

DOKTORA TEZİ

**Bazı Sebzelerin Su Kültürü Sistemi Yetiştiriciliğinde Tuz
Zararı Üzerine Biyostimulantların Etkisi**

Boran İKİZ

Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Temmuz, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZ ONAYI

**Bazı Sebzelerin Su Kültürü Sistemi Yetiştiriciliğinde Tuz
Zararı Üzerine Biyostimulantların Etkisi**

Boran İKİZ

Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Bu Doktora Tezi/....../2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. H. Yıldız DAŞGAN (Danışman)

: Prof.. Dr. Şebnem KUŞVURAN

: Doç. Dr. Özlem ALTUNTAŞ

:Prof.. Dr. İlknur SOLMAZ

: Prof.. Dr. Hatıra TAŞKIN

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç.Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FDK-2021-13802

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

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Topraksız Tarım.....	2
1.2. Biyostimulanlar.....	3
1.2.1. Arbusküler Mikorizal Funguslar (AMF)	4
1.2.2. Bitki Gelişimini Arttıran Kök Bakteriler (PGPR)	4
1.2.3. Kitosan.....	4
1.2.4. Fulvik Asit	4
1.2.5. Aminoasit.....	5
1.2.6. Vermikompost	5
1.3. Marul.....	5
1.4. Biber.....	6
1.5. Yaprak Lahana	6
1.6. Fesleğen	7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1. Materyal	17
3.1.1. Bitki Materyali	17
3.1.2. Çalışmada Kullanılan Biyostimulantlar	17
3.2. Yöntem	18
3.2.1. Birinci Yılda Kurulan Marul ve Biber Denemeleri	18
3.2.2. İkinci Yılda Kurulan Yaprak Lahana ve Fesleğen Denemeleri	21
3.2.3. Hasat	22
3.2.4. Denemelerde Bütün Bitkilerde Yapılan Ölçümler.....	24
3.2.5. Yaprak Alanı (cm ² /bitki).....	26
3.2.6. Bitki Çevresi (cm).....	27
3.2.7. Baş Sertliği.....	27

3.2.8. Kuru Madde Üretimi(%)	28
3.2.9 .Klorofil İçeriği	28
3.2.10. Nitrat Miktarı (ppm).....	28
3.2.11. C vitamini (L-Askorbik Asit) içeriği (mg/100g).....	28
3.2.12. Toplam Fenolik Madde Tayini	28
3.2.13. Toplam Flavanoid Tayini	29
3.2.14. Yaprakta Besin Elementi Analizleri.....	29
3.2.15. Yaprak Stoma Geçirgenliğinin Belirlenmesi (mmol m ⁻² s ⁻¹)	32
3.2.16. Yaprak Hücrelerinde Membran Zararlanması (%)	32
3.2.17.Yaprak Osmotik Potansiyelinin Belirlenmesi	33
3.2.18.Yaprak Oransal Su İçeriğinin Belirlenmesi	33
3.2.19. Antioksidatif Stres Enzim Aktiviteleri.....	34
3.3. Verilerin Değerlendirilmesi	35
4. BULGULAR TARTIŞMA	37
4.1. Marul	37
4.1.1. Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Bitki Büyüme Ölçümleri Üzerine Etkileri	37
4.1.2. Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Kalite Ölçümleri Üzerine Etkileri	39
4.1.3. Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Fizyolojik Ölçümler Üzerine Etkileri	41
4.1.4. Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Nitrat, Vit-C ve Enzimatik Olmayan Antioksidantların İçeriği Üzerine Etkileri	42
4.1.5. Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkileri	44
4.1.6 Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Verim Üzerine Etkileri.....	48
4.1.7 Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Enzimatik Antioksidantlar Üzerine Etkileri	49
4.1.8. Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Prolin ve MDA Üzerine Etkileri	52
4.2. Biber	55
4.2.1. Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Bitki Büyüme Ölçümleri Üzerine Etkileri	55

4.2.2. Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Meyve Ölçümleri Üzerine Etkileri	56
4.2.3. Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Kalite Ölçümleri Üzerine Etkileri	58
4.2.4. Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Fizyolojik Ölçümler Üzerine Etkileri	58
4.2.5. Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Nitrat, Vit-C ve Enzimatik Olmayan Antioksidantların İçeriği Üzerine Etkileri	60
4.2.6 Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkileri	62
4.2.7 Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Verim Üzerine Etkileri.....	65
4.2.8. Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Enzimatik Antioksidantlar Üzerine Etkileri	66
4.3. Yaprak Lahana.....	71
4.3.1. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Bitki Büyüme Ölçümleri Üzerine Etkileri	71
4.3.2. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Fizyolojik Ölçümler Üzerine Etkileri.....	72
4.3.3. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Nitrat, Vit-C ve Enzimatik Olmayan Antioksidantların İçeriği Üzerine Etkileri.....	74
4.3.4. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkileri	75
4.3.5. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Verim Üzerine Etkileri	79
4.3.6. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Enzimatik Antioksidantlar Üzerine Etkileri	80
4.3.7. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Prolin ve MDA Üzerine Etkileri.....	83
4.4. Fesleğen	85
4.4.1. Fesleğende Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Bitki Büyüme Ölçümleri Üzerine Etkileri	85

4.4.2. Fesleğende Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Kalite Ölçümleri Üzerine Etkileri.....	86
4.4.3. Fesleğende Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Fizyolojik Ölçümler Üzerine Etkileri	87
4.4.4. Fesleğende Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Nitrat, Vit-C ve Enzimatik Olmayan Antioksidantların İçeriği Üzerine Etkileri	88
4.4.5. Fesleğende Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkileri	90
4.4.6. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Verim Üzerine Etkileri	93
4.4.7. Fesleğende Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Enzimatik Antioksidantlar Üzerine Etkileri	94
4.4.8. Fesleğende Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Prolin ve MDA Üzerine Etkileri	99
5. SONUÇ.....	103
KAYNAKLAR	105
ÖZGEÇMİŞ	121

Bazı Sebzelerin Su Kültürü Sistemi Yetiştiriciliğinde Tuz Zararı Üzerine Biyostimulantların Etkisi

Boran İKİZ

Danışman: Prof. Dr. H. Yıldız DAŞGAN

Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

ÖZ

Bu çalışma, topraksız tarım sistemi kullanarak su kültüründe yetiştirilen yeşil yapraklı sebzelerde tuz zararını azaltmak için biyostimulantların etkilerini araştırmıştır. Çalışmada marul, fesleğen, yaprak lahanası ve biber bitkileri kullanılmış ve bu bitkiler 100 mM NaCl tuz stresine maruz bırakılmıştır. Araştırmanın amacı, biyostimulantların bitkilerin büyüme, gelişme, verim, kalite, beslenme ve tuz stresine karşı adaptasyon ve savunma mekanizmalarını nasıl etkilediğini incelemektir. Çalışma, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'ne ait 500 m² cam serada gerçekleştirilmiştir. Bitki materyali olarak Caipira kıvrıkcık marul çeşidi, Morfes fesleğen çeşidi, Temel Karadeniz yaprak lahanası çeşidi ve Beşparmak süs biberi çeşidi kullanılmıştır. Biyostimulantlar olarak ise fulvik asit, aminoasit, vermikompost, AMF, PGPR ve kitosan kullanılmıştır. Denemeler derin durgun su kültürü sisteminde yürütülmüştür. Çalışmanın sonuçlarına göre, biyostimulant uygulamaları tuz stresi altında bitkilerin büyüme ve gelişmelerini olumlu yönde etkilemiştir. Özellikle aminoasit ve fulvik asit uygulamaları, bitki boyu, yaprak sayısı, gövde çapı ve yaprak alanı gibi morfolojik parametrelerde belirgin iyileşmeler sağlamıştır. Ayrıca, biyostimulantların klorofil içeriği ve kuru madde üretimi gibi fizyolojik parametreler üzerinde de olumlu etkileri gözlemlenmiştir. Nitrat miktarı ve baş sertliği gibi kalite parametreleri de biyostimulant uygulamaları ile iyileşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tuz stresi, Biyostimulantlar, Yeşil Yapraklı sebzeler, Biber, Topraksız yetiştiricilik

**The Effect of Biostimulants on Salt Damage in Hydroponic
Cultivation of Some Vegetables**

Boran İKİZ

Advisor: Prof. Dr. H. Yıldız DAŞGAN

Department of Horticulture

ABSTRACT

This study investigated the effects of biostimulants on mitigating salt damage in leafy green vegetables grown in a hydroponic system using soilless agriculture. The study utilized lettuce, basil, leaf cabbage, and pepper plants, which were subjected to 100 mM NaCl salt stress. The aim of the research was to examine how biostimulants affect plant growth, development, yield, quality, nutrition, and the mechanisms of adaptation and defense against salt stress. The experiment was conducted in a 500 m² glass greenhouse belonging to the Department of Horticulture at Çukurova University Faculty of Agriculture. The plant materials used were the Caipira curly lettuce variety, Morfes basil variety, Temel Karadeniz leaf cabbage variety, and Beşparmak ornamental pepper variety. The biostimulants used included fulvic acid, amino acids, vermicompost, mycorrhiza, bacteria, and chitosan. The trials were carried out in a deep water culture system. According to the results of the study, biostimulant applications positively affected the growth and development of plants under salt stress. Specifically, amino acid and fulvic acid applications provided significant improvements in morphological parameters such as plant height, leaf number, stem diameter, and leaf area. Additionally, biostimulants had positive effects on physiological parameters such as chlorophyll content and dry matter production. Quality parameters such as nitrate content and head firmness were also improved with biostimulant applications.

Key words: Salt Stress, Biostimulants, Leafy Green vegetables, Soilless culture, Pepper

TEŞEKKÜR

Bu doktora tez konusunun seçiminde, uygulamasında ve çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans günlerimden beri danışmanım olan Prof. Dr. Hayriye Yıldız DAŞGAN hocama bana gösterdiği sabır ve tez yazımında katkı ve önerileri için sonsuz şükranlarımı sunarım.

Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN ve Doç. Dr. Özlem ALTUNTAŞ sayın tez izleme komitesi hocalarıma, tezimin başlangıcından sonuna kadar yaptıkları katkılar için çok teşekkür ederim. Sayın juri hocalarım Prof. Dr. Hatıra TAŞKIN'a ve Prof.Dr. İlknur SOLMAZ'a tezimin değerlendirilmesi sırasında yaptıkları katkılar için çok teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmamı sera malzemeleri alımında finansal olarak destekleyen Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürü borç bilirim.

Eğitim öğretim hayatımın başından itibaren her zaman yanımda olan, sevgi ve hoşgörü ile beni daima destekleyen, hiçbir zaman haklarını ödeyemeyeceğim annem Gülcan İKİZ ve babam Kazım İKİZ'e teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Mikrobiyal gübre Rhizofill'in içeriğindeki PGPR türleri ve konsantrasyonları	18
Çizelge 3.2. Denemede kullanılacak gübrelerin isimleri ve stok çözeltilerde yer alma şekilleri	23
Çizelge 3.3. Denemede kullanılacak besin çözeltisi reçetesi	23
Çizelge 3.4. Denemelerde bütün bitkilerde yapılan ölçümler	24
Çizelge 4.1. Marulda tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının bitki büyüme ölçümleri üzerine etkileri	39
Çizelge 4.2. Marulda tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının kalite ölçümleri üzerine etkileri	40
Çizelge 4.3. Marulda tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının fizyolojik ölçümler üzerine etkileri	42
Çizelge 4.4. Marulda tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının nitrat, vit-c ve enzimatik olmayan antioksidantların içeriği üzerine etkileri	44
Çizelge 4.5. Marulda tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının mineral madde içeriği üzerine etkileri(Makro)(%)	46
Çizelge 4.6. Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkileri(Mikro)(ppm)	48
Çizelge 4.7. Marul bitkisinde tuz stresine karşı biyostimülant uygulamalarının bitki ağırlığı ve verim üzerine etkileri	49
Çizelge 4.8. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının bitki büyüme ölçümleri üzerine etkileri	56
Çizelge 4.9. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının meyve ölçümleri üzerine etkileri	57
Çizelge 4.10. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının kalite ölçümleri üzerine etkileri	58
Çizelge 4.11. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının fizyolojik ölçümler üzerine etkileri	60
Çizelge 4.12. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının nitrat, vit-c ve enzimatik olmayan antioksidantların içeriği üzerine etkileri	61
Çizelge 4.13. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının mineral madde içeriği üzerine etkileri(Makro)(%)	63

Çizelge 4.14. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının mineral madde içeriği üzerine etkileri (Mikro) (ppm)	65
Çizelge 4.15. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının verim üzerine etkileri.....	65
Çizelge 4.16. Yaprak lahanada tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının bitki büyüme ölçümleri üzerine etkileri	72
Çizelge 4.17. Yaprak lahanada bitkilerinde tuz stresine karşı biyostimulant uygulamalarının fizyolojik parametreler üzerine etkileri.....	73
Çizelge 4.18. Yaprak lahanada tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının nitrat, vit-c ve enzimatik olmayan antioksidantların içeriği üzerine etkileri	75
Çizelge 4.19. Yaprak lahanada tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının mineral madde içeriği üzerine etkileri(Makro) (%)	78
Çizelge 4.20. Yaprak lahanada tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının mineral madde içeriği üzerine etkileri(Mikro) (ppm)	79
Çizelge 4.21. Yaprak lahanada tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının verim üzerine etkileri	79
Çizelge 4.22. Fesleğende tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının bitki büyüme ölçümleri üzerine etkileri	86
Çizelge 4.23. Fesleğende tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının kalite ölçümleri üzerine etkileri	87
Çizelge 4.24. Fesleğende tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının fizyolojik ölçümler üzerine etkileri	88
Çizelge 4.25. Fesleğende tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının nitrat, vit-c ve enzimatik olmayan antioksidantların içeriği üzerine etkileri.....	89
Çizelge 4.26. Fesleğende tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının mineral madde içeriği üzerine etkileri(Makro) (%)	91
Çizelge 4.27. Fesleğende tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının mineral madde içeriği üzerine etkileri(Mikro) (ppm)	93
Çizelge 4.28. Fesleğende tuz stresine karşı biyostimulantların verim üzerine etkileri.....	93

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Su kültürü sistemine transfer edilmiş marul fideleri (sol) ve biyostimulantların eklenmesi (sağ).....	19
Şekil 3.2. Su kültürü sistemlerinde tuzlu sulama suyuna maruz kalan biberlere biyostimulantların uygulanması sonrası kontrol	19
Şekil 3.3. Biber bitkilerinin sisteme aktarılması (a), bitkilerin genel görüntüsü (b) ve ilaçlanması (c)	20
Şekil 3.4. Yaprak lahana bitkilerinin görüntüleri	21
Şekil 3.5. Yaprak lahana bitkilerinin dikimden 30 gün sonraki hali(sağ) ve sisteme aktarılmış fesleğen bitkileri (sol).....	22
Şekil 3.6. Fesleğen fide transferinden sonraki bitkilerin 30. gün görüntüleri	22
Şekil 3.7. Denemede yetiştirilen marulların kök gelişimi	25
Şekil 3.8. Marul bitkisinde bitki boyu ölçümü	25
Şekil 3.9. Marul bitkisinde gövde çapı ölçümü	26
Şekil 3.10. Marul bitkilerinde yaprak alanı ölçümünden bir görüntü	27
Şekil 3.11. Marul bitkilerinde bitki çevresi ölçümü.....	27
Şekil 3.12. Marul bitkilerinde klorofil içeriği ölçümü	28
Şekil 3.13. Fosfor, Nitrat, Fenol, Flavonoid, Vitamin C ve enzim analizlerinin yapıldığı spektrofotometre cihazı	29
Şekil 3.14. Kjeldahl yöntemi ile azot tayini aşamaları.(a: yakma ünitesi, b: destilasyon, c: titrasyon).....	31
Şekil 3.15. Mineral element analizlerinin yapıldığı atomik absorpsiyon spektroskopisi cihazı	32
Şekil 3.16. Yaprak lahana bitkilerinde yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi	34
Şekil 4.1. Marulda biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı CAT üretimi. CAT: Catalaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.	49
Şekil 4.2. Marulda biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı GR üretimi. GR: Glutation Redüktaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	51
Şekil 4.3. Marulda biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı APX üretimi. APX: Askorbat Peroksidaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	51
Şekil 4.4. Marulda biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı SOD üretimi. SOD: Süperoksit dismütaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	52

Şekil 4.5. Marulda biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı Prolin üretimi. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	53
Şekil 4.6. Marulda biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı MDA üretimi. MDA: Malondealdehit. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	54
Şekil 4.7. Biberde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı CAT üretimi CAT: Katalaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	66
Şekil 4.8. Biberde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı GR üretimi. GR: Glutasyon Redüktaz Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	67
Şekil 4.9. Biberde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı APX üretimi. APX: Askorbat peroksidaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	68
Şekil 4.10. Biberde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı SOD üretimi. SOD: Süperoksit dismutaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	68
Şekil 4.11. Biberde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı prolin üretimi .Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.	69
Şekil 4.12. Biberde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı MDA üretimi. MDA: Malondialdehit. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.	70
Şekil 4.13. Yaprak Lahana biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı CAT üretimi. CAT: Katalaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	81
Şekil 4.14. Yaprak Lahana biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı GR üretimi. GR: Glutasyon Redüktaz Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	81
Şekil 4.15. Yaprak Lahana biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı APX üretimi. APX: Askorbat Peroksidaz, Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	82
Şekil 4.16. Yaprak Lahana biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı SOD üretimi.....	83
Şekil 4.17. Yaprak Lahana biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı prolin üretimi. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	84

Şekil 4.18. Yaprak Lahana biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı MDA üretimi. MDA: Malondehaldehit. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	85
Şekil 4.19. Fesleğende biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı CAT üretimi CAT: Katalaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	96
Şekil 4.20. Fesleğende biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı GR üretimi. GR: Glutation Redüktaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	97
Şekil 4.21. Fesleğende biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı APX üretimi. APX: Askorbat Peroksidaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	98
Şekil 4.22. Fesleğende biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı SOD üretimi. Süperoksit Dismutaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.....	99
Şekil 4.23. Fesleğende biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı Prolin üretimi	100
Şekil 4.24. Fesleğende biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı MDA üretimi	101

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	: Yüzde
AA	: Aminoasit
Ad	: Adet
B	: Bakteri
Ca	: Kalsiyum
cm	: Santimetre
cm ³	: Santimetreküp
Cu	: Bakır
Ç.Ü	: Çukurova Üniversitesi
da	: Dekar
dSm-1	: Elektriksel iletkenlik birimi
EBIC	: Avrupa Biyostimulant Konseyi
EC	: Elektriksel iletkenlik
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
Fe	: Demir
Gr	: Gram
FA	: Fulvik Asit
JMP	: İstatiksel Paket Program
K	: Potasyum
kg	: Kilogram
m	: Metre
m ²	: Metrekare
mg	: Miligram
Mg:	: Magnezyum
mm	: Milimetre
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
N	: Azot
°C	: Santigrat Derece
ÖD	: Önemli değil
P	: Fosfor
PGPR:	Bitki Büyümesini Teşvik Edici Bakteriler
pH	: Power of hydrogen (Hidrojenin gücü)
Ppm	: Milyonda bir birim (parts per million)
SÇKM	: Suda Çözünebilir Kuru Madde Miktarı

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

V : Vermikompost

B : Bakteri

M : Mikoriza

Zn : Çinko

1. GİRİŞ

İklim değışikliğı dünyayı tehdit eden en büyük unsurlardandır ve etkileri insanlık için çok yıkıcı olabilecektir. Üstelik iklim değışikliğinin mevcut hızı devam ederse yaklaşık 40 milyon insan yetersiz beslenme nedeniyle risk altında olacaktır (FAO, 2017).

İklim modellerindeki değışiklikler bazı tarım alanlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Kurak, yarı kurak ve kıyı tarım alanları, iklim değışikliğinin toprak tuzluluğı üzerindeki etkilerine karşı özellikle savunmasızdır. Artan küresel sıcaklıklar, kutup buzullarını eriterek okyanus seviyelerini yükseltmektedir ve daha aşırı hava koşulları getirmektedir. Kuraklık ve taşkınların sıklık ve yoğunluğunun artması beklenmektedir. Sıcak, kuru alanların daha sıcak ve daha kuru olması, bazı ıslak alanların daha ıslak olması ve izole soğuk alanların daha soğuk olması beklenmektedir. İklim değışikliğı dünya çapında aşırı hava olaylarının sıklığını artırarak, sellere, düşük yağışa, daha yüksek sıcaklıklara yol açan olağandışı yüksek yağış olaylarına, daha uzun, daha sert ve daha sık kuraklıklara neden olabilecektir. Tarımsal üretim iklim koşullarına doğrudan bağlantılıdır. Verim, su kullanımı, biyolojik çeşitlilik ve toprak sağlığı iklimdeki değışikliklerden direkt etkilenmektedir. Yağışlar, ekstrem sıcaklıklar ve diğer aşırı hava olaylarının sıklığı ve yoğunluğundaki değışiklikler tarımsal verimliliğı etkileyebilecek ve iklim değışikliğinin dünya tarımı üzerindeki net etkisi olumsuz olabilecektir. Bitki türleri için karakteristik olan tuzluluk eşiğinin ötesinde, ürün verimi doğrusal olarak azalacak ve verim düşüşü de bitkiye özel olması beklenmektedir. Kök bölgesindeki tuzluluğun gelişimini etkileyen iklim kaynaklı faktörlerin karşılıklı ilişkisini ve etkileşimini açıkça anlamak için toprağın tuzlanmasıyla ilgili süreçlerin net bir resmine sahip olmak gerekmektedir. Birinci ve ikinci olmak üzere, iki tür toprak tuzluluğı vardır. Birincil toprak tuzluluğı doğal olaylardan kaynaklanır, ikincil toprak tuzluluğı ise insan kaynaklı faaliyetler sırasında doğal kaynakların olumsuz yönetiminin bir sonucudur. Çözünebilir tuzlar toprağın doğasında bulunmasına rağmen, toprak profilinde tuzların birikmesini etkileyen çeşitli süreçler vardır. Toprağa tuz katkısına bulunan süreçler şunları içerir: (a) toprak minerallerinin hava koşullarıyla aşınması, (b) yağmurdan veya tatlı su ile sulamadan eklenen tuzlar, (c) geri dönüştürülmüş bozulmuş sulardan eklenen tuzlar, (d) gübre ve pestisitlerin uygulanması, (e) dalgalanan su tablası veya kuyuların aşırı çekilmesi nedeniyle tuzlu yeraltı suyunun sızması, (f) kıyı bölgeleri boyunca deniz suyunun sızması ve (g) endüstriyel atıkların boşaltılması veya belediye atıkları. Tuza katkıda bulunan bu süreçler, edafik (örn. doku, geçirgenlik, pH ve organik madde), iklimsel (örn. bağıl nem, sıcaklık ve yağış), hidrolojik (örn. yeraltı suyu kalitesi ve yeraltı suyu derinliğı), antropojenik (örn. yıkama verimliliğı ve ürün verme stratejisi), topografik (örneğin eğim, yükseklik, rölyef ve arazi şekilleri) ve biyolojik (örneğin toprak-su-bitki etkileşimleri, solucanlar ve mikroplar) faktörler olarak toprağın tuzlanmasının kapsamını ve dağılımını belirlemektedir (Corwin, D. L., 2021).

Kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak tuzluluğı ve sulama yönetimi birlikte ele alınır, çünkü tuzluluğun kontrolü genellikle yıkamanın bir sonucudur. Toprak tuzluluğunun birikmesi, bitki büyümesinde azalmaya, verimde azalmaya ve ciddi durumlarda mahsulün bozulmasına neden olur.

Tuzluluk, bitkilerin su alımını sınırlayarak ozmotik potansiyeli azaltır ve bitkinin su transferini zorlaştırır. Ayrıca tuzluluk, toprağın pH'sına bağlı olarak ortaya çıkar ve spesifik iyon toksisitelerine (örneğin Na^+ iyon toksisitesi) neden olarak bitkilerin besin dengesini bozar. Topraktaki suyun tuz bileşimi, toprak parçacıklarının değişim kompleksi üzerindeki katyon bileşimini etkiler, bu da toprağın geçirgenliğini etkiler. Sodik topraklarda toprak yapısı bozulur ve geçirgenlik azalır. Ayrıca, toprağın tuzlanması çölleşmenin itici gücü olarak kabul edilir. Ekilebilir alanların terk edilmesi ve toprak erozyonu gibi arazi bozunumu süreçleriyle yakın bir ilişkisi vardır. (D'odorico,2013).

Tuzluluktan etkilenen alanın 2050 yılına kadar toplam tarım arazisinin yaklaşık %50'sini kaplaması beklenmektedir. Tuzluluk stresi, bitkilerin fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler özellikleri üzerinde çeşitli zararlı etkiler yaratmakta ve verimliliği düşürmektedir. Tuzluluk stresi altında zayıf bitki büyümesi, besin mobilizasyonunun azalması, hormonal dengesizlik ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumu, iyonik toksisite ve ozmotik strese bağlıdır. Ayrıca tuzluluk aynı zamanda fizikokimyasal özellikleri de modüle ederek toprağın mikrobiyal çeşitliliğini azaltır ve dolayısıyla toprak sağlığını azaltır. Öte yandan artan küresel nüfusa bağlı olarak önümüzdeki yıllarda bitkisel üretime olan talebin de artması bekleniyor. Geleneksel tarım uygulamaları ve geliştirilmiş tuza dayanıklı ürün çeşitleri, yakın gelecekte istenilen verimin elde edilmesi için yeterli olmayacaktır. İklim değişikliği, deniz seviyesinin yükselmesi nedeniyle verimli topraklara tuzlu su girişini hızlandırabilir ve dünyanın kuru bölgelerinde aşırı yeraltı suyu çıkarımı da toprak ve yeraltı suyu tuzluluğunu artırabilir (Dasgupta ve diğerleri, 2015).

1.1. Topraksız Tarım

Toprağın bitkisel üretime uygun olmadığı yerlerde bitki yetiştiriciliğine olanak sağlayan, erken hasat süresi, suyun ve gübrenin etkin kullanımı, toprak kökenli hastalık ve zararlılar için kullanılacak pestisitlerin kullanılmaması, birim alandan daha fazla ürün eldesi gibi avantajları olan sistemler topraksız tarım adı altında incelenmektedir.

Topraksız tarım:

- 1- Katı ortam (substrat) kültürleri
- 2- Su kültürleri olmak üzere iki dalda incelenir.

Ülkemiz topraksız seralarında substrat/ortam kültürü tercih edilmektedir. Toprak yerine alternatif katı ortamlar (perlit, torf, hindistan cevizi lifi, kaya yünü, farklı kaynaklı volkanik ve bazaltik tüfler) bitki köklerine mekanik destek amacı ile kullanılırken, inert sayılabilen bu ortamlarda bitkilerin beslenmesi tamamıyla besin çözeltisi ile sağlanmaktadır. (Gül ve ark., 2001).

Özellikle yeşil yapraklı sebzelerin üretiminde kullanılan hidroponik kültürler ise herhangi bir katı ortam kullanmadan köklerin besinli su ile teması sonucu yetiştirildiği sistemlerdir. Bu sistemler; durgun su kültürü, NFT (Nutrient Film Technique), aeroponik sistemler ve aquaponik sistemler olarak incelenebilir.

1.2. Biyostimulanlar

Bitki biyostimulanları, besin maddeleri ve pestisitler hariç, uygulandığında belirli formülasyonlardaki bitki, tohum veya yetiştirme substratları, büyüme, gelişme ve/veya stres tepkilerine potansiyel faydalar sağlayacak şekilde bitkilerin fizyolojik süreçlerini değiştirme kapasitesine sahiptir. Başta Du Jardin (2012) tarafından bu şekilde tanımlanan biyostimulantlar, yine Du Jardin, tarafından 2015'te yeni bir tanıma evrilmiştir: "Bir bitki biyostimülantı, besin içeriğine bakılmaksızın beslenme verimliliğini, abiyotik stres toleransını ve/veya mahsul kalitesi özelliklerini geliştirmek amacıyla bitkilere uygulanan herhangi bir madde veya mikroorganizmadır."

Biyostimulantların tanımı son on yıl içerisinde yakın zamanda (Avrupa Birliği) 2019/1009 yönetmeliği kapsamında titizlikle tartışılmıştır ve bu da aşağıdaki sonuçlar bildirilmiştir: "Bir bitki biyostimülantı, işlevi bitkiyi uyarmak olan gübreleme ürünü olacaktır." Ürünün besin içeriğinden bağımsız olarak, yalnızca bitkinin veya bitki rizosferinin aşağıdaki özelliklerinden bir veya daha fazlasını geliştirmeyi amaçlayan beslenme süreçleri: i) besin kullanım verimliliği, ii) abiyotik strese tolerans, iii) kalite özellikleri veya iv) toprakta veya rizosferde sınırlı besin maddelerinin mevcudiyeti" (AB, 2019). Bu tanıma dayanarak, biyostimulantlar tarımsal fonksiyon iddialarına göre belirlenir ve çeşitli biyoaktif doğal maddeleri içerir: (i) hümkik ve fulvik asitler, (ii) hayvansal ve bitkisel protein hidrolizatları, (iii) makroalg deniz yosunu ekstraktları ve (iv) silikon ve faydalı mikroorganizmalar: (i) arbusküler mikorizal mantarlar (AMF) ve (ii) Rhizobium , Azotobacter ve Azospirillum cinslerine ait N-sabitleyici bakteriler.

Ülkemizde 17/2/1999 tarihli ve 23614 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Zirai Mücadelede Kullanılan Pestisit ve Benzeri Maddelerin Ruhsatlandırılması Hakkında Yönetmeliğin 4'üncü maddesinde yer alan "Pestisit Benzeri Maddeler" tanımına 26/06/2002 tarihli ve 24797 sayılı Resmi Gazete'de "tuzaklar" ifadesinden sonra gelmek üzere "bitki aktivatörleri" ifadesi eklenmiştir ve söz konusu tarihten itibaren Türkiye'de biyostimulantlar kullanılmaya başlanmıştır. Biyostimulantların Türkiye'de ruhsatlandırılması halen sözü edilen yönetmeliğe göre gerçekleşmektedir. Anılan ürünlerin ruhsatlandırılması hakkında istenen belgeler 12/09/2009 tarihinde yayınlanan 27347 sayılı Resmi Gazete'de listelenmiştir.

Bu tanım sonrası biyostimulantlar iki ana başlık halinde incelenmiştir. Bunlar mikrobiyal olmayan biyostimulantlar ve mikrobiyal biyostimulantlardır.

Esas olarak sinyal veren peptidleri ve serbest amino asitleri içeren protein hidrolizatları (PH'ler), çimlenmeyi, fide büyümesini, bitki büyümesini, meyve ve sebze kalitesinin yanı sıra özellikle çevresel stres altında mahsul verimliliğini artırma potansiyelleri nedeniyle mikrobiyal olmayan biyostimulantlar olarak ön plana çıkmıştır.

Mikrobiyal olmayan biyostimulantlara ek olarak, Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) ve AMF gibi mikrobiyal biyostimulantların kullanımı, özellikle N ve P eksikliği (yani biyogübre etkileri) gibi düşük girdi koşullarında verim istikrarını güvence altına almak için özellikle aşırı

sıcaklıklar, kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik stres faktörlerine karşı mahsul toleransını geliştirmeye yönelik yenilikçi bir teknoloji olarak sürdürülebilir ve etkili araçlar olarak kabul edilmektedir.

1.2.1. Arbusküler Mikorizal Funguslar (AMF)

Önümüzdeki yıllarda artan küresel gıda talebini karşılamak amacıyla verimin miktarını ve verim istikrarını garanti altına almak için daha sürdürülebilir bahçecilik uygulamaları geliştirilmelidir. Önceki hedeflere ulaşmanın çevre dostu bir yolu, arbusküler mikorizal mantarların (AMF) sergilediği biyostimülant işlevlerle temsil edilmektedir. AMF, mineral besin maddelerini bitki rizosferinin ulaşmadığı yerlerde bu gübreleri etkin hale getirerek bitki beslenmesini destekler ve ikincil metabolizmada iyileştirilmiş nutrasötik bileşiklere yol açan değişiklikleri tetikler. Ek olarak AMF, konukçu bitkilerin fitohormon dengesine müdahale ederek bitki gelişimini etkiler (biyodüzenleyici etkisi) ve toprak ve çevresel streslere karşı toleransı artırır (biyokoruyucu etkisi). AMF aktivitesinden maksimum fayda, yararlı tarım uygulamalarının benimsenmesiyle (örneğin, kimyasal gübrelerin ve biyositlerin azaltılması), etkili AMF türlerinin aşılmasıyla ve ayrıca bitki konakçı/mantar kombinasyonlarının uygun seçimiyle elde edilecektir (Rouphael, 2020).

1.2.2. Bitki Gelişini Artıran Kök Bakteriler (PGPR)

Tarımsal kimyasalların kullanımında ve çevre kirliliğinde önemli bir azalma ve doğal kaynak verimliliğinin artırılmasıyla gıda üretiminin artırılması sorununun üstesinden gelmek için, bahçecilikte toprak mikroorganizmalarının kullanılması esastır. Mikroorganizmaların bir grubu, yirminci yüzyılın başından beri üzerinde çalışılan ve bunların fizyolojik düzeydeki etki şekli şu anda iyi anlaşılmış olan bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerden (PGPR) oluşur. PGPR mekanizmaları, bitkilerde hormon salınımı veya hormonal değişiklikleri, uçucu organik bileşiklerin üretimini, besinlerin bulunabilirliğinde iyileşmeyi ve abiyotik streslere karşı toleransın artırılmasını içerir (Ruzzi, 2015).

1.2.3. Kitosan

Kitosan, N-asetil-d-glukozamin ve d-glukozaminin bir ko-polimeri olan kitinden, N-asetil-d-glukozamin kalıntılarının asetil gruplarının %80'inden fazlası çıkarıldığında oluşur. Kitosan bazlı malzemeler, biyostimülant olarak kullanıldıkları tarım da dahil olmak üzere birçok alanda uygulanabilir olmalarını sağlayan çeşitli ilginç özellikler sergilemektedir. Kitosan, bitkilerde glukanaaz ve kitinaaz gibi patogeneze ilişkili genler gibi çeşitli savunma genlerini indükler. Aynı zamanda reaktif oksijen türleri temizleme sisteminde süperoksit dismutaz, katalaz ve peroksidad gibi birçok enzimi de indükler (Pichyangkura ve ark., 2015).

1.2.4 Fulvik Asit

Hümk maddeler (HM), bitki ve hayvan maddelerinin kimyasal ve biyolojik dönüşümleri ve mikrobiyal metabolizmadan oluşur. Dünya yüzeyindeki ana organik karbon havuzunu temsil eder. Birçok önemli ekolojik ve çevresel sürecin düzenlenmesine katkıda bulunurlar. Örneğin, hümk

maddeler genel olarak bitki büyümesini ve karasal yaşamı sürdürür; hem topraktaki karbon hem de nitrojen döngüsünü, bitki ve mikroorganizmaların büyümesini, antropojenik kaynaklı bileşiklerin ve ağır metallerin akıbeti ve taşınmasını ve toprak yapısının stabilizasyonunu düzenler.

1.2.5 Aminoasit

Biyostimülanların üretimi için amino asitler, kimyasal sentez yoluyla, bitkisel proteinlerden (örn. alg, mısır ve soya fasulyesi) ve ayrıca hayvan proteinlerinden kimyasal veya enzimatik hidroliz yoluyla elde edilir (Calvo ve ark.,2014; Jakubke ve ark.,1982, Popko ve Gorecki, 2014, Kucinska ve ark., 2014). Amino asitler, proteinlerin temel yapı taşlarıdır ve bitkide yapısal, metabolik ve taşıma gibi birçok işlevi yerine getirir (Paleckine ve ark., 2007).

Bitkisel kaynaklı amino asitler, protein yapılarına dahil olmayan glutamat, histidin, prolin ve glisin gibi amino asitler içerir. Araştırmalar, bu tür amino asitlerin bitkilere uygulanmasının, abiyotik streslere karşı dayanıklılığı artırabileceğini göstermektedir (Sharma & Dietz, 2006; Forde & Lea, 2007; Vranova et al., 2011).

Belirli amino asit bileşiklerine sahip biyostimülanlar, azot asimilasyonunu düzenleyen enzimler ve bu enzimlerin yapısal genlerini kullanarak azotun alınmasını ve asimilasyonunu modüle edebilir. Bu da köklerin azot alımı sinyal yollarını etkileyerek bitkilerin azot kullanımını optimize edebilir (Colla et al., 2014).

1.2.6. Vermikompost

Son yıllarda önemi gittikçe artan organik tarım içerisinde de yer alan önemli gübrelerden biri de vermikomposttur. Organik bir materyal olan vermikompost, toprak özelliklerini iyileştirici etkisinin yanında bitkilere besin maddeleri sağladığından, organik yetiştiricilik yapılan bütüncül tarımlara uygulanabilmektedir (Demir ve ark., 2010). Vermikompost, üretim ortamına karıştırılabilecek materyallerden biridir. Tek başına düşünüldüğünde, organik bir gübre olmanın ötesinde, iyi bir toprak iyileştirici, çevreci ve ekonomik bir malzemedir (Bellitürk, 2016).

1.3. Marul

Lactuca sativa, L. yapraklı sebzeler kategorisinde önemli bir ürün olarak kabul edilir ve Asteraceae (*Compositae*) familyasına aittir. Bu familya, en fazla bitki türünü içeren, en büyük ailedir. *Lactuca* cinsinde yüzden fazla tür bulunur ve kromozom sayısı $2n=2x=18$ 'dir. Kültür marulu (*Lactuca sativa* L.), Güneybatı Asya'da yetişen *Lactuca serriola* L. yabani türünden türetilmiştir. *L. sativa*, çeşitli genetik kökenlere sahip yüksek bir genetik çeşitliliğe sahiptir ve karmaşık bir yetiştirme süreci ile karakterizedir. Marul ve salatalar, marul, yapraklı salata ve baş salata (atom) olmak üzere üç ana sınıfa ayrılır (Aybak 2002, Mou 2008, Hassan vd. 2021). Marul ve salatalar, soğuğa dayanıklı, nemli ve serin iklim koşullarında iyi gelişen, hızlı büyüme süreleri olan sebze türlerindendir. Ülkemizin neredeyse her bölgesinde yıl boyunca yetiştirilmelerine rağmen, Ege, Marmara ve Akdeniz bölgeleri dışında genellikle

Haziran ve Temmuz ayları dışında yetiştirilmektedir (Aybak 2002). Topraksız su kültürü yetiştiricilik sistemlerinde en çok tercih edilen birinci sırada gelen yeşil yapraklı sebzedir.

1.4. Biber

Biber (*Capsicum annuum* L.), Solanaceae ailesine ait bir bitki türüdür ve genellikle Orta Amerika'nın anavatanı olarak kabul edilir. Bu bölgeden dünya geneline yayıldığı bilinmektedir. *Capsicum* cinsinde yaklaşık 20-25 tür bulunmasına rağmen, günümüzde sadece beş tanesi aktif bir şekilde yetiştirilmektedir; bunlar *C. annuum*, *C. pubences*, *C. chinense*, *C. baccatum* ve *C. frutescens*'dir (Keleş, 2007).

Biber, ilk olarak İspanya'dan 1548 yılında İngiltere'ye, daha sonra Orta Avrupa ve diğer Avrupa ülkelerine tanıtılmıştır. Balkan ülkelerinden sonra Türkler tarafından Orta ve Kuzey Afrika ülkelerine tanıtılmıştır (Eşiyok, 2012). Biber, farklı tüketim biçimleri (baharat, salça, sos, kurutma vb.) için yaygın olarak yetiştirilir ve içerdiği vitamin ve mineraller nedeniyle insan beslenmesi ve sağlığına olumlu katkı sağladığı için dünya genelinde ve ülkemizde yaygın bir ürün olarak üretilir.

2021 yılında dünya genelinde toplam biber üretimi oldukça yüksek bir seviyede gerçekleşmiştir. Bu üretim, FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) verilerine göre 36.286.643,77 ton olarak kaydedilmiştir. Bu üretim miktarının büyük bir kısmı Çin, Türkiye ve Endonezya gibi ülkelere gelmektedir.

Çin, 16.721.690 ton biber üretimiyle dünyanın en büyük biber üreticisi konumundadır. Türkiye ise 3.091.292 ton biber üretimi ile bu sıralamada ikinci sıradadır. Üçüncü sırada ise 2.747.018 ton biber üretimi ile Endonezya yer almaktadır (FAO, 2021). Bu ülkeler, biber üretimi konusunda önde gelen ülkelerdir ve bu ürünün dünya genelindeki önemini vurgulamaktadır. Su kültürü topraksız biber yetiştiriciliği, özellikle ısıtılamayan seralarda kışın serin iklim sebzeleri yetiştiriledikten sonra, bahar ve yaz dönemini değerlendirmek üzere tercih edilmektedir. Bu tez çalışmasında kullanım amacı da budur.

1.5. Yaprak Lahana

Yaprak lahana (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*), Brassicaceae ailesine, *Brassica* cinsine ve *Brassica oleracea* türüne ait bir kış sebzesidir. Bu sebze, Doğu Akdeniz kökenli olup, Brassicaceae ailesinin en eski üyelerinden biridir. Günümüzde yapılan araştırmalar, yaprak lahananın içerdiği antioksidanlar ve fitokimyasal özellikler sayesinde birçok kanser türüne ve kalp hastalıklarına karşı riski azaltmada yardımcı olduğunu göstermektedir. Ayrıca içeriğindeki vitamin ve mineraller, insan beslenmesi ve sağlığına önemli katkılarda bulunur, bu nedenle lahana kış sebzeleri arasında özel bir yere sahiptir.

