Journal of Pineal Research, 62(4), e12403.

ZHANG, Y.;FU, X.;HAO, X.;ZHANG, L.;WANG, L.;QİAN, H.;ZHAO, J., 2016. Artemisia annua'dan spesifik salisilik asit biyosentetik yol geni fenilalanin amonyak-liyazın (AaPAL1) moleküler klonlaması ve promotör analizi. Biyoteknoloji. Uygulama biyokimya, 63, 514–524.

ZHAO, C., NAWAZ, G., CAO, Q., and XU, T., 2022. Melatonin is a potential target for improving horticultural crop resistance to abiotic stress. Scientia Horticulturae, 291, 110560.

ZHAO, C., WİLLİAM, D., and SANDHU, D., 2021. Isolation and characterization of Salt Overly Sensitive family genes in spinach. Physiologia plantarum, 171(4), 520-532.

ZHAO, L., CHEN, L., GU, P., ZHAN, X., ZHANG, Y., HOU, C., ... and WANG, Q. C., 2019. Exogenous application of melatonin improves plant resistance to virus infection. Plant Pathology, 68(7), 1287-1295.

ZHONG, Y., YANG, Y., LİU, P., XU, R., RENSİNG, C., FU, X., and LİAO, H., 2019. Genotype and rhizobium inoculation modulate the assembly of soybean rhizobacterial communities. Plant, cell and environment, 42(6), 2028-2044.

ZHOU, Z., MAJEED, Y., NARANJO, G. D., and GAMBACORTA, E. M., 2021. Assessment for crop water stress with infrared thermal imagery in precision agriculture: A review and future prospects for deep learning applications. Computers and Electronics in Agriculture, 182, 106019.