Lahanagiller ailesi, insan beslenmesinde önemli bir role sahiptir ve eski çağlarda Yunanistan, Roma ve Mısır gibi toplumlarda tıbbi amaçlarla kullanıldığına dair tarihi kayıtlar bulunmaktadır. Bu kayıtlarda, hekimlerin lahanayı birçok sağlık sorununa karşı bir çare olarak gördükleri ifade

edilmektedir. Yüksek oranda vitamin C içermektedir (Balkaya ve Yanmaz, 2005; Gündoğdu, 2005; Ayaz ve ark., 2006; Geçmez, 2011).

Lahana grubu sebzeler, geniş bir aileye aittir ve baş lahanalar (beyaz ve kırmızı), karnabahar, brokkoli, Brüksel lahanası, yaprak lahana ve alabaş gibi farklı türleri içerir (Fang ve ark., 2004). Bu çeşitlilik, farklı besin değerleri ve sağlık faydaları sunar, bu nedenle lahanagiller ailesi çok çeşitli ve besleyici sebzeler sunar.

Lahana (*Brassica oleracea L.*) grubu sebzeler dünya genelinde önemli bir üretim hacmine sahiptir. 2022 FAO kayıtlarına göre, dünya genelinde lahana grubu sebzelerin üretimi 72,603,754 ton olarak kaydedilmiştir. Bu sebzelerin üretiminde önde gelen ülkeler Çin ve Hindistan'dır. Ülkemiz Türkiye'de ise toplamda 964,296 ton lahana üretilmektedir.

Lahananın anavatanı olarak Kuzey Avrupa ülkeleri ve Baltık Denizi kıyıları kabul edilir. Bu bölgelerde nemli ve denize yakın iklim koşulları, lahananın geniş bir yayılma alanı bulmasına neden olmuştur. Lahananın yabani formları ise Fransa'nın Atlantik kıyıları ile İrlanda ve İngiltere'nin güney kıyılarında bulunmaktadır (Deveci ve Tuğcu, 2017).

Samsun ilindeki yaprak lahana üretimi ülke genelinde büyük bir paya sahiptir ve bu sebze Samsun ilinin birçok ilçesinde önemli tarımsal faaliyetlerden biri olarak kabul edilir (Balkaya vd, 2005; Hekimoğlu ve Altindeğer, 2007).

1.6. Fesleğen

Fesleğen (*Ocimum basilicum*), Lamiaceae ailesine ait bir bitkidir ve hem tek yıllık hem de çok yıllık olarak yetiştirilebilir. Bu bitki hem baharat olarak kullanılan yaprakları hem de hoş kokusu nedeniyle süs bitkisi olarak yetiştirilen bir bitkidir. Ülkemizde doğal olarak bulunmasa da küçük ölçekli yetiştirme alanları mevcuttur. Fesleğenin anavatanı İran, Güney Asya ve özellikle Hindistan'dır. Sıcak iklim bölgelerinde doğal olarak yetiştiği gibi, bazı Avrupa ülkeleri, özellikle Fransa, İspanya ve İtalya gibi bölgelerde de önemli miktarda yetiştirilmektedir (Akgül, 1989; Özcan ve Chalchat, 2002). İnsan beslenmesinde taze olarak kullanıldığı gibi kuru baharat olarak da yaygın bir şekilde tercih edilir. Et, sebze yemekleri, salatalar, soslar ve bitki çayları gibi birçok mutfak uygulamasında belirgin ve özgün aromasıyla öne çıkar.

Ülkemizde fesleğen yetiştiriciliği özellikle Batı ve Güney Anadolu bölgelerinde yoğundur. Genellikle büyük işletmelerde değil, ev bahçelerinde ve saksılarda yetiştirilen bu hoş kokulu bitki halk arasında "reyhan" olarak da adlandırılır (Nacar, 1997).

Fesleğen bitkisinin ekonomik olarak kullanılan bölümleri, mor ve yeşil yapraklarıdır. Bu bitki ilkbaharı sever ve soğuğa karşı hassastır (Arabacı ve Bayram, 2004). Bir büyüme dönemi boyunca birçok hasat yapılabilir ve bu hasat dönemleri bitkinin verimi ve kimyasal içeriği üzerinde önemli etkilere sahiptir (Telci, 2005). Taze fesleğen yaprakları Akdeniz mutfağında salatalarda, sebzelerde, çorbada, deniz ürünlerinde ve soslarında kullanılırken, kurutulmuş yaprakları et yemeklerinde, tatlandırıcılarda ve dondurmalarda kullanılır (Akgül, 1993; Özcan ve Chalchat, 2002).

Fesleğen, sadece aromatik özelliğiyle değil aynı zamanda tıbbi potansiyele sahip olmasıyla da dikkat çeker. Artık sağlık tedavilerinde de sıklıkla kullanılmaktadır.

Son dönemlerde, fesleğenle ilgili çalışmalar, güçlü antioksidan aktivite gösteren organik bileşikler içeren uçucu ekstrelerin artan ilgisini çekmektedir. Fesleğen bitkilerinde bulunan yüksek antioksidan etkili aroma kimyasallarının bol miktarda bulunması dikkate alındığında, fesleğenin toplam antioksidan aktivitesinin bilinen diğer antioksidanlarla karşılaştırılabilir hatta daha yüksek olabileceği söylenebilir. Aslında, fesleğenin belirgin antioksidan potansiyeli, yapraklardan ekstrakte edilen polifenolik bileşikler ve uçucu yağlardaki rosmarinik asidin varlığına dayanmaktadır (Ličina ve ark., 2014)

Bu sebeple, son yıllarda fesleğenin bu tür antioksidan sağlık yararlarına yönelik artan ilgi, ticari açıdan büyük bir ivme kazanmıştır. Bu durum, fesleğenin artık sadece bir baharat bitkisi değil aynı zamanda tıbbi bir bitki olarak da görülmesine ve yetiştirilmesine yol açmıştır. Bu, fesleğenin hem sağlık açısından faydalarından yararlanmak isteyen insanlar hem de endüstriyel üreticiler için önemli bir gelişmedir. Fesleğen su kültürleri sistemlerinde maruldan sonra en çok yetiştirilen ikinci sırada gelen sebzedir. Aynı zamanda marulun yetiştiriciliğinin saon bulduğu bahar yetiştirme periyodunda yetiştirilebilir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Di martino ve ark. (2003) ıspanakta tuz stresi altında yaprak hücresi osmoregülasyonuna katkıda bulunan azotlu birleşikleri belirlemek amacı ile bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla bitkileri günlük olarak 170 mM NaCl içeren sulama suyu ile sulanmış ve stres altındaki bitkilerde sodyum serbest aminoasitler ve glisin betain içerikleri ölçülmüştür. Düşük düzeyde tuz stresi altında Glycine betain azotlu bileşiklerin %15ini oluşturmuş ve stres düzeyi yükseldikçe bu oran %55'e kadar çıkmaktadır. Bu aminoasitlerin bitkiye uygulanması streste azalma gösterebilir.

Chinsamy ve ark. (2013) domatesta tuz stresini azaltma amacıyla yaptıkları bir çalışmada solucan humusu sızıntı suyunu kullanarak (VCL), *Lycopersicon esculentum* Mill var. Heinz-1370 fideleri sera koşullarında 0, 25, 50 ve 100 mM'lik sodyum klorür (NaCl) konsantrasyonlarına tabi tutulmuştur. WizzardWorms VCL ticari vermikompost gübresi Hoagland besin çözeltisiyle birlikte 1:10 oranında hazırlanmıştır. VCL ile muamele edilmiş domates fidelerinin morfolojik karakterleri, yüksek NaCl konsantrasyonu altında (100 mM) bile, yaprak sayısını ve gövde kalınlığını artırmış ve artan yaprak alanı ile kök gelişimini teşvik etmiştir. Yapılan bu araştırma, VCL sıvısının tuz stresi koşulları altında fide büyüme performansını iyileştirerek domates üretkenliğini maksimize etme potansiyelini göstermektedir.

Ekici ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışma, bitki gelişimini teşvik eden rizobakterlerin (PGPR) brokkoli fidelerinin gelişimi ve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, *Bacillus megaterium* TV-3D, *Bacillus megaterium* TV-91C, *Pantoea agglomerans* RK-92 ve *Bacillus megaterium* KBA10 PGPR ırkları kullanılmıştır. PGPR uygulamaları, brokkoli tohumlarının çimlenmesinden sonra iki haftada bir olmak üzere iki kez yapılmıştır. Deneme sonuçlarına göre, PGPR uygulamalarının brokkoli fidelerinin gelişimini olumlu bir şekilde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu uygulamalar, kontrol grubuna göre fide boyunda %7,85, gövde çapında %42,56, yaprak alanında %18,12 artış sağlamış ve kuru madde oranında ise %41,98'lik bir artış görülmüştür. Bu sonuçlar, PGPR bakteri ırklarının brokkoli bitkilerinin büyümesini teşvik ettiğini ve fide kalitesini artırdığını göstermektedir. Bu tür bakterilerin tarım uygulamalarında bitki büyümesini teşvik etmek için potansiyel bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Adiloğlu ve ark. (2015) tarafından gerçekleştirilen bir çalışma, kıvrıkcık marul bitkisine uygulanan farklı vermikompost dozlarının verim üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu denemede, dört farklı dozda vermikompost uygulanmıştır I. doz: 0 kg/da, II. doz: 400 kg/da, III. doz: 800 kg/da, IV. doz 1200 kg/da. Çalışmanın sonuçlarına göre, bitkinin N (azot), P (fosfor), K (potasyum), Ca (kalsiyum), Mg (magnezyum), Cu (bakır) ve Zn (çinko) gibi makro ve mikro elementler açısından bir değişiklik göstermediği belirlenmiştir. Ancak vermikompostun Fe (demir) ve Mn (manganez) elementleri üzerine olumlu bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, vermikompostun bitki besin maddeleri açısından bazı elementlerin alımını artırabileceğini ve toprak verimliliğini artırabileceğini göstermektedir. Demir ve manganez gibi mikro elementler bitki gelişimi için önemlidir ve bu elementlerin vermikompost

kullanımıyla artırılması bitki verimini artırabilir. Bu nedenle vermikompost, toprak iyileştirmesi ve bitki yetiştirmenin sürdürülebilir bir yolunu temsil edebilir.

Şirzadi ve diğer araştırmacılar (2015), açık tarlada fesleğen yetiştiriciliğinde AMF, azotobakter ve vermikompostun bir arada kullanımının bitki verimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışma sonuçlarına göre, AMF, azotobakter ve vermikompostun bir arada kullanılmasının bitki verimini artırdığı belirlenmiştir.

Bağ ve ark. (2016) tuz stresi altında Arbusküler Mikorizal fungusların besin alımını arttırdığını, bitki büyümesini ve gelişimini etkilediğini göstermiştir. Monterey çilek çeşidinin köklerine aşılanan mikorizal mantarların sera koşullarında tuz stresine verdikleri yanıtı değerlendirmek amacıyla tuz konsantrasyonu 0,20,40,80 mM/L'lik mikorizalı ve mikorizasız uygulamalarla deneme kurmuştur. Yaprak alanı parametresi 20mM tuzda ve mikoriza uygulanan uygulamada kontrole yakın değerler bulunmuştur. Bitki kuru ağırlığı parametresi 20 mM tuz ve mikorizalı uygulamada kontrol bitkilerine göre daha yüksek bir değerdedir. Meyve ağırlığı parametresi incelendiğinde 20 mM ve 40 mM tuz ve mikoriza uygulamasında kontrol grubu ile aynı istatistiksel grupta yer almıştır. Meyve verimi parametresinde ise mikoriza uygulanan grupların tümü kontrol grubu ile aynı istatistiksel gruptadır ve fark bulunmamıştır.

Beykkhormizi ve ark. (2016) fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L. cv. *Light Red Kidney*) yaptıkları bir çalışmada 5 farklı vermikompost ve kum oranı (hacimsel olarak %: 0-100, 10-90, 25-75, 50-50,75-25) ve 4 farklı tuz seviyesi (20,40,60,80 mmol/L NaCl) grupları oluşturmuş olup bu gruplarda bazı morfolojik ve fizyolojik özellikler ile mineral madde konsantrasyonu üzerine çalışmıştır. 42 gün sonunda sonuçlanan denemede vermikompostun tuz ve kontrol gruplarına ait incelenen tüm özelliklerde olumlu etki yaptığı belirlenmiştir. Vermikompost fotosentez oranı ile yaprak ve kök dokularındaki potasyum ve kalsiyum konsantrasyonlarında da önemli ölçüde artış sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma sonucunda fasulye de büyümeyi artırıcı etki adına uz uygulanan veya uygulanmayan konsantrasyonlarda %10 oranında vermikompost eklenmesi önerilmektedir.

Shams ve ark. (2016) tuz stresi altındaki marul bitkisine glisin betain uygulamasının antioksidan enzim aktivitesi, kuru madde, organik asit, aminoasit içerikleri, toplam antioksidan ve toplam fenolik madde içeriğine etkisini incelemişlerdir. 4 farklı konsantrasyonda (0, 5, 10, 25 mM) glisin betain ve 2 farklı tuzluluk düzeyi (0 ve 100 mM NaCl) uygulanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar GB uygulamasının toplam antioksidan ve toplam fenol içeriğini artırdığı, antioksidan enzim aktivitesini düzenlediği ve organik asit ve aminoasit içeriğini değiştirerek tuz stresine toleransının yükseldiği ortaya koyulmuştur.

Hernández ve ark. (2018) domates bitkisinde yaptıkları çalışmada kitosan kullanımının büyüme, antioksidan kapasite, mineral içeriği ve tuz stresi üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Sonuçlar, kitosan ile muamelerinin domates büyümesini arttırdığını göstermektedir. Ayrıca, kitosan klorofil a ve b, toplam klorofiller, karotenoidler ve süperoksit dismutaz içeriğini arttırmıştır. Kitosan kullanımı C vitamini ve likopen içeriğini artırmıştır.

Golkar ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada kitosan ve salisilik asidin in vitro tuzluluk stresi altında aspir bitkisinde sekonder metabolitlerin ortaya çıkması ve antioksidan aktivitesine etkileri araştırmış kitosanın 25 ve 50 mgL⁻¹ ve salisilik asidin 50 ve 100 mgL⁻¹ dozları denenmiştir. Tuz stresi altında, toplam fenoliklerin ve toplam flavanoidlerin en yüksek içeriği 50 mgL⁻¹ SA ve 25 mgL⁻¹ CHT uygulamalarında görülmüştür. Kallus üretiminde salisilik asit kitosana göre kısmi üstünlük göstermiştir.

Kara ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada ekinezya ile çalışmış, tuz stresi altındaki ekinezyada deniz yosunu kullanımının büyüme parametreleri ile fizyolojik ve biyokimyasal değişimleri incelemiştir. 150mM dozunda farklı tuz kaynakları (NaCl, KCl ve CaCl₂) ve deniz yosunu (*Ascophyllum nodosum*) ekstratı dozlarının (kontrol, 2, 4 ve 6 cc l⁻¹) büyüme parametreleri ile biyokimyasal değişiklikler üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, tuz stresinin bitkinin yaprak alanını, yaprak dokularında bağıl su içeriğini, membran dayanıklılık indeksi ve klorofil miktarını azalttığı; MDA seviyesi ile yaprak dokularında iyon sızıntısını artırdığı belirlenmiştir. Deniz yosunu uygulamaları ile MDA seviyesi ve yaprak dokularında iyon sızıntısı dışında incelenen tüm parametreler önemli seviyede artmıştır.

Kiran ve ark. (2019) marul bitkisinde 3 farklı vermikompost dozunun (% 0, %2.5 ve %5) ve 3 farklı kuraklık seviyesinin (Tarla kapasitesine göre %0 kontrol, %50 kuraklık ve %75 kuraklık) bitki gelişimi ile fizyolojik ve biyokimyasal parametreleri üzerine etkisini araştırmıştır. %50 ve %75 kuraklık stresi altındaki bitkilerde %2.5 ve %5 vermikompost uygulamaları sürgün uzunluğu, sürgün taze ağırlığı, yaprak oransal su içeriği, stoma geçirgenliği, klorofil a ve klorofil b içeriği, toplam klorofil ve karotenoid içeriğini artırmıştır. Enzim aktiviteleri incelendiğinde kurak koşullar arttığı taktirde artmıştır. Vermicompost uygulaması kurak koşullar altında SOD ve CAT aktivitelerini artırmış ve MDA içeriğini azaltmıştır.

Farklı tuzlu koşullar (1.5, 3, 6 dSm⁻¹) altında mikoriza (*Glomus intraradices*) ve rizobakteri (*Bacillus subtilis*) uygulamasının biber (*Capsicum annuum* L. cv Seki F1) bitki gelişimi, yaprak oransal su içeriği (YOS), membran geçirgenliği (MG), prolin ve klorofil içeriği üzerine etkisini belirlemek amacıyla 2020’de Altunlu’nun yürüttüğü çalışmada alınan sonuçlara göre artan tuzluluk bitki gelişimini olumsuz etkilemiştir. Tuz uygulaması, prolin içeriği ve bitkinin MG’nde bir artışa neden olmuş, klorofil içeriği ve YOS değerini ise azaltmıştır. Tüm tuz stresi seviyelerinde, mikoriza, rizobakteri ve mikoriza artı rizobakteri uygulamaları, biber bitki gelişimini ve fizyolojik parametrelerini olumlu etkilemiştir. *G. intraradices* ve *B. subtilis*’in birlikte uygulanması tuz stresinde incelenen parametrelerin tamamında en yüksek etkiyi göstermiştir. Bu bitkileri sadece mikoriza uygulanan ve sadece *Bacillus subtilis* aşıllı bitkiler izlemiştir. Çalışma sonuçları açıklıkla göstermiştir ki, tuzlu koşullar altında biber yetiştiriciliğinde *G. intraradices* ve *B. subtilis*’in beraber uygulanması tuz zararının olumsuz etkilerini azaltmada iyi bir alternatif olabilir (Altunlu, 2020).

Moncada ve ark. 2020 yılında topraksız hidroponik marulda bitki büyümesini destekleyen bakteriler yoluyla tuz stresinin azaltılması adlı çalışmasında biyostimulant olarak TNC Bactorr adlı bakteri biyostimulantını (1,3 x 10⁸ CFU g⁻¹ *Bacillus spp*) kullanmış ve iki farklı tuzluluk seviyesi (0 ve

20 mM NaCl) denemiştir. Marul bitkileri, biyokütle, yaprak sayısı ve yaprak alanının azalmasıyla belirlenen, tuz stresi altında büyüme ve verimde önemli bir azalma göstermiştir. Tuz stresi nedeniyle marul bitkisinin büyümesinin inhibisyonu, minreal besin solusyonuna bakteriyel biyostimulant eklenmesiyle önemli ölçüde hafifletilmiş, bu da bitki büyümesi ve stressiz marulun taze ve kuru biyokütle birikimi üzerinde her iki yetiştirme sezonunda da olumlu etki yaratmış ve bu durumu korumuştur. Kontrol yani stres altında olmayan bitkilerde kaydedilenlere benzer veya hatta önemli ölçüde daha yüksek morfolojik, fizyolojik ve verim parametreleri değerleri ile pozitif etki yaratmıştır. Tuz stresi altında biyostimulant eklenen bitkilerde bitki ağırlıkları kontrole benzer sonuçlar göstermiştir.

Ural ve ark. (2020) domates bitkisinde tuz stresinin etkisini belirlemek ve tuz stresi üzerinde hümitik asit uygulamasının etkilerini ortaya koymak amacıyla gerçekleştirdiği çalışmada Kayra F1 domates çeşidine ait bitkiler 150 mM NaCl dozuna maruz bırakılmıştır ve 3 ml/l olacak şekilde hümitik asit uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada tuz+humik asit uygulamasının tuz uygulaması ile kıyaslandığında gövde yaş/kuru ağırlığı, kök yaş/kuru ağırlığı, gövde/kök uzunluğu ve klorofil değerlerinde önemli düzeyde artışa neden olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca, tuz uygulanan bitkilere hümitik asit uygulaması ile iyon sızıntısı, MDA ve prolin değerlerinde azalmalar meydana geldiğini saptamıştır. Bu parametreler incelendiğinde tuz uygulamasının olumsuz etkilerine karşılık hümitik asit uygulamasının olumlu etkisi gözlemlenmiştir. Çalışmada antioksidatif enzim gen ifadeleri değerlendirildiğinde, tuz stresi altındaki bitkilere hümitik asit uygulamasının SOD gen ifadesinde farklılık oluşturmazken APX gen ifadesini artırdığı, CAT ve GR gen ifadelerini ise azalttığı saptanmıştır. Bu sonuçlar hümitik asit uygulamasının stres ile ilişkili antioksidatif enzim genleri ve tolerans mekanizmaları üzerinde etkili olduğu ve bu etkinin olumlu olabileceği görülmüştür.

Zafar-UI-Hye ve ark. (2020) ıspanakta yaptıkları tuz stresi çalışmasında 2 farklı PGPR bakterisi (*Bacillus amyloliquefaciens* ve *Alcaligenes faecalis*) ve yarım ve tam doz olmak üzere potasyum gübre uygulaması yapmıştır. Kontrol grubu EC 3.0 dsm-1 ve tuz grubu EC değeri 5.0 dSm⁻¹ olarak belirlenmiştir. Tam doz potasyum + *Bacillus amyloliquefaciens* uygulamasında yaprak ve kök kuru ve taze ağırlığında artış sağladığı belirtilmiştir. Klorofil a (%93) ve b (%50) toplam klorofil miktarı (%76), potasyum konsantrasyonu yönünden ise yaprakta (%70) ve kökte (%60) artmıştır. Yaprak membran zararlanma indeksi ise %26 azalmıştır. Bu sonuçlara göre çalışmada kullanılan PGPR bakterileri tuz stresine karşı dayanım metabolizmasını artırmıştır (Zafar-UI-Hye et al., 2020).

Kuşvuran ve arkadaşlarının (2021) dokuz yerel Türk biber genotipinde yaptıkları çalışmada 3 gün boyunca 150 mM tuzlu su ile sulamış ve tuz stresine maruz bırakmıştır. Büyüme parametreleri, iyon düzenlemesi, fotosentetik pigmentler ve antioksidan enzim aktiviteleri, malondialdehit, flavonoid ve fenolik içerikleri araştırılmıştır. Büyüme parametreleri, K⁺ ve Ca²⁺ içerikleri ile toplam klorofil ve karotenoid içerikleri tuz stresi altında azalmasına rağmen, Na⁺ ve Cl⁻ içerikleri ile toplam flavonoid ve fenolik bileşikler tüm genotiplerde tuz stresi altında lipid peroksidasyonu ile birlikte artmıştır.

Lüdtke ve diğer araştırmacılar (2021), sebze üretiminde verimin artırılması amacıyla Hümitik Asit (HA) ve Fulvik Asit (FA) içeren biyostimulanların marul bitkisinin yapraklarına etkisini

incelemiştir. Bu çalışmada, 2.5 litrelik saksılarda tek başına ve NPK kimyasal gübre ile birlikte HA ve FA içeren gübreler uygulanmıştır. Deneme sonuçlarına göre, HA uygulanan bitkilerin boy, çap, yaprak sayısı ve kök uzunluğunda artış gösterdiği saptanmıştır. Ayrıca, FA biyostimulanı ve kimyasal gübre kombinasyonunun, sadece inorganik gübreye kıyasla marul verimini artırdığı görülmüştür.

Mutale-joan ve ark. 2021’de domatestede yaptıkları çalışmada biyostimulant olarak mikroalg ve bakterileri kullanmış ve tuz stresi uygulandığında bu biyostimulantların büyüme, besin alımı ve strese karşı tepki mekanizmalarını incelemişlerdir. Dört farklı tuz konsantrasyonu (0, 80, 120, 150 mM NaCl) uygulamış, her tuz konsantrasyonu için kontrol grubu da eklemiştir. Bitkiler 40 günlükken hasat edilmiştir. Her 2 günde bir hazırlanan 10 mL bitki besin çözeltisi ile sulanmıştır. Yaprak biyokütlesindeki N, P, K, Ca, Na konsantrasyonları analiz edilmiştir. Aynı zamanda Süperoksitdismutaz, Catalaz ve Malondialdehit analizleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda artan stres şiddetinde sürgün uzunlukları azalmıştır. 80 mM tuz stresi altında yetişen bitkilerde biyostimulant uygulanan bitkilerde sürgün ağırlığında önemli artışlar görülmüştür (%70,19). Aynı zamanda yine 80 mM NaCl’ye tabi tutulan bitkilerde pigment içeriği önemli ölçüde artmıştır. Biyostimulant uygulanan bitkilerde prolind 120mM ve 150mM tuz uygulanan bitkilerde önemli artışlar göstermiştir (%140,5-%87,89). Biyostimulantlar ile muamele edilen tüm domates bitkileri, MDA içeriğinde önemli bir düşüş göstermiş; en düşük düşüş sırasıyla 80 ve 120 mM NaCl’de yetiştirilen bitkilerde (-%27,49 ve-%33,76) olmuştur. 80 mM tuz uygulanan bitkilerde CAT aktivitesi %144 artış göstermiştir. N alımı, 80 ve 120 mM NaCl’de yetiştirilen domates kültürü gruplarında %5 mikroalg uygulamasıyla pozitif korelasyon göstermiştir. 80 ve 120 mM NaCl’de yetiştirilen bitkilerde P alımı ile %5 mikroalg uygulaması arasında pozitif bir korelasyon vardır. Potasyum alımında biyostimulant etkisi görülmemiştir. Tuz stresi altındaki bitkilere biyostimulant takviyesi, 80 mM NaCl’de yetiştirilen bitkiler için Ca^{+} alımı beklentisi üzerinde hiçbir etki göstermemiştir. 120 ve 150 mM NaCl’de yetiştirilen bitkilerde biyostimulant uygulamasıyla sodyum iyonu seviyeleri-%41,93 ve-%14,08 oranında azalmıştır.

Zhang ve diğer araştırmacılar (2021), domates bitkilerine fulvik asit uygulamasının verim ve kalite üzerinde olumlu etkileri olduğunu düşünmektedirler. Bu çalışmada, toprak yetiştiriciliği yerine domates bitkilerinin hidroponik sistemde yetiştirilmesi tercih edilmiştir. Fulvik asit uygulamalarının meyvede kalsiyum (Ca), demir (Fe) ve çinko (Zn) gibi elementler ile sitrik, malik ve bazı amino asitleri artırdığını, ancak meyvedeki çözünür şeker ve aromatik maddeleri etkilemediğini göstermişlerdir. Bu sonuçlar, fulvik asidin domates yetiştiriciliğinde olumlu bir rol oynayabileceğini işaret etmektedir.

Saadat ve arkadaşlarının 2023’te pirinç fideleri yaptığı çalışmada tuz stresi altında kitosan ile kaplama işlemin etkilerini araştırmıştır. 4 adet tuz (0, 50, 100, 150 mM) ve 4 adet kitosan (0, 0.25, 0.50, 0.75%) dozu kullanılan çalışmada kitosan ile ön uygulama yapılması, tuzluluğun etkilerini azaltmıştır. Yapılan çalışmada kitosan dozunun artması ile tuzluluğun etkilerinin azalması arasında doğru orantı bulunmuştur.

Sardar ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada yaptıkları Nitrik Oksit uygulamasını yoluyla marulda tuzluluk stresi toleransının artırılması adlı çalışmada 0,2 mM sodyum nitroprussidin (SNP, bir NO

dönoru) eksojen uygulamasının, tuz stresi altındaki marulun tuz toleransına karşı fizyolojik ve morfolojik özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. Bu amaçla bitkilere 25, 50, 75 ve 100 mM NaCl ile tuz stresi uygulanmıştır. Tuz stresi uygulamaları kontrol bitkileri ile karşılaştırıldığında stresli bitkilerde büyüme, verim, karotenoidler ve fotosentetik pigmentlerde belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. Sonuçlar tuz stresinin oksidatif bileşikler ve oksidatif olmayan MDA, prolin seviyelerini arttırdığını gözlemlemiştir. Azot, fosfor ve potasyum iyonları azalırken sodyum iyonu artmıştır. Biyostimulant olarak SNP uygulaması sonucunda askorbik asit, toplam fenoller, antioksidan enzimler (SOD, POD, CAT ve APX) ve MDA içeriğini arttırmış H_2O_2 içeriğini azaltmıştır. Ayrıca SNP uygulaması yapraklarda P, yaprak ve köklerde K^+ içeriğini arttırırken tuz stresi altındaki marul bitkileri yapraklarında Na^+ iyonlarını azaltmıştır.

Altuntaş ve ark. (2024) tuzluluk stresinin hızla yayılması ve bu tuz stresine karşı arbüsküler mikorizal mantarlar yani AMF'leri kullanarak dayanıklı (Karaisali) ve hassas (Demre) biber genotiplerinde strese toleransı arttırmak ve bu stresi oluşturmak için 75 mM ve 150 mM tuz stresine karşı *Glomus clarium* mikorizasını kullanmıştır. Hem orta (75 mM NaCl) hem de yüksek tuz stresi seviyelerinde (150 mM NaCl), hem "Karaisali" hem de "Demre" çeşitleri sürgün kuru ağırlıklarında önemli artışlar göstermiştir. Ancak, bu artışlar "Demre" bitkilerinde olarak daha yüksektir. Dahası, AMF'ler her iki genotipte de hem orta hem de yüksek tuzluluk seviyelerinde fotosentez oranlarında önemli gelişmeler göstermiştir. Genel olarak, AMF'lerin özellikle orta ila yüksek tuzluluk seviyelerinde tuza duyarlı biber genotiplerinde bitki büyümesini, su durumunu ve fotosentez özelliklerini iyileştirmede önemli bir rol oynadığını göstermiştir.

Nezamdoost ve ark. (2024) yaptıkları çalışmada marul tohumlarında biyostimulant olarak farklı denizyosunu ve mikroalgler ile priming uygulaması yaptıkları ve bu marulları tuz stresine maruz bırakıp performansını ölçtüğü çalışma yapmıştır. Kullanılan deniz yosunları *Ascophyllum nodosum* ve *Sargassum angustifolium* ve mikro algler ise *Chlorella vulgaris* ve *Arthrospiraplatensis*'ir. EC seviyeleri 1.37, 2.5, 4, 5.5 ve 7 dSm⁻¹ olan tuzlu sulama suları ile sulanan 5 farklı tuz stresi altında deneme kurulmuştur. En yüksek çimlenme yüzdesi mikroalg ekstratları ile hazırlanan tohumlarda kaydedilmiştir. Sonuç olarak, tuz stresinin yapraklı marullarda çimlenme indeksleri ve fide büyüme parametreleri üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletmek amacıyla *C. vulgaris* ekstraktının tohum hazırlama çözeltisi olarak uygulanması önerilmiştir.

Zuzunaga ve ark. (2024) yaptıkları çalışmada marulda tuz stresini azaltmak amacıyla biyostimulant kullandıkları çalışmada kök emilim bölgesini korumayı ve biyokimyasal çalışmaları iyileştirmeyi amaçlamıştır. Bitki kökenli bir biyostimulant olan Balox'un etkisi marulun tuzluluğa verdiği tepkiler üzerinde test edilmiştir. Bu amaçla dört farklı tuz seviyesi (0,50,100,150 mM NaCl) ile denemeler kurulmuştur. Bu biyostimulant bitki kökenli olup pirinç ve yulaf kabuğu protein hidrolizatlarından yapılmıştır. Yani aminoasit biyostimulantıdır. Bitkiler haftada 2 kez tuzlu sulama suyu ile sulanmıştır. Biyostimulant uygulanan bitkiler yaprak yaş ağırlığını tuz uygulanan tüm koşullarda arttırmıştır (50,100,150 mM NaCl). Bunun yanı sıra tuz uygulanmayan biyostimulant ile muamele

edilmiş marullarda (0 mM NaCl) kontrol bitkilerinden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Kök yaş ağırlığında da durum yaprak yaş ağırlığı ile aynıdır. WinRHIZO adlı bir program ve Minirhizotron kamera ile kök alanını ölçümleri yapılmış kökler 5 kategoride toplanmış (çok ince, ince, orta- ince, orta ve kaba kökler) ve tüm bu kategorilerde biyostimulant uygulanan bitkilerin kök alanları kontrol bitkilerinden büyük bulunmuştur. Sonuç olarak aynı zamanda yüksek NaCl konsantrasyonlarının emici tüylerin kaybına neden olduğu ve emilim alanını azalttığı tespit edilmiştir. Biyostimulantların kullanımı klorofil içeriğini ve karotenoid seviyesini de arttırmıştır. Köklerdeki ve yapraklardaki $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$ iyonu miktarı eklenen biyostimulantın etkisiyle azaltılmıştır. Ölçülen MDA ve H_2O_2 miktarı eklenen biyostimulantın etkisiyle azaltılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Bitki Materyali

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'ne ait "Topraksız yetiştiricilik" için belirlenen 500 m² cam serada gerçekleştirilmiştir. Su kültüründe yeşil yapraklı sebze yetiştiriciliğinde 100 mM (Shams et al., 2016) tuz stresinde biyostimülanları kullanarak tuzun zararlarını azaltma etkisi araştırılmıştır. Yeşil yapraklı sebzelerden marul, fesleğen, yaprak lahanası ve biberde büyüme, gelişme, verim, kalite, beslenme ve tuz stresine karşı geliştirilen adaptasyon ve savunma mekanizmaları incelenmiştir. Yapılan analizler Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümünde Bitki Fizyolojisi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bitki materyali olarak AG tohum firmasına ait Caipira kıvrık marul çeşidi, Nilüfer tohum firmasına ait Morfes fesleğen çeşidi, Bursa Tohum firmasına ait Temel Karadeniz yaprak lahanası çeşidi ve Bursa Tohum firmasına ait Beşparmak süs biberi çeşidi kullanılmıştır.

3.1.2. Çalışmada Kullanılan Biyostimülanlar

Çalışmada 100 mM NaCl içeren tuzlu koşullara karşı 6 farklı biyostimülan kullanılmıştır. - Fulvik asit "Köklü Group" firmasına ait olup ticari isimleri sırasıyla "Sacaka WS" (organik madde %80 toplam humik+ fulvik asit %70, Fulvik asit %70 ve pH aralığı 2-4) ve aminoasit Agromer firmasına ait "Aminoset" (toplam organik madde %50, organik karbon %20, organik azot %4, serbest aminoasit %30, pH aralığı 3.1-5.1)'tir. Vermikompost olarak Ekosol Tarım firmasına ait olup ticari ismi EkosolFarm (%100 organik sıvı vermicompost) 'dır. Mikoriza olarak Bioglobal firmasının Endo Root Soluble isimli ve 9 farklı mikoriza türü içeren kokteyl bir karışım ürünü kullanılmıştır. ERS bio-gübresinin içeriği toplam canlı organizma olarak 1x10⁴(w/w) konsantrasyonda şu mikorizaları kokteyl (karışım) şeklinde içermektedir: *Glomus intraradices*, *Glomus aggregatum*, *Glomus mosseae*, *Glomus clarum*, *Glomus monosporus*, *Glomus deserticola*, *Glomus brasilianum*, *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarita*. Mikoriza aşılması, tohum ekimi sırasında bitki başına 1000 adet spor olacak şekilde gerçekleştirilmiştir ve bakteri biyostimülanı olarak NGB firmasına ait Rizofill isimli 4 farklı PGPR içeren bir karışım ürünü kullanılmıştır. Adaga Nanowet Marka kitosan kullanılmıştır. Tez çalışmasında 50 litrelik küvetler kullanılmıştır, Her türde 4 küvet tekerrür olarak yetiştirilmiştir. Yetiştiricilik sistemi olarak derin durgun su kültürü kullanılmıştır. Besinler hafta'da bir kez düzenli olarak aynı gün değiştirilmiştir. Tez çalışmasındaki her dört türde de fide transferini takiben 1 hafta sonra biyostimülanlar ve ilk tuz uygulaması besin çözeltisi suyuna karıştırılarak yapılmıştır. Denemede yapılan uygulamalar:

1. Kontrol
2. 100 mM Tuz
3. 100 mM tuz +Aminoasit, 250 ppm

4. 100 mM tuz +PGPR, 1 ml/L
5. 100 mM tuz +Fülvik asit, 80 ppm
6. 100 mM tuz +Kitosan
7. 100 mM tuz +AMF, 1000 spor/bitki
8. 100 mM tuz +Vermikompost, 2ml/L

Çizelge 3.1.Mikrobiyal gübre Rhizofill'in içeriğindeki PGPR türleri ve konsantrasyonları

Bakteri tür ismi	Koloni Oluşturan Birim (KOB*/ml)
<i>Bacillus subtilis</i>	1×10^9
<i>Bacillus megaterium</i>	1×10^9
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1×10^{10}

3.2. Yöntem

3.2.1. Birinci Yılda Kurulan Marul ve Biber Denemeleri

8 Kasım 2021'de marul tohumları ekilmiş, 23 Kasım 2021'de fide haline gelen marullar su kültürü sistemine alınmıştır. 8 Şubat 2022'de 45 günlük iken hasat edilmiştir. Biber tohumları bahar döneminde, 24 Mart 2022'de ekilmiştir ve 12 Nisan 2022'de fide halinde su kültürü sistemine fideler aktarılmışlardır. Biberler 11 kez hasat edilmiştir. 11 Ağustos 2022'de deneme sonlandırılmıştır. Marul denemesi 4 tekerrürlü ve her tekerrürde 15 bitki olacak şekilde kurulmuştur. Biber denemesi 4 tekerrürlü ve her tekerrürde 10 bitki olacak şekilde kurulmuştur.

Denemede 100 mM NaCl tuz stresi altında su kültürü ortamında ticari hasat aşamasına kadar yetiştirilen kıvrıcık marul ve biber bitkilerine aşağıdaki uygulamalar belirtilen dozlarda gerçekleştirilmiştir.

Her iki bitkide de tohum ekimleri yapılırken mikoriza aşılamıştır. Fideler yaklaşık bir ay sonra su kültürüne farklı uygulamalar için aktarılmıştır. Bitkiler 10 günlük olana kadar tuz uygulanmamıştır. Daha sonra kademeli olarak 50 mM NaCl ile başlayıp, bir hafta içinde 100 mM son tuz dozuna ulaşılmıştır. Ölçüm ve analizler marulda hasat sonrasında, antioksidant enzimler için yapraklar hasattan sonra -80°C de dondurulmuş meyve suyu örneklerinden yapılmıştır. Biberde meyve ölçümleri 3. hasatta alınan bitkilerden yapılmıştır. Yine antioksidan enzim analizleri için biberde orta yaşlı yapraklar seçilmiştir ve -80 C'de analizlerin yapıldığı tarihe kadar dondurulmuştur.



Şekil 3.1. Su kültürü sistemine transfer edilmiş marul fideleri (sol) ve biyostimulantların eklenmesi (sağ)



Şekil 3.2. Su kültürü sistemlerinde tuzlu sulama suyuna maruz kalan biberlere biyostimulantların uygulanması sonrası kontrol



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.3. Biber bitkilerinin sisteme aktarılması (a), bitkilerin genel görüntüsü (b) ve ilaçlanması (c)

3.2.2. İkinci Yılda Kurulan Yaprak Lahana ve Fesleğen Denemeleri

Denemede 100 mM NaCl tuz stresi altında su kültürü ortamında ticari hasat aşamasına kadar yetiştirilecek olan yaprak lahana ve fesleğen bitkilerine aşağıdaki uygulamalar belirtilen dozlarda gerçekleştirilmiştir. Yaprak lahana bitkileri 12 Kasım 2022’de ekilmiştir. Yaprak lahana bitkileri 25 Kasım 2022’de sisteme alınmıştır. Yaprak lahana denemesi 23 Şubat 2023’te sona ermiştir. Fesleğen tohumları 22 Mart 2023’te ekilmiştir. Fesleğen bitkileri 7 Nisan 2023 tarihinde sisteme aktarılmıştır. Fesleğen denemesi 31 Mayıs 2023’te sona ermiştir. Her iki denemede de kademeli olarak 50 mM NaCl ile başlayıp, bir hafta içinde 100 mM son tuz dozuna ulaşılmıştır. Yaprak lahana ve fesleğen bitkilerinde ölçümler 1. hasat sırasında yapılmıştır. 2 hasat sonunda antioksidant enzim aktiviteleri için yaprak örnekleri alınmış ve -80 C derecede dondurulmuştur.



Şekil 3.4. Yaprak lahana bitkilerinin görüntüleri



Şekil 3.5. Yaprak lahanada bitkilerinin dikimden 30 gün sonraki hali(sağ) ve sisteme aktarılmış fesleğen bitkileri (sol)



Şekil 3.6. Fesleğen fide transferinden sonraki bitkilerin 30. gün görüntüleri

3.2.3. Hasat

Denemede hasat aşamasına gelen (çeşide özgü büyüklüğe ulaşan) marullar hasat edilerek adet ve ağırlıkları kaydedilmiştir. Biberler meyve vermeye başladıktan sonra haftalık olarak hasat edilmişlerdir. Yaprak lahanada yapraklar çeşide özgü büyüklüğe ulaşınca birden çok kez hasat edilmiştir. Fesleğen bitkilerinde ise bitkiler yaprak lahanada olduğu gibi yapraklar çeşide özgü büyüklüğe ulaşınca birden çok kez hasat edilmiştir.

Çizelge 3.2. Denemede kullanılacak gübrelerin isimleri ve stok çözeltilerde yer alma şekilleri

STOK A	STOK B
Kalsiyum Nitrat	Potasyum sülfat
Potasyum Nitrat	Mono potasyum fosfat
Amonyum Nitrat	Magnezyum sülfat
Fe – EDDHA	Mikro elementler
	Çinko sülfat yerli
	Borik asit yerli
	Mangan sülfat yerli
	Bakır sülfat yerli
	Amonyum molibdat

Çizelge 3.3. Denemede kullanılacak besin çözeltisi reçetesi

	Marul	Biber	Yaprak Lahana	Fesleğen
Element	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
N	200	227	200	160
P	50	45	60	30
K	300	315	300	220
Ca	200	205	170	140
Mg	65	75	60	40
Fe	19.6	4.62	3	2.5
Zn	0.552	0.19	0.1	0.2
B	0.97	0.41	0.3	0.2
Cu	0.12	0.23	0.1	0.02
Mo	0.2	0.18	0.2	0.04
Mn	0.96	0.78	0.1	0.25

3.2.4. Denemelerde Bütün Bitkilerde Yapılan Ölçümler

Çizelge 3.4. Denemelerde bütün bitkilerde yapılan ölçümler

	Marul	Biber	Yaprak Lahana	Fesleğen
Bitki Boyu	x	x	x	x
Yaprak Sayısı	x		x	x
Gövde Çapı	x	x	x	x
Yaprak Alanı	x	x	x	
Bitki Çevresi	x			
Baş Sertliği	x			
Kuru Madde Üretimi	x	x	x	x
Yaprakta Klorofil Ölçümü	x	x		
Yaprakta/Meyvede Nitrat Miktarı	x	x	x	x
Yaprakta/Meyvede C Vitamini	x	x	x	x
Yaprakta/Meyvede Toplam Fenolik Madde Tayini	x	x	x	x
Yaprakta/Meyvede Toplam Flavanoid Tayini	x	x	x	x
Yaprakta Besin Elementi Analizleri	x	x	x	x
Yaprak Stoma Geçirgenliği	x	x	x	x
Yaprak Hücrelerinde Membran Zararlanması	x	x	x	x
Yaprak Osmotik Potansiyeli	x			
Yaprak Oransal Su İçeriği	x	x	x	x
Yaprakta Stres Enzimleri Aktiviteleri	x	x	x	x
Yaprakta Prolin İçeriği	x	x	x	x
Yaprakta MDA İçeriği	x	x	x	x



Şekil 3.7. Denemede yetiştirilen marulların kök gelişimi

Bitki Boyu (cm)

Bitki boyu marul, biber, yaprak lahana ve fesleğen bitkilerinde 1 cm duyarlılığa sahip metre ile cm cinsinden ölçülmüştür.



Şekil 3.8. Marul bitkisinde bitki boyu ölçümü

Yaprak Sayısı (adet/bitki)

Marul, yaprak lahana ve fesleğen bitkilerinin yaprak sayısı teker teker sayılarak belirlenmiştir.

Gövde Çapı (mm)

Marul, biber, yaprak lahana ve fesleğen bitkilerinde kök boğazının hemen üzerinden kumpas yardımı ile ölçülmüştür.



Şekil 3.9. Marul bitkisinde gövde çapı ölçümü

3.2.5. Yaprak Alanı (cm²/bitki)

Marul, yaprak lahana ve fesleğende bitki başına yaprak alanı İmage-J programı ile ölçülmüştür.



Şekil 3.10. Marul bitkilerinde yaprak alanı ölçümünden bir görüntü

3.2.6. Bitki Çevresi (cm)

Marul bitkilerinin çevresi 1 cm duyarlılıkta metre ile cm cinsinden ölçülmüştür.



Şekil 3.11. Marul bitkilerinde bitki çevresi ölçümü

3.2.7. Baş Sertliği

Penetrometre ile marul başının sertliği dijital olarak ölçülmüştür.

3.2.8. Kuru Madde Üretimi(%)

Kaydedilen bitki taze ve kuru ağırlıklarından hesaplanmıştır.

3.2.9 .Klorofil İçeriği

Marul, biber, yaprak lahanada SPAD-502 Plus ile yaprakların klorofil içeriği için her hasat öncesi SPAD ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3.12. Marul bitkilerinde klorofil içeriği ölçümü

3.2.10. Nitrat Miktarı (ppm)

Marul, biber, yaprak lahana, fesleğen bitkilerinde yapraklardan alınan yaprak örneklerinde salisilik asitin nitritleşmesi yoluyla kolorimetrik olarak (Cataldo, 1975) yapılmıştır.

3.2.11. C vitamini (L-Askorbik Asit) içeriği (mg/100g)

Marul, yaprak lahana, fesleğen bitkilerinde yaprakları ve biber meyveleri katı meyve sıkacağından geçirilerek suyu çıkarılmıştır. 1 ml ekstrap üzerine 45 ml %0.4 oksalik asit eklenip filtre kağıdından süzülecektir. Elde edilen süzüntüden 1 ml alınarak üzerine 9 ml boya çözeltisi eklenecek 520 nm dalga boyunda okuma yapılmıştır. Standart olarak 1 ml süzüntü üzerine 9 ml saf su eklenmiş çözelti kullanılmıştır (Dündar, 1995).

3.2.12. Toplam Fenolik Madde Tayini

Marul, yaprak lahana, fesleğen bitkilerinde yaprakları ve biber meyvelerinde toplam fenolik madde tayininde Spanos ve Wrolstad (1990) tarafından tanımlanan spektrofotometrik yöntem modifiye

edilerek yapılmış ve okumalar spektrofotometrede (UV- 1700 PharmoSpc SHIMADZU, Japonya) 765 nm dalga boyunda okunan absorbans değerinden ve gallik asit ile hazırlanan kalibrasyon eğrisinden yararlanılarak toplam fenolik madde miktarı hesaplanmıştır (Uzun ve Bayır, 2007).

3.2.13. Toplam Flavanoid Tayini

Marul, yaprak lahanası, fesleğen bitkilerinde yaprakları ve biber meyvelerinde örnekleri Quettier vd. (2000)'nin geliştirmiş oldukları yönteme göre 415 nm dalga boyunda spektrofotometre ile okunmuştur. Rütin ile hazırlanmış olan kalibrasyon eğrisinden yararlanılarak toplam flavonoid madde miktarı hesaplanmıştır.

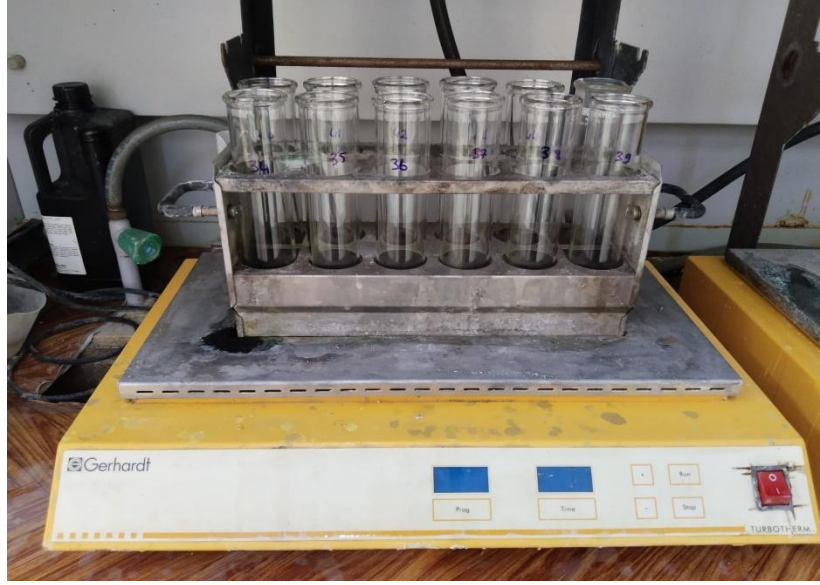


Şekil 3.13. Fosfor, Nitrat, Fenol, Flavonoid, Vitamin C ve enzim analizlerinin yapıldığı spektrofotometre cihazı

3.2.14. Yaprakta Besin Elementi Analizleri

Azot (N), fosfor (P), potasyum (K), magnezyum (Mg), kalsiyum (Ca), sodyum (Na), demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu) ve çinko (Zn) için analizler yapılmıştır. Seradan alınan yapraklar kontaminasyona karşı %0,1'lik deterjan ile yıkanmış ve durulandıktan sonra sonra 3 kez saf su ile yıkanıp etüvde 48 saat 65°C'de kurutulmuştur. Kurutulan örnekler yaprak öğütme değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülmüş örnekler 550°C'de 8 saat süreyle yakılmış ve oluşan kül %3,3'lük (hacim/hacim) HCl asitte çözülerek atomik absorpsiyon spektrometrede K, Ca, Mg ve Na okumaları

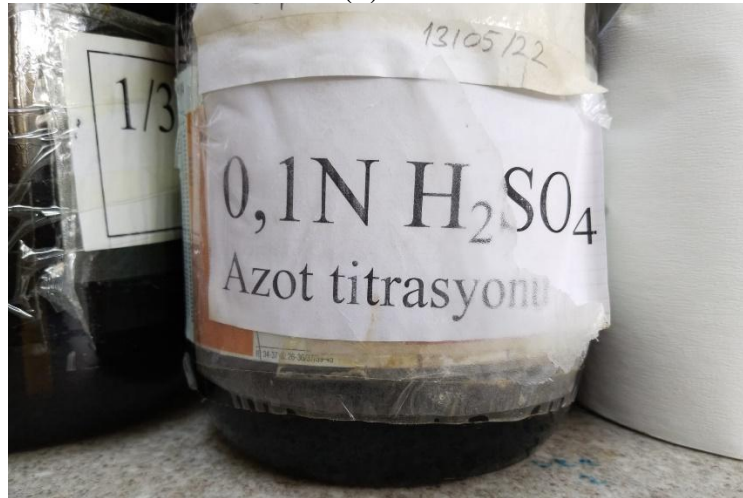
emisyon modunda, Fe, Mn, Zn ve Cu okumaları ise absorbands modunda okunmuştur. Fosfor analizleri yukarda hazırlanan ekstrakt kullanılarak Barton yöntemine göre spektrofotometre ile gerçekleştirilmiştir. Marul, ıspanak, maydanoz, fesleğen türleri yapraklarındaki azot konsantrasyonları ise Kjeldahl yöntemine göre yaş yakma ile belirlenmiştir (Scheiner, 1976).



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.14. Kjeldahl yöntemi ile azot tayini aşamaları. (a: yakma ünitesi, b: destilasyon, c: titrasyon)



Şekil 3.15. Mineral element analizlerinin yapıldığı atomik absorpsiyon spektroskopisi cihazı

3.2.15. Yaprak Stoma Geçirgenliğinin Belirlenmesi ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

Yapraklarda stomalardan gaz geçişi marul, biber, yaprak lahana, fesleğen türleri bitkilerinde $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ birimi olarak Delta T Devices marka AP4 model taşınabilir porometre kullanılarak ölçülmüştür.

3.2.16. Yaprak Hücrelerinde Membran Zararlanması (%)

Marul, biber, yaprak lahana, fesleğen bitkisi yapraklarında stres durumunda, hücrelerden dışarıya verilen elektrolitlerin EC metre ile ölçülmesiyle, membran zararlanma indeksi (MII) hesaplanmıştır (Dlugokecka ve Kacperska-Palacz, 1978; Fan ve Blake, 1994).

Bu amaçla, 1 cm çapındaki yaprak diskleri de-iyonize su içerisinde 4 saat bekletildikten sonra EC ölçülmüş, aynı diskler 121°C 'de 10 dakika bekletildikten sonra, çözeltinin EC değeri tekrar ölçülmüştür. Aşağıdaki formül kullanılarak kontrole göre % olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Membran Zararlanma İndeksi} = (L_t - L_c / 1 - L_c) \times 100$$

L_t : Kuraklık stresindeki yaprağın otoklav edilmeden önceki EC / Otoklav edildikten sonraki EC

L_c : Kontrol yaprağının otoklav edilmeden önceki EC / Otoklav edildikten sonraki EC

3.2.17.Yaprak Osmotik Potansiyelinin Belirlenmesi

Marul bitkisi yapraklarından 1 g örnek alınıp 19 g saf su ile porselen havanda homojenize edilmiştir. Homojenize edilmiş örnek, mikro filtreden geçirilmiş ve Gonotec marka ozmometre cihazında 50 µl kullanılarak donma noktası esasına göre Cryoscopic marka ve Osmomat 030 model ozmometre cihazında okuma yapılmıştır. Okumalar Osmol/ kg olarak cihazdan okunup kaydedildikten sonra, bu değerler MPa birimine dönüştürülmüştür (Daşgan ve ark, 2010b). Yaprak osmotik potansiyeli ölçüm yapılacak aletin kullanılmamasından dolayı yalnızca marulda ölçülmüştür.

3.2.18.Yaprak Oransal Su İçeriğinin Belirlenmesi

Marul, yaprak lahanası, biber, fesleğen türleri bitkilerinde yaprak oransal su içeriği (YOSİ) (%) Sánchez ve ark (2004) ve Türkan ve ark (2005)'e göre yapılmıştır. Bitkilerinde stres sonunda yaprak örneği alınmış ve oransal su içeriklerinin belirlenebilmesi için, öncelikle taze ağırlıkları alınmış, alınan yaprak 4 saat süre ile saf su içerisinde bekletilmiştir. Saf su içerisinde bekletilen yaprak örnekleri alınıp, kurutulduktan sonra turgor ağırlıkları saptanmıştır. Ağırlıkları alınan yaprak örnekleri 65 °C etüvde 48 saat kurutulduktan sonra, kuru ağırlık g olarak alınmıştır. Elde edilen taze ve kuru ağırlıklar, aşağıdaki formül yardımıyla oranlanarak yaprak oransal su içerikleri (%) hesaplanmıştır.

$$(TA-KA) / (TuA-KA) \times 100$$

TA: Taze Ağırlık

KA: Kuru Ağırlık

TuA: Turgor Ağırlığı



Şekil 3.16. Yaprak lahana bitkilerinde yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi

3.2.19. Antioksidatif Stres Enzim Aktiviteleri

Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi (U/dak/mg T.A)

Marul, yaprak lahana, biber, fesleğen türleri Çakmak ve Marschner (1992) ve Çakmak ve ark (1994) tarafından önerilen, NBT'nin (nitro blue tetrazolium kloridin) ışık altında O_2^- tarafından indirgenmesi yöntemine göre ölçülmüştür. Tüm çözeltiler konulduktan sonra reaksiyon ortamı son hacim 5 ml olacak şekilde, cam şişeler içerisine önce 0.1 mM Na-EDTA içeren 50 mM'lık (pH: 7.6) fosfat (P) tamponu, daha sonra üzerine sırasıyla enzim ekstraktı (25-100 μ l), 0.5 ml 50 mM Na_2CO_3 (pH: 10.2), 0.5 ml 12 mM L- methionine, 0.5 ml 75 μ M P-nitro blue tetrazolium chloride (NBT) ve 10 μ M riboflavine eklenmiştir. Örnekler 15 dakika ışık altında bekletildikten sonra, 560 nm'de ölçüm yapılmıştır.

Katalaz Aktivitesi (CAT) (μ mol/dak/mg T.A)

Marul, yaprak lahana, biber, fesleğen türleri bitkilerinde H_2O_2 'nin 240 nm'de ($E=39.4$ mM cm⁻¹) parçalanma oranı esas alınarak ölçülmüştür. Bu enzim analizinde son hacim 1 ml olacak şekilde reaksiyon ortamına 0.1 mM EDTA içeren 50 mM'lık fosfat tamponu (pH: 7.6), 0.1 ml 100 mM H_2O_2 ve enzim ekstraktı ilave edilmiştir (Çakmak ve Marschner, 1992; Çakmak, 1994).

Glutatiyon Redüktaz (GR) Aktivitesi (μ mol/dak/mg T.A)

Marul, yaprak lahana, biber, fesleğen türleri bitkilerinde Çakmak ve Marschner (1992) ve Çakmak (1994)'a göre 340 nm'de ($E=6.2$ mM cm⁻¹) NADPH'nin oksidasyonu esas alınarak

ölçülmüştür. Buna göre, son hacmi 1 ml olacak şekilde ayarlanan reaksiyon ortamına 0.1 mM EDTA içeren 50 mM'lık fosfor tamponu (pH= 7.6), 0.1 ml 0.5 mM okside glutatyon (GSSG), 0.1 ml 0.12 mM NADPH ve enzim ekstraktı ilave edilerek NADPH oksidasyonu 340 nm'de okunmuştur.

Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi (μmol/dak/mg T.A)

Marul, yaprak lahana, biber, fesleğen türleri Çakmak ve Marschner (1992) ve Çakmak (1994)'a göre, 290 nm'de (E=2.8 mM cm⁻¹) askorbatın oksidasyonu ölçülerek yapılmıştır. Buna göre, son hacmi 1 ml olacak şekilde ayarlanacak reaksiyon ortamına, 0.1 mM EDTA içeren 50 mM'lık fosfor tamponu (pH:7.6), 0.1 ml 10 mM EDTA içeren 12 mM H₂O₂, 0.1 ml 0.25 mM L(-) askorbik asit ve enzim ekstraktı ilave edilecek ve askorbat oksidasyonu 290 nm'de okunmuştur.

Lipid Peroksidasyonu (MDA)

Lipid peroksidasyonunun ölçümü Lutts ve ark. (1996) tarafından anlatılan yöntem izlenerek gerçekleştirilmiştir. Yaprak örneklerinden 200 mg tartılmış ve üzerine 5 ml %0,1'lik trikloro asetik asit (TCA) ilave edilmiştir. Bu karışım 12500 rpm devir hızında 20 dakika süre ile santrifüj edilmiştir. 5 ml'lik ekstraktan 3 ml süpernatant alınmış, süpernatantın üzerine, içinde %20 TCA bulunan % 0.1'lik tiobarbütrik asit (TBA)'den 3 ml ilave edilmiştir. Karışım 95°C'deki sıcak su banyosunda 30 dakika süreyle bekletilmiştir. Bunun ardından spektrofotometrede A₅₃₂ ve A₆₀₀ nm'de absorbans değerleri okunmuştur. Elde edilen değerler aşağıdaki formüle yerleştirilerek MDA (Malondialdehit) miktarı hesaplanmıştır.

$$MDA = (A_{532} - A_{600}) \times \text{Ektrakt hacmi (ml)} / (155 \text{ mM/cm} \times \text{Örnek miktarı (mg)})$$

3.3. Verilerin Değerlendirilmesi

Deneme tamamlanınca elde edilen veriler JMP paket programına tabi tutularak istatistiksel analizleri yapılmış, ortalamalar LSD testine göre karşılaştırılmıştır.



4. BULGULAR TARTIŞMA

4.1. Marul

4.1.1. Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Bitki Büyüme Ölçümleri Üzerine Etkileri

Marul bitkilerine uygulanan biyostimulantların tuz stresine karşı oluşturduğu etkiler incelenmiş ve bu kapsamda bitki boyu, bitki eni, bitki çevresi, yaprak sayısı, yaprak alanı ve gövde çapı ölçümleri Çizelge-4.1’de verilmiştir. Marul bitkilerine uygulanan biyostimulantlar bitki boyu parametresinde değişiklik meydana getirmiştir. En kısa 20.05 cm ile tuz uygulanan bitkilerin boyu ve en uzun 22.35 cm ile tuz+PGPR uygulanan bitki boyu kaydedilmiştir. Uygulanan tüm biyostimulantlar tuz uygulamasından istatistiksel olarak daha uzun bitki boyu oluşturmuştur. Gupta ve ark. (2024) yaptığı çalışmada *Talaromyces* suşunun biyostimülant olarak marulda bitki boyunu %16,35 arttırdığı bildirmiştir. Bu çalışmada, tuz stresiyile birlikte uygulanan PGPR ve AMF bitki boyunu kontrolden daha iyi bir düzeye taşımıştır. D’amato ve Del Buono mısır bitkilerinde tuz stresini azaltmak amacıyla biyostimulant olarak Megafol adlı bir ürün kullanmıştır. Bu ürün vitaminler, aminoasitler, betainler ve büyüme düzenleyiciler içermektedir. 100 mM NaCl tuz stresi uygulayan mısırın yüksek doz tuza karşı direnç gösterme yeteneği incelenmiş ve biyostimulant kullanılan bitkilerde gövde uzunluğu 30,1 cm iken tuz uygulanan bitkilerde 23,8 cm ve kontrol bitkilerinde 37,8 cm olarak ölçülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda uygulanan biyostimulant bitki uzunluğunu tuz stresine göre arttırmış fakat kontrolle aynı istatistiksel yer alamamıştır. Bu tez çalışmasında da uygulanan biyostimulantın tuz stresini azalttığı fakat tamamen ortadan kaldıramadığı görülmüştür.

Bitki eni incelendiğinde AMF (29.80 cm) ve aminoasidin (32.90 cm) tuz (39.05 cm) uygulamasından daha kısa bitki eni oluşturduğu ölçülmüştür (Çizelge 4.1). PGPR (45.50), vermikompost (44.65 cm), kitosan (43.30 cm), fulvik asit (41,40 cm) uygulamaları kontrol bitkilerinden daha geniş marul eni oluşturmuştur. Bu çalışmada elde edilen veriler biyostimulant kullanımının tuz stresini koşullarında yetişen bitkilerden daha iyi sonuçlar elde edilmesinin yanı sıra bazı biyostimulantların tuz stresine karşı uygulanmasıyla tuz stresine maruz kalmayan kontrol bitkilerinden bile daha iyi bitki eni oluşturduğu görülmektedir. Bitki eni tüketici açısından marul için önemli bir parametredir. Bitki eninde, boyunda ve çevresindeki artış doğal olarak yaprak alanını arttıracak bu da bitkinin stresten etkilenme seviyesini düşürecektir. Bu aynı zamanda bitkiler için daha fazla fotosentez alanı geniş ve büyük yaprak alanı demektir.

Marul çevresi bakımından, 65.20 cm değeri ile tuz uygulaması en az bitki çevresini oluşturmuştur. 76.55 cm ile vermikompost en geniş bitki çevresini oluşturmuştur. Diğer biyostimulantlar ise kontrol bitkileri aynı grupta yer almıştır (Çizelge-4.1). Bu ölçümlerin sonuçları ışığında tuz stresine karşı biyostimulantların uygulanması bitki çevresi açısından tuz stresi etkisini azaltmakla kalmamış aynı zamanda stresin etkilerini hiç göstermemiştir.

Yaprak sayısı bakımından, en çok yaprağı vermikompost (41.50) oluşturmuştur. Tuzlu sulama suyu ile yetiştiricilik yapılmasına rağmen kontrol (33.75) grubundan daha fazla yaprak oluşturan vermikompost uygulaması diğer biyostimulantlar ile aynı istatistiksel grup içerisinde yer almıştır (Çizelge-4.1). Tuz stresine maruz kalan bitkilerde yaprak sayısı azalma göstermiştir. Biyostimulant uygulamaları yaprak oluşturmada tuz uygulamasının (23.12) önüne geçmiştir. Yaptığımız çalışma sonucunda biyostimulant eklenmesi yaprak sayısı açısından önemli artışlar elde etmiştir. Muhammad ve Hussain (2010)'da yaptıkları bir çalışmada 5 farklı tıbbi-aromatik bitkinin tuz stresi koşullarında yetiştirmiş ve bitkilerin strese karşı tepkilerini incelemiştir. Beş farklı tuz seviyesi (5, 7.5, 10, 12.5, 15 dSm⁻¹) uygulanmış ve yaprak sayısı *Lepidium sativum* bitkisinde kontrolde 21.6 adet/bitki iken 12.5 dSm⁻¹ tuz stresine maruz kalan bitkilerde 14.8 adet/bitki, 15 dSm⁻¹ tuz stresine maruz kalan bitkilerde ise 13.3 adet/bitki'ye kadar düşmüştür. *Linum utitatisimum* bitkisinde kontrolde yaprak sayısı 105 adet/bitki iken 12.5 dSm⁻¹ tuz stresine maruz kalan bitkilerde 32.4 adet/bitki, 15 dSm⁻¹ tuz stresine maruz kalan bitkilerde ise 9.6 adet/bitki'ye kadar düşmüştür. Kalan 3 bitki türünde de yaprak sayısı tuz stresine maruz kaldığında azalmıştır.

Çizelge 4.1'te görüldüğü üzere en yüksek yaprak alanını kontrol bitkileri (5340 cm²/bitki) oluşturmuştur. Tuz stresinin yaprak alanını azalttığı bilinen bir etkidir ve en düşük yaprak alanını tuz uygulaması (2946) bitkilerinde görülmüştür. Biyostimulantlar içinde bakıldığında en başarılı ve kontrole en yakın yaprak alanını oluşturan uygulamalar 4748 cm² ile vermikompost uygulaması ve 4703 cm² ile PGPR uygulamaları olmuştur. *Calotropis procera*'da bir çalışma gerçekleştiren Jafarlou ve ark. (2023) tuz stresi etkilerinin iyileştirilmesi için alternatif bir biyostimulant olarak deniz yosunu sıvı ekstratını 3 farklı dozda (%0.5, %1, %1.5) kullanmıştır. Yaprak alanı tuzsuz koşullar altında deniz yosunu kullanılan fidelerde %0,5 ve %1 seviyelerinde en iyi sonucu vermiştir. 7,5 ve 15 dSm⁻¹ tuz düzeyinde %1 uygulanan deniz yosunu sıvı ekstratı yaprak alanını tuz stresine göre %64,6 arttırmıştır. Yapılan bu çalışma ile elde ettiğimiz sonuçlar uyum sağlamaktadır.

Marul bitkilerinde, en geniş gövde çapını beklenildiği üzere kontrol bitkileri (17.41 mm) oluşturmuştur. Biyostimulant uygulamalarından sadece vermikompost uygulaması (16.93 mm) kontrol bitkileri ile aynı grupta yer alabilmiştir. Kalan diğer uygulamalardan tamamı tuz stresinden (11.43mm) daha geniş gövde çapı elde etmiştir (Çizelge 4.1). Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar biyostimulant uygulamalarının marul bitkisinde gövde çapı açısından tuz stresinin etkisini azalttığı ve vermikompost uygulamasının tuz zararını ortadan kaldırdığı görülmektedir. Miceli ve ark.(2021) yaptığı bir çalışmada, marul ve domates fidelerinin tuzluluk toleransını arttırmak amacıyla biyostimulanların farklı tuz seviyeleriyle (0, 25, 50 mM NaCl) sulamış ve 2 farklı PGPR ve AMF içerikli mikrobiyal biyostimulant uygulamışlardır (). Mikrobiyal biyostimulantların kullanımı fide büyümesini ve tuz stresine tepkisini değiştirmiş taze ve kuru biyokütle birikimini, yaprak sayısını ve yaprak alanını arttırmış, strese maruz kalmayan fideler üzerinde büyümeyi teşvik edici bir etkiye sahip olmuştur ve özellikle tuzluluk toleransını 50 mM NaCl'ye kadar artıran Flortis Micorizze kullanıldığında fidelerin tuzluluk toleransını arttırmada başarılı olduklarını ileri sürmüşlerdir. Marul fidelerinde yapılan uygulamalar sonucunda

gövde çapı kontrol bitkilerinde 3.1 mm'dir ve tuz 25mM NaCl tuz stresi altında 2.8 mm'ye düşmüştür. PGPR kaynaklı biyostimulant uygulanan bitkilerde gövde çapı 3.2 mm'ye çıkmış AMF uygulanan bitkilerde ise 3.1 mm'dir. Yani biyostimulanların uygulanmasıyla tuz stresi etkisi gövde çapı açısından azaltılabilmektedir.

Çizelge 4.1. Marulda tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının bitki büyüme ölçümleri üzerine etkileri

Uygulamalar	Bitki Boyu (cm)	Bitki Eni (cm)	Bitki Çevresi (cm)	Yaprak Sayısı (adet/bitki)	Yaprak Alanı (cm ²)	Gövde Çapı (mm)
Kontrol	22.15 a	40.40 cd	68.80 ac	33.75 b	5340 a	17.41 a
Tuz	20.05 b	29.80 e	65.20 c	23.12 c	2946 f	11.43 d
Tuz+Aminoasit	21.55 ab	32.90 e	73.55 ab	36.62 ab	4437 c	15.00 c
Tuz+PGPR	22.35 a	45.50 a	67.70 bc	39.12 ab	4703 b	14.66 c
Tuz+FA	20.95 ab	41.80 bd	67.05 bc	36.50 ab	3760 d	16.04 b
Tuz+Kitosan	21.35 ab	43.30 ac	68.10 bc	38.12 ab	3560. e	16.22 b
Tuz+AMF	22.25 a	39.05 d	68.85 ac	40.00 ab	3891 d	16.19 b
Tuz+Vermikompost	22.05 a	44.65 ab	76.55 a	41.50 a	4748 b	16.93 a
LSD _{0.05}	1.6	3.62	8.15	7.19	155	0.66
P	0.01	0.0001	0.013	0.0002	0.0001	0.0001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyaran Kök Bakterileri, AMF: Arbüsküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.1.2. Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Kalite Ölçümleri Üzerine Etkileri

Marullarda baş sertliği incelendiğinde kontrol (2,38 kg/cm²) ve kitosan (2,04) uygulamalarının baş sertliğini azalttığı görülmüştür. En yüksek baş sertliği vermikompost (2.73) uygulamasında ortaya çıkmıştır ve bütün uygulamalar, tuz uygulaması (2.51) ile aynı istatistiksel gruptadır. Kitosan dışında bütün biyostimulant uygulamalarında baş sertliğinin arttığı görülmüştür (Çizelge-4.2). Newman ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada marulun özelliklerini belirlemişlerdir. 80 kg/ha kalsiyum ilavesiyle yetiştirilen bitkilerde baş sertliği önemli ölçüde artış görülmüştür (Newman ve ark., 2005). Bu çalışmada, en yüksek kalsiyum içeriği yine vermikompost uygulamasında görülmektedir.

Marul yapraklarında, klorofil içeriği incelendiğinde tuz uygulaması (31.66 mg/g) ve kontrol (30.51) bitkilerinde aynı istatistiksel grup içerisinde yer almaktadır. PGPR uygulaması en yüksek klorofil içeriğine ulaşmıştır. Vermikompost kontrol gruplarıyla aynı harflendirmeye sahipken diğer bütün biyostimulantlar kontrolden daha iyi sonuçlar göstermiştir (Çizelge-4.2). El-Nakhel (2022) yaptığı çalışmada tuz stresi altında yetiştirilen ıspanakta biyostimulant uygulamalarının bitki gelişimi, klorofil ve hidrofilik antioksidan aktivitesi üzerine etkisini incelemiş ve 3 dSm⁻¹, 6 dSm⁻¹ ve 9 dSm⁻¹ tuz ile sulanan ıspanak üzerine bir sera deneyi yapmıştır. Bitkiler haftalık olarak bitkisel kaynaklı bir protein hidrolizatın yaprak uygulamalarına tabi tutulmuştur. Biyostimulant uygulanan bitkiler kontrol ve tüm tuz stresi koşullarında klorofil içeriğini arttırmıştır (El-Nakhel, 2022). Ertani ve ark. (2013) yonca

bitkisinden elde ettikleri bitkisel biyostimulant ile tuz stresine maruz kalan *Zea mays L.* bitkilerine etkisini araştırdığı araştırmada bitkilere 25, 75 ve 150 mM NaCl ve tuz uygulanmayan kontrol bitkileri 2 hafta boyunca büyütülmüştür. 12. günde bitkilere biyostimulant uygulamaları yapılmıştır. SPAD indeksi incelendiğinde 25mM tuz stresine maruz kalan bitkilerde (29.54) biyostimulant uygulaması (30.95) önemli bir fark oluşturmuştur. 75 mM tuz stresi altında yetişen bitkilerde SPAD indeksi 29.01'dir ve tuz stresi ile birlikte biyostimulant uygulanan bitkilerde 32.28'e yükselmiştir (Ertani ve ark., 2013).

Marul yapraklarında, Hue değeri incelendiğinde tuz uygulaması 106,36 en düşük açığı yani sarı renge en yakın sonucu oluşturmuştur. Diğer bütün uygulamalar tuz uygulamasından iyi ve kontrol uygulaması ile aynı istatistiksel grupta değerler göstermiştir (Çizelge-4.2). Hue değerinde 90 ile 180 derece arası sırasıyla sarı ve yeşili temsil etmektedir. Hue değeri bu ara değerler arasında arttıkça yeşile daha çok yaklaşır. Yani tuz dışındaki uygulamaların kontrolle birlikte yeşile daha yakın bir tonda olduğu görülmüştür. Micelli ve ark. (2021), marul ve domates fidelerinde tuz stresi etkisinin biyostimulantlar ile iyileştirilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada 2 farklı tuz konsantrasyonu (25 ve 50 mM NaCl) kullanmışlardır. Yapılan ölçümler sonucunda tuz stresine karşı biyostimulant uygulamalarının Hue değerine etkisini bulamamışlardır.

Marul yapraklarında, kuru madde yüzde olarak en yüksek tuz (%5.11) uygulamasında hesaplanmış, sırasıyla fulvik asit (4.96) ve PGPR (4,77) uygulaması tuz uygulaması ile istatistiksel olarak aynı grupta ve kontrolden yüksek kuru madde oluşumu görülmüştür. Kalan uygulamalarda kuru maddeler kontrol (4.18) ile aynı gruptadır. Humik fulvik asit ve PGPR uygulaması kuru madde oranını tuz stresi kadar arttırmış kontrol bitkilerinin ötesine geçmiştir (Çizelge-4.2). Desoky ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada humus maddeleri ve *Moringa oleifera* yaprak ekstratı uygulamaları ile sorgum bitkilerinin tuz stresi performansını değerlendirmiş ve bu biyostimulantları topraktan ve yapraktan uygulamıştır. 3, 6 ve 12 dSm⁻¹ tuz stresine karşı uygulanan biyostimulantlar bitkinin tuz stresine karşı toleransını arttırmıştır. Kuru madde oranı biyostimulant uygulanmayan bitkilerde 72 g kap⁻¹ 3 dSm⁻¹, 67 g kap⁻¹ 6 dSm⁻¹, 53g kap⁻¹ 12 dSm⁻¹ kuru ağırlık oluşumu gözlenirken humik ve fulvik asitin birlikte kullanıldığı uygulamada 3 dSm⁻¹'da 90 g kap⁻¹, 6 dSm⁻¹ 83 g kap⁻¹, 12 dSm⁻¹ 71 g kap⁻¹ ile bütün tuz uygulamalarına göre artış göstermiştir. Zuzunaga-Rosas ve ark. (2023) yaptıkları iki farklı toprak tipinde yetiştirilen domates bitkilerinde tuz stresine karşı biyostimulantların etkisini araştırdıkları çalışmada Balox adlı polifenol ve glisin betain içeren ticari ürünü kullanmışlardır. 60 günlük uygulama sonunda bitkilerde çeşitli büyüme ve biyokimyasal parametreleri incelemiştir. Tuz stresi, her iki toprak tekstür tipinde de esas olarak biyostimülantla işlenmeyen bitkilerin köklerini etkileyerek bitki büyümesini engellemiş, ayrıca şiddetli tuz koşulları altında toplam klorofil ve karotenoid seviyelerinin sırasıyla %44 ve %38 oranında azalmasına neden olmuştur. Tuz stresi koşullarında biyostimulant uygulaması önemli bir değişikliğe sebep olmamıştır (Zuzunaga-Rosas ve ark., 2023).

Çizelge 4.2. Marulda tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının kalite ölçümleri üzerine etkileri

Uygulamalar	Baş Sertliği (Kg/cm ²)	Klorofil İçeriği(SPAD)	Hue değeri	Kuru Madde (%)
-------------	---------------------------------------	---------------------------	---------------	-------------------

Kontrol	2.38 b	30.51b	108.27 a	4.18 c
Tuz	2.51 a	31.66 b	106.36 b	5.11 a
Tuz+Aminoasit	2.57 a	32.97 ab	107.69 ab	4.333 c
Tuz+PGPR	2.47 a	34.97 a	107.68 ab	4.77 ab
Tuz +FA	2.51 a	33.00 ab	108.32a	4.96 a
Tuz+Kitosan	2.04 b	33.19 ab	107.37 ab	4.31 c
Tuz+AMF	2.51 a	32.99 ab	107.87 a	4.34 bc
Tuz+Vermikompost	2.73 a	31.04 b	108.82 a	4.05 c
LSD _{0.05}	0.3578	2.69	1.494	0.43
P	0.0305	0.0410	0.0436	0.0001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.1.3. Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Fizyolojik Ölçümler Üzerine Etkileri

Yaprak stoma geçirgenliği beklenildiği üzere kontrol bitkilerinde en yüksek, tuz stresi uygulamasında en düşüktür. Bitkiler tuza maruz kaldığında stomalarını kapatır ve gaz (içerde su buharı, dışardan CO_2) alışverişlerini minimuma indirirler. Tuz stresine karşı biyostimulant uygulanması bitkilerde gaz alışverişi arttırmıştır ve stresin etkilerini azalttığı görülmüştür. Kontrol ($145.69 \text{ mmol/m}^2/\text{s}$)’den sonra en yüksek stoma geçirgenliği değeri Tuz+Kitosan (138.18) uygulamasında okunmuştur (Çizelge 4.3). Martinez-Alonso ve ark. (2022) yaptıkları domates bitkilerinin normal ve tuz stresli koşullarda biyostimülatör olarak harici flavonoid uygulamasına yaprak gazı değişimi ve büyüme tepkileri incelenen çalışmasıyla kontrollü koşullarında yetiştirilen kontrol ve tuz stresindeki ($NaCl$ 60 mM) domates bitkilerinde flavonoidlerin (CropBioLife, CBL) yapraktan uygulanmasının etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar CBL’nin temel olarak fotosentezin uyarılmasını etkilediğini, CO_2 fiksasyonunu arttırdığını ve büyümeyi desteklediğini göstermiştir. Ayrıca, CBL ile muamele edilmiş bitkilerde daha yüksek CO_2 fiksasyonuna bağlı olarak açık durumda daha yüksek bir stoma sayısı bulunmuştur; bu aynı zamanda bitkilerin büyüme için ihtiyaç duyduğu stoma iletkenliği ve besin alımının artması nedeniyle daha yüksek bir H_2O alımıyla sonuçlanmıştır. Yaprak oransal su içeriği tuz stresi ile birlikte CBL uygulaması, kontrol bitkileri ile aynı istatistiksel grupta yer almıştır. Kontrole kıyasla CBL uygulanan bitkilerde stoma iletkenliği ve CO_2 asimilasyonu önemli ölçüde artmıştır. Bununla birlikte tek başına veya CBL ile $NaCl$ uygulanan bitkilerde önemli bir azalma gözlenmiştir. Yaprak oransal su içeriği Tuz+Aminoasit uygulamasında en yüksek değerine ulaşmıştır (Martinez-Alonso ve ark., 2022).

Marul yapraklarında oransal su içeriği bakımından, tuz stresine karşı aminoasit (% 26.30) ve PGPR (19.76) kullanımı yapraktaki oransal suyu yüzdesel olarak arttırmıştır. Bu iki uygulamada kontrolden (15.45) daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Diğer uygulamalarda istatistiksel fark bulunamamıştır (Çizelge 4.3). Çamoğlu ve ark. 2015’te marul bitkilerinde yaptığı çalışma sonucunda hem tuzsuz hem de tuzlu su ile sulanan marullarda en yüksek stoma iletkenliği ve yaprak oransal su içeriği değerleri ihtiyacından iki kat fazla potasyumun uygulandığı konulardan elde etmiştir. Kuşvuran

ve ark. 2021'de yayınladıkları domatest MLE (*Moringa oleifera* leaf extract) uygulamasının tuz toleransına etkisini araştırdıkları çalışmada, yaprak oransal su içeriğinin tuz stresi altındaki bitkilerde en az seviyede kontrol bitkilerinde en yüksek ve biyostimulant olarak MLE uygulanan bitkilerde tuz uygulaması ve kontrol arasında bir değer almıştır.

Tuz stresi altındaki marul yapraklarında membran zararlanmasında en yüksek olarak kaydedilmiştir. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde membran zararlanma indeksi artmaktadır (Ahmad ve ark,2022). Yapılan istatistiksel analiz sonucunda kontrol (2.91) bitkileri ile aynı istatistiksel harflendirmeye sahip olan biyostimulant uygulamalarından Tuz+PGPR (3.19) ve Tuz+Vermikompost (3.19), tuz stresine karşı en iyi sonuçları vermiştir (Çizelge 4.3). Deveci ve ark. 2016'da yaptığı değişik vejetasyon dönemlerine kadar uygulanan farklı tuz konsantrasyonlarının biberde meydana getirdiği fizyolojik değişikliklerin belirlenmesi çalışmasında 0 mM'dan 100 mM'a kadar tuz uygulamış ve yaprak hücrelerinde membran zararlanmasının arttığını gözlemlemiştir.

Çizelge 4.3. Marulda tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının fizyolojik ölçümler üzerine etkileri

Uygulamalar	Yaprak Stoma Geçirgenliği (mmol m ⁻² s ⁻¹)	YOSİ (%)	Yaprak MZİ (%)
Kontrol	145.69 a	15.45 b	2.91e
Tuz	47.80 g	12.65 b	7.54 a
Tuz+Aminoasit	90.63d	26.30 a	4.62 d
Tuz+PGPR	80.56 ef	19.76 ab	3.19 e
Tuz +FA	86.52 de	16.96 b	6.46 b
Tuz+Kitosan	138.18 b	16.49 b	5.96 c
Tuz+AMF	111.12 c	14.15 b	6.10 bc
Tuz+Vermikompost	75.39 f	13.78 b	3.19 e
LSD _{0.05}	6.15	11.05	0.4241
P	0.001	0.05	0.001

YOSİ:Yaprak Oransal Su İçeriği, MZİ: Membran Zararlanma İndeksi, PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA:Humik ve Fulvik asit LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark (p < 0.05). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.1.4. Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Nitrat, Vit-C ve Enzimatik Olmayan Antioksidantların İçeriği Üzerine Etkileri

Tuz stresi altında yetiştirilen bitkilerin kontrol grubuna kıyasla daha yüksek toplam fenolik bileşikler ürettiği gözlemlenmiştir. Ancak, biyostimulantların kullanıldığı bitkiler hem kontrol grubundan hem de yalnızca tuz uygulananlardan daha fazla fenolik madde birikimi sergilemiştir. Vermikompost, PGPR uygulaması ve fulvik asit içeren uygulamalar, en üstün toplam fenol içeriği ile karakterize edilmiştir (Çizelge 4.4). Cristofani ve ark. (2023) marulda yaptığı tuz stresine tabi tutulan ve iki bitkisel biyostimulant Trainer ve Vegamin protein hidrolizat kaynağını 30mM NaCl tuza karşı denemişlerdir. Toplam fenol içeriği tuz uygulanan bitkilerde daha fazla bulunmuştur. Tuz stresi olmadan iki biyostimulantta fenol içeriğini arttırmıştır. Fakat biyostimulant uygulanması tuz stresine karşı

anamlı bir etki yaratmamıştır. Alınan sonuçlara göre Tuz stresi ve biyostimulant uygulanmayan bitkilerde toplam fenol içeriği 1026 mg kg⁻¹ KA iken 30 mM tuz stresi uygulanan ve Trainer biyostimulantı kullanılmış bitkilerde bu değ er 1737 mg kg⁻¹ KA'ye ulaş mıştır, %69'luk bir artış söz konusudur. Yalnızca tuz stresi uygulanan bitkilerde fenol içeriği 1280 mg kg⁻¹ KA'ye ulaş mış yani kontrol bitkilerinden daha yüksek sonuçlar elde etmiştir. Yaptığımız çalış mada aldığımız sonuçlar bu çalış ma ile uyushmaktadır.

Marul yapraklarında, toplam flavonoid içeriği incelendiğinde, tuz, aminoasit ve PGPR uygulamaları en yüksek değ erleri sergilemektedir. Buna karş ın, fulvik asit kullanımı sonucu elde edilen flavonoid seviyesi en düşük olarak belirlenmiştir. Kitosan uygulamasının flavonoid içeriği, fulvik asitten yüksek olup, kontrol grubu ile benzer düzeydedir. AMF uygulaması, kontrol bitkilerine göre daha yüksek flavonoid içeriği gösterirken, vermikompost uygulaması, AMF uygulamasından da üstün sonuçlar vermiştir (Çizelge 4.4). Yine Cristofani ve ark. (2023) yaptığı çalış mada toplam fenolde fark bulamamasına rağmen toplam flavonoid içeriğinde anlamlı bir değ iş im görölmüş tür. Tuz stresi uygulanan bitkiler 11.36 mg kg⁻¹ KA flavonoid içeriği üretirken, kontrol bitkilerinde 7.46 mg kg⁻¹ KA'ye düş müştür. Biyostimulantlardan Trainer uygulaması bu içeriği 18,97 mg kg⁻¹ KA'ye taş ımıştır.

Marul yapraklarında Vitamin C içeriği açısından, en yüksek düzey tuz uygulaması ile kaydedilmiş, buna karş ın kontrol grubunda en düşük vitamin C miktarı tespit edilmiştir. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, tuz uygulamasına en yakın ikinci sonuç vermikompost uygulamasından elde edilmiştir. AMF ve PGPR biyogübresi uygulamaları, vermikomposta yakın vitamin C seviyeleri göstermiştir. Bu veriler ış ığında, biyostimülanların uygulandığı bitkiler, kontrol grubu ve tuz uygulaması arasında bir ara değ er oluşturduğu sonucuna varılmış tır (Çizelge 4.4).

Bulgari ve ark. (2019) marulda yaptıkları çalış mada 0,8, 1,3 ve 1,8 dS/m elektrik iletkenliğ ine sahip üç NaCl çözeltisi uyguladıkları bitkilere Retrosal adında bir biyostimulant çözeltisi uyguladı. Bu uygulamalar sonucunda yapılan nitrat analizinin kontrolden farklı bir sonuç oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Yaptığımız çalış mada ise biyostimulant uygulamaları ile nitrat miktarı artmıştır.

Çizelge 4.4. Marulda tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının nitrat, vit-c ve enzimatik olmayan antioksidantların içeriği üzerine etkileri

Uygulamalar	Nitrat (mg kg KA ⁻¹)	Toplam Fenol İçeriği (mg GA 100g KA ⁻¹)	Toplam Flavonoid İçeriği (mg RU 100 g TA ⁻¹)	Vitamin C miktarı (mg100g TA ¹)
Kontrol	462 e	75.73 a	120.42 e	15.21 f
Tuz	501 d	76.04 a	140.82 b	19.34 a
Tuz+Aminoasit	534 b	59.45 e	131.78 d	16.70 d
Tuz+PGPR	570 a	64.33 d	143.52 a	17.19 c
Tuz +FA	588 a	69.03 b	143.06 a	16.19 e
Tuz+Kitosan	511 cd	73.69 a	141.36 ab	16.57 d
Tuz+AMF	519 bc	65.72 cd	131.78 d	17.47 c
Tuz+Vermikompost	591 a	66.83 bc	136.33 c	18.96 b
LSD _{0.05}	19.02	2.48	2.31	0.3345
P	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.1.5. Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkileri

Makro Elementler

Analizler sonucunda biyostimulant uygulamalarının tümü tuz (%0.52) stresine maruz bırakılmış bitkilerden daha yüksek kalsiyum elementi oluşturmuştur. En yüksek kalsiyum kontrol (1.07) bitkilerinden elde edilmiş, PGPR (0.81) ve vermikompost (0.79) uygulaması kontrolü takip etmiştir (Çizelge 4.5). Tuza maruz kalmış bitkilerin büyüme performansının azalması, bitkilerde Na birikiminin artması ve Kiyonlarının seviyesinin azalması nedeniyle iyonik homeostazisin bozulmasıyla ilişkili olabilir. Uygulanan biyostimulanlar ile K seviyesi artış göstermiş, kontrol seviyelerine yaklaşmış hatta önüne geçmiştir. Basdıç ve ark. (2022)'de yaptıkları çalışmada tuz stresindeki ıspanakta vermikompost ve su yosununun Ca içeriğine etkilerine bakmışlardır. Tuz olmayan kontrol grubunda yaprakta Ca içeriği Matador çeşitinde %0.96 çıkarken Catrina çeşidinin yaprakta Ca içeriği %0.87 çıkmıştır. Matador ıspanak çeşidinin 100mM tuz dozunda yaprakta Ca içeriği kontrolde %0.52 çıkarken, vermikompostlu ortamdaki 100mM tuz uygulamasında ise %0.67 ve su yosunlu ortamdaki 100mM %0.63 çıkmıştır. Catrina ıspanak çeşidinin yaprakta Ca içeriği 100mM tuz dozunda kontrolde %0.55 çıkarken, vermikompost ortamdaki 100mM tuz uygulamasında ise %0.66 ve su yosunlu ortamdaki 100mM tuz uygulamasında %0.56 çıkmıştır. Biyostimulant uygulamalarının Ca içeriğini arttırdığı gösteren bu çalışma, yaptığımız çalışma ile uyumludur. Magnezyum içeriği en yüksek kontrol (0.63) bitkilerinde bulunmuştur. Daha sonra kitosan (0.52) ve vermikompost (0.53) uygulamaları kontrole en yakın sonuçları oluşturmuştur. Fulvik asit (0.36) ve tuz (0.35) uygulamaları ise en düşük sonuçları vermiştir. Fosfor içeriği kontrol bitkileri, vermikompost ve PGPR uygulamalarında en yüksek bulunmuştur. Fosfor

içeriği açısından tuzlu sulama suyu kullanılan bitkilere biyostimulant uygulaması sonucu hiç tuz uygulanmamış kontrol bitkileri ile aynı istatistiksel grup içerisinde yer alması dikkat çekmektedir. Fulvik asit (0.28) dışındaki diğer bütün biyostimulanlar tuz (0.27) uygulamasından daha iyi sonuçlar vermiştir (Çizelge 4.5). Yapılan analiz sonuçları incelendiğinde potasyum içeriği en yüksek vermikompost (8.31) uygulamasında bulunmuştur. Fakat kitosan (7.70), AMF (7.40) ve kontrol bitkileri (7.16) de yapılan istatistiksel analizler sonucunda aynı harflendirmeye sahiptir (Çizelge 4.5). Başdiç ve ark. 2022'de ıspanakta yaptığı tuz stresinin etkilerini azaltmak üzere vermikompost ve su yosunu(alg) kullandığı çalışmada Matador ıspanak çeşidinde 100 mM tuz stresi ile birlikte vermikompost uygulanan bitkiler (5.15) potasyum içeriğini 100 mM tuz uygulanan bitkilere(4.64) göre arttırmıştır. Analiz sonucunda elde edilen bilgilere göre aminoasit (5.51) ve PGPR (5.25) uygulamaları en yüksek azot içeriğini elde etmiştir. Bu uygulamalar tuzlu sulama suyu ile büyütülmesine rağmen kontrol (4.73) bitkilerinden daha yüksek sonuçlar elde edildiği için dikkat çekmektedir. Diğer uygulamalar tuz stresine etki etmemekle birlikte vermikompost uygulamasının azot içeriği tuz stresi uygulamasından daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

İki besin çözeltisi (tuzsuz kontrol ve 25 mM NaCl) ve üç biyostimulant uygulaması (Biyostimulantsız kontrol, Trainer kök uygulaması, Trainer kök ve yaprak uygulaması) ile marul bitkisinde tuz stresi etkilerini azaltmak ve ürün performansını denemek amacıyla yapılan çalışmada Hoagland ve Arnonun değiştirilmiş bir formülasyonu ile sulanan saksılarla Lucini ve arkadaşları sera denemesi kurmuşlardır (2015). Azot içeriği incelendiğinde 25mM NaCl tuz stresine maruz kalan bitkiler kontrol bitkilerine göre daha düşük sonuçlar oluşturmuştur. Yani tuz stresine maruz kalan bitkilerde azot alımı yavaşlamakta ve olumsuz etkilenmektedir. Tuz stresine karşı kökten Trainer ve hem kökten hem yapraktan trainer uygulanan bitkilerin 2 uygulamada da azot alımını kontrol seviyesine taşıdığı görülmektedir. Yaptığımız çalışmada tuz stresine karşı eklenen biyostimulantların azot alımını iyileştirdiği görülmektedir. Fosfor alımı incelendiğinde tuz stresine maruz kalan bitkilerde 3.5 g kg⁻¹ e fosfor içeriği belirlenirken tuz stresine maruz kalmayan bitkilerde bu içerik 4.1 g kg⁻¹ e yükselmiştir.

Tuz stresine karşı kökten Trainer (% 3.8) ve hem kökten hem yapraktan (% 4.1) trainer uygulanan bitkilerin iki uygulamada da fosfor alımını kontrol seviyesine taşıdığı görülmektedir. Kalsiyum alımında ise yalnızca 25mM tuz uygulanan bitkilerde 5.8 g kg⁻¹ a düşmüş kökten (6.7 g kg⁻¹) ve hem kök hem yapraktan (7.1 g kg⁻¹) uygulanan bitkiler kontrol bitkileriyle (6.7 g kg⁻¹) aynı istatistiksel grupta yer almıştır. Potasyum alımında da benzer durum yaşanmış, 25mM tuz uygulanan bitkilerde 30.6 g kg⁻¹ a düşmüş, kökten yapılan uygulamada 35.4 g kg⁻¹ ve hem kök yapraktan yapılan uygulamada 35.6 g kg⁻¹ dır. Magnezyum alımında ise tuz uygulanan bitkilerde 1.1 g kg⁻¹ kontrolde ise 1.6 g kg⁻¹ dır. Tuz uygulaması magnezyum alımını engellemiştir. Kökten biyostimulant uygulaması magnezyum alımını 1.7 g kg⁻¹ arttırmış hem kök hem yapraktan uygulama yapılması 2.0 g kg⁻¹ a çıkarmıştır. Magnezyum alımında da kalsiyum ve potasyum gibi biyostimulant uygulanan bitkiler kontrol bitkileri ile aynı istatistiksel grubu paylaşmışlardır.

Rouphael ve arkadaşları 2022’de yaptıkları çalışmada, deniz yosunu ekstratı ve bitki bazlı protein hidrolizatlarının, tuzsuz (0 mM NaCl) ve tuzlu koşullarda (40 mM NaCl) yetiştirilen sera marulunda (*Lactuca sativa L.*) tuz stresine maruz kalan bitkilerde azot içeriği kontrole göre azalmıştır. Fakat uygulamaların N alımına bir etkisi görülmemiştir. Tuz stresi kontrolle karşılaştırıldığında fosfor alımında anlamlı bir düşüş gözlenmiştir. Fakat biyostimulant uygulamalarının P alımında kontrole göre anlamlı bir değişim yoktur. Potasyum alımında ise anlamlı değişim gözlemlenmiş tuz stresi uygulanmayan tüm bitkiler aynı istatistiksel grup içerisinde yer almışlardır.

Mikroalg-siyanoPGPR bazlı biyostimulantın tuzluluk tolerans mekanizmaları, besin alımı ve tuz stresi altında domates bitkisinin büyümesi üzerindeki etkisini araştıran araştırmacılar (Mutale – Joan ve ark., 2021), 120 ve 150 mM NaCl tuz stresine maruz kalan bitkilerde %5MEF (*Dunaliella salina* , *Chlorella ellipsoide* , *Aphanothece sp.* ve *Arthrospira maxima* türlerinden hazırlanan kombine mikroalg-siyanobakteri ekstraktı formülasyonları) uygulamasıyla sodyum iyonu seviyeleri -%41,93 ve -%14,08 oranında azalmıştır

Çizelge 4.5. Marulda tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının mineral madde içeriği üzerine etkileri (Makro) (%)

Uygulamalar	N	P	K	Ca	Mg	Na
Kontrol	4.73 b	0.56 a	7.16 ab	1.07 a	0.63 a	0.44 e
Tuz	4.29 cd	0.27 d	3.97 d	0.52 d	0.35 d	2.97a
Tuz+Aminoasit	5.51a	0.36 c	7.01 bc	0.69 bc	0.45 c	1.15 c
Tuz+PGPR	5.25 a	0.53 a	7.23 bc	0.81 b	0.43 cd	0.89 d
Tuz +FA	4.22 d	0.28 d	6.48 c	0.60 cd	0.36 d	1.75b
Tuz+Kitosan	4.21 d	0.37 c	7.70 ab	0.60 cd	0.54 b	1.07 cd
Tuz+AMF	4.63 bc	0.43 b	7.40 ac	0.61 cd	0.43 cd	1.17 c
Tuz+Vermikompost	3.32 e	0.54 a	8.31 a	0.79 b	0.53 b	0.89 d
LSD _{0.05}	0.34	0.05	0.94	0.14	0.08	0.193
P	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar,HA-FA:Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark (p < 0.05). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Mikro Elementler

Marul yapraklarında bakır (Cu) elementi içeriği açısından en yüksek sonuçlar PGPR (15.5 ppm) ve kontrol (13.80) bitkilerindedir. Aminoasit (3.29) uygulaması dışındaki bütün biyostimulant uygulamalarından tuzlu sulama suyuna maruz kalmış tuz (2.15) uygulamasından daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.6). Saia ve ark. (2021) iki tuz seviyesine (25 mM ve 50 mM) maruz kalan fesleğen bitkisinde iki tür arbusküler AMF mantarı (AMF) ve *Trichoderma koningii* içeren mikrobiyal bazlı bir biyostimulantın etkinliğini test etmişlerdir. Çözeltinin tuzluluğunun artırılması bitki verimini, besin alımını ve konsantrasyonunu güçlü bir şekilde baskılamış, fotosentetik aktiviteyi ve yaprak su potansiyelini azaltmış, Na ve Cl'i arttırmıştır. Düşük stres koşulları altında AMF kullanımı, bitkiler için Fe ve Mn kullanılabilirliğini arttırmıştır. Torun ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, Zn noksanlığına sahip bir toprakta Zn ve tuz uygulamalarının makarnalık buğdayın (Kundur-1149) yeşil aksam

büyümesi ve bazı element konsantrasyonlarına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yürütülen çalışmada denemenin başında 3 farklı Zn dozu (0, 5 ve 10 mg Zn kg⁻¹) bitkilerin sapa kalkma döneminde ise 4 farklı tuz dozu (%0, 0.5, 1.0 ve 1.5) uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre SPAD değerleri, Zn uygulamasının 5 mg kg⁻¹ dozuyla artmış ancak tuz uygulaması ile azalmıştır. Tuz uygulamasının kuru madde veriminde yol açtığı azalma, Zn'nun 10 mg kg⁻¹ uygulamasına göre kontrol ve 5 mg kg⁻¹ uygulamasında daha fazla gerçekleşmiştir. Sonuçta, tuz uygulamasından kaynaklanan zararın Zn uygulama koşulları altında azaldığı görülmüştür.

Ünlükara ve arkadaşları (2008) tuzlu sulama suyu ile sulanan marullarda gelişen mekanizmaları inceleyen 6 farklı tuz konsantrasyonu ile (0.75, 1.5, 2.5, 3.5, 5.0 ve 7.0 dS m⁻¹) denemeler kurmuştur. Taze ağırlıkta tuzlu sulama suyunun konsantrasyonu arttıkça azalma meydana gelmiştir. Kontrol bitkileri 160 g'a yakın ağırlıktayken 7 dS m⁻¹ 'de 40 g'a kadar düşmüştür. Yaprakta yapılan analizler sonucunda Fe elementi alımı kontrol bitkilerinde 6 ppm değerinde iken 7 dS m⁻¹ 'de 4 ppm'e kadar düşmüştür. Bakır, mangan ve çinko alımında herhangi bir değişiklik gözlemlenememiştir. Marul bitkilerinde tuz stresine karşı vermikompost uygulamalarının makro ve mikro elementler üzerine etkileri adlı çalışması ile Demir ve Kıran(2020) %2.5 ve %5 vermikompost konsantrasyonlarını 0, 4 ve 8 dSm⁻¹ tuz koşulları karşısında serada kontrollü koşullar altında 46 günlük bir periyotta denemiştir. Elde edilen sonuçlara göre orta ve şiddetli tuz stresini, bitkilerin fosfor (P), potasyum (K), magnezyum (Mg), demir (Fe), mangan (Mn) ve çinko (Zn) gibi minerallerin konsantrasyonlarını önemli ölçüde azaltırken, azot (N) ve sodyum (Na) konsantrasyonlarında artışa neden olur. Vermikompost (V) uygulamaları, sodyumun azalmasına ve diğer mineral element içeriklerinin önemli ölçüde artmasına yol açar; bu artışlar %5 V uygulamasında daha etkili olarak gözlemlenir. Tuzluluk seviyesinin yüksek olduğu alanlarda, kıvırcık salata yetiştiriciliğinde vermikompost uygulamalarının, bitkiler üzerindeki tuzun toksik etkisini azaltmaya ve besin maddelerinin alımındaki dengesizliği iyileştirmeye yardımcı olabileceği bulunmuştur. Tuz Stresi x Vermikompost etkileşiminin, azot, fosfor, magnezyum, sodyum, demir, mangan ve çinko açısından istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülürken, potasyum, kalsiyum ve bakır için anlamsız olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkileri (Mikro)(ppm)

Uygulamalar	Fe	Mn	Zn	Cu
Kontrol	93.54 b	32.78 b	52.81 b	13.80 a
Tuz	43.85 f	15.14 d	23.24 e	2.15 d
Tuz+Aminoasit	64.41 d	26.28 c	46.18 c	3.29 d
Tuz+PGPR	110.09 a	43.15 a	74.54 a	15.5 a
Tuz +FA	51.76 e	19.82 d	38.66 d	6.44 c
Tuz+Kitosan	62.65 d	25.98 c	42.37 cd	8.56 b
Tuz+AMF	42.29 f	15.96 d	22.56 e	7.66 bc
Tuz+Vermikompost	73.20 c	31.52 b	22.22 e	6.10 c
LSD _{0.05}	6.29	4.85	6.10	5.78
P	0.001	0.001	0.001	0.001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyaran Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar,HA-FA:Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark (p <0.05). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.1.6 Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Verim Üzerine Etkileri

Bitki ağırlığı, yani bir marulun kaç gram olduğu tüketiciler için çok önemlidir. Bitki ağırlığı tuz stresi etkisi altında en düşük sonucu vermiş ve kontrole göre %76 oranında ağırlık kaybı görülmüştür. Biyostimulant uygulanan tüm bitkilerde tuz stresi etkisinin hafifletildiği Çizelge 4.7’de görülmektedir. PGPR ve vermikompost biyostimulantlarının eklenmesiyle tuz stresine maruz bırakılan marul bitkileri kontrol bitkileri ile aynı bitki ağırlığına ulaşmıştır.

Verim, bitki ağırlığı ile paralel sonuçlar göstermiştir. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde verim 10.234 (kg/m²) iken kontrol bitkilerinde bu sonuç 18.110 (kg/m²) ile en yüksek değerine ulaşmıştır. Kontrol bitkilerinde en yüksek sonuçlar bulunsa da PGPR ve vermikompost biyogübreleri aynı istatistiksel grupta yer almayı başarmıştır. Toplam fenol, toplam flavanoid ve C vitamini açısından da bu iki uygulama kontrol bitkilerinin önündedir. Yani üretici açısından bitki ağırlığı ve verimden kayıp olmadan yüksek kaliteli marul üretimi için belirli bir ölçüde tuz stresine maruz bırakılıp biyostimulantların uygulanması şu an ki marul üretimine alternatif bir seçenek olarak görülebilir.

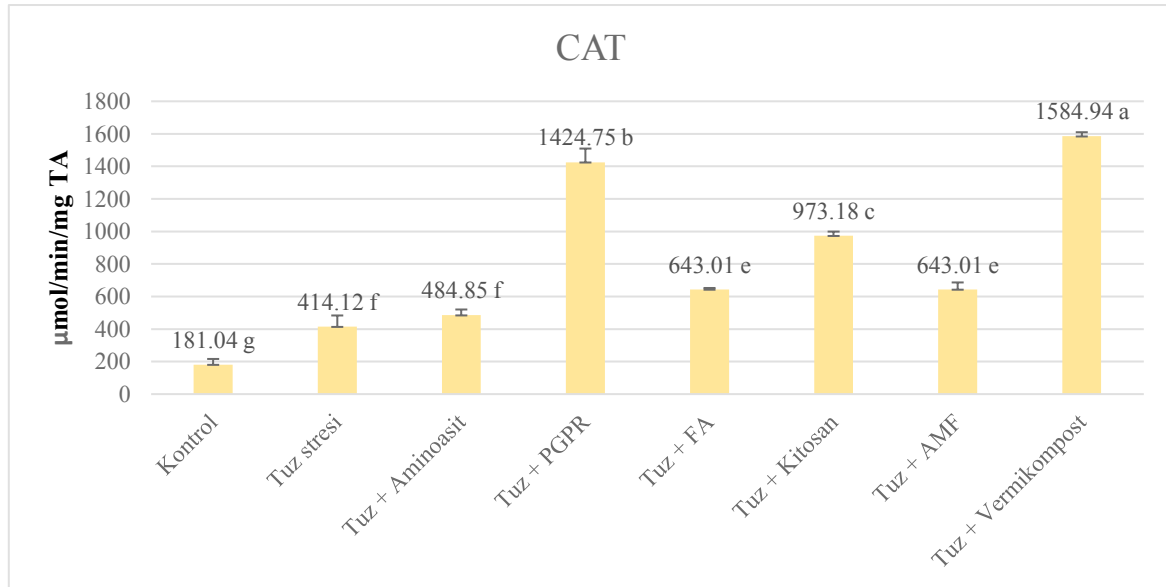
Çizelge 4.7. Marul bitkisinde tuz stresine karşı biyostimülant uygulamalarının bitki ağırlığı ve verim üzerine etkileri

Uygulamalar	Bitki ağırlığı (g/bitki)	Verim (kg/m ²)
Kontrol	407.7 a	18.110 a
Tuz	230.5 d	10.234 d
Tuz+Aminoasit	307.1 c	13.365 c
Tuz+PGPR	403.5 a	17,915 a
Tuz +FA	348.6 b	15.477 b
Tuz+Kitosan	306.7 c	13.617 c
Tuz+AMF	307.1 c	13.635 c
Tuz+Vermikompost	403.6 a	17,919 a
LSD _{0.05}	90.25	4.007
P	0.001	0.001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

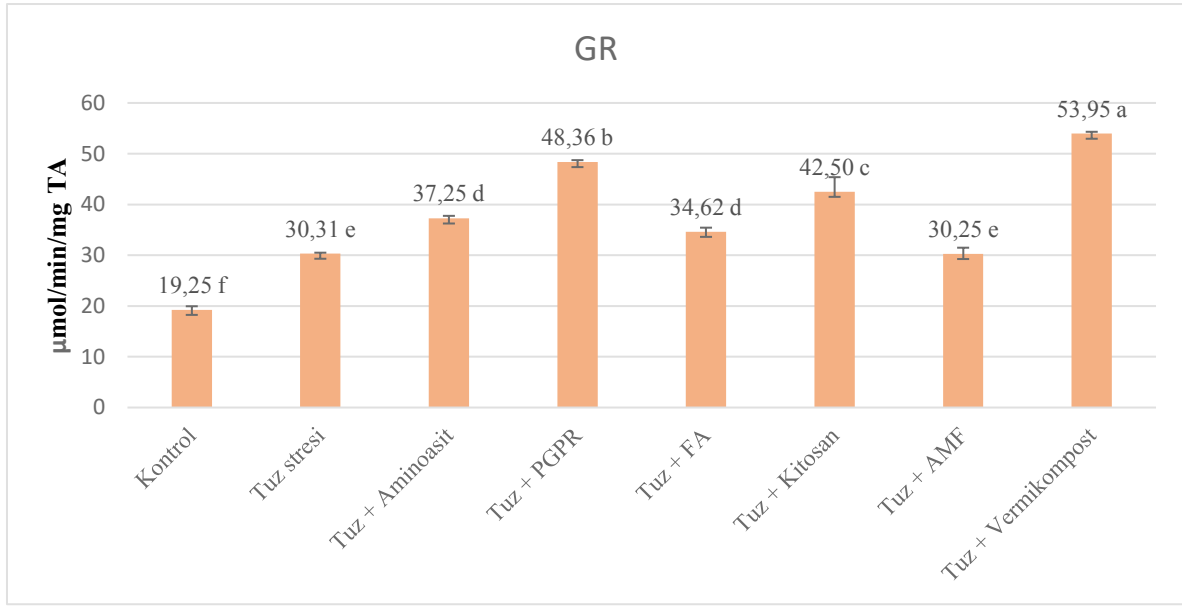
4.1.7 Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimülant Kullanımının Enzimatik Antioksidantlar Üzerine Etkileri

Tuz stresi altında, biyostimülant ile muamele edilen bitkilerde SOD enziminin aktivitesi strese maruz kalmayan bitkilere göre daha düşüktür (Şekil 4.5), ancak bitkiler PGPR'ye maruz kaldığında %43 arttı. Bu çalışmada, biyostimülantların kullanımı, biyostimülant içermeyen stres bitkilerine kıyasla CAT, GR ve APX enzim aktivitelerinde sırasıyla %233, %98 ve %120 artış sağladı. Biyostimülantlar kendi içlerinde değerlendirildiğinde, bu enzim aktivitelerinde en yüksek artış PGPR ve Vermikompost uygulamalarında tespit edilmiştir (%433 ve 502, %151 ve 180 ve %736 ve 412 artış) (Şekil 4.1,2,3).



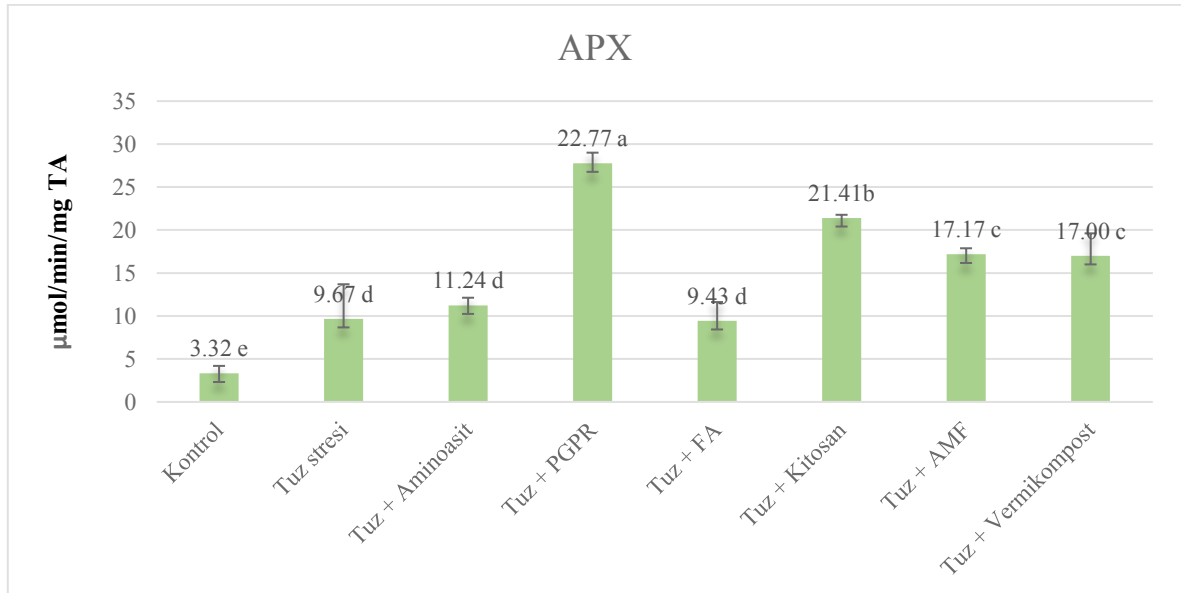
Şekil 4.1. Marulda biyostimülant kullanımı ile tuz stresine karşı CAT üretimi. CAT: Catalaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Tuz stresi tarafından tetiklenen oksidatif reaksiyonlar, membran peroksidasyonu ile sonuçlanan bir olaylar zincirini başlatır. DNA, enzimleri ve diğer proteinleri denatüre edebilen ve karbonhidrat oksidasyonunu ve pigment yıkımını indükleyebilen oksidatif reaksiyonlardan zarar görebilir (Vázquez ve ark., 2021). Tuz stresi, lipitlere ve proteinlere geri dönüşü olmayan bir şekilde zarar veren serbest radikallerin oluşmasına neden olur. Lipid peroksidasyonu hücre zarlarının bütünlüğünü bozarak zamanla hücre ölümüne neden olur. MDA, abiyotik stresin neden olduğu hasarı değerlendirmek için sıklıkla kullanılır. Lipid peroksidasyonundaki artışa kloroplastlardaki OH, H₂O₂ ve O₂ neden olur. MDA, oksidatif stres koşulları altında lipid peroksidasyonundan kaynaklanan hücresel toksisitenin bir biyobelirteci olarak hizmet eder (Singh ve ark., 2018). Araştırmamızda tuz stresi altında artan MDA miktarları tespit edilmiştir (Şekil 4.6). Artan lipid peroksidasyonu ve ROS birikimi, kloroplast membran işleyişinin ve bütünlüğünün tuz stresi nedeniyle önemli ölçüde tehlikeye girdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, biyostimülan uygulaması tuz stresi altında MDA birikimini önemli ölçüde azaltmıştır (Şekil 4.6.), bu da metabolizmayı etkileyebilir ve fotosentezdeki artıştan sorumlu olabilir (Diao ve ark., 2014). Biyostimulatların olumlu etkilerinin, çevresel stres sırasında hücre zarlarında lipid peroksidasyonunu önleyebilen antioksidan özelliklerine bağlı olduğuna inanılmaktadır (Volpe ve ark., 2018; Turan ve ark., 2021). Marul yapraklarında, tuz stresi oksidatif stres nedeniyle MDA içeriğini (%28,50) önemli ölçüde artırmıştır. Bununla birlikte, tuz stresine maruz kalan bitkilerde, biyostimülan uygulaması, tek başına tuzluluk uygulamasına kıyasla MDA seviyelerini önemli ölçüde azaltmıştır (%26-%42 azalma). Bu durum, biyostimülanların olası etki şeklinin, lipid peroksidasyonuna yol açan oksidatif stresi en aza indirerek hücre zarı bütünlüğünün korunması yoluyla olduğunu göstermektedir (Gedeon ve ark., 2022). Önceki çalışmalarla uyumlu olarak, biyostimülan takviyesinin kuraklık stresi altındaki *Solanum lycopersicum* gibi birçok stresli bitkide oksidatif stres göstergelerinin birikimini engellediği gösterilmiştir (Rady ve ark., 2020).

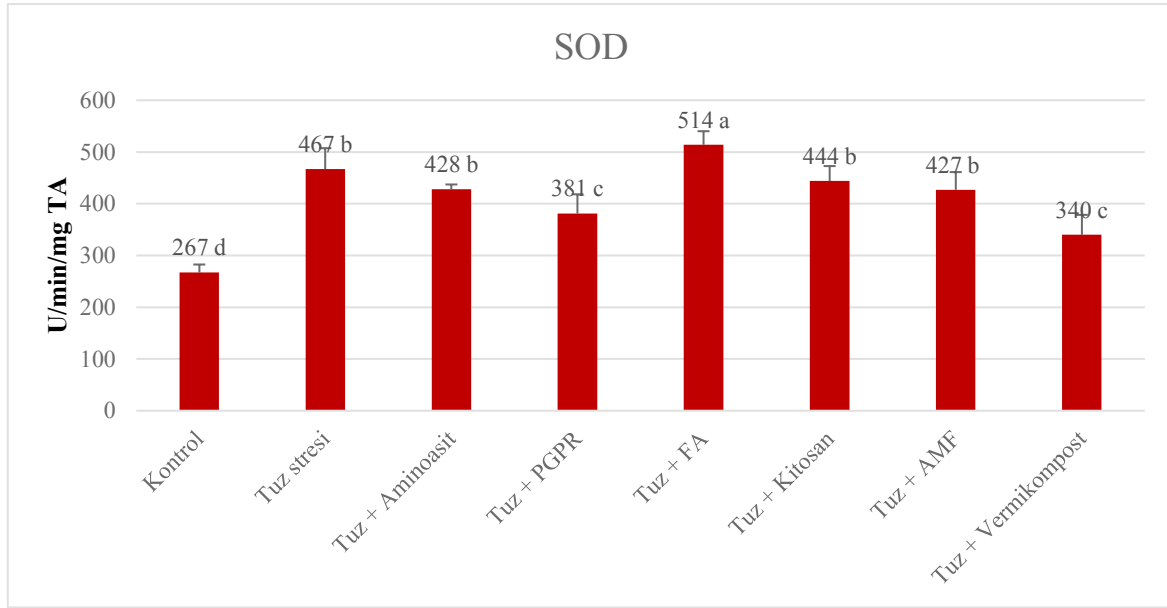


Şekil 4.2. Marulda biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı GR üretimi. GR: Glutation Redüktaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Tuzluluk ve biyostimulant uygulamalarının antioksidan aktivite üzerindeki etkisi bu bölümde incelenecektir. Marulda, stres koşulları altında, SOD (157,37 U/min/mg TA), CAT (414,12 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{TA}$), GR (30,31 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{TA}$) ve APX (9,67 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{TA}$) enzim aktiviteleri, stres altında olmayan kontrol bitkilerine kıyasla sırasıyla %98, %181, %19 ve %3 oranında artmıştır (Şekil 4. 1,2,3,5).



Şekil 4.3. Marulda biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı APX üretimi. APX: Askorbat Peroksidaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.



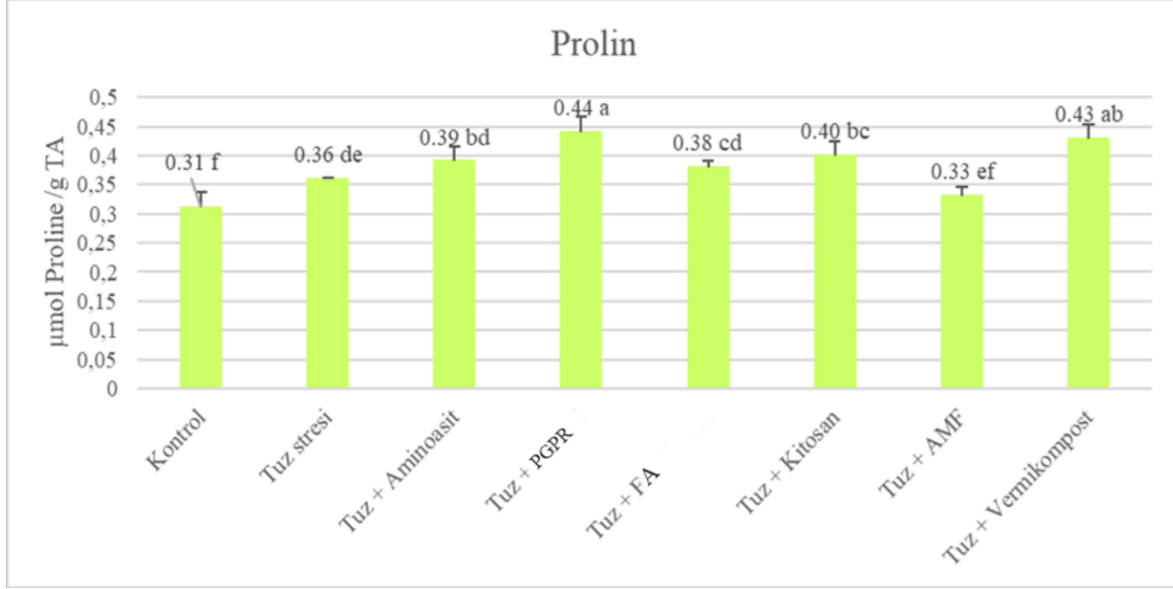
Şekil 4.4. Marulda biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı SOD üretimi. SOD: Süperoksit dismutaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Bu antioksidanlar, farklı gelişim aşamalarında ROS oluşumunu uyaran abiyotik uyaranlara karşı tolerans sağlar. SOD, O_2 radikallerini O_2 ve H_2O_2 'ye dönüştürerek oksijen metabolize eden hücreleri süperoksit serbest radikallerinin zararlı etkilerinden korur. Böylece, metal katalizli Habere-Weiss tipi reaksiyon yoluyla $OH^\cdot$ üretimi tehlikesi azalır (Kusvuran vd., 2016; Mohammadi vd., 2019). Daha önce yapılan birkaç çalışma, çeşitli abiyotik koşullara maruz kalan biyostimülanlarla muamele edilmiş bitkilerde antioksidatif makine aktivitesinde bir artış olduğunu göstermiştir (Ye vd., 2019; Carillo vd., 2020; Lakhdar vd., 2023).

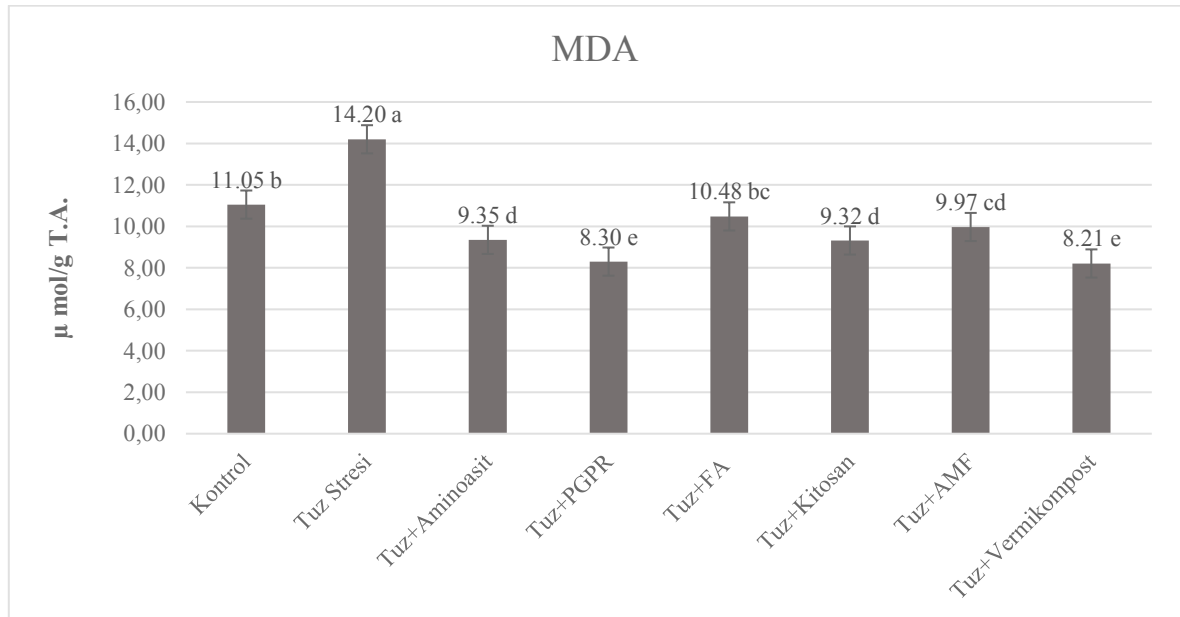
4.1.8. Marulda Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Prolin ve MDA Üzerine Etkileri

Prolin, hücre kloroplastlarında ve sitoplazmada sentezlenen esansiyel olmayan bir amino asittir. Tuz stresi koşulları altında bitkilerde prolin birikimi, ozmotik ayarlamaya yardımcı olarak, proteinleri ve membranları koruyarak ve reaktif oksijen türlerini (ROS) nötralize ederek tuzluluk hasarı semptomlarını hafifletebilir (Lucini ve ark., 2015). Bitkiler, tuz stresine uyum sağlamak ve tolere etmek için bir strateji olarak prolin biriktirir. Bu, hücre ozmozunu değiştirmelerine, membran yapılarını stabilize etmelerine ve oksidatif stresten kaynaklanan hasarı en aza indirmelerine yardımcı olur. Biyostimülanların, ozmotik homeostazi desteklemenin ve oksidatif streslerle savaşmanın bir yolu olarak kuraklık ve tuzluluk gibi ozmotik streslere maruz kalan dokularda prolin birikimini indüklediği bilinmektedir (Cristofano ve ark., 2023). Bu çalışmada, tuz stresi koşulları altında biyostimülanlara bağlı olarak prolin içeriği artmıştır. Bu artış, biyostimülan uygulanmayan stres bitkilerine kıyasla PGPR ve Vermikompost uygulamalarında ön plana çıkmıştır. Sonuçlar, uygulamaların marul üzerindeki etkisinin biyostimülanlara bağlı olduğunu göstermekte ve biyostimülanların bitkileri tuzlu koşullara maruz

kalmaktan korumada olumlu bir rol oynadığı hipotezine destek sağlamaktadır (Bulgari ve ark., 2019). Şekil 4.4. tuz stresinin prolin gibi OP içeriğini de kontrole kıyasla %16,13 oranında arttırdığını göstermektedir. Ayrıca, biyostimulanlar tuz stresi altında marul yapraklarındaki prolin içeriğini belirgin bir şekilde en üst düzeye çıkarmıştır. Prolin içeriğindeki en yüksek artış (0.44) tuzluluk uygulamasına karşı PGPR ile muamele edilen bitkilerde gözlenmiştir. En iyi uygulamalar, stres altındaki kontrole kıyasla prolin içeriğini sırasıyla %22,2 ve %19,4 oranında artıran PGPR ve Vermikompost olmuştur. %2 oranında azaltmıştır.



Şekil 4.5. Marulda biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı Prolin üretimi. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.



Şekil 4.6. Marulda biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı MDA üretimi. MDA: Malondealdehit. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Hücrel hasar, MDA içeriği açısından lipid peroksidasyonu ölçülerek tahmin edilmiştir. Tuz koşulları altında önemli membran hasarı gözlenmiştir (%50 artış), ancak biyostimulanlarla yapılan muamele daha düşük MDA değerleri göstermiş ve kontrol tuz stresi altındaki bitkilere kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir hücrel üretim sağlamıştır. Dikkat çekici bir şekilde, PGPR ve Vermikompost ile muamele edilen bitkiler, tuz stresi mevcutken en düşük MDA içeriğini göstermiş ve stres altındaki kontrole kıyasla MDA seviyelerini sırasıyla %41,5 ve %42'dir (Şekil 4.6).

Bitkiler tuz stresine yanıt olarak morfolojilerinde, fizyolojilerinde ve biyokimyalarında değişikliklere uğrarlar. Yüksek tuz konsantrasyonlarının hücre içindeki iyon dengesini bozarak iyon toksisitesine ve ozmotik strese yol açtığı gösterilmiştir. Bu bozulma, DNA, lipitler ve proteinlere zarar verebilecek reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini tetikler. Eş zamanlı olarak ROS, klorofil parçalanmasını ve membran lipid peroksidasyonunu indükleyerek membran akışkanlığında ve seçiciliğinde azalmaya neden olur. Çalışmalar, abiyotik strese maruz kalan bitkilerdeki oksidatif hücrel hasar seviyesinin antioksidan sistemlerinin etkinliği ile düzenlendiğini göstermektedir. Reaktif oksijen türlerinin (ROS) zararlı etkilerine karşı koymak için bitkiler, askorbik asit, glutatyon ve karotenoidler gibi enzimatik olmayan antioksidanların yanı sıra glutatyon redüktaz (GR), süperoksit dismutaz (SOD) ve askorbat peroksidaz (APX) gibi antioksidatif enzimleri de kapsayan bir dizi antioksidan enzim sistemi geliştirmiştir. Marulda tuz stresi ile SOD, CAT, GR ve APX enzim aktiviteleri, strese maruz kalmamış kontrol bitkilerine kıyasla sırasıyla %98, %181, %19 ve %3 oranında artmıştır. Biyostimulanların stres altındaki marul bitkilerine uygulanması, tuz stresine yanıt olarak SOD, CAT, GR ve APX gibi antioksidan enzimlerin artan aktivitesiyle kanıtlandığı gibi, çok az oksidatif hasarla sonuçlanmıştır (Şekil 4-1,2,3,4.). Birçok çalışma CAT'in yapraklarda ROS'un (reaktif oksijen türleri) birincil temizleyicisi olduğunu, H₂O₂'yi etkin bir şekilde ortadan kaldırarak ve H₂O ve O₂ üreterek oksidatif hasara karşı korunmada önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Katalaz (CAT) özellikle peroksizomlarda ve glioksizomlarda bulunur. Birincil işlevi, hücre zarı lipidlerinin peroksidasyonuna neden olabilen ve bitki gelişimi üzerinde zararlı etkileri olan hidroksil radikallerinin oluşumunu engellemektir. Biyostimulanların tuz stresi altındaki marul bitkilerine uygulanmasının, Tablo'da gösterildiği gibi katalaz (CAT) enziminin aktivitesini uyarmada başarılı olduğu kanıtlanmıştır. Biyostimulanlar arasında PGPR ve Vermikompost, tuz stresi koşullarında uygulama yapılmayan bitkilere kıyasla %433 ve %502'lik bir artışla öne çıkmıştır. Bu da azalan malondialdehit (MDA) seviyelerinin gösterdiği gibi, bitki dokularının oksidatif hasardan korunmasına yardımcı olmuştur. SOD, antioksidan savunma sisteminde çok önemli bir enzimdir. Süperoksitin, H₂O₂ ve suya dönüşümünü katalize ederek reaktif oksijen türlerine (ROS) karşı birincil savunma mekanizması haline getirir (Rady ve ark., 2019). Buğday yaprakları tuz stresine maruz kaldığında, süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi artmıştır. Bu artış, Çizelge 8'de gösterildiği gibi biyostimulantların uygulanmasıyla daha da artmıştır.

Bu durum, SOD'nin tuz stresi altındaki biyolojik sistemlerde koruyucu bir işlev gördüğünü göstermektedir. Turhan ve arkadaşları (2020) PGPR uygulamasının SOD aktivitesini artırdığını ve patlıcanda 200 mM NaCl tuzluluğunun olumsuz etkilerini iyileştirdiğini fark etmiştir. Kuşvuran ve arkadaşları (2021) da guar bitkilerinde biyostimülant 1 uygulaması ile SOD aktivitesinin tuz stresi altında iyileştirildiğini göstermiştir. Katalaza (CAT) benzer şekilde, APX (askorbat peroksidaz) hidrojen peroksiti (H_2O_2) ortadan kaldırır ve etkinliği birçok bitki türünde tuzun varlığıyla artar (Desoky ve ark., 2018). Tuz stresi koşulları altında yürütülen bu çalışmada, marulda farklı biyostimülanların kullanımı GR ve APX enzim aktivitelerinde değişen oranlarda artışa izin vermiştir. Bu artış, biyostimülant kullanılmayan bitkilere kıyasla sırasıyla %38-213 ve %24-285 arasında değişmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, biyostimülanların enzimatik antioksidan sistemleri etkin bir şekilde aktive ettiğini göstermiştir; bununla birlikte, PGPR ve Vermikompost uygulamaları diğer uygulamalardan daha etkili olmuştur. Bu araştırmanın bulguları, Ait-El- Mokhtar ve arkadaşları (2020), de Hasanuzzaman ve arkadaşları (2021) ve Gedeon ve arkadaşları (2022) tarafından bildirilen sonuçlarla tutarlıdır. Bu çalışmalarda da benzer şekilde, tuz stresi yaşayan bitkilere biyostimülant tedavisi uygulandıktan sonra APX ve GR aktivitesinde kayda değer değişiklikler gözlemlenmiştir. Biyostimülant uygulamaları, tuz stresi koşulları altında kloroplastlardaki antioksidan metabolitlerin konsantrasyonlarını ve enzim aktivitesini artırmış, bu da biyostimülantın bu hücrel yapılarıdaki MDA seviyelerini azaltma kabiliyetine karşılık gelmiştir. Sonuçlar, Se'nin reaktif oksijen türlerini (ROS) giderme yeteneklerini geliştirerek tuzun kloroplast membranları üzerindeki zararlı etkilerini azalttığını ve böylece PSII'yi oksidatif stresten koruduğunu göstermiştir (Diao ve ark., 2014).

4.2. Biber

4.2.1 Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimülant Kullanımının Bitki Büyüme Ölçümleri Üzerine Etkileri

Biber bitkisinde tuz uygulaması sonrası bitki boyunda beklenildiği üzere gerilemeler görülmektedir. Yapılan tüm uygulamalar tuz stresinde azaltıcı etkiler göstermiş, tuz eklenen uygulamalar, kontrol bitkileri ile aynı grupta yer almıştır (Çizelge 4.8). Gövde çapı, aminoasit ve PGPR uygulamasında en yüksek bulunmuş ve kontrol bitkilerinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Diğer tüm uygulamalar, tuz uygulamasından daha yüksek sonuçlar elde etmiştir. Biyostimulantların uygulanması tuz stresi altında gövde çapının gelişmesine olanak sağlamıştır. AMF, PGPR, kitosan ,aminoasit ve vermikompost uygulamaları diğerlerinden anlamlı derecede farklı bitki enine sahiptir. Tuz stresine karşı biyostimülant uygulamalarının tamamı yaprak alanını arttırırken kitosan (2166), vermikompost (2150), AMF (2016) ve PGPR (1974) uygulamaları kontrol bitkilerinden daha yüksek yaprak alanı oluşturmuştur (Çizelge 4.8). Yıldıztekin ve ark. (2018) sıvı deniz yosunu ekstratı (DYE) ve humik asit (HA) tuz stresi uygulanan biber bitkilerinde verime, kuru maddeye, prolin ve MDA miktarına ve antioksidan enzimlerine etkisini incelemiştir. Tuz stresi şiddeti 100 mM NaCl olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, tuzluluk stresinin bitki büyümesini ve diğer tüm parametreleri zararlı bir şekilde

etkilediğini göstermiştir. Ayrıca, deniz yosunu (SW) ve humik asit (HA) uygulaması tüm konsantrasyonlarda bitkide vejetatif büyümeyi iyileştirmiştir. Yaprak taze ve kuru ağırlığı tüm SW ve HA uygulamalarının tuzluluk stresi altındaki bitkilerde kontrole kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD) ve katalaz (CAT) aktiviteleri antioksidan enzim aktivitesinde iyileşme görülmektedir. Yıldıztekin ve ark. (yıl??) biyostimulantların tuz toleransını arttırdığı ve biber bitkisinin oksidatif strese karşı korunduğunu göstermektedir. Uygulama yaptığımız biyostimulantlar GR, CAT, APX, SOD ve prolin içeriğini arttırmış ve MDA oluşumunu azaltmış, oksidatif stres etkisini azaltmış ve bitkideki fiziksel parametrelerde artışın sebebini anlamlı kılmıştır.

Çizelge 4.8. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının bitki büyüme ölçümleri üzerine etkileri

Uygulamalar	Bitki Boyu (cm)	Gövde Çapı (mm)	Yaprak Alanı (cm ² /bitki)
Kontrol	32.74 a	11.90 b	1927 c
Tuz	24.34 b	7.81 e	1047 e
Tuz+Aminoasit	34.00 a	12.46 a	1634 d
Tuz+PGPR	33.52 a	12.97 a	1974 bc
Tuz +FA	27.42 b	10.96 d	1727 d
Tuz+Kitosan	32.83 a	11.08 cd	2166 a
Tuz+AMF	35.81 a	11.06 cd	2016 ac
Tuz+Vermikompost	36.49 a	11.57 bc	2150 ab
LSD _{0.05}	0.0001	0.0001	0.0001
P	3.83	0.53	179.41

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.2.2. Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Meyve Ölçümleri Üzerine Etkileri

Tuz stresine karşı biyostimulant uygulamalarının meyve boyu üzerine etkileri incelendiğinde AMF uygulaması (6,62 cm) diğer biyostimulantlardan daha uzun boy oluşturmuştur. En kısa meyve boyu PGPR uygulamasında görülmüştür. Aminoasit, kitosan, fulvik asit tuz uygulaması ile aynı istatistiksel grup içerisinde yer almış, vermikompost ise kontrol ve tuz uygulaması arasında bir değer göstermiştir (Çizelge 4.9).

Biyostimulantların etkileri tuz stresine karşı meyve çapı üzerinde etkisini göstermiş, en düşük meyve çapı tuz uygulamasında görülmüştür. Biyostimulant eklenen uygulamalar yapılan istatistiksel analiz sonucunda kontrol bitkileri ile aynı harflendirmeye sahiptir hatta AMF ve kitosan uygulaması kontrol bitkilerinden daha iyi sonuçlar vermiştir (Çizelge 4.9).

Tek tane ağırlığı en yüksek AMF ve aminoasit uygulamalarından elde edilmiş, PGPR ve fulvik asit uygulamaları yapılan istatistiksel analiz sonucuna göre tuz uygulaması ile aynı harflendirmeye tabi olmuştur (Çizelge 4.9).

Tuz stresinin meyve hacmine etkileri biyostimülant uygulamaları ile engellenmiştir. Hatta biyostimülant eklenen uygulamalarda meyve hacmi tuz içermeyen kontrol bitkilerinden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. AMF kullanımı diğer tüm parametrelerde olduğu gibi hacimde de en iyi sonucu vermiştir (Çizelge 4.9).

Abou-Sreca ve ark. (2021) arı balı (Ab) ve silimarin (Sm) ve ikisinin karışımını biberde tuz stresi toleransını arttırmak amacıyla uyguladığı çalışmada tek başına arı balının kullanıldığı uygulamada 15 gram saf bal 1 litrede çözölmüş ve uygulanmış fakat ikili uygulama yapıldığında 10 gram saf bal 1 litrede çözölmüş ve 0,5 mM silimarinle desteklenmiştir. Yapılan analizler sonucunda tuz stresi uygulaması (10 mM NaCl) a kontrol grubuna göre daha az sayıda meyve oluşumunu göstermiştir. Biyostimulanların stres koşullarına maruz bırakılmadan uygulanması en yüksek sonuçları vermiştir. Tuz stresine karşı Ab+Sm biyostimulantları uygulaması (7.8 adet/bitki) kontrole göre (8.2 adet/bitki) istatistiksel fark oluşturmamıştır. Bitkideki toplam meyve ağırlığı tuz stresi koşullarında 7.2 g bitki⁻¹ iken kontrol bitkileri 14.8 g bitki⁻¹ ağırlığındadır ve istatistiksel fark oluşturmıştır. Tuz stresi etkisinin meyve sayısında azalmaya sebep olduğu görölmektedir. Tuz stresine karşı biyostimulantların birlikte kullanıldığı uygulama 14.4 g bitki⁻¹ ağırlık oluşturmış ve kontrol bitkileri ile aynı istatistiksel grupta yer almıştır. Yani uygulanan biyostimulantlar tuz stresi etkisini meyve ağırlığı açısından yoksaymıştır. Yani bitkideki stres oluşumunu minimize eden biyostimulantların kullanımı meyve özelliklerini tuz stresi etkisine karşı iyileştirmiştir (Çizelge 4.9). Çalışmamızda uygulanan stres koşulları, Abou-Sreca ve arkadaşlarının uyguladığı stres koşullarından 10 kat daha fazladır ve bu sonuçların şiddetini etkilemekle birlikte, elde edilen sonuçlar çalışmamızda elde edilenlerle uyumludur.

Çizelge 4.9. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimülant kullanımının meyve ölçümleri üzerine etkileri

Uygulamalar	Biber Meyve Boyu (cm)	Biber Meyve Çapı (mm)	Biber Ağırlık (g/adet))	Biber Hacmi (cm ³ /adet))
Kontrol	6.09 ab	6.97 bd	1.41 bc	2.80 e
Tuz	5.74bd	6.41 d	1.23 c	1.60 f
Tuz+Aminoasit	5.75 bd	7.02 bd	2.06 ab	3.00 c
Tuz+PGPR	5.11 d	6.74 bd	1.02 c	2.80 e
Tuz +FA	5.40 cd	6.59 cd	1.25 c	2.90 d
Tuz+Kitosan	5.67 bd	7.56 ab	1.40 bc	3.00 c
Tuz+AMF	6.62 a	8.25 a	2.62 a	3.80 a
Tuz+Vermikompost	5.92 bc	7.32 bc	1.54 bc	3.60 b
LSD _{0.05}	0.01	0.01	0.01	0.001
P	0.67	0.90	0.79	0.10

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark (p < 0.05). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.2.3. Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Kalite Ölçümleri Üzerine Etkileri

Hue değeri açısından inceleme yapıldığında vermikompost uygulaması en yüksek sonucu vermiştir. Hue değeri doksan derece yüz seksen derece arasında 180 dereceye sarıdan yeşile geçişi temsil etmektedir. Hue değeri ne kadar yüksek ise bitki yaprak rengi o kadar yeşildir. Kontrol bitkileri ile PGPR ve aminoasit uygulamaları yapılan istatistiksel analiz sonucunda aynı harflendirmeye sahiptir. Diğer uygulamalar ise tuz uygulaması ile kontrol uygulaması arasında bulunmuştur.

Klorofil içeriği incelendiğinde en yüksek sonuç yeniden vermikompost (57,00) uygulamasında bulunmuştur. Tuz uygulaması 43,83 ile en düşük sonucu vermiştir. Kontrolten daha yüksek uygulamalar vermikompostdan sonra, aminoasit (53,30) ve PGPR (52,50) uygulamalarıdır. AMF uygulamasından kontrol ve tuz uygulamaları arasında sonuç elde edilmiştir. Tüm biyostimulant uygulamaları tuz stresinin etkisini azaltmış ya da ortadan kaldırmıştır.

Kuru madde en yüksek tuz uygulamasından elde edilmiştir. Vermikompost, AMF ve aminoasit uygulamaları kuru maddeyi arttırmıştır. En düşük kuru madde oranı fulvik asit uygulamasında bulunmuştur. Kontrol bitkileri 4,80 kuru madde oluşturmuştur. Bazı biyostimulant uygulamaları kontrolten düşük bazı biyostimulantlar kontrolten yüksek kuru madde üretmişlerdir.

Çizelge 4.10. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının kalite ölçümleri üzerine etkileri

Uygulamalar	HUE Değeri	Klorofil İçeriği (SPAD)	Kuru Madde(%)
Kontrol	109.67 b	49.76 cd	4.80 cd
Tuz	107.98 d	43.83 f	10.40 a
Tuz+Aminoasit	108.91 bc	53.30 b	5.63 bc
Tuz+PGPR	109.22 bc	52.50 bc	4.22 de
Tuz +FA	106.86 e	47.16 de	3.30 e
Tuz+Kitosan	108.83 c	49.23 de	4.67 cd
Tuz+AMF	108.7 cd	46.60 e	6.83 b
Tuz+Vermikompost	110.92 a	57.00 a	6.82 b
LSD 0.05	0.79	2.76	1.29
P	0.001	0.001	0.001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.2.4. Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Fizyolojik Ölçümler Üzerine Etkileri

Kontrol bitkilerinde en yüksek yaprak su potansiyeli görülürken vermikompost ve AMF uygulaması tuz uygulaması ve kontrol grubu arasında bir değer almıştır. Kalan biyostimulant uygulamalarının tuz uygulaması ile yapılan istatistiksel analiz sonucunda önemli bir fark oluşturmadığı görülmüştür (Çizelge 4.13).

Membran zararlanma indeksi en yüksek tuz uygulamasında bulunmuştur. Tuz uygulaması hücreler arası bozunmanın artmasına yol açmıştır ve stres etkilerini arttırmıştır. Biyostimulant

uygulanan diğer bütün uygulamalarda membran zararlanma indeksi tuz uygulamasından daha düşük bulunmuştur. Kontrol uygulamasında sonuç 2.81 % bulunmuştur ve sırasıyla AMF uygulaması 3.42 MPa, vermikompost uygulaması 4.38% ve aminoasit 4.94 % bulunmuştur. Biyostimulant uygulamaları kontrol bitkileri ile tuz uygulaması arasında sonuçlar vermiştir.

Yaprak oransal su içeriği 31.37% ile en yüksek kontrol bitkilerinde görülmüştür. Tuz bitkilerinde 14.73 % ile en düşük sonuçlar görülmüştür. Diğer bütün biyostimulant uygulamaları kontrol bitkileri arasında sonuçlar vermiştir. Uygulamalar arasında en iyi sonucu tuz stresi etkisine karşı vermikompost uygulaması 25.53 % ile, 23.71 % ile PGPR ve 22.99% ile kitosan uygulanmış bitkiler vermiştir.

Yaprak stoma iletkenliği en yüksek kontrol (118.99 ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) bitkilerinden elde edilmiştir. Kontrole en yakın sonuçlar vermikompost (74.37 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) uygulamasından elde edilmiştir. AMF uygulaması ise 66.86($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ile vermikompost uygulamasından sonra en yüksek stoma iletkenliğini göstermiştir. En düşük stoma iletkenliği 22.33 ile tuz uygulamasında görülmüştür. Tüm biyostimulant uygulamaları kontrol bitkileri ile tuz uygulaması arasında değerler göstermiştir. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde azalan stoma iletkenliği biyostimulantların kullanımı ile daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Pal ve ark. dolmalık biberde tuz stresi hafifletilmesi için deniz yosunu ekstratı ve AMF'lerin kombine kullanımını araştırdıkları çalışmada 12 dSm-1 tuz yoğunluğundaki su ile sulanmıştır. SWE uygulanan bitkiler, uygulama yapılmayan bitkilerle karşılaştırıldığında 12 dS m⁻¹ su tuzluluğunda daha düşük elektrolit sızıntısı (%15) ile yaprak nispi su içeriğini, yaprak yeşilliğini ve membran stabilite indeksini sırasıyla %16, %19 ve %13 yükseltmiştir (Pal ve ark., 2022).

İkuyinminu ve ark. (2022) yaptıkları hassas tasarlanmış protein hidrolizatı ve *ascophyllum nodosum* türevi biyostimülant kullanılarak domateste sulama tuzluluğu stres toleransının ve verimin artırılması adlı çalışmada tescilli protein hidrolizatın ve *Ascophyllum nodosum*'dan türetilmiş biyostimulant PSI-475'in bitkilerde tuzluluk stresi tolerans tepkilerini aktive etme yeteneğini araştırmıştır. PSI-475 ile tedavi edilen stresli bitkiler, strese maruz bırakılan bitkilere kıyasla bu parametreyi %31.8 oranında arttırdı. Deneysel veriler, PSI-475'in, ozmotik ayarlamayı ve iyon homeostazisi belirteçlerini iyileştirerek salinle sulamanın olumsuz etkilerini hafifletebileceğini göstermektedir (İkuyinminu, 2022).

Salisilik asit (1 mM), maya ekstraktı (6 g L⁻¹) ve prolinin (10 mM) tuzlu su altında tatlı biber bitkilerinin fizyolojik ve biyokimyasal parametreleri üzerindeki etkisini incelemek için 2017 ve 2018 yıllarında iki saksı deneyi gerçekleştiren Abdelaal ve arkadaşları tuz stresinin klorofil içeriği, bağlı su içeriği ve meyve veriminde azalmaya yol açtığını, tuzda elektrolit sızıntısı, malondialdehit (MDA), prolin konsantrasyonu, reaktif oksijen türleri (ROS) ve antioksidan enzim aktivitelerinin arttığını göstermiştir. Salisilik asit (1 mM), maya ekstraktı (6 g L⁻¹) ve prolin (10 mM) uygulaması, tuz stresi altındaki bitkilerin fizyolojik özelliklerini ve meyve verimini, tedavi edilmemiş stresli bitkilerle karşılaştırıldığında önemli ölçüde geliştirmiştir. Tüm tedavilerde elektrolit sızıntısı, MDA ve ROS'ta da önemli bir azalma kaydedilmiştir.

Çizelge 4.11. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının fizyolojik ölçümler üzerine etkileri

Uygulamalar	Yaprak Su Potansiyeli (MPa)	Yaprak MZİ(%)	YOSİ (%)	Yaprak Stoma Geçirgenliği (mmol m ⁻² s ⁻¹)
Kontrol	-2.50 a	2.81 h	31.37 a	118.99 a
Tuz	-6.15 c	7.76 a	14.73 e	23.33 f
Tuz+Aminoasit	-6.06 c	4.94 e	21.03 d	53.65 d
Tuz+PGPR	-6.00 c	5.62 d	23.71 c	56.24 d
Tuz +FA	-6.00 c	6.86 b	15.54 e	42.26 e
Tuz+Kitosan	-6.66 c	6.38 c	22.99 c	51.71 d
Tuz+AMF	-4.78 b	3.42 g	20.84 d	66.86 c
Tuz+Vermikompost	-4.83 b	4.38 f	25.53 b	74.37 b
LSD 0.05	0.93	0.31	1.38	6.90
P	0.001	0.001	0.001	0.001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyaran Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.2.5. Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Nitrat, Vit-C ve Enzimatik Olmayan Antioksidantların İçeriği Üzerine Etkileri

Biber meyvesinde oluşan nitrat, en yüksek kontrol (550 mg kg KA⁻¹), aminoasit (554 mg kg KA⁻¹) ve AMF (548 mg kg KA⁻¹) uygulamasında görülmüştür. PGPR (332 mg kg KA⁻¹) ve fulvik asit (366 mg kg KA⁻¹) kullanımı meyvede nitrat oluşumunu düşürmüştür (Çizelge 4.10). Nitrat vücutta fazla birikmesi halinde nitrat akümülyasyonuna sebep olur. Nitrat akümülyasyonu insan sağlığını olumsuz etkiler. Kunicki ve ark. (2010) çeşidin ve yetiştirme zamanının (ilkbahar ve sonbahar) etkisi de dikkate alınarak ıspanak (*Spinacia oleracea*) verimi üzerine Aminoplant adlı aminoasit içeren bir biyostimulantın etkisini araştırmıştır. Bu biyostimulant nitrat redüktaz aktivitesini arttırmıştır (Kunicki ve ark. 2010).

En yüksek vitamin C, AMF uygulamasından elde edilmiştir. Tuz stresinin üstüne çıkan PGPR uygulamasının yanı sıra diğer tüm uygulamalar kontrolden daha yüksek sonuçlar vermiştir. Tuz kullanımının vitamin C oranını arttırdığı bilinmektedir (Çizelge 4.10).

Toplam fenol içeriği en yüksek vermikompost uygulamasındadır ve AMF uygulamasıyla birlikte diğer bütün uygulamalardan daha iyi sonuçlar vermiştir. En düşük sonuç beklenildiği üzere kontrol bitkilerinde ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.10).

Toplam flavanoid içeriği sırasıyla en yüksek tuz, AMF, vermikompost ve aminoasit uygulamalarından elde edilmiştir. Kontrol ve fulvik asit uygulaması en düşük flavanoidi oluşturmuştur (Çizelge 4.10).

Biberlerde tuz stresine maruz bırakılan bitkilerin kalite parametreleri incelendiğinde tuz stresinin ölçüm yapılan kalite parametrelerini arttırdığı görülmüştür. Fakat AMF ve PGPR kullanımı

sonucunda kalite parametrelerinin tuz uygulamasında üstünde sonuçlar verdiği görülmektedir (Çizelge 4.10).

Tuz stresi, fotosentetik elektron zincirinin aşırı azalmasına neden olur ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini ve dolayısıyla oksidatif stresi teşvik eder. Yüksek bitkiler, bir dizi antioksidanın biyosentezi yoluyla, tuz stresinden kaynaklanan oksidatif hasarı azaltmak için farklı adaptif mekanizmalar geliştirmiştir. Bunlar arasında fenolik asitler, flavonoidler ve proantosiyanidinler gibi fenolik bileşikler serbest radikallerin temizlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Waskiewics ve ark.,2013). Paradikovic ve ark. (2011) biberde doğal biyostimulantların verim ve besin kalitesi üzerine etkilerini incelemek için yaptığı çalışmada biyostimulant uygulamasından sonra yaprakların pigment içeriğindeki genel artış, kontrollerle karşılaştırıldığında işlenmiş biber çeşitlerinin daha yüksek toplam ve ticari verimi ile uyumlu olduğu sonucuna varmıştır. Sonuçlar, doğal biyostimülanların sıcak yaz mevsiminde biber meyvelerindeki C vitamini ve toplam fenolik içerik üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar Paradikovic ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ile uyumludur.

Çizelge 4.12. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının nitrat, vit-c ve enzimatik olmayan antioksidantların içeriği üzerine etkileri

Uygulamalar	Nitrat (mg kg KA ⁻¹)	VitaminC (mg100g KA ⁻¹)	Toplam Fenol (mg GA 100g KA ⁻¹)	Toplam Flavonoid (mg RU 100 g KA ⁻¹)
Kontrol	550 a	23.45 e	22.90 e	27.28 d
Tuz	415 d	31.38 b	30.78 b	35.61 a
Tuz+Aminoasit	554 a	30.07 b	26.81 c	33.14 ac
Tuz+PGPR	332 f	25.54 d	23.79 de	31.59 bc
Tuz +FA	366 e	24.84 de	30.40 b	27.11 d
Tuz+Kitosan	440 c	24.69 de	25.52 cd	30.21 cd
Tuz+AMF	548 a	36.10 a	33.39 a	34.77 ab
Tuz+Vermikompost	475 b	28.03 c	34.46 a	34.25 ab
LSD _{0.05}	13.16	1.70	1.90	3.65
P	0.0001	0.0001	0.0001	0.0007

PGPR: Bitki Gelişimi Uyaran Kök Bakterileri, AMF: Arbüsküler Mikorizal funguslar,HA-FA:Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.2.6 Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkileri

Makro Elementler

Azot içeriği en yüksek aminoasit ve AMF uygulamalarından elde edilmiştir. Vermikompost tuz uygulamasından daha düşük azot içeriğine yol açmıştır ve yapılan istatistiksel analiz sonucunda fulvik asit ve kitosan eklenmesi azot içeriğini tuz uygulanan bitkilerle aynı grupta dahil etmiştir. Aminoasitlerin içeriğindeki yüksek azot, yaprakta azot içeriğini arttırmıştır (Çizelge 4.11). AMF kullanımı ise kök bölgesinde element alımı için optimum özellikleri sağladığı için azot alımını arttırmıştır. Burada öncelikle kullanılan terimler tanımlanacaktır. Parniske ve ark. AMF'nin, Glomeromycota filumunun bitkileri ve mantarları arasındaki en yaygın simbiyozu olduğunu ve konakçı bitkiye su, fosfat ve nitrojen gibi besin maddelerinin tedarikini iyileştirebildiğini bildirmiştir.

Vermikompost ve AMF içeren uygulamalarda fosfor içeriği kontrolle eşdeğer sonuçlar oluşturmuştur. Tuz uygulaması ve fulvik asit uygulaması ise en düşük sonuçları vermiştir. Diğer biyostimulanlarsa tuz ve kontrol bitkileri arasında değerler almışlardır. Vermikompost içeriği sebebiyle kök bölgesinde oluşturduğu mikrobiyal faaliyetler sonucunda fosfor içeriğini arttırmıştır, aynı şekilde PGPR PGPRleri bitki büyümesini teşvik etmek amacıyla kök bölgesinde kolonize olur ve fosfor alımını bitki yararına düzenlemiştir. Baum ve ark. (2019) birçok araştırma sonucunun AMF'nin bitki büyümesi, P mahsulün fiziksel ve kimyasal özellikleri ve üretim kalitesi üzerindeki olumlu etkilerini kanıtladığını bildirmiştir.

Potasyum içeriği açısından vermikompost uygulaması en yüksek sonucu vermiştir. Tuz stresi elementin alımını kısmi olarak engellemiştir ve biyostimulantların tamamı tuz stresinden daha yüksek potasyuma sahiptir. Vermikompost ve AMF biyostimulantları uygulanan bitkilerin yaprakları en yüksek potasyuma sahiptir. Yılmaz ve arkadaşlarının 2004'te yaptıkları çalışmada biberde tuz stresi etkisinin potasyum, kalsiyum iyonik dengesinin sodyum iyonu tarafından bozulduğunu bildirmiştir. Ayrıca Sarwar ve ark. P, K ve B iyonlarının mevcut olduğu ortamda humik asit ilavesinin fosfor potasyum ve bor mevcudiyetini önemli ölçüde arttırdığını bildirmektedir (Sarwar ve ark,2012).

En yüksek kalsiyum içeriğini kontrol bitkileri oluşturmuştur. Kalsiyum en düşük tuz bitkilerindedir. Biyostimulant uygulamaları kontrol bitkileri ve tuz uygulaması arasında değerler almıştır. AMF ve vermikompost biyostimulantları diğer biyostimulantlara göre kalsiyum açısından daha üstündür. Hue değeri incelendiğinde sonuçlar birbiriyle paraleldir. Tuz uygulamasında yaprak uçlarında sararmalar görülmektedir. Kaluzewicz (2018) ve arkadaşları kuraklık stresine maruz kalan brokolilerde biyostimulantların makro ve mikro besin içeriği üzerindeki etkisini incelemiş biyostimulant olarak aminoasitleri ve *Ascomycota nodosum*'un bir kombinasyonun etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Biyostimulanların kullanımının brokoli yapraklarındaki azot fosfor, potasyum, magnezyum, bakır ve manganez içeriğini önemli ölçüde etkilediğini belirtmiştir.

Magnezyum değerleri kontrolde en yüksek sonucu vermiştir fakat yapılan istatistiksel analiz sonucunda AMF uygulaması kontrol bitkileri ile aynı grupta yer almayı başarmıştır. Fulvik asit dışındaki bütün biyostimulant uygulamaları tuz uygulamasından daha yüksek magnezyum içeriğine sahiptir. Magnezyum bitkilerde klorofilde yer almaktadır ve yeşil rengin oluşmasında etkilidir. Yine Hue değeri ile ilişkilendirildiğinde yeşil rengin oluşumu magnezyum içeriği ile paralel ilerlemektedir. Makro element içeriğine bütünsel olarak bakıldığında tuz stresine karşı biyostimulant uygulanan bitkiler, uygulanmayan bitkilere göre makro element içeriğini arttırmıştır ve stres etkilerini makro element alımı açısından azaltmıştır. Makro elementler genellikle kontrol bitkilerinde en yüksek sonucu verse de vermikompost biyostimulantı tuz stresine maruz bırakılmasına rağmen tuz uygulanmayan kontrol bitkilerine yakın sonuçlar elde etmiştir.

Sodyum içeriği en yüksek tuz stresine maruz kalan bitkilerde elde edilmiştir. AMF ve vermikompost uygulamalarının sodyum alımına negatif etkisi izelge 4.11’de grlmştir. Bu biyostimulantların sodyum etkisini azaltması ve K alımını arttırmış ve K/Na oranını dengelemiştir. Bu oranın dengelenmesiyle tuz stresi etkisini azaltmıştır. Biyostimulant eklenen tüm uygulamalarda sodyum alımında gerilemeler grlmştir. Dolmalık biberde (*Capsicum annuum* L.) tuz stresinin hafifletilmesi için deniz yosunu ekstraktı ve arbusküler mikorizal mantarların kombine kullanımı deniz yosunu ile muamele eden dolmalık biber yaprağında %16 daha düşük Na içeriği ile %32 P artışı ve %26 K artışı sağlamıştır (Pal ve ark., 2024).

Çizelge 4.13. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının mineral madde içeriği üzerine etkileri(Makro)(%)

Uygulamalar	N	P	K	Ca	Mg	Na
Kontrol	4.50 b	0.53 a	6.82 bc	10.02 a	6.06 a	0.53 f
Tuz	4.16 bc	0.26 d	3.85 d	5.06 d	3.46 d	3.29 a
Tuz+Aminoasit	5.33 a	0.34 c	6.78 bc	6.74 bc	4.35 bc	1.08 d
Tuz+PGPR	4.38 bc	0.41 b	6.95 bc	5.60 cd	4.19 cd	1.28 c
Tuz +FA	4.03 c	0.27 d	6.19 c	5.60 cd	3.43 d	1.81 b
Tuz+Kitosan	4.02 c	0.35 bc	7.00 bc	5.77 cd	4.15 cd	1.11 d
Tuz+AMF	5.04 a	0.50 a	7.36 ab	7.81 b	5.22 ab	0.83 e
Tuz+Vermikompost	3.20 d	0.52 a	8.02 a	7.60 b	5.17 b	0.79 e
LSD _{0.05}	0.41	0.055	0.846	0.146	0.087	0.1130
P	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar,HA-FA:Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark (p < 0.05). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Biber Yapraklarında Mikro Elementler

Bakır içerikleri incelendiğinde kontrol bitkileri ile aynı istatistiksel grup içerisinde yer alan aminoasit, kitosan ve vermikompost uygulamaları, tuz uygulaması ile aynı istatistiksel değere sahip fulvik asitten ve tuz uygulaması yapılan bitkilerden daha düşük bakır içeriği oluşturan AMF biyogübresi yer almaktadır. Bakır içeriği en yüksek PGPR kullanılan uygulamadadır (izelge 4.12).

Demir içeriği AMF uygulanan bitkilerde en yüksek sonucu verirken biyostimulant olarak vermikompost, kitosan veya aminoasit kullanıldığında yapraktaki demirin kontrolle istatistiksel fark oluşturmadığı görülmüştür. PGPR ve tuz uygulaması yapılan bitkilerde en düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Mangan içeriği açısından kontrol bitkileri ve PGPR uygulaması en yüksek sonuçları vererek aynı istatistiksel gruba dâhil olmuştur. Tuz uygulaması sonucunda biyostimulant uygulanmayan bitkiler yapraklarında en düşük mangana sahiptir. Biyostimulant uygulanan tüm bitkiler, uygulanmayan tuz uygulamasından daha yüksek sonuçlar oluşturmuştur.

Çinko açısından diğer elementler gibi AMF uygulanan bitkilerde içerik en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Yine en düşük çinko içeriği biyostimulantlardan PGPR kullanılan bitkilerde görülmüş ve biyostimulant olmadan tuz uygulanan bitkilerden daha düşük bir içerik oluşturmasıyla dikkat çekmiştir. Çinko enzim faaliyetlerinde ve protein oluşumu için gereklidir. Biber yapraklarında yapılan mikro element analizleri ile genel olarak biyostimulant kullanımının mikro element alımını arttırdığı görülmektedir. Hatta AMF uygulaması yapılan bitkiler tuz uygulanmasına rağmen, tuz stresine maruz kalmamış kontrol bitkilerine göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Ortaş ve ark. domateste *Glomus mosseae*, *G. clarum*, *G. etunicatum*, *G. intraradies*, *G. Kaledonyum* kullanmış, kök biyokütlesinin arttığını erken çiçeklenmeyi, ayrıca mineral maddelerden P ve Zn alımını arttırdığını belirtmiştir (Ortaş ve ark., 2013).

Karaki 2006 yılında domateste mikorizal mantarla aşılama ve tuzlu su ile sulama altındaki performansı çalışmasında AMF kullanmış ve AMF bitkilerinin taze meyve verimi hem tuzlu hem de tuzsuz koşullar altında yetiştirilen AMF olmayan bitkilerden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Tuzlu sulama suyu için 2.4 dSm^{-1} konsantrasyonlu su kullanılmıştır Makro elementlerden bakır alımı tuz stresine karşı AMF kullanılmayan bitkilerde $5.1 \mu\text{g g}^{-1} \text{ KM}$ (KM: Kuru Madde) iken AMF kullanılan bitkilerde bu $7.3 \mu\text{g g}^{-1} \text{ KM}$ 'ye yüksekmiştir. Kontrol bitkileri ($8.1 \mu\text{g g}^{-1} \text{ KM}$) ile bakır alımında istatistiksel fark oluşmamıştır. Demir alımı kontrol bitkilerinde $150 \mu\text{g g}^{-1} \text{ KM}$ iken tuz stresine maruz AMF uygulanan bitkilerde $144 \mu\text{g g}^{-1} \text{ KM}$ 'dir ve istatistiksel fark oluşmamıştır. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde ise demir miktarı önemli ölçüde düşmüştür ($112 \mu\text{g g}^{-1} \text{ KM}$). Çinko alımında ise AMF uygulanan bitkiler tuz stresine karşı kontrole kıyasla iyileştirme göstermemiştir (Al-Karaki,2006).

Çizelge 4.14. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının mineral madde içeriği üzerine etkileri (Mikro) (ppm)

Uygulamalar	Fe	Mn	Zn	Cu
Kontrol	37.97 b	15.99 a	108.25 a	0.19 b
Tuz	17.96 de	2.50 d	51.07 d	0.11 cd
Tuz+Aminoasit	29.27 bc	3.67 cd	71.76 bc	0.15 bc
Tuz+PGPR	12.56 e	5.95 cd	31.48 e	0.06 e
Tuz +FA	22.49 cd	7.30 bc	58.59 cd	0.9 de
Tuz+Kitosan	30.35 bc	10.00 b	73.28 bc	0.15 bc
Tuz+AMF	49.43 a	17.75 a	126.19 a	0.25 a
Tuz+Vermikompost	36.13 b	7.00 bc	83.79 b	0.18 b
LSD _{0.05}	8.88	3.87	18.76	0.3081
P	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.2.7. Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Verim Üzerine Etkileri

Biber bitkisinde tuz stresine karşı, uygulanan biyostimulanların etkisi Çizelge 4.15'deki gibidir. Tuz stresi uygulaması biberde önemli verim kayıplarına sebep olmaktadır. Fakat tuz stresine karşı biyostimulant uygulanan bütün uygulamalar verim açısından tuz stresi etkisini azaltmıştır. Biyostimulantlardan humik-fülvik asit uygulaması dışında kalan tüm uygulamalar kontrol bitkilerinden daha yüksek verim oluşturmuştur. Yani stres etkilerini verim açısından yok saydıkları düşünülebilir. En yüksek verim tuz stresine karşı AMF (10049 g/m^2) kullanılan bitkilerde görülmüştür ve vermikompost (9329 g/m^2) uygulaması ise AMF uygulamasını takip etmektedir. Topraksız Sistemde Yetiştirilen Dolmalık Biber (*Capsicum annuum L.*) Bitkilerinde Tuz Stresinin Azaltılmasında Siyanobakteri (*Roholtiella sp.*) Sıvı Ekstraktının Uygulanması isimli çalışmada Bello ve arkadaşları (2022) biyostimulant uygulamalarının verimi %31.02 artırdığını öne sürmüşlerdir.

Çizelge 4.15. Biberde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının verim üzerine etkileri

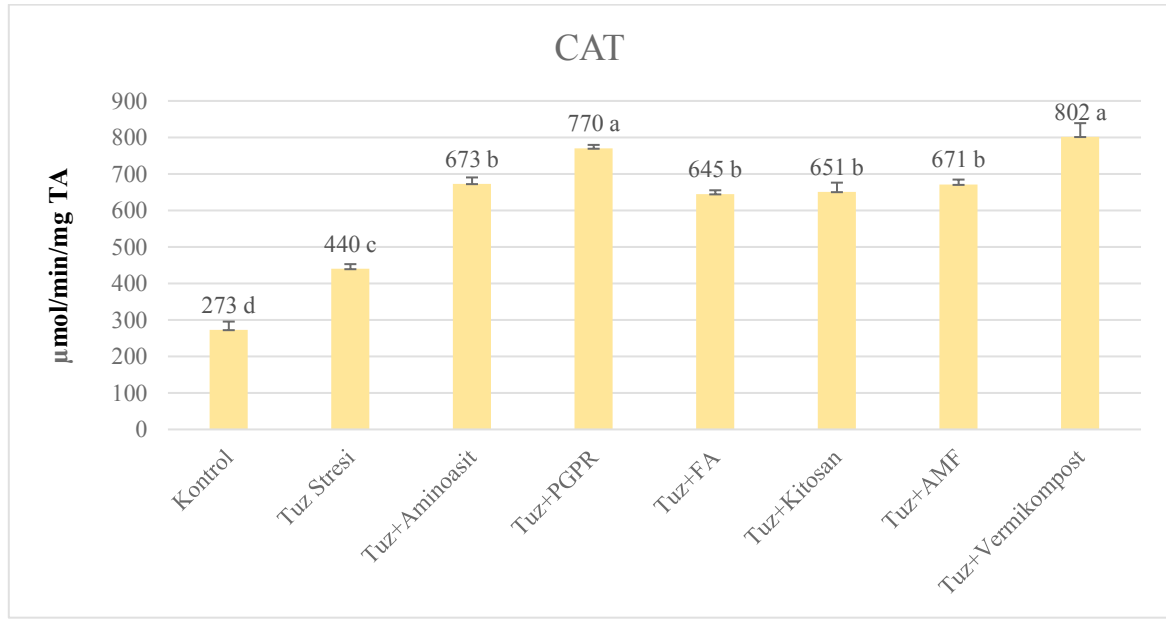
Uygulamalar	Biber meyve toplam verim (g/m^2)
Kontrol	6541 e
Tuz	3451 g
Tuz+Aminoasit	8449 c
Tuz+PGPR	7096 d
Tuz +FA	5983 f
Tuz+Kitosan	6773 de
Tuz+AMF	10049 a
Tuz+Vermikompost	9329 b
LSD _{0.05}	370
P	0.0001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik Asit LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.2.8. Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Enzimatik Antioksidantlar Üzerine Etkileri

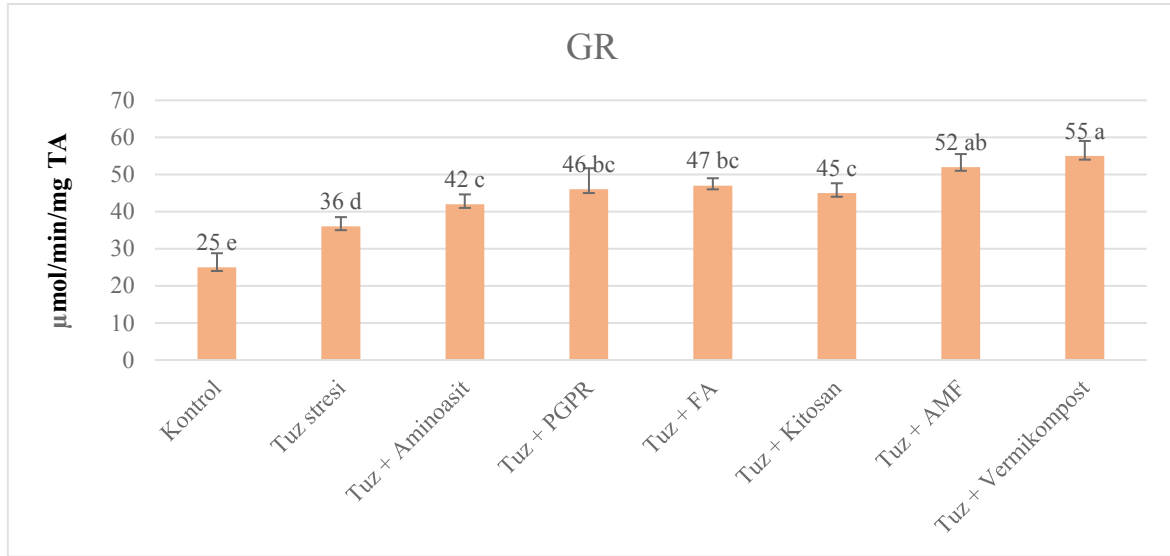
Tuz stresinin bitkiler üzerindeki etkileri, birçok diğer stres faktöründe olduğu gibi, su kaybını azaltmak amacıyla stomaların kapatılmasıyla karakterizedir. Bu durum, CO₂'nin bitkiye girişinin engellenmesine yol açar. Karbon dioksit fiksasyonunda kullanılamayan elektronlar ve absorbe edilen ışık enerjisi, oksijenin aktivasyonunda kullanılır. Stres altındaki bitkilerde oluşan reaktif oksijen türleri (ROS), proteinler, membran lipidleri, nükleik asitler ve klorofil gibi hücre bileşenlerinde ve genel olarak hücrelerde hasara neden olabilir.

Tuz stresinin etkisiyle ortaya çıkan yüksek seviyedeki ROS'u zararsız bileşiklere dönüştüren antioksidan maddeler ve antioksidan enzim aktiviteleri, bitkilerin oksidatif strese karşı etkili bir direnç mekanizması olarak işlev görür. Süper oksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR), katalaz (CAT) gibi enzimler, etkili antioksidatif enzimler arasında yer alır (Asraf ve Foolad, 2007; Molazem ve ark., 2010; Yan ve ark., 2011; Deivanai ve ark., 2011).



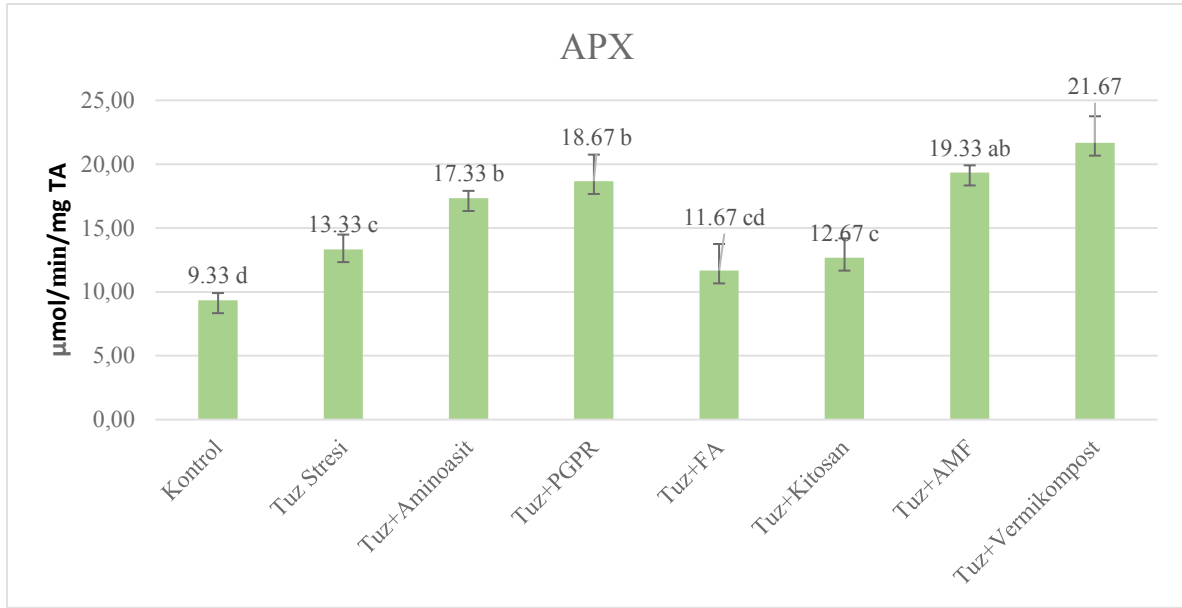
Şekil 4.7. Biberde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı CAT üretimi CAT: Katalaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Tuz stresine maruz kalan bitkilerde kontrole göre CAT %61 (440 µmol min⁻¹ mg⁻¹ T.A.), GR %44 (36 µmol min⁻¹ mg⁻¹ T.A.), APX %42 (13.3 µmol min⁻¹ mg⁻¹ T.A.) ve SOD %113 (759 µmol min⁻¹ mg⁻¹ T.A.), enzimleri artış göstermiştir.



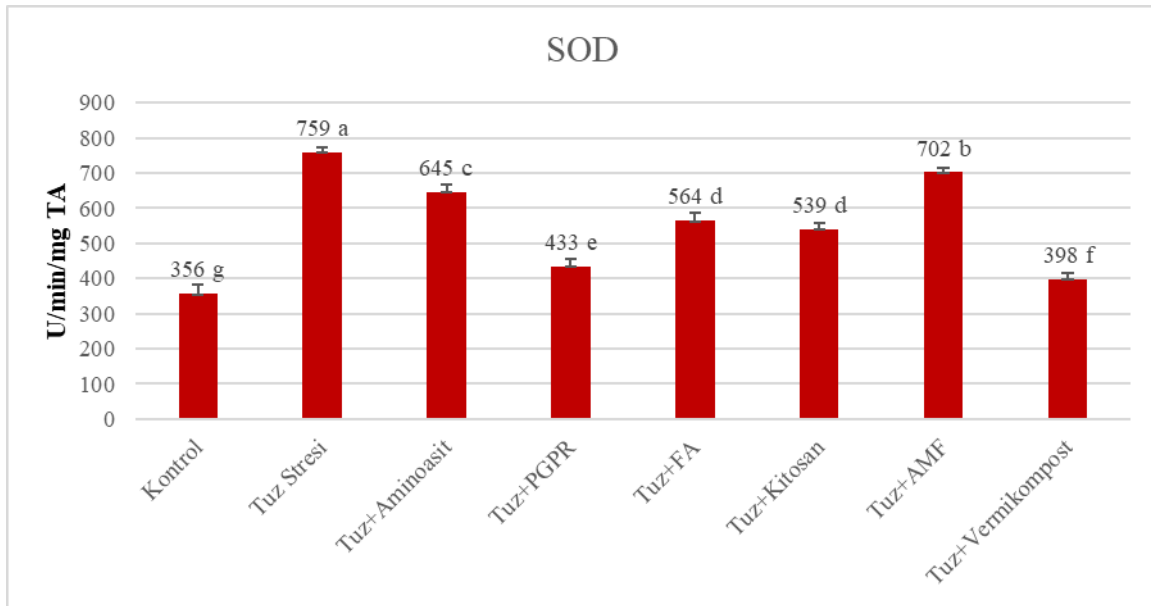
Şekil 4.8. Biberde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı GR üretimi. GR: Glutasyon Redüktaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

CAT, GR ve APX enzimlerine en yüksek değişim kontrole göre AMF ve vermikompost ile muamele edilen biyostimulant uygulamalarında bulunmuştur. Ayrıca APX enzimi PGPR kullanılan bitkilerde de kontrole göre yüksek bir yüzdeye erişmiştir. Biyostimulant uygulanan uygulamaların hepsi (APX enzimindeki Fulvik asit ve kitosan uygulaması hariç), bu enzimlerin oluşmasında tuz stresine maruz bırakılan bitkilerden daha yüksek enzim oluşumu sağlamıştır. Vermikompost uygulamasında kontrole kıyasla %132, AMF uygulaması %107 ve PGPR uygulaması %100 daha fazla CAT enzimi oluşturmuştur (Şekil 4.7). GR oluşumunda vermikompost uygulaması kontrole kıyasla %120 ve PGPR uygulaması %108 daha fazla enzim oluşumunu teşvik etmiştir (Şekil 4.8.). Bziouech ve ark. (2022), vermikompost uygulamasının tuzlu topraklarda anti-stres etkisi yaratıp toksik elementlerin zararını azaltarak tuzluluğun olumsuz etkisini hafiflettiğini belirtmişlerdir.



Şekil 4.9. Biberde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı APX üretimi. APX: Askorbat peroksidaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Tuz stresine maruz kalan biber bitkilerinde stres etkilerinin biyostimulantlar tarafından azaltıldığı görülmüştür (Çizelge 4.7-8). Bu etkilerin azalmasında biyostimulant uygulanan bitkilerde görülen CAT, GR ve APX artışının bu stresi gerilettiği veya engellediği görülmektedir (Şekil 4.7-8-9).



Şekil 4.10. Biberde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı SOD üretimi. SOD: Süperoksit dismutaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

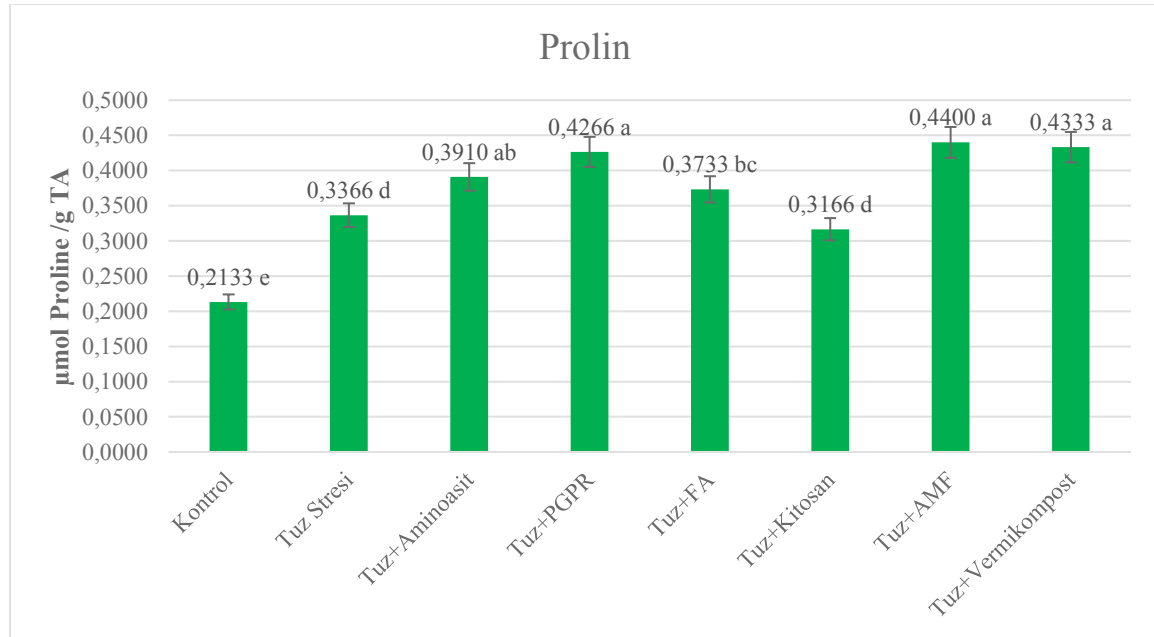
Munns ve Termaat (1986) tarafından ifade edildiği gibi, tuzluluk bitkilerde çeşitli zararlara neden olabilir. Tuzluluk stresine maruz kalan bitkilerde, genetik özelliklere bağlı olarak farklı tepkiler ortaya çıkabilir. Bazı bitki türleri tuzluluktan nispeten az etkilenirken, diğerleri ciddi zarar görebilir (Levitt, 1980). Karanlık (2001) tarafından belirtildiği üzere, stres altındaki bitkilerde artan serbest

radikaller hücrelere zarar verebilir ve özellikle fotosentezin etkinliğini olumsuz etkileyebilir. Bu serbest oksijen radikalleri, proteinler, membran lipitleri, nükleik asitler ve klorofil gibi hücre bileşenlerini bozabilir (Fridovich, 1986; Davies, 1987).

Canlı organizmalarda olduğu gibi bitkilerde de antioksidan miktarları ve antioksidan enzim aktiviteleri yüksek olduğunda stresle mücadelede daha dirençli olabilirler. Bitkilerde, stres altında serbest oksijen radikallerini etkisiz hale getiren antioksidanlar arasında vitamin E, vitamin C, glutatyon ve karotenoidler (beta-karoten ve zeaksantin) bulunmaktadır (Karanlık, 2001). Süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR), katalaz (CAT) gibi enzimler, serbest oksijen radikallerini ortadan kaldırmada etkili olan önemli antioksidatif enzimler olarak bilinir (Çakmak ve Marschner, 1992; Çakmak, 1994; Gossett ve ark., 1994).

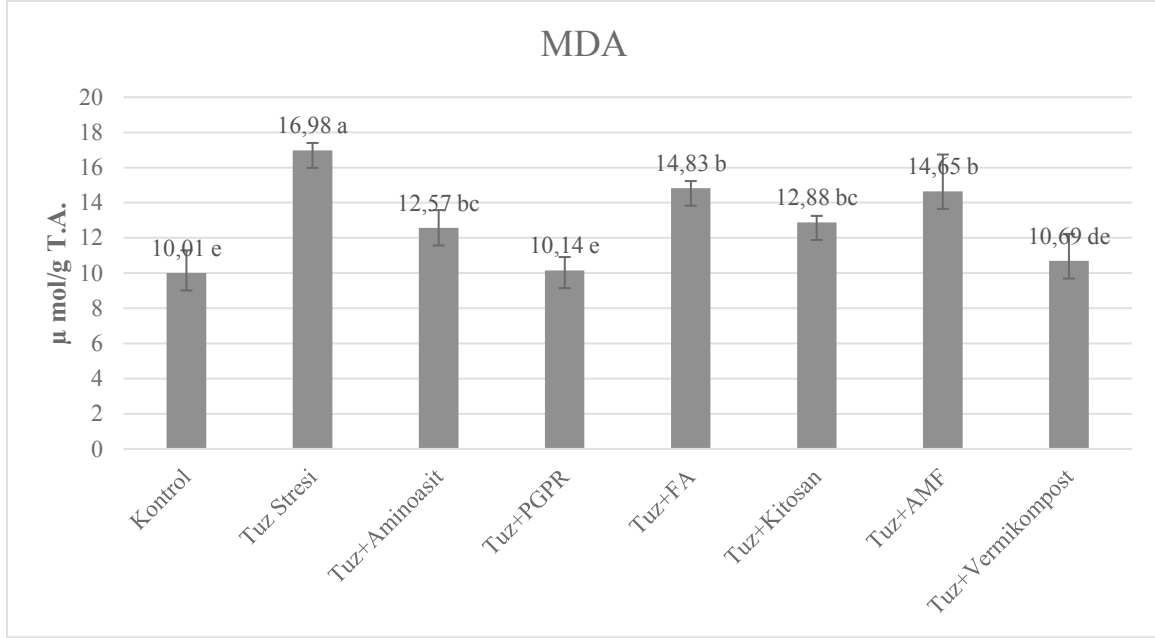
4.2.9 Biberde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Prolin ve MDA Üzerine Etkileri

Prolin, NaCl stresi altındaki bitkilerde protein bütünlüğünün sağlanması ve enzimlerin aktive edilmesinde görev yapan önemli bir ozmoregülatördür. Stres faktörleri, bitkilerdeki içsel prolin miktarında artışa neden olmaktadır. Dışsal prolin uygulamalarının da tuz stresine toleransta olumlu etki yaptığı bilinmektedir (Bayat ve ark., 2014). Tuz stresi altındaki biber bitkilerine AMF ve PGPR uygulayan Altunlu (2020) kontrol bitkilerinin yanı sıra 2 farklı dozda tuz uygulaması yapmıştır. Prolin seviyesi her iki tuz stresi dozunda PGPR uygulamasında en yüksek seviyeye ulaşmıştır. El-Dakak ve ark. (2021), vermikompost uygulamasının tuzlu koşullar altında prolin konsantrasyonunu azaltarak tuz stresini hafiflettiğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.11. Biberde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı prolin üretimi üretimi .Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Abou-Sreya ve arkadaşlarının 2021 yılında biberde yaptığı çalışmada doğal biyostimulanlar kullanılarak tuz stresi etkilerini azaltma amaçlı arı balı ve silmarin (deve dikenini özütü) kullanmışlardır. Litrede 15 gram saf bal veya litrede 10 gram bal + 0,5 mM silmarin uygulamaları yapılmış ve tuz stresine karşı etkileri sınanmıştır. Bitki ağırlığı saf bal + silmarin uygulanan bitkilerde kontrolle aynı seviyelerde çıkmıştır. Ayrıca tuza maruz kalmış bitkilerden daha yüksek prolin oluşumu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.12. Biberde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı MDA üretimi. MDA: Malondialdehit. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir *fark yoktur*.

Tuzluluk stresi, bitki hücrelerinde reaktif oksijen türleri (ROS) ve melondialdehit (MDA) birikmesine neden olur. Bu maddelerin artması bitkilerin stresten etkilendiğinin ve zarar gördüğünün bir göstergesidir. Çalışmamızda artan tuz stresi ile MDA düzeyinin arttığı belirlenmiştir. Kitosan uygulamaları sonrasında domates bitkilerinin MDA düzeylerinde azalma olduğu belirlenmiştir (Bulut ve Öztürk, 2023). Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en yüksek MDA oluşumu tuz stresine maruz bırakılmış bitkilerde görülmüştür. Diğer uygulamaların stresi azaltıcı etkisi görülmekle birlikte PGPR ve vermikompost uygulamalarında MDA seviyesinin kontrol bitkileriyle aynı MDA'yı oluşturduğu yani stres etkisini yok saydığı görülmüştür.

4.3. Yaprak Lahana

4.3.1. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Bitki Büyüme Ölçümleri Üzerine Etkileri

Tez projesinin ikinci yılı 3. deneme sezonunda kurulan yaprak lahana denemesinde, kontrol grubu bitkileri haricinde tuzlu sulama suyu içinde büyütülmüş, tuz stresi etkilerini azaltmak için biyostimulantlar kullanılmıştır. Kullanılan biyostimulantların bitki boyunu etkilemediği gözlemlenmektedir. En yüksek bitki boyu vermikompost uygulamasında en düşük bitki boyu tuz stresinde elde edilmiş fakat yapılan istatistiksel analiz sonucunda fark bulunmamıştır (Çizelge 4.16). Salachna ve ark., (2017) 50 ve 100 mM tuz uyguladıkları kale bitkilerinde kontrole göre bir fark bulunmadığını belirlemiştir.

Yaprak alanı bitkinin maruz kaldığı stresi değerlendirmek için iyi bir parametredir, strese maruz kalan bitkiler yaprak alanlarını azaltırlar. Yaprak alanı incelendiğinde tuzlu sulama suyu ile tuz stresine maruz bırakılan bitkiler en düşük yaprak alanını oluştururken, PGPR ve vermikompost uygulanan bitkiler tuz stresinin etkisini azalttığı görülmektedir. Yaprak alanı için tuzlu suya maruz kalan bitkilere karşı biyostimulant uygulanması, tuz stresi etkisini azaltmış ve yapılan istatistiksel analiz sonucunda yaprak alanının tüm biyostimulant uygulamalarında arttığı görülmüştür (Çizelge 4.16). Lahanalarda biyostimulant uygulanması yaprak alanını arttırmaktadır (Helaly ve ark.,2022).

Gövde çapı vermikompostda ve kontrol bitkilerinde artmıştır. Tuzlu sulama suyuna maruz kalan bitkilerde gövde çapı azalmıştır ve tuz stresine maruz kalan bitkilerde gövde çapının azaldığı gözlemlenmiştir. Diğer uygulamalar kontrol bitkileri ve tuz uygulaması arasında sonuçlar göstermiştir. Vermikompost dışındaki uygulamalar tuz stresinin zararlı etkilerini azaltmış, gövde çapını arttırmıştır (Çizelge 4.16).

Yaprak lahana bitkilerinde sap boyu vermikompost uygulamasında en yüksek sonucu vermiş olsa da yapılan istatistiksel analiz sonucunda PGPR, kontrol, aminoasit ve kitosan uygulamaları aynı harflendirmeye sahiptir. En düşük sonuç AMF ve tuz uygulamasında görülmüştür. Tuza maruz kalan bitkilerin sap boyunu kısalttığı ve biyostimulant uygulamalarının tuz stresinin olumsuz etkisini sap boyu parametresi açısından azalttığı gözlemlenmiştir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Yaprak lahanada tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının bitki büyüme ölçümleri üzerine etkileri

Uygulamalar	Bitki Boyu (cm)	Yaprak Alan ı(cm ²)	Gövde Çapı (mm)	Sap boyu (cm)
Kontrol	34.11	5340 a	17.41 a	13.77 ab
Tuz	30.61	2946 f	11.43 d	9.44 c
Tuz+Aminoasit	34.56	4436 c	15.00 c	13.00 ab
Tuz+PGPR	32.89	4703 b	14.66 c	14.00 a
Tuz + FA	23.56	3760 d	16.00 b	10.77 bc
Tuz+Kitosan	33.44	3560 e	16.22 b	12.44 ac
Tuz+AMF	33.03	3891 d	16.19 b	9.91 c
Tuz+Vermikompost	35.67	4748 b	16.93 a	14.88 a
LSD 0.05	Ö.D.	0.001	0.001	0.001
P	Ö.D.	155.6	0.66760	3.0573

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.3.2. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Fizyolojik Ölçümler Üzerine Etkileri

Yaprak oransal su içeriği incelendiğinde tuz stresine maruz kalan bitkilerde kontrol bitkilerine göre azalma meydana gelmiştir. Vermikompost ve PGPR biyostimulantları kontrole göre yaprak oransal su içeriğini arttırmıştır. Kullanılan bütün biyostimulantların yaprak oransal su içeriğini tuz stresine maruz kalan bitkilere göre arttırdığı görülmüştür. Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre tuz uygulanan bitkilerden en düşük sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.20). Yaprakların daha yüksek suculentliği, hücrelerde Na tutulumunu hızlandırır, böylece hücreler organellerde aşırı Na birikimini kısıtlar (Rahman ve diğerleri, 2019; Shabala, 2013). Tuz stresi etkisine karşı yaprakta K uygulanan bitkilerde yaprak oransal su içeriği artmıştır (Naz ve ark., 2021). K alımında olduğu gibi yaprak oransal su içeriğinde de tuz stresine maruz kalan bitkiler en düşük sonuçlar tuz stresine maruz kalan bitkilerde olmuş ve biyostimulant kullanılan bütün uygulamalar kalsiyumda olduğu gibi tuz stresinden yüksek çıkmıştır.

Membran zararlanma indeksinin artması tuz stresinin etkisinin arttığı anlamına gelmektedir. Membran zararlanması tuz stresi etkisiyle hücrelerin membranlarında oluşan yıkım sonucunda hücreler arası sıvının ölçülmesi ile tespit edilmektedir. Yaptığımız analizlerin sonucunda tuz stresine maruz bırakılan bitkilerde MZI artmıştır. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda kontrol bitkileri ve tuz stresine maruz kalan fakat PGPR ve vermikompost biyostimulantı uygulanmış bitkilerde membran zararlanması en düşük bulunmuştur. Yani PGPR biyostimulantı uygulaması stres etkilerini yok saymıştır. Biyostimulant uygulamaları tuz stresinin etkisini azaltmıştır (Çizelge 4.20). Yüksek tuzlulukla ilişkili oksidatif stres, ROS (Reaktif oksijen türleri)'u detoksifiye etmek için antioksidan mekanizmaların indüklenmesini gerektirir; çünkü ROS'un verimsiz uzaklaştırılması, temel makromoleküllerin (proteinler, lipitler ve nükleotidler) hasar görmesine ve hücre ölümüne neden olabilir (Pavlovic ve ark., 2019). Membran zararlanma indeksi 10 mM K uygulanan bitkilerde tuz stresine maruz kalan

bitkilere göre daha düşük sonuçlar vermiş yani membran zararlanma indeksi daha düşük olmuştur (Naz ve ark.,2021). Çalışmamızdaki K içeriği tuz stresinde en düşüktür ve biyostimulant uygulamaları ile alımı artmıştır.

Stoma iletkenliği incelendiğinde beklenildiği üzere en yüksek sonuçları kontrol bitkileri oluşturmuştur. Tuz stresi etkisi altında Sİ düşmektedir. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde Sİ azalmıştır. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda AMF, kitosan ve fulvik asit uygulamalarının tuz stresi karşısında etki göstermediği görülmektedir. PGPR uygulaması kontrole en yakın uygulamadır. Daha sonra ise aminoasit ve vermikompost kontrol ve tuz stresi arasında yer almış ve tuz stresinin etkisini azaltmıştır (Çizelge 4.20). Stoma iletkenliği, fotosentez ve terlemeyi koordine ederek su kullanım verimliliğini (WUE) etkiler ve kimyasal ve/veya hidrolik sinyallerle düzenlenir. Su ve tuz stresi stoma uzunluğunu, genişliğini, çevresini, alanını, yoğunluğunu ve maksimum stoma iletkenliğini azalmaktadır (Xue ve ark., 2021). Kuraklık stresine karşı soya fasülyesinde biyostimulant (*Ascophyllum nodosum* bazlı ticari bir biyostimulantı) uygulayan Melo ve ark.(yıl ?) yaprak stoma iletkenliğinde uyguladığı biyostimulant kontrol bitkileri ile aynı istatistiksel grupta yer almış ve stres bitkilerinden 10 kat fazla stoma iletkenliği sağlamıştır.

Yaprak su potansiyeli en yüksek kontrol bitkilerinde bulunmuştur. Tuz stresi yaprak su potansiyelini çizelgede görüldüğü üzere azaltmıştır (Çizelge 4.20). Uygulanan biyostimulantlar YSP açısından tuz stresi etkisini azaltmıştır. Biyostimulant uygulamaları, tuz uygulaması ile kontrol uygulaması arasında değerler almıştır.

Çizelge 4.17. Yaprak lahana bitkilerinde tuz stresine karşı biyostimulant uygulamalarının fizyolojik parametreler üzerine etkileri

Uygulamalar	YOSİ(%)	Yaprak MZİ (%)	Stoma Geçirgenliği (mmolm ⁻² s ⁻¹)	Yaprak Su Potansiyeli (MPa)
Kontrol	18.21 b	2.91 e	133.66 a	-2.60 e
Tuz	9.26 e	7.54 a	58.00 d	-6.96 a
Tuz+Aminoasit	14.60 d	4.62 d	92.00 c	-5.23 c
Tuz+PGPR	19.99 a	3.19 e	115.66 b	-4.53 d
Tuz +FA	17.41 b	6.46 b	59.33 d	-6.03 b
Tuz+Kitosan	15.36 cd	5.96 c	66.00 d	-5.66 bc
Tuz+AMF	16.07 c	6.10 bc	65.66 d	-6.06 b
Tuz+Vermikompost	20.59 a	3.19 e	99.66 c	-4.33d
LSD 0.05	1.287	0.4241	14.03	0.4466
P	0.001	0.001	0.001	0.001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.3.3. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Nitrat, Vit-C ve Enzimatik Olmayan Antioksidantların İçeriği Üzerine Etkileri

En yüksek nitrat içeriği kontrol bitkilerinde bulunmuştur. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde nitrat oluşumu azalmıştır. Biyostimulant uygulamaları yapılan bitkilerde ise AMF hariç nitrat oluşumunu kontrol bitkilerine göre azaltmış bulunmaktadır. Nitrat akümülayonu insanlarda damar tıkanıklığı ve bir dizi hastalıkların oluşmasında rol oynamaktadır ve nitrat birikimi kalite ve gıda güvenliği açısından önemli bir parametredir (Çizelge 4.17). Yaprak lahanalarda tuz stresine karşı biyostimulant uygulaması nitratı azaltmış ve tuz stresi uygulanan bitkiler ile kontrol arasında değerler oluşturmuştur. Biyostimulantların etkisi C vitamini miktarını arttırırken nitrat içeriğini azaltmıştır (Dudaş ve ark., 2016).

Vitamin C (l-askorbik asit) en yüksek tuz stresi uygulanan bitkilerde görülmektedir. Strese maruz bırakılan bitkiler defansif bir mekanizma ile vitamin C, fenol ve flavanoid miktarlarını arttırırlar. Bu bitkinin fizyolojik olarak savunma sisteminin bir parçasıdır (Shalata ve Neumann, 2001). Tuz stresini engellemek için vermikompost uygulaması yapılan bitkilerde vitamin C miktarı biyostimulantlar arasında en yüksek seviyededir. En düşük vitamin C oranı kontrol bitkilerinde gözlemlenmiş, en yüksek vitamin c ise tuz stresine maruz kalan bitkilerde ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.17).

Toplam fenol içeriği en düşük kontrol yaprak lahana bitkilerinde gözlemlenmiştir. Kontrol bitkileri ve tuzlu sulama suyuna maruz bırakılmış tuz uygulaması biyostimulantlara göre daha düşük sonuçlar ortaya çıkmıştır. Vermikompost, fulvik asit ve PGPR biyostimulantları yapılan istatistiksel analiz sonucunda en yüksek fenol içeriğini oluşturmuşlardır. Biyostimulant uygulamalarının toplam fenol miktarını önemli ölçüde arttırmış ve strese karşı dayanıklılık sağlamıştır (Çizelge 4.17). Aynı zamanda içerik olarak fenol içeriğinin artması kalitenin de artması anlamına gelmektedir. Biyostimulantların fenolik bileşikler de dahil olmak üzere bunların bileşen sekonder metabolitlerinin, antimikrobiyal, böcek öldürücü, herbisidal ve nematisidal dahil olmak üzere biyokoruyucu etkilerin yanı sıra, büyüme özelliklerinin ve veriminin arttırılması da dahil olmak üzere bitkiler üzerinde biyoyararıcı etkilere sahip olduğu gösterilmiştir (Kisiriko ve ark., 2021).

Toplam flavanoid içeriği en düşük fulvik asit uygulamasında bulunmuştur. Fulvik asit uygulaması hariç tutulursa toplam fenol içeriği ile benzer bir tabloya sahiptir. Kontrol bitkileri en düşük, tuz bitkileri kontrol bitiklerine göre nispeten yüksek ve biyostimulant uygulanan tüm bitkiler toplam flavonoid içeriği açısından kontrol bitkileri ve tuz stresine maruz kalmış bitkilerden daha yüksektir. Tarla ve sera denemelerinde SE (Seaweed) ve AA (Aminoasit) 'nın yaprak ve çiçeklerin toplam fenol ve flavonoid içeriği üzerine etkisi önemli olmuştur. Tarla koşullarında bitkilere 2 ml L⁻¹ SE ve 3 ml l⁻¹ AA uygulanması yaprak toplam fenollerini kontrole göre sırasıyla 1,1 kat ve %84 oranında arttırmıştır. Tarla koşullarında 1 ve 2 ml L⁻¹ konsantrasyonlarda yapraktan SE spreyi, kontrole kıyasla yapraktaki toplam flavonoidleri sırasıyla %93 ve %82 oranında artırmıştır. Biyostimulant uyguladığımız tüm bitkilerin tuz stresi uygulandığında hem kontrolde hem tuz uygulamasından daha yüksek sonuçlar görülmesi bahsedilen çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile uyumludur.

Akram ve ark. (2022) çin yaprak lahanası bitkilerinde tuz stresine karşı liquiritin uygulaması yaptıkları çalışmada kaleler 2.5 dSm⁻¹ ve 5 dSm⁻¹ yoğunluğunda tuz stresine maruz bırakılmıştır. Toplam klorofil miktarı tuz stresi etkisinden olumsuz yönde etkilenmiştir. En yüksek değeri strese maruz kalmadan liquiritin uygulanan bitkiler vermiştir. 2.5 dSm⁻¹ tuz stresine maruz kalan bitkilerde toplam klorofil 1.36 mg g⁻¹ TA iken liquiritin uygulanan bitkilerde bu değer 1.69 mg g⁻¹ TA'dır. 5 dSm⁻¹ tuz stresine maruz kalan bitkilerde toplam klorofil 1.17 mg g⁻¹ TA iken liquiritin uygulanan bitkilerde bu değer 1.35 mg g⁻¹ TA'dır. Toplam fenol kontrole göre tuz uygulanan bitkilerde artış gösterirken tuz ile birlikte liquiritin uygulanan bitkiler çok daha yüksek sonuçlar vermiştir. Toplam flavanoid miktarı yine toplam fenolle aynı olacak şekilde tuz uygulanan bitkilerde artmış tuzla birlikte liquiritin uygulanan bitkilerde tuz stresine maruz kalan bitkilerden daha yüksek sonuçlar vermiştir.

HUE değeri yüksek olan yaprak lahana bitkilerinde (rengi mor) rengin koyulaştığı görülmüştür. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde mor rengin azaldığı ve kontrol bitkilerinde HUE değerinin arttığı yani mor rengin arttığı görülmektedir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda tuz stresine maruz kalan bitkiler ve hümitik - fülvik asit uygulaması aynı grup içerisinde. Yani fulvik asitin tuz stresi üzerine etkisi olmamıştır. AMF, aminoasit ve kitosan kullanımı tuz stresinin etkisini azaltmış ve bu uygulamalarda tuz stresi ve kontrol bitkileri arasında değerler gözlemlenmiştir. Vermikompost kontrol bitkileri ile aynı grup içerisinde yer almış ve stres etkisini yok saymıştır. PGPR biyogübresesi kontrolden daha mor bitkiler oluşturmuştur (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.18. Yaprak lahanada tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının nitrat, vit-c ve enzimatik olmayan antioksidantların içeriği üzerine etkileri

Uygulamalar	Nitrat(mg kg KA ⁻¹)	Vit C(mg100g TA-1)	Fenol(mg GA 100g TA-1)	Flavonoid (mg RU 100 g TA-1)	HUE
Kontrol	563 d	16,70 d	22,34 b	26,50 a	329.15 ab
Tuz	553 d	17,19 c	23,85 a	26,13 ab	301.66 e
Tuz+Aminoasit	622 b	16,19 e	24,51 a	22,26 e	316.08 cd
Tuz+PGPR	629 b	16,57 d	21,27 cd	24,36 d	331.27 a
Tuz+FA	753 a	15,21 f	19,24 e	24,36 d	306.33 e
Tuz+Kitosan	17.68	0.335	0.80	0.43	314.33 d
Tuz+AMF	751 a	17,47 c	21,63 bc	26,53 a	320.03 c
Tuz+Vermikompost	0.001	0.001	0.001	0.001	326.00 b
LSD	594 c	18,96 b	24,61 a	26,03 b	32.58
P	593 c	19,34 a	20,82 d	25,20 c	0.001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyaran Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar,HA-FA:Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark (p < 0.05). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.3.4. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkileri

Makro Elementler

Azot seviyesi yaprağı yenen sebzelerde önemlidir. Kontrol bitkileri ile tuz stresine maruz kalmış yaprak lahanalar karşılaştırıldığında tuz stresinin azot içeriğini azalttığı görülmüştür. Biyostimulant uygulamalarının tuz uygulamasına kıyasla azot içeriğini arttırdığı tespit edilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda aminoasit ve PGPR biyostimulantları azot içeriğini kontrolden yüksek bir seviyeye taşımıştır ve AMF biyostimulantı kontrol ile aynı seviyededir (Çizelge 4.18). Bu biyostimulantların kullanımı tuz stresi etkisini yoksaymıştır. Cova ve ark. (2017) hidrofonik sistemde tuzlu besin çözeltisi ile yetiştirilen marullarda NO_3 içeriğinde azalma ve Cl^- içeriğinde artış gözlemlenmiştir. Borgognone ve ark. (2016) köklerdeki yüksek Na^+ ve Cl^- içeriklerinin birçok damarlı bitkide net emilim oranını ve sürgünlere nitrat translokasyonunu azalttığını bildirmiştir.

Çizelge 4.18 incelendiğinde tuz stresinin fosfor alımını azalttığı görülmüştür. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda fosfor alımı en yüksek kontrol bitkilerinde bulunmuş fakat fulvik asit biyogübresi tuz stresine karşı biyostimulant uygulamalarının stres etkisini azalttığı görülmüştür. Vermikompost, PGPR, yapılan istatistik analiz sonucunda kontrol ile aynı grupta yer almıştır. Oliveira ve arkadaşları (2023) tuz stresine bağlı olarak lahanadaki yaprak P içeriğinin azaldığı da gözlemlenmiştir. Santos ve arkadaşları (2017) P içeriğindeki azalmanın, su tuzluluğunun P çökmesine neden olması veya bunun diğer besin maddeleri ile antagonizmasının neden olabileceğini bildirmiştir.

Tuz stresinin potasyum alımını azalttığı çizelgede görülmüştür. Tuz uygulanan bitkilerde kontrole göre potasyum seviyesi düşmüş, biyostimulant uygulamalarının tuz stresini azaltıcı etkisi potasyum içeriğini arttırdığı görülmüştür. Vermikompost ve kitosan biyostimulantları tuz stresine maruz kalmasına rağmen kontrolden daha yüksek sonuçlar elde etmiş ve stres etkisini yoksaymıştır. Bunun yanı sıra aminoasit ve PGPR biyostimulantları yapılan istatistiksel analiz sonucunda kontrol bitkileriyle aynı grupta yer almış ve tuz stresine karşı olumlu sonuçlar göstermiştir (Çizelge 4.18). 5dSm^{-1} lik tuz stresinin K içeriğinde %29'luk bir azalışa sebep olduğunu belirten Akram ve arkadaşları biyostimulant kullanımı ile bu stresin şiddetinin etkisini azaltmayı başarmıştır (Akram ve ark.,2022). Tuza maruz kalmış bitkilerin büyüme performansının azalması, bitkilerde Na^+ birikiminin artması ve K iyonlarının seviyesinin azalması nedeniyle iyonik homeostazisin bozulmasıyla ilişkili olabilir. Uygulanan biyostimulanlar ile K seviyesi artış göstermiş, kontrol seviyelerine yaklaşmış hatta önüne geçmiştir.

Tuz stresinin diğer mineral madde alımlarında olduğu gibi kalsiyum içeriğini de olumsuz bir şekilde etkilediği tuz uygulanan bitkilerle kontrol bitkileri karşılaştırıldığında görülmektedir (Çizelge 4.18). Tuz stresine maruz kalan tüm uygulamalar kalsiyum miktarı açısından kontrol bitkilerinden daha düşük sonuçlar vermiştir. Fakat biyostimulantların tuz stresini tamamen yoksaymak işlevini yerine getiremese de bu stresi kalsiyum alımı açısından azaltmıştır. Uygulamalar arasında kontrole en yakın iki uygulama; PGPR ve vermikompost uygulaması göze çarpmaktadır. Kalsiyum içeriği tuz stresi etkisinde biyostimulantların kullanımı ile artış göstermiştir (Akram ve ark.,2022).

Magnezyum alımı kalsiyumda olduğu gibi en yüksek tuz stresine maruz kalmayan kontrol bitkilerindedir. Magnezyum içeriği tuz stresi uygulanmış bitkilerde düşük miktarda oluşmuş ve

uygulanan biyostimulantların tamamı magnezyum alımını arttırmıştır (Çizelge 4.18). Kontrol bitkilerine en yakın sonuçlar kitosan ve vermikompost uygulamalarından elde edilmiştir. Akram ve ark. çin lahanasında elde ettiği magnezyum içeriği sonuçları, sonuçlarımızla uyumludur. Ayrıca, artan Ca ve Mg alımı muhtemelen proteinlerin ve klorofilin biyosentezini arttırmış, enzimatik aktiviteyi yukarı doğru düzenlemiş, membranöz bütünlüğü korumuş, iyonik homeostazı geliştirmiş ve optimum fotosentez için gereken düşük Na / K oranını ayarlamıştır.

Tuz stresi uygulaması sonucunda Na alımı incelendiğinde tuz uygulaması en yüksek sonucu oluşturmuştur. Tuz stresine maruz kalmayan bitkilerde Na içeriği en düşük sonuçları vermiştir. Na oluşumu tuz stresine maruz kalan ve buna karşı vermikompost ve aminoasit kullanılan bitkilerde en yüksek sonucu oluşturmuştur. Sodyumun en düşük olduğu tuz stresine karşı vermikompost kullanılan uygulamada K alımı incelendiğinde en yüksek sonucu oluşturmuştur. K/Na oranı en yüksek uygulama da biyostimulant olarak vermikompost eklenen uygulamadır. K/Na oranının tuz stresinin etkisini gösteren bir oran olarak görebiliriz ve K/Na oranı ne kadar düşüğe stres o kadar şiddetli olmaktadır. El-Shazly ve arkadaşlarının AMF ve humik asitle birlikte alg içeren bir biyostimulantın kanolada tuz stresi üzerine kombine etkisinin incelendiği araştırmada K/Na oranının tuz stresinin etkisini azalttığını bildirmiştir ve K/Na oranı biyostimulant uygulanması ile artmıştır (El-Shazly ve Mona M., 2020).

Tuz stresi (2,5 ve 5 dS m⁻¹), sodyum içeriğini artırarak ve potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi bitki besin maddelerini azaltarak iyonik fitotoksositeye neden olmuştur (Akram ve ark. 2022). Lahanaların tuz stresine tepkilerinin karşılaştıran Pavlovic ve arkadaşları kök ve yaprak bölgesinde Na ve K analizleri yapıp Na/K oranı hesaplamıştır. Çin Lahanası, beyaz lahana ve kale lahanaların karşılaştırıldığı çalışmada kök bölgesinde en yüksek Na/K oranı kale bitkilerinde iken yapraklarda en düşük Na/K oranı yine kale bitkilerinde bulunmuştur. Oluşturduğu MDA oranında kök ve yapraklarda en düşük kale bitkilerindedir.

Tuzlu su stresi ve kalsiyum nitrat altında mineral beslenme ve topraksız lahana(kale) üretimi adlı çalışmasında Oliveira ve ark. (2017) kaleleri farklı günlerde hasat etmişler ve element analizleri yapmışlardır. 50. Günde yapılan analizde tuza maruz kalan bitkilerin azot alımının düştüğü görülmektedir. Aynı zamanda tuza maruz kalma süresinde azot alımını şiddetli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Fosfor alımında ise tuz stresi uygulamanın 50. günde de 120 gün sonunda da tuza fazlasıyla maruz kalan bitkilerde fosfor alımı azalmıştır. Fakat artırılmış Ca(NO₃)₂ uygulaması fosfor alımını arttırmıştır. Potasyum alımı tuz stresine karşı şiddetli azalmalar yaşamıştır. Fakat 50 günde en yüksek tuz seviyesinin uygulandığı bitkiler 26.25 g kg⁻¹ K içerirken 120 gün sonunda 30.44 g kg⁻¹ K içeriğine artış göstermiştir. Bu sonuç lahana bitkilerinin uzun vadede tuz stresine karşı geliştirdiği savunma mekanizması sonucunda K/N oranının arttığına işaret ediyor olabilir. Kalsiyum alımı tuz stresi etkisi ile azalmıştır. Fakat 50 günde tuz stresine maruz kalan bitkiler 13.22 g kg⁻¹ Ca içeriği oluşturmuşken 120. Günde hasat edilen ve strese maruz kalmış bitkiler 17.32 g kg⁻¹ Ca oluşturmuştur.

Çizelge 4.19. Yaprak lahanada tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının mineral madde içeriği üzerine etkileri(Makro) (%)

Uygulamalar	N	P	K	Ca	Mg	Na
Kontrol	4.73 b	0.56 a	7,02 bc	10.73 a	6.36 a	0.31 f
Tuz	3.32 e	0.27 d	2,97 d	5.23 d	3.56 d	2.64 a
Tuz+Aminoasit	5.51 a	0.36c	7,09 bc	6.96 bc	4.50 c	0.90 de
Tuz+PGPR	5.25 a	0.53 a	7,26 bc	8.13 b	4.36 cd	0.98 d
Tuz +FA	4.22 d	0.28 d	6,48 c	6.03 cd	3.60 d	1.69 b
Tuz+Kitosan	4.21 d	0.37 c	8,70 a	6.00 cd	5.46 b	1.16 c
Tuz+AMF	4.63 bc	0.43 b	7,30 b	6.03 cd	4.36 cd	1.1 c
Tuz+Vermikompost	4.29 cd	0.54 a	8,56 a	7.90 b	5.36 b	0.81 e
LSD 0.05	0.3490	0.0524	0,94	1.49	0.85	0.11
P	0.001	0.001	0,001	0.001	0.001	0.0001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Mikro Elementler

Bakır alımı en yüksek PGPR biyostimulantından elde edilmiştir. Yapılan uygulamalar sonrasında PGPR uygulaması yapılan istatistik analiz sonucunda kontrol bitkileri ile aynı grupta yer almıştır. Kontrol bitkilerine en yakın bakır içeriği kitosan ve AMF uygulamalarında bulunmuştur. Tuz uygulamasının kontrole göre daha düşük sonuçlar vermesi tuz stresi etkisinin bakır alımını olumsuz yönde etkilediği ve biyostimulant uygulamalarının tuz stresi etkisini azalttığı ya da tamamen yok saydığı görülmektedir (Çizelge 4.19). Aminoasit bazlı yeni bitki büyüme biyostimulantlarının kışlık buğday verimi ve tane kalitesi üzerine etkisi çalışmasıyla Popko ve ark. (2018) biyostimulant kullanımının tahıllardaki besin içeriğinin, özellikle bakırın (%31-50 aralığında), ayrıca sodyum (%35-43), kalsiyumun (%4,3-7,9) artmasına da katkıda bulunduğunu belirtmiştir.

Demir alımı en yüksek tuz stresine karşı PGPR biyostimulantı uygulanan bitkilerde görülmüştür. Kontrol bitkileri ile tuz uygulaması kıyaslandığında tuz stresinin demir alımını düşürdüğü görülmüştür. Çizelge 4.19'a göre demir alımında tuz stresine karşı AMF uygulanması bir fark oluşturmamıştır fakat AMF dışındaki bütün biyostimulantlar tuz stresinin etkilerini azaltmıştır. PGPR uygulaması dışındaki diğer biyostimulant uygulamaları istatistiksel analiz sonucuna göre demir alımında tuz uygulaması ve kontrol bitkileri arasında değerler göstermiştir (Çizelge 4.19).

Bir mikro element olan mangan alımını incelediğimizde tuz stresine maruz kalan bitkiler, maruz kalmayanlarla kıyaslandığında azalmıştır. En yüksek mangan alımı PGPR uygulanan bitkilerde en düşük ise tuz uygulamasında görülmüştür. Yapılan istatistik analizi sonucunda vermikompost uygulaması kontrolle aynı grupta yer almıştır ve fulvik asit dışındaki bütün biyostimulant uygulamaları mangan alımında tuz stresi etkisini yoksaymış ya da azaltmıştır (Çizelge 4.19).

Tuz uygulamasının çinko alımı kontrol bitkileri ile kıyaslandığında daha azdır. Yani tuz stresine maruz kalan bitkilerde çinko alımı olumsuz yönde etkilenmektedir. En yüksek çinko alımı diğer mikro elementlerde olduğu gibi PGPR uygulamasında bulunmuştur. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda

vermikompost ve AMF uygulamasının tuz stresine etkisi görülmezken; aminoasit, kitosan ve fulvik asit uygulaması kontrol ile tuz arasında değer almış yani stres etkisi azaltıcı etki göstermiştir (Çizelge 4.19).

Helaly ve ark. (2022) büyümeyi teşvik eden PGPR'lerin lahana bitkilerinin büyümesi, besin bileşimini inceledikleri çalışmada demir içeriğinin PGPR eklenen bitkilerde kontrol bitkilerine göre daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir. Bakır ve çinko alımı da kullanılan PGPR'lerin tamamında artmıştır. Bakteri olarak *Pseudomonas koreensis*, *Ralstonia pickettii* ve *Bacillus cereus* kullanılmıştır. PGPR'ların bitki büyümesini teşvik etmek için kullandığı en önemli mekanizmalardan biri oksin üretimidir. Biyostimulant uygulaması ile lahana yapraklarında birçok biyostimulantın mikro element alımlarını arttırdığı görülmüştür. Bu artış rizosferdeki biyostimulantlar tarafından ortamın pH seviyesini düşüren ve Mg, Fe, Zn, Cu yarıyışlılığını uyaran organik asitlerin üretilmesiyle açıklanabilir (Desai ve ark. 2012; Bhatt ve Maheshwari 2020).

Çizelge 4.20. Yaprak lahanada tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının mineral madde içeriği üzerine etkileri(Mikro) (ppm)

Uygulamalar	Fe	Mn	Zn	Cu
Kontrol	93.54 b	32.78 b	52.81 b	13.80 a
Tuz	43.85 f	15.44 d	23.24 e	2.15 d
Tuz+Aminoasit	64.41 d	26.28 c	46.18 c	3.29 d
Tuz+PGPR	110.09 a	43.15 a	74.54 a	15.50 a
Tuz +FA	51.76 e	19.82 d	38.66 d	6.44 c
Tuz+Kitosan	62.65 d	25.98 c	42.37 cd	8.56 b
Tuz+AMF	42.29 f	15.96 d	22.56 e	7.66 bc
Tuz+Vermikompost	73.20 c	31.52 b	22.22 e	6.10 c
LSD 0.005	5.78647	4.85259	6.292	1.922
P	0.001	0.001	0.001	0.001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyaran Kök Bakterileri, AMF: Arbüsküler Mikorizal funguslar,HA-FA:Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.3.5. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Verim Üzerine Etkileri

Yaprak lahanalarda tuz stresine karşı biyostimulant kullanımının verim üzerindeki etkileri incelendiğinde tuz stresinin yüksek verim kaybına neden olduğu görülmektedir. Tuz stresine karşı uygulanan biyostimulantların tamamının tuz stresi etkisini azalttığı görülmektedir (Çizelge 4.21). Kontrol bitkileri ile karşılaştırıldığında ise biyostimulantlar fulvik asit uygulaması dışında istatistiksel olarak aynı grupta veya kontrolden daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Lee ve ark. (2019) Kimchi lahanasında sıcaklık stresi etkisini azaltmak adına yapraktan biyostimulant uyguladıkları denemede baş ağırlığını 2184 gramdan 3806 grama yükseltmiştir.

Çizelge 4.21. Yaprak lahanada tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının verim üzerine etkileri

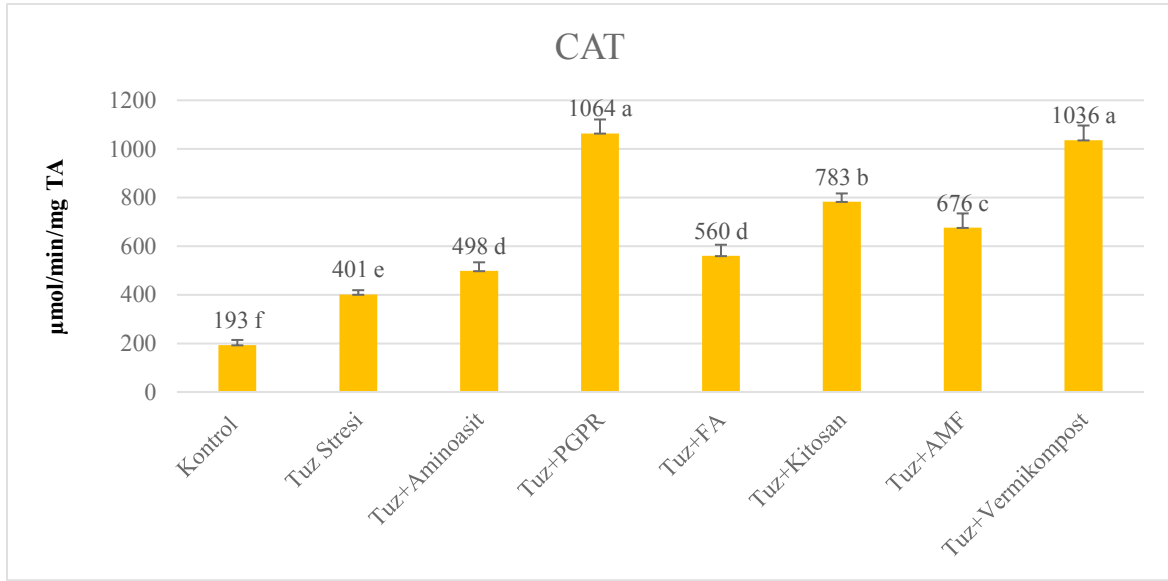
Uygulamalar	Verim (kg/m ²)
Kontrol	3731c
Tuz	2821 e
Tuz+Aminoasit	3572 c
Tuz+PGPR	4566 a

Tuz +FA	3250 d
Tuz+Kitosan	3636 c
Tuz+AMF	4018 b
Tuz+Vermikompost	4012 b
LSD _{0.05}	212.84
<i>P</i>	0.0001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

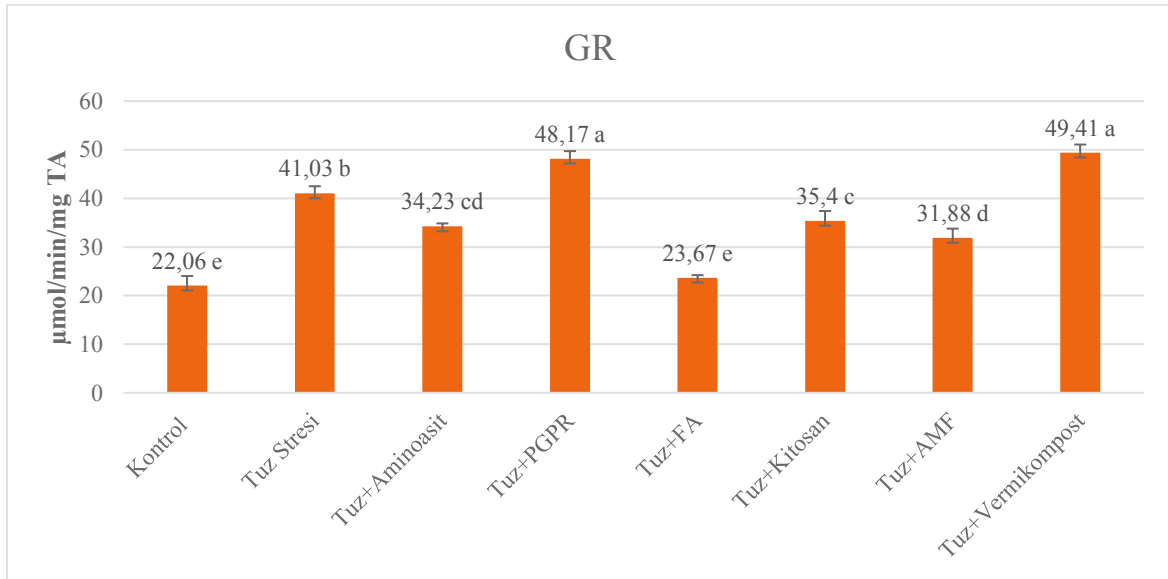
4.3.6. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Enzimatik Antioksidantlar Üzerine Etkileri

Tuz stresine maruz kalan bitkilerde enzimler aktivitesi çok önemlidir. Bitkinin strese verdiği tepkiler enzim aktivitesiyle doğrudan ilişkilidir. Bitkiler strese karşı direncini bu enzimlerin bitki içinde sentezlenmesiyle arttırmaktadır. CAT, APX ve GR enzimlerinin sentezi bitkilerde strese karşı toleransı arttırmaktadır. Bitki metabolizması, tuzluluğun neden olduğu ozmotik stres, Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarının toksisitesi gibi faktörlerle engellenen reaktif oksijen türleri (ROS) tarafından baskılanır. Bu durum, bitki büyümesini, çeşitli fizyokimyasal özellikleri ve verimliliği olumsuz yönde etkiler (Elsayed ve ark.2020; Rady ve ark. 2021, Alam ve ark.,2021, Mümtaz ve ark,2021, Hasan ve ark.,2021). Bitkiler, ozmotik ve iyonik stresle başa çıkmak için biyokimyasal mekanizmalarını değiştirir ve savunma mekanizmalarını uyarmak için daha fazla bileşik sentezler. Bu, düşük moleküler ağırlıklı antioksidanlardan uyumlu çözünür maddelere kadar çeşitli bileşiklerin üretilmesini içerir (Munns ve ark, 2008, Afzal ve ark., 2020). Tuz stresi altında, bitkiler ROS'ları ortadan kaldıran enzimlerin -örneğin süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR) gibi- üretimini artırarak savunma mekanizmalarını harekete geçirir (De Azevedo ve ark.,2006; Abdel Latef ve ark., 2019). Biyostimulanlar, bitkilerin kuraklık, aşırı sıcaklık ve tuzluluk gibi abiyotik streslere karşı toleransını artırarak bitkilerin stres kaynaklı hasarından kurtulmalarına yardımcı olur (Bulgari ve ark., 2019).



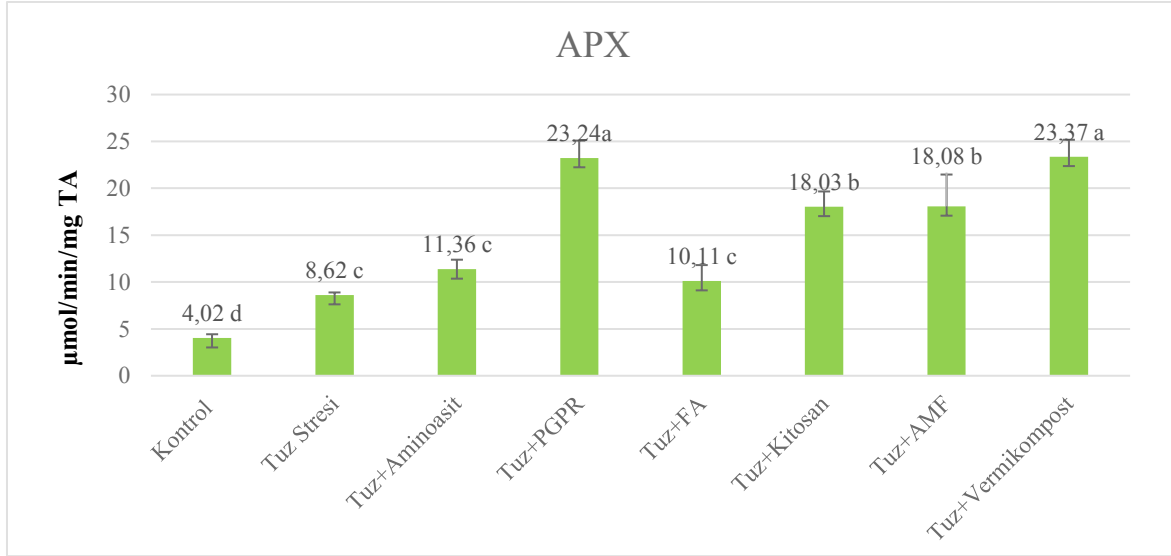
Şekil 4.13. Yaprak Lahana biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı CAT üretimi. CAT: Katalaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Yapılan analizler göstermektedir ki tuz stresine maruz kalan bitkilerde kontrole göre artan CAT miktarı biyostimulant uygulanan tüm bitkilerde aktivitesini daha da arttırmış ve strese karşı savunma düzeyini arttırmıştır. Özellikle PGPR ve vermikompostndeki artış bu zamana kadar değerlendirilen tüm fiziksel parametreleri (bitki boyu, yaprak alanı vb.) ve yapılan birçok ölçümü destekler niteliktedir. Desoky ve ark. 2021 yılında biyostimulant uygulamalarının antioksidan mekanizmasını güçlendirerek, çeşitli abiyotik stresler altında bakla fasulyesinde yaptığı çalışmada mısır tanesi veya propolis ekstraktını yapraklara püskürtmüştür. Tuz, kuraklık ve kadmiyum ağır metal stresi uygulanan bitkilerde üç stres uygulamasında da SOD, CAT ve APX seviyesi biyostimulant uygulamalarıyla birlikte artmıştır.



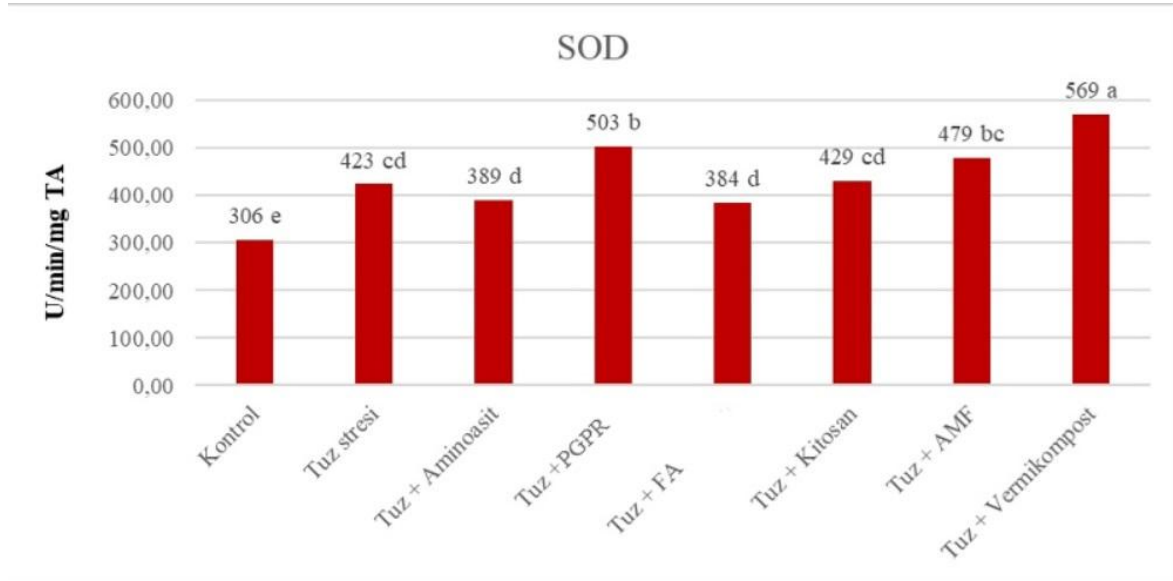
Şekil 4.14. Yaprak Lahana biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı GR üretimi. GR: Glutathione Redüktaz Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Tuz stresine maruz kalan bitkilerde strese karşı savunma mekanizması olarak GR artmıştır. Rizosferde bulunan bazı faydalı mikroorganizmaların, bitkilerde sistemik savunma ve tolerans mekanizmalarını tetiklediği veya çeşitli çevresel streslere karşı bitkilerin koruyucu tepkilerini önceden belirlediği gösterilmiştir (Nefali ve ark., 2020). Vermikompost ve PGPR uygulaması bu faydalı mikroorganizmaların etkilerini GR içeriğini arttırarak göstermişlerdir. Rehman ve ark. 2021’de buğdayda yaptığı çalışmada sıralı olarak glutasyon ve moringa yaprağı ekstraktının tuz stresine etkisi araştırılmış glutasyon uygulanan bitkilerde stresin etkisinin azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.15. Yaprak Lahana biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı APX üretimi. APX: Askorbat Peroksidaz, Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Tuz stresine maruz kalan bitkilerde strese karşı savunma mekanizması olarak APX içeriği tuz stresi uygulanmayan kontrol bitkilerine göre artış göstermiştir. *Saccharum officinarum L.* bitkisinde yapılan bir çalışmada hümitik asit uygulaması yapılmış, 90 gün sonra sulamaya 21 gün süreyle ara verilmiş (%13'e kadar nem içeriği) ve stres etkileri incelenmiştir. SOD, CAT ve APX aktiviteleri rehidrasyondan sonra hem kökte hem de yapraklarda daha yüksektir (Aguiar ve ark.,2016).

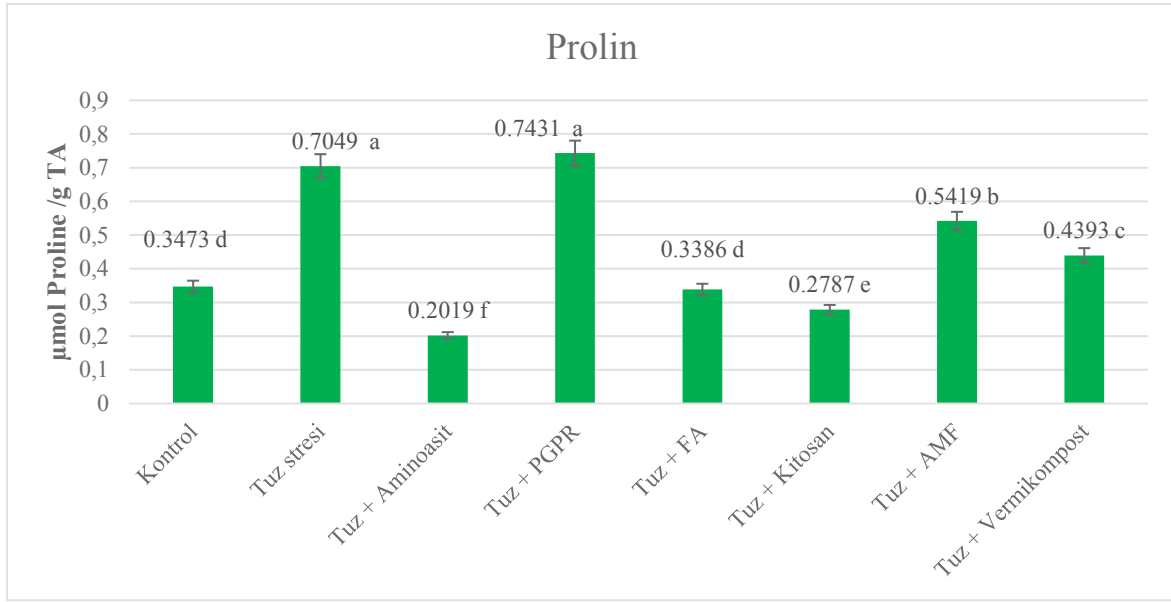


Şekil 4.16. Yaprak Lahana biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı SOD üretimi

SOD: Süperoksit Dismutaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

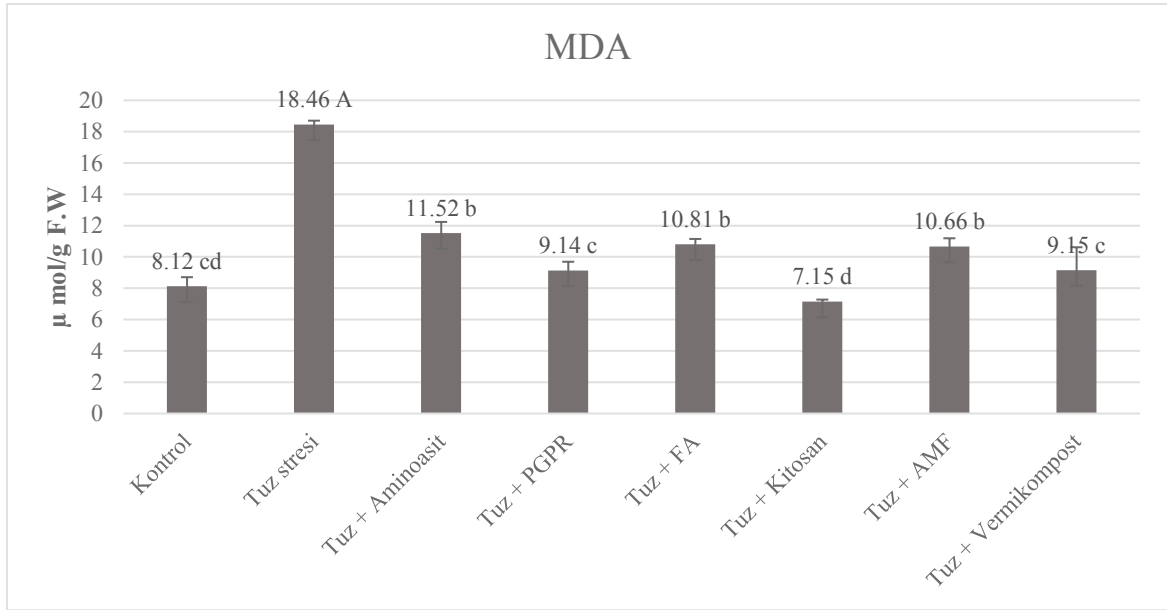
4.3.7. Yaprak Lahana Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Prolin ve MDA Üzerine Etkileri

H Mısır ve soyada yapılan bir çalışmada 10 haftalık büyümeden sonra kalıcı solma noktasına yakın ($-1,5$ MPa) strese maruz bırakılmış humik ve fulvik asit karışımı uygulanmış SOD, CAT ve APX aktiviteleri arttı. *Cucumis sativus* L. ile yapılan bir çalışmada 50 mmol L^{-1} tuz stresine maruz bırakılmış, vejetatif aşamada 5-aminolevulinic acid asit uygulaması 25 mg L^{-1} konsantrasyonunda uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda H_2O_2 ve MDA düzeyleri azalmış, AAO (askorbik asit oksidaz), APX, MDHAR (mono de hydro ascorbate reductase) ve DHAR (de hydro ascorbate reductase) aktivitesi artış göstermiştir. Yapılan bir araştırmada biyostimulant olarak liquiritin kullanımı tuz stresine maruz kalan bitkilerde CAT ve SOD oranını arttırmıştır (Akram ve ark.,2022)



Şekil 4.17. Yaprak Lahana biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı prolin üretimi. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Amato ve Buono'nun 2021'de mısır bitkilerinde tuz stresini azaltmak için biyostimulant kullanımının etkisini göstermek amacıyla yaptığı çalışmada 100mM tuz stresine karşı Megafol(Meg) adlı bir biyostimulant kullanmış Meg'in tuz alımını azalttığını tespit etmiş ve tuz stresi uygulanan bitkilerde MDA oranı en yüksek iken Meg uygulaması MDA üretimini azaltarak ta cevap vermiştir. Akram ve ark.tuz stresi şiddeti arttıkça prolin miktarının arttığını ispatlamış ayrıca tuz stresine karşı liquiritin uygulamasının 2.5 dSm^{-1} ve 5 dSm^{-1} yoğunluktaki iki uygulamasında da daha yüksek sonuçlar elde ettiği görülmüştür. Aynı zamanda bu biyostimulant MDA ve H_2O_2 oluşumunu da düşürmüştür (Akram ve ark. 2022). Pavlovic ve ark. 200 mM NaCl'ye maruz kaldıktan sonra Çin lahanası, beyaz lahanası ve lahanası köklerinde prolin düzeylerinde kontrollere göre sırasıyla 9,6-, 5,7- ve 8,2 kat ve yapraklarında sırasıyla 15,6-, 39,7- ve 13,9 kat artış tespit etmiştir. Tüm tuz konsantrasyonlarında Çin lahanası köklerinde ve daha yüksek tuz konsantrasyonlarında (100 ve 200 mM NaCl) beyaz lahanası köklerinde MDA içeriğini önemli ölçüde etkilenmiştir. Ayrıca en yüksek iki tuz konsantrasyonu (100 ve 200 mM), karşılık gelen kontrollere göre üç brassica türünün yapraklarındaki MDA seviyelerini arttırdı (Pavlovic ve ark.,2019).



Şekil 4.18.Yaprak Lahana biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı MDA üretimi. MDA: Malondehaldehit. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.4. Fesleğen

4.4.1. Fesleğende Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Bitki Büyüme Ölçümleri Üzerine Etkileri

Fesleğen bitkisinin boyu tuz stresine maruz bırakıldığında azalmıştır. Kontrol bitkilerinin boyu 29.33 iken tuz stresine maruz kalan bitkilerde 15.33 cm'e kadar düşmüştür. Tuz stresine karşı biyostimulantların etkisi Çizelge 4.22'te gösterilmektedir. Bitki boyu verileri detaylı olarak incelendiğinde tuz stresine karşı kullanılan fulvik asit haricindeki tüm biyostimulantlar kontrol bitkilerinden de daha uzun bitkiler oluşturmuştur. 41.33 cm ile PGPR uygulaması en yüksek sonucu vermiş, yapılan istatistiksel analiz sonucunda vermikompost ve kitosan uygulaması da bitki boyu açısından aynı grupta yer almıştır.

Yaprak sayısı su kültürü fesleğen yetiştiriciliğinde en önemli parametrelerdendir çünkü fesleğen su kültüründe birden fazla hasat edilmektedir. Yaprak sayısı tuz stresine maruz kalan bitkilerde kontrole göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Yaprak sayısı biyostimulantların tuz stresine karşı kullanımında başarılı bulunmuş biyostimulant uygulanan bitkilerin tamamı tuz stresinden daha yüksek sonuçlar elde etmiştir. Aynı zamanda biyostimulantların uygulanması kontrolden de daha fazla sayıda yaprak sayısı oluşturmuş ve stres etkisini azaltmış veya yok saymıştır.

Gövde çapı tuz stresine maruz kalan fesleğen bitkilerinde kontrole göre bir değişim göstermemiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda biyostimulantların uygulanması da gövde çapı açısından değişiklik meydana getirmemiştir.

Hem kuraklığın hem de tuzluluğun zararlı etkisi, stresli bir faktörün ortaya çıkma zamanlamasına, yoğunluğuna ve süresine bağlıdır (Munns, 2002; Tuberosa, 2012); ancak stres uzun sürerse bitki büyümesi ve üretkenliği ciddi şekilde azalır (Osakabe ve ark., 2014). Lazarevic ve ark.

(2021) fesleğende yaptıkları çalışmada tuz ve kuraklık stresi uygulamış ve bu stres etkilerinin bitki boyunda azalmaya yol açtığı görülmüştür. Fesleğen 2,30 dS/m'ye kadar tuzluluğa toleranslıdır, 3,80 ve 6,08 dS/m tuzluluğa orta derecede duyarlıdır ve 8,48 dS/m veya daha yüksek tuzluluğa duyarlıdır (Maia ve ark., 2017).

Çizelge 4.22. Fesleğende tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının bitki büyüme ölçümleri üzerine etkileri

Uygulamalar	Bitki Boyu(cm)	Yaprak Sayısı (Adet/bitki)	Gövde Çapı (mm)
Kontrol	29.33 de	14.66 c	6.34
Tuz	15.33 f	10.66 d	6.1
Tuz+Aminoasit	33.33 cd	20.00 ab	6.51
Tuz+PGPR	41.33 a	20.33 ab	7.15
Tuz+FA	25.66 e	13.33 c	6.27
Tuz+Kitosan	37.33 ac	18.33 b	6.33
Tuz+AMF	36.66 bc	14.00 c	6.66
Tuz+Vermikompost	39.66 ab	21.33 a	6.61
LSD 0.05	0.0001	0.0001	Ö.D.
P	4.21	2.26	Ö.D.

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.4.2. Fesleğende Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Kalite Ölçümleri Üzerine Etkileri

Kuru madde miktarı fesleğen bitkilerine uygulanan tuz stresiyle birlikte yükselmiştir. Kontrol bitkilerinde %6.97 olan kuru madde miktarı tuz stresi uygulanan bitkilerde %9.84'e yükselmiştir. Biyostimulantların uygulanması kontrol bitkilerine göre bütün bitkilerde kuru madde miktarını arttırmıştır. En yüksek kuru madde miktarı %12.93 ile vermikompost uygulamasında bulunmuştur (Çizelge 4.23).

Hue değeri renk skalasını ifade etmektedir. Tuz stresi uygulanan bitkilerde HUE değeri artmıştır, yani bitkinin mor rengi daha fazladır. 360 dereceye yaklaşıldıkça mor renk artmaktadır. En düşük HUE değerleri kontrol ve tuz uygulamalarında bulunmuş ve biyostimulant uygulamaları mor rengi arttırmıştır (Çizelge 4.23). Doğal biyostimulanların verim ve kaliteyi artırdığı, fotokimyasal verimliliği arttırdığı ve fotosentetik pigmentleri koruduğu bilinmektedir (Michalak ve ark., 2021).

Çizelge 4.23. Fesleğinde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının kalite ölçümleri üzerine etkileri

Uygulamalar	Kuru Madde (%)	HUE değeri
Kontrol	6.97 e	307.65 d
Tuz	9.84 d	310.03 cd
Tuz+Aminoasit	10.90 c	313.25 b
Tuz+PGPR	11.77 b	319.72 a
Tuz+FA	9.47 d	307.82 d
Tuz+Kitosan	9.51 d	312.89 b
Tuz+AMF	10.84 c	311.89 bc
Tuz+Vermikompost	12.93 a	318.60 a
LSD 0.05	0.0001	0.0001
P	0.8	2.64

4.4.3. Fesleğinde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Fizyolojik Ölçümler Üzerine Etkileri

Yaprak stoma iletkenliği tuz stresine maruz kalan bitkilerde kontrol bitkilerine göre azalmıştır. Tüm uygulamalar kontrol bitkileri ile tuz uygulaması arasında değerler göstermiştir. Diğer uygulamalarla kıyaslandığında PGPR biyogübresinin etkinliği stoma iletkenliğini en fazla arttıran uygulamadır. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda vermikompost ve AMF uygulaması tuza ve diğer uygulamalara kıyasla PGPR'den sonra artış gösteren uygulamalardır. Aminoasit, Fulvik asit, Kitosan ve tuz uygulamaları aynı istatistiksel grup içerisinde. Consentino ve ark., (2023)'de yayınladıkları Biyostimülanların, N seviyesinin ve kuraklık stresinin serada yetiştirilen fesleğenin verim, kalite ve fizyolojisi üzerine birleşik etkileri adlı çalışması ile üç kuraklık stres seviyesinin (tarla kapasitesinin %100, %80 ve %60'ı) dört N besleme oranı (0, 50, 100 ve 150 kg ha⁻¹) ile Kelpstar deniz yosunu ekstraktı ve Tyson protein hidrolizatının etkileşimli etkisi araştırılmıştır. Deniz yosunu ekstraktı uygulaması verimde (+%17,5), stoma iletkenliğinde (+%25,8), WP'de (+%13,5), toplam klorofilde (+%2,3), nitratta (+%3,4), fenoliklerde (+14,2), kontrole kıyasla askorbik asit (+28,2) artış sağlamıştır. Benzer şekilde, bitkisel protein hidrolizatı verimi (+16,1), stoma iletkenliğini (+10,4), WP'yi (+13,7), toplam klorofili (+4,3), fenolikleri (+%10,7), askorbik asidi (+%9,7) arttırmıştır.

Yaprak oransal su içeriği tuz stresi uygulanan fesleğenlerde kontrol bitkilerine göre düşüş göstermiştir. Yaprak oransal su içeriği en yüksek PGPR uygulamasında elde edilmiştir ve yapılan istatistiksel analiz sonucunda vermikompost ile aynı grup içinde yer almaktadır. Bu iki biyogübre kontrol bitkilerinden daha yüksek sonuçlar vermiştir. Diğer biyogübreler kontrol ve tuz arasında değerler göstermiş ve tuz stresi etkisini azaltmıştır. Taha ve ark., (2023) polen taneleri ekstraktı kullanılarak *Ocimum basilicum*'da kuraklık stresine karşı toleransın artırılması için yaptıkları çalışmada bitki performansını ve antioksidan savunma sistemini düzenleyen doğal bir biyostimülant başlıklı makalede Hurma poleni taneleri ekstraktının stresli bitkilere uygulanması, büyüme özelliklerini ve uçucu yağ, yaprak fotosentetik pigmentleri, çözünür şekerler, serbest prolin ve askorbik asit içeriğini önemli ölçüde iyileştirdiğini belirlemişlerdir. Antioksidan enzim aktiviteleri, bağıl su içeriği (RWC), WUE ve anatomik

özellikler de iyileştirilirken, elektrolit sızıntısı ilgili kontrole kıyasla önemli ölçüde azalmıştır. (Taha ve ark.,2023)

Fesleğen bitkilerine uygulanan tuz stresi sonucunda MZİ tuz uygulamasında kontrol bitkilerine göre artış göstermiştir. MZİ'deki artış hücreler arası zararlanmayı ifade eder ve tuz stresine karşı etki gösteren biyostimulantlarda bu değer düşmektedir. PGPR ve vermikompost biyostimulantlarının uygulanması MZİ açısından tuz stresi etkilerini yok saymıştır ve yapılan istatistiksel analiz sonucunda kontrol bitkileri ile aynı grup içerisinde yer almıştır. Diğer biyostimulantlar kontrol ve tuz stresi uygulanan bitkiler ile aynı istatistiksel grup içerisinde yer almışlardır. NaCl birikimi bitki hücre zarlarının bütünlüğünü etkiler, elektrolit sızıntı değerini artırır ve kloroplasta ve diğer hücresel bileşenlere zarar verir (Koca ve ark., 2007; Şahin ve ark., 2018, Türkan ve Demiral, 2019). Biyostimulant alımı, elektrolit sızıntısını azalmıştır (Taha ve ark., 2023).

Çizelge 4.24. Fesleğende tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının fizyolojik ölçümler üzerine etkileri

Uygulamalar	Stoma İletkenliği (mmol/m ² /s)	YOSİ (%)	Membran zararlanma İndeksi (%)
Kontrol	151.66 a	14.26 b	2.35 f
Tuz	52.00 d	9.33 e	6.07 a
Tuz+Aminoasit	56.66 d	11.21 cd	3.22 e
Tuz+PGPR	130.00 b	15.08 a	2.47 f
Tuz +FA	56.66 d	10.57 d	4.55 b
Tuz+Kitosan	54.66 d	11.47 c	3.81 d
Tuz+AMF	77.00 c	11.44 c	4.34 c
Tuz+Vermikompost	82.66 c	14.76 a	2.34 f
LSD 0.05	0.0001	0.0001	0.0001
P	9.98	0.7	0.19

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.4.4. Fesleğende Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Nitrat, Vit-C ve Enzimatik Olmayan Antioksidantların İçeriği Üzerine Etkileri

Nitrat içeriği yaprağı yenen sebzelerin tamamında önemli bir içeriktir. Tuz stresi uygulaması nitrat içeriğini azaltmıştır. Aminoasit bitkilerinde en yüksek nitrat içeriği elde edilmiştir ve nitrati en düşük biyostimulant uygulamaları PGPR ve kitosandır. Diğer biyostimulant uygulamalarının tamamının nitrat içeriği daha yüksek sonuçlar vermiştir. Fesleğen gibi yeşil yapraklı sebzelerin yenilebilir kısımlarında nitrat biriktirme eğilimi vardır ve bu durum insan sağlığı için tehlikeli olabilir (Du ve ark., 2007 ; Gorenjak ve Cencić, 2013).

Vitamin C içeriği tuz stresi uygulanan bitkilerde kontrole göre artış göstermiştir. Tuz stresine maruz kalan tüm bitkiler biyostimulant uygulansa da uygulanmasa da vitamin C içeriği açısından kontrole göre artış göstermiştir. Yapılan istatistik analizi sonrasında en yüksek vitamin C vermikompost, PGPR ve amino asit uygulamalarında bulunmuştur. Askorbik asidin artması fesleğen kalitesi açısından

arzu edilen bir durumdur. Ayrıca fesleğeni bitki dokularına zarar verebilen ve bitki strese maruz kaldığında büyük miktarlarda üretilen reaktif oksijen türlerinden (ROS) korur (Zheng ve ark., 2022).

Toplam fenol içeriğinin tuz stresine maruz kalan bitkilerde kontrole göre arttığı tespit edilmiştir. Toplam fenol tuz stresine karşı biyostimulant uygulanan fulvik asit dışında tüm uygulamalarda yüksek sonuçlar vermiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda en yüksek fenol içeriği vermikompost uygulamasında bulunmuş ve onu PGPR uygulaması takip etmiştir. 2023 yılında yaptıkları Hidrolize hayvan proteini bazlı biyostimulantın tuz stresi altında yetiştirilen Ceneviz ve Yunan tipi fesleğenin birincil, çözünür ve uçucu ikincil metabolizması üzerine etkisi çalışması ile Zamljen ve ark. 100 mM NaCl tuz stresi uygulamışlardır. Biyostimulantın yapraktan uygulanması, Yunan fesleğenin tuz uygulamasına kıyasla daha yüksek glikoz ve askorbik asit içeriği (sırasıyla +%23,8 ve +%25,7) ile sonuçlandı. Fenolik içerik, biyostimulant uygulanan her iki çeşitte de arttı ve çeşit ve uygulamaya bağlı olarak +%73,3 ile +%628,9 arasında değişmiş olduğunu bildirmiştir.

Toplam flavanoid içeriği en yüksek vermikompost ve PGPR uygulamasında bulunmuştur. Toplam flavanoid tuz stresine maruz kalan bitkilerde kontrolden daha fazla üretilmiştir. Toplam flavanoid artışı biyostimulanların eklenmesi ile artış göstermiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda en yüksek flavanoid içeriği vermikompost ve PGPR uygulamasında bulunmuş ve onu aminoasit uygulaması takip etmiştir. Tuz stresine karşı biyogübre uygulamalarının kalite parametrelerinden olan flavanoid içeriğini attırdığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.25. Fesleğende tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının nitrat, vit-c ve enzimatik olmayan antioksidantların içeriği üzerine etkileri

Uygulamalar	Nitrat (mg kg ⁻¹ KA ⁻¹)	Vitamin C (mg100g TA-1)	Fenol (mg GA 100g TA-1)	Flavonoid (mg RU 100 g TA-1)
Kontrol	211.93 a	17.10 d	32.06 g	13.88 f
Tuz	180.00 b	19.13 c	39.46 ef	17.59 e
Tuz+Aminoasit	212.76 a	22.16 ab	46.56 c	22.03 bc
Tuz+PGPR	186.53 b	22.90 a	52.90 b	23.10 ab
Tuz+FA	203.83 a	18.63 cd	37.67 f	19.36 de
Tuz+Kitosan	187.66 b	21.10 b	43.36 cd	20.31 cd
Tuz+AMF	209.33 a	19.43 c	41.16 de	19.91 cd
Tuz+Vermikompost	208.9 a	23.06 a	57.60 a	24.19 a
LSD 0.05	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
P	9.13	1.53	3.2	2.16

PGPR: Bitki Gelişimi Uyaran Kök Bakterileri, AMF: Arbüsküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark (p < 0.05). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.4.5. Fesleğinde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkileri

Makro Elementler

Azot içeriği en yüksek vermikompost ve PGPR uygulamalarında bulunmuştur. Tuz stresi uygulamasının etkileri azot alımında etkilerini göstermiştir. Tuzlu sulama suyunda yetiştirilen bitkilerde kontrole göre daha düşük azot alımı gözlemlenmiştir. Azot alımına biyostimulant uygulamalarının tamamı yardımcı olmuş tuz stresinin etkilerini azaltmanın yanı sıra kontrol grubu ile aynı istatistiksel grup veya daha yüksek azot içeriği oluşturarak azot alımı konusunda tuz stresinden etkilenmemiştir. N alımında gözlemlenen azalma, NaCl ilavesine bağlı olarak yüksek konsantrasyondaki klorür iyonlarına (Cl) atfedilebilir (Oliveira ve ark., 2023).

Fosfor en yüksek vermikompost biyostimulantının eklendiği uygulamada bulunmuştur. Fosfor içeriğinin artışı aynı zamanda tuzlu sulama suyu koşullarında tuz stresine maruz bırakılan fesleğen bitkilerinde aminoasit biyogübresi eklenen uygulamada yapılan istatistiksel analizler sonucunda vermikompost gibi en yüksek sonucu oluşturmuştur. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde fosfor içeriği kontrol bitkilerine göre azalma eğilimi göstermiştir.

Potasyum içeriği PGPR ve vermikompost biyostimulantı eklendiğinde artış göstermiştir. Tuz stresine maruz kalan fesleğenlerde potasyum alımı için kalmayan kontrol bitkilerine göre azalma eğilimi vardır, fakat biyostimulanların uygulanması tuz stresi etkisini fulvik asit eklenmesi ile azaltmış fakat diğer biyostimulantlar ile yoksaymıştır (Çizelge 4.25). Besin çözeltisindeki tuzlu su artışına bağlı olarak K içeriğindeki azalmalar, marulla çalışan. Soares ve arkadaşları, (2016) ve maydanoz ile çalışan Muchecua ve arkadaşları (2022), tarafından belirtilmiştir. K alımındaki azalma, besin çözeltisindeki daha yüksek Na konsantrasyonuna ve bu iyonlar arasındaki antagonistik etkileşime bağlı olarak meydana gelir; bu, alım ve hücre zarına taşınmayı etkiler (Marschner, 2012). Bu nedenle Na^+ alımındaki artışın neden olduğu K^+ içeriğindeki azalma, hücresel homeostazide iyonik bir bozukluğa yol açabilir (Willadino ve Camara, 2010).

Kalsiyum alımı tuz stresine maruz kalan bitkilerde kontrole kıyasla düşmüştür. Kalsiyum içeriği tuz stresine maruz kalsa da biyostimulant uygulanan bitkilerde kontrole aynı istatistik grupta yer almış ya da kontrol bitkilerinden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek kalsiyum içeriği PGPR uygulamasından elde edilmiştir ve yapılan istatistik analiz sonrasında vermikompost uygulamasının PGPR ile aynı istatistik grupta yer aldığı görülmektedir (Çizelge 4.25).

Magnezyum makro elementi içeriği tuz stresine maruz kalan fesleğen bitkilerinde kontrole göre azalma eğilimi göstermiştir. Magnezyum alımına biyogübrelerin etkisi incelendiğinde kök bölgesinde kolonize olarak besin alımını etkileyen PGPR bakterileri ve içinde mikroorganizmaların ve gübrelerin bulunduğu vermikompost uygulaması pozitif etki sağlamıştır. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda bu iki uygulama aynı zamanda en yüksek magnezyum içeriğini oluşturmuştur (Çizelge 4.24).

Sodyum alımı tuz stresine maruz kalan bitkilerde en yüksek sonuçları vermiştir. Kontrolden sonra en düşük sonuçlar PGPR ve vermikompost uygulanan bitkilerde görülmüştür. Tuz stresi etkisinde Na alımında azalma görülen bu uygulamalar K alımında iyileşme yaşamış K/Na oranını dengede tutmuş ve fesleğende tuz stresini etkisini önemli ölçüde azaltmıştır. Ciriello ve ark., (2024) yaptıkları çalışmada NaCl (60 mM) tuz stresine tepkisini ölçmek için farklı direnç potansiyeline sahip üç tür fesleğen (Dark Opal, Italiano Classico ve Purple Ruffles) kullanarak, daha yüksek yapısal osmolit konsantrasyonlarının ve antioksidan moleküllerin fesleğenin tuzlu ortama adaptasyonunu iyileştirdiğini göstermiştir. Purple Ruffles en yüksek ortalama sodyum konsantrasyonuna ve en düşük kalsiyum konsantrasyonuna sahiptir. Elde edilen sonuçlar çalışmamızı destekler durumdadır. Biyostimulant uygulamaları farklı tuzluluk stresi seviyeleriyle kombine edildiğinde şeker, K içeriğini bir miktar artırmış, Na ve prolin içeriğini ise azaltmıştır (Sakr, 2015).

Biyostimulant uygulamalarının yeşil yapraklı sebze üretiminde en önemli elementlerden olan azot üretimini arttırması yetiştiricilik için çok önemlidir. Seyreltilmiş deniz suyu veya tuzlu suların seyreltilerek kullanılması adına biyostimulantların kullanımı ile tuz stresi etkilerinin azaldığı ve hatta bazı uygulamalarla tamamen yok sayıldığı görülmüştür. Bakteri uygulaması yani PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria)'ların kök bölgesinde element alımını kolaylaştırdığı bilinmektedir. Bu etki tuz stresi altında da sürdürdüğü Çizelge 4.25 incelendiğinde net olarak görülmektedir. Aynı zamanda vermikompostta bulunan bitki tarafından alınabilirliği yüksek, çok sayıda ve miktarda mineral madde bulunmakta ve bunu bitkilere iletmekte yardımcı, yararlı mikroorganizmalar bulunmaktadır. Bu mikroorganizmalar kök bölgesinde element alımlarını düzenleyip alımı arttırmaktadır.

Çizelge 4.26. Fesleğende tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının mineral madde içeriği üzerine etkileri(Makro) (%)

Uygulamalar	N	P	K	Ca	Mg	Na
Kontrol	5.35 e	0.75 de	4.05 d	1.66 bc	0.31 de	0.31 f
Tuz	3.53 f	0.44 f	2.13 f	1.09 d	0.18 f	2.64 a
Tuz+Aminoasit	7.23 b	0.91 ab	4.20 cd	1.79 b	0.64 b	0.90 de
Tuz+PGPR	8.56 a	0.88 b	5.84 a	2.80 a	0.73 a	0.98 d
Tuz +FA	5.74 de	0.72 e	3.24 e	1.42 c	0.27 e	1.69 b
Tuz+Kitosan	6.16 cd	0.81 cd	4.75 b	1.87 b	0.45 c	1.16 c
Tuz+AMF	6.52 c	0.83 c	4.63 bc	1.91 b	0.36 d	1.1 c
Tuz+Vermikompost	8.83 a	0.97 a	5.98 a	2.60 a	0.74 a	0.81 e
LSD 0.05	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
P	0.61	0.067	0.5	0.29	0.068	0.1120

PGPR: Bitki Gelişimi Uyarıcı Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar, HA-FA: Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Mikro Elementler

Fesleğenlerin tuz stresi etkisine maruz kalması sonucunda bakır alımı kontrol bitkilerine göre azalmıştır. Uygulanan bütün biyostimulantlar bakır alımını tuz uygulanan bitkilere göre arttırmasının yanı sıra kontrol bitkilerine göre de arttırmıştır. Yani uygulanan bütün biyostimulantlar uygulanan tuzun

stres etkilerini azalmaktan daha öteye geçmiş bakır elementi alımı adına yoksaymıştır. En yüksek bakır içeriği tuz stresine karşı vermikompost ve PGPR biyostimulantları eklenen uygulamalarda ortaya çıkmıştır. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda bu uygulamaları kitosan, daha sonra da aminoasit ve AMF uygulamaları takip etmektedir.

Demir elementi, bitkilerde solunum ve fotosentez reaksiyonlarında kritik bir rol oynamaktadır. Bu, katalaz, peroksidaz ve sitokrom oksidaz gibi önemli enzimlerin aktivasyonunu sağlayarak bir dizi biyokimyasal reaksiyonun katalizlenmesine yardımcı olur. Klorofil yapısında doğrudan yer almasa da demir eksikliğinde bitkilerde klorofil üretimi azalır, bu da bitki büyümesinin yavaşlamasına neden olur. Ayrıca, demir bitki protein mekanizması üzerinde etkili olabilir (Brady, 1990; Boşgelmez vd., 2001; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010). Demir elementi alımı tuz stresine maruz kalan fesleğenlerde kontrole kıyasla azalmıştır. En yüksek demir içeriği PGPR ve vermikompost uygulamasında bulunmuştur. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda bu uygulamaları aminoasit ve kitosan uygulamaları takip etmiştir. Biyostimulantların uygulanması demir elementi alımı açısından tuz stresi etkisini yoksaymıştır.

Mangan, yaşamsal öneme sahip enzimlerin aktivasyonunda temel bir rol oynar. Dekarboksilaz, dehidrogenaz ve oksidaz gibi birçok önemli enzimin aktivasyonunu sağlar. Ayrıca, süperoksit dismutaz enziminin yapısında da bulunur ve fotosentezde suyun parçalanmasında da kritik bir rol oynar. Azot metabolizması ve asimilasyonu süreçlerinde etkili olan bir elementtir. Ayrıca, demir, kalsiyum ve magnezyumun absorpsiyonunda önemli bir rol oynar. Klorofil oluşumu için demir ile birlikte etkinlik gösterir. (Plaster, 1992; Boşgelmez ve ark., 2001; Güzel ve ark., 2004; Gardiner ve Miller, 2008; Kacar ve Katkat, 2010). Tuz stresine maruz kalan bitkilerde Çizelge 26 incelendiğinde mangan içeriği kontrol bitkilerine göre azalmıştır. Biyostimulant uygulamalarının tuz stresi bitkilerinden daha yüksek mangan içeriği oluşturmalarının yanı sıra kontrol bitkilerini de (fulvik asit uygulaması hariç) mangan içeriği açısından geride bırakmıştır. Biyostimulant uygulanan bitkilerde mangan içeriği tuz stresini azaltmanın yanı sıra etkilerini yok saymıştır.

Çinkonun bitki içindeki etkilerinin magnezyum ve mangana benzerlik göstermektedir. Çeşitli mayaların aktifleşmesinde, katalizör olarak yumurta akı ve ribonükleik asit sentezinde önemli roller üstlenmektedir. Bitkide azot metabolizmasını, nişasta oluşumunu ve tohum olgunlaşmasını etkiler. Ayrıca büyüme hormonlarının (oksin hormonu) üretimi için gerekli olan bir bitki besin elementidir. (Kantarıcı, 2000; Boşgelmez vd., 2001; Gardiner ve Miller, 2008; McCauley vd., 2009). Tuz stresine maruz kalan bitkilerde kontrole karşı çinko alımı önemli ölçüde azalmıştır (Çizelge X). Yapılan istatistiksel analiz sonucunda biyostimulant uygulamalarının büyük çoğunluğu (fulvik asit uygulaması dışındaki hepsi) tuz stresine maruz kalan bitkilerin yanı sıra kontrol bitkilerinde çinko içeriği açısından geride bırakmayı başarmıştır. Çinkoya göre yorumlanacak olursa biyostimulantların kullanımı stres etkisini azaltmış ya da yok saymıştır.

Çizelge 4.27. Fesleğinde tuzlu sulama suyuna karşı biyostimulant kullanımının mineral madde içeriği üzerine etkileri(Mikro) (ppm)

Uygulamalar	Cu	Fe	Mn	Zn
Kontrol	5.50 d	105.33 d	25.33 c	6.66 de
Tuz	4.40 e	81.66 e	12.00 d	3.53 f
Tuz+Aminoasit	7.43 c	137.66 b	34.66 b	10.33 bc
Tuz+PGPR	10.13 a	154.00 a	52.66 a	14.66 a
Tuz +FA	5.46 d	97.33 d	21.00 c	5.66 e
Tuz+Kitosan	8.33 b	127.33 bc	42.33 b	8.33 cd
Tuz+AMF	7.46 c	124.00 c	35.33 b	10.66 b
Tuz+Vermikompost	10.23 a	153.00 a	53.33 a	14.33 a
LSD 0.05	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
P	0.57	11.54	8.75	2.08

PGPR: Bitki Gelişimi Uyaran Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar,HA-FA:Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.4.6. Yaprak Lahanada Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Verim Üzerine Etkileri

Biyostimulantların fesleğinde tuz stresi üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada tuz stresinin verimi düşürdüğü görülmektedir. Tuz stresi altında fesleğen de verim önemli ölçüde azalmıştır (Maia ve ark., 2019; Scagel ve ark., 2019). Biyostimulant uygulanan bitkilerde tuz stresi etkisinin tamamen azaldığı görülmüş ve humik-fulvik asit uygulaması dışındaki bütün uygulamalarda biyostimulanların kontrolden de yüksek sonuçlar elde edip, stres etkisini yok saydığı görülmektedir. En yüksek verim tuz stresine karşı vermikompost (6743 g/m^2) uygulanan uygulamada bulunmuştur. Ona en yakın sonuç tuz stresine karşı PGPR (6389 g/m^2) ve aminoasit (6520 g/m^2) uygulamalarında görülmüştür. Tuz stresi etkisine karşı protein hidrolizatların ve *Ascophyllum nodosum* özütü kullanan İkuynminu ve ark. (2022) verimi stresli kontrol bitkilerine göre %31.8 arttırmıştır.

Çizelge 4.28. Fesleğinde tuz stresine karşı biyostimulantların verim üzerine etkileri

Uygulamalar	Verim (g/m^2)
Kontrol	5659 e
Tuz	3304 g
Tuz+Aminoasit	6250 c
Tuz+PGPR	6389 b
Tuz +FA	4776 f
Tuz+Kitosan	6034 d
Tuz+AMF	6146 cd
Tuz+Vermikompost	6743 a
LSD 0.05	118.77
P	0.0001

PGPR: Bitki Gelişimi Uyaran Kök Bakterileri, AMF: Arbusküler Mikorizal funguslar,HA-FA:Humik ve Fulvik asit. LSD: ortalamalar arasındaki en küçük anlamlı fark ($p < 0.05$). Aynı sütunda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4.4.7. Fesleğinde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Enzimatik Antioksidantlar Üzerine Etkileri

Tuz stresi, tüm çevresel stres faktörleri arasında bitkilerin habitatlardaki dağılımını en fazla kısıtlayan faktördür (Tang ve ark., 2015). Tuzluluk, bitkiler üzerinde yıkıcı etkilere sahip önemli bir küresel sorundur (Isayenkov ve Maathuis, 2019) ve bitkilerin metabolizmasını, büyümesini, performansını ve üretkenliğini bozan indüklenen oksidatif stres yoluyla farklı biyokimyasal ve metabolik değişikliklere neden olur (Xiong ve Zhu, 2002). Toksik iyonlar sıklıkla bitki dokularında reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimini artırır. Üretilen ROS, bitkilerde enzim fonksiyonunu ve pigment bozulmasını bozan protein denatürasyonuna, DNA hasarına, lipid peroksidasyonuna ve karbonhidrat oksidasyonuna neden olmuştur (Angon ve ark.,2023). Bitkiler, karmaşık savunma mekanizmaları geliştirmiştir. Bu mekanizmalar, enzimatik bileşenlerden olan süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR) ve katalaz (CAT) gibi enzimleri içerir. Ayrıca, enzimatik olmayan antioksidan mekanizmalar da bulunur; bunlar askorbat, karotenoidler, flavonoidler ve diğer fenolikler gibi bileşikler içerir. Bu antioksidan mekanizmalar, oksidatif hasarın zararlı etkilerini hafifletir.

Bir çalışmada, aşırı alkali, tuzlu ve sodik ortamlardan tuz toleranslı bitki büyümesini teşvik eden çeşitli rizobakteri türlerinin izole edildiği belirtilmiştir. Aynı yazarlar, bu rizobakteri türlerinin birçoğunun bitkilerdeki çeşitli biyotik ve abiyotik stresleri azalttığını da öne sürmüşlerdir (Egamberdieva ve ark.,2019). Mikrobiyal biyostimülanlar hem fide büyümesini hem de canlılığı arttırmak için başarılı bir şekilde uygulanabilir ve aynı zamanda metabolizmayı etkileyerek bitkilerin tuz stresine daha iyi uyum sağlamasına yardımcı olabilir (Moncada ve ark.,2020, Micelli ve ark.,2021). *Brassica napus L. cultivar okapi* (Kanola) bitkisinde 2022 yılında çalışan Neshat ve ark. PGPR'ların yani PGPR biyostimulantının etkisini araştırmış MDA'nın tuz stresi altında önemli ölçüde azaltılabildiğini öne sürmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçlar PGPR uygulanan bitkilerde güçlü bir antioksidan savunma sistemi oluşmaktadır. Kullanılan PGPR biyostimulantı SOD, CAT ve APX miktarını arttırmıştır.

Mikorizanın tuz stresine karşı korumadaki rolünü araştıran çeşitli çalışmalar, simbiyozun sıklıkla büyüme ve besin alımının artmasıyla sonuçlandığını, fotosentez hızının, osmoregülatörlerin birikiminin ve su kullanım verimliliğinin arttığını göstermiştir (Moncada ve ark.,2020; Al-Karaki,2013, Li ve ark.,2020). Mikorizalar, tuzlulukla baş etme potansiyeline sahiptir ve tuzdan etkilenen toprakta yetişen bitkiler üzerinde biyolojik uyarıcı etkiye sahiptir. Aşıl原因an bitkilerde antioksidan enzimlerin aktivitesinde ve SOD, CAT, APX, GR, gen ifadelerinde bir artış bulunmuştur. Tuzluluk-alkalinite koşulları altında mikorizaların ROS üzerinde bir etki yarattığını düşündürmektedir (Lakhdar ve Trigui,2023).

Tuzlu toprak altına bitki biyostimülanları olarak hem kompostların hem de hümik maddelerin girişi toprak özelliklerini iyileştirir ve sonuç olarak bitki büyümesi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Lakhdar ve Trigui,2023). Yapılan çalışmada fulvik asitlerin tuzlu sulama suyu koşullarında

biyostimulant olarak kullanımı tüm bitkilerde yapılan ölçümler sonucunda tuz stresine doğrudan maruz kalan bitkilere göre birkaç parametre dışında önemli bir fark oluşturmamıştır.

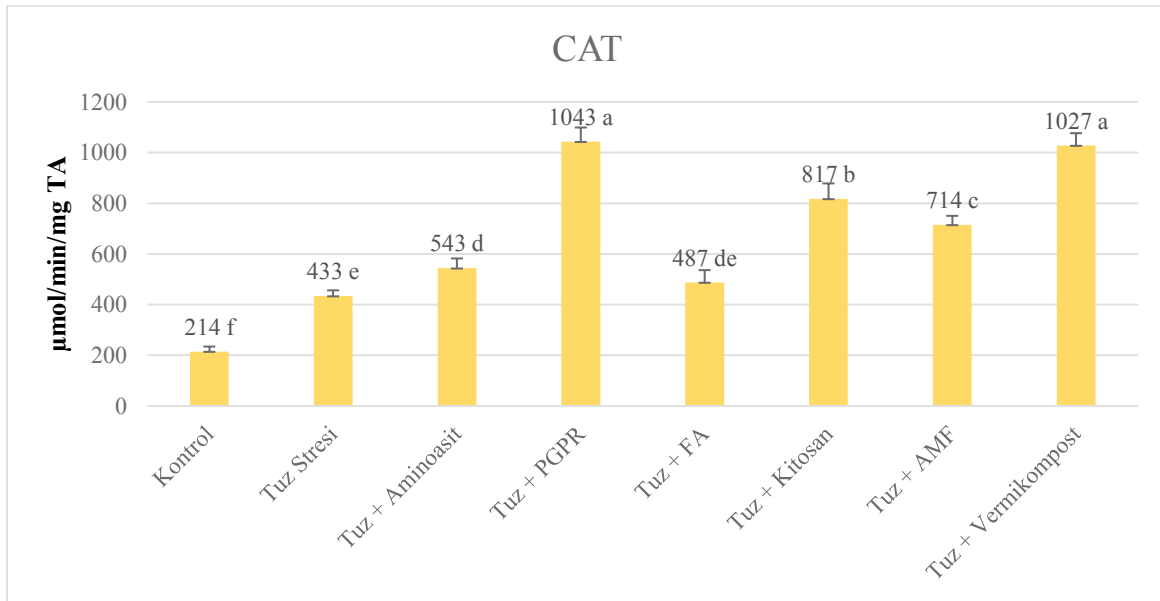
Benazzouk ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, tuzla muamele edilmiş domates bitkilerinde vermikompost uygulamasının, net fotosentezlerini korumaya, kökten sürgüne Na^+ translokasyonunu sınırlandırmaya ve özellikle prolin sentezi yoluyla ozmotik ayarlamayı geliştirmeye yardımcı olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda vermikompost uygulamasının ABA ve GA içerdiği de bilinmektedir. Yine Benazzouk ve ark. 2019'da domates bitkilerinde yaptıkları çalışmada vermikompost uygulamanın tuz stresi altındaki bitkilerde Na elementi birikimini azalttığı, etilen sentezinde azalma ve prolin, antosiyanin içeriğindeki artış sayesinde genç yapraklarda yaşlanmayı geciktirdiğini öne sürmektedir.

Kitosan ve oligosakkaritler, farklı nitrojen ve karbon metabolizması enzimlerinin aktivitelerini artırarak fotosentezi artırabilirler. Ayrıca, fotosentetik aparatın karanlık ve aydınlık tepkilerini güçlendirerek, fotosentezi arttırmada etkili olabilirler. Bu bileşikler, temel fotokimyası modüle ederek fotosentetik sistemlerin uyarılmasında önemli bir rol oynarlar. Aynı zamanda stomaların işlevlerini düzenleyerek, karbon sabitleme etkinliğini artırabilirler ve karanlık reaksiyonlarda metabolitlerin sentezini geliştirebilirler. Kitosan ve oligosakkaritler ayrıca ikincil metabolitlerin biyosentezini ve enzimlerin aktivitesini destekleyebilirler (Alamdari ve ark., 2022).

Amino asitler, bitki büyümesi, gelişmesi ve metabolit sentezi için hayati öneme sahip temel bileşenlerdir. Bu amino asitler, glutamin biyosentezinde (Alcazar ve ark.,2010) bitki büyüme düzenleyici (Lønnerdal, 2000) olarak rol oynayan protein birimleri şeklinde yapıları nedeniyle bitki gelişiminde çeşitli faydalı roller üstlenirler. Ayrıca, amino asitler bitki iç dokularında çeşitli fizyolojik fonksiyonları gerçekleştiren temel moleküller olarak görev yaparlar (Sierras ve ark.,2015). Bununla birlikte, tohum çimlenmesinde önemli bir besinsel rol oynarlar (Causin, 1996). Tuzluluk koşulları altında ise, amino asitler, iyon taşıma düzenlemesi, stoma açıklığının kontrolü, ağır metallerin detoksifikasyonu, enzim aktivasyonu, gen ekspresyonu ve redoks homeostazisinin korunması gibi işlevlerde osmotikler olarak çalışır (Cheng ve ark., 2016).

CAT, H_2O_2 'nin H_2O ve O_2 'ye katalizlenmesini sağlar. Bu enzimin benzersiz özelliği, herhangi bir indirgeyici maddeye ihtiyaç duymamasıdır. Şu ana kadar incelenen kapalı tohumlular üç CAT genini, yani CAT1, CAT2 ve CAT3'ü içermektedir. Stresli koşullar altında bitki, yüksek konsantrasyonda H_2O_2 oluşmasına bağlı olarak katabolik sürecini artırarak yüksek enerji harcaması gerekebilir ve bu durum bitkiyi sıkıntıya sokabilir. CAT, H_2O_2 'yi enerji verimli bir şekilde uzaklaştırarak bu sorunun üstesinden gelir. Yaptığımız çalışma sonucunda CAT aktivitesi PGPR uygulanan bitkilerde önemli ölçüde artmıştır. Tuz uygulanan bitkilerde elde edilen CAT aktivitesi, kontrole göre %102 oranında artış göstermiştir. PGPR biyogübre ile birlikte tuz stresine maruz kalan bitkilerde ise kontrole göre %386 oranında, biyostimulant eklenmemiş tuz uygulamasına göre ise %140'lık bir artış görülmüştür (TabloX). Yapılan istatistiksel analiz sonucunda vermikompost uygulamasıda PGPR ile aynı istatistiksel harflendirmeye sahiptir ve %378 artış göstermiştir. Ayrıca biyostimulant eklenen tüm uygulamalardan tuz stresine maruz kalan bitkile karşı daha yüksek CAT aktivitesi elde edilmiştir. Bitki büyümesini ve tuz stresine toleransı

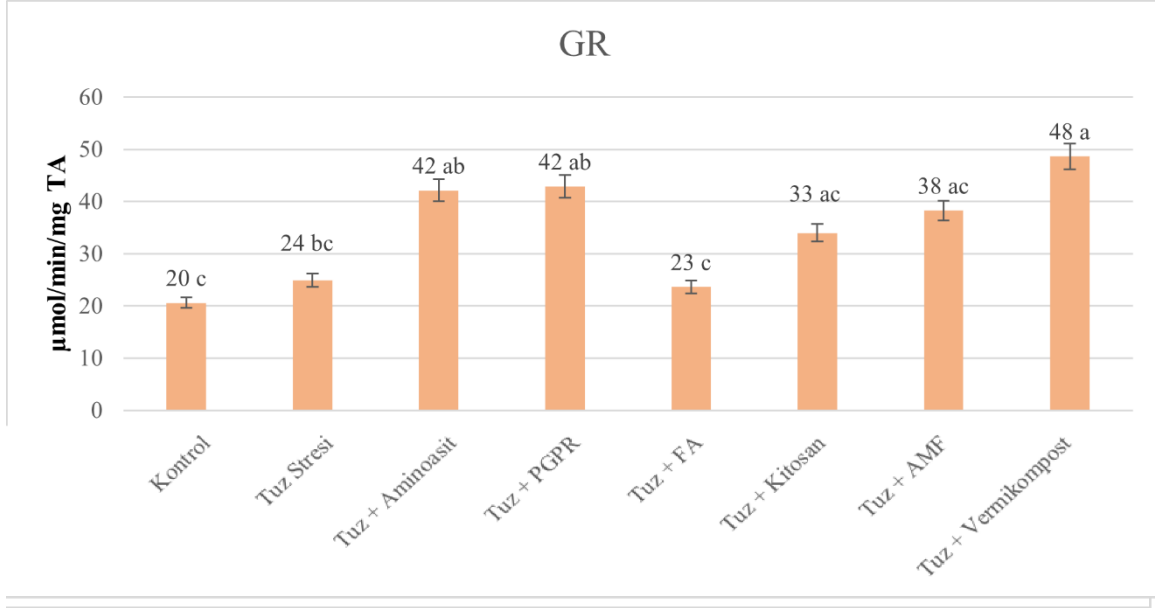
artırmak için domates bitkilerinde çalışan Gedeon ve ark. (2022) biyostimulantlar ve biyokompostlar uygulamıştır. Tuz stresi altında biyostimulant uygulamalarının kontrol bitkileri ile karşılaştırdığında CAT aktivitelerini önemli ölçüde arttırdığını öne sürmüşlerdir. Biyostimulant uygulanan bitkilerde en düşük MDA içeriği görülmüş, biyokompost ve biyostimulantların %70-30 karışımlarının en yüksek prolin içerdiğini gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte SOD aktivitesinde anlamlı bir değişim elde edememişlerdir. *Ulva lactuca* ekstraktlarının tuzluluk altında *Triticum aestivum* fidelerine uygulanması bitkinin taze ve kuru ağırlığını ve %10 oranında CAT aktivitesini arttırmıştır (Stirk ve ark.,2020). Biyostimulant olarak deniz yosunu uygulamaları ise *riticum vulgare* fidelerinde sodyum alımını düzenlemenin yanı sıra CAT ve SOD aktivitelerini, karbonhidratları ve sürgün ve kök uzunluğunu artırmayı başarmıştır (İbrahim, 2016). Organik bir biyostimulant olan meyan kökü ekstratı kullanılarak yapılan ön işlemle *Pisum sativum* fidesinde çalışma yapan Desoky ve ark., tuz toleransını uyarmayı amaçlamış bu nedenle bezelye fidselerini iki hafta boyunca tuz stresine (150 mM NaCl) maruz bırakmadan önce meyan kök ekstratı kullanarak ıslatmışlardır. Yapılan analizler sonucunda CAT, APX, SOD, GR ve prolin aktivitesi tuz stresine maruz bırakılan bitkilere uygulanan meyan kökü ekstratı uygulamasında en yüksek sonucu vermiştir. Aynı zamanda MDA oranı tuz stresine maruz kalan bitkilere oranla azalma göstermiştir.



Şekil 4.19. Fesleğinde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı CAT üretimi CAT: Katalaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

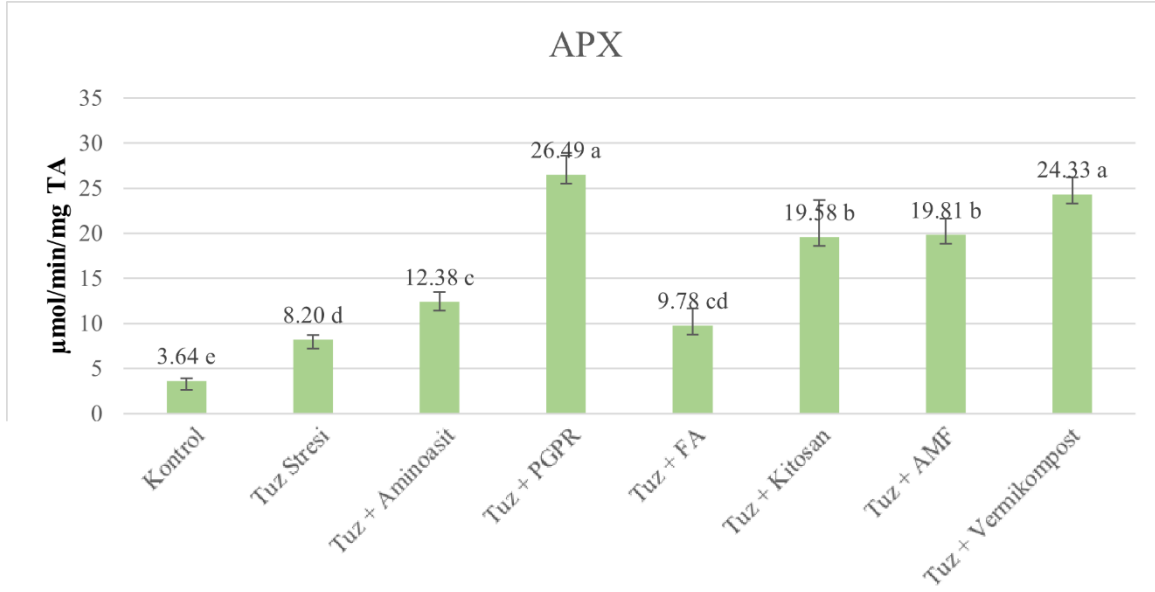
GR, disülfid grubu içeren flavoenzimlerin bir üyesidir. NAD(P)H'ye bağımlı bir enzim olan GR, Glutasyon disülfürü (GSSG) GSH'ye indirger ve hücrel GSH/GSSG oranını dengeler. GSH, nikotinamid adenin dinükleotid fosfat hidrojeni (NADPH) kullanarak ROS benzeri hidroksil radikalleri ve süperoksit radikalleri ile reaksiyona girerek hücrenin oksidatif hasara uğramasını önler. Bitkilerde GR aktivitesindeki bir artış, GSH'nin birikmesine neden olur ve sonuçta bitkilere stres toleransı

kazandırır (Mushtaq ve ark.,2020). Yapılan çalışmada tuz stresi uygulanması GR içeriğini kontrole göre %20 oranında arttırmıştır. En yüksek GR içeriği tuz stresine maruz kalan bitkilere vermikompost uygulanan uygulamadadır. Bu uygulama GR içeriğini kontrole göre %136 artırırken onunla aynı istatistiksel grupta yer alan PGPR uygulaması %108 ve aminoasit uygulaması ise %104 oranında artış göstermiştir. AMF ve kitosan uygulamaları ise sırasıyla %85 ve %64 artış gösterirken fulvik asit uygulamasında önemli bir artış görülemedi.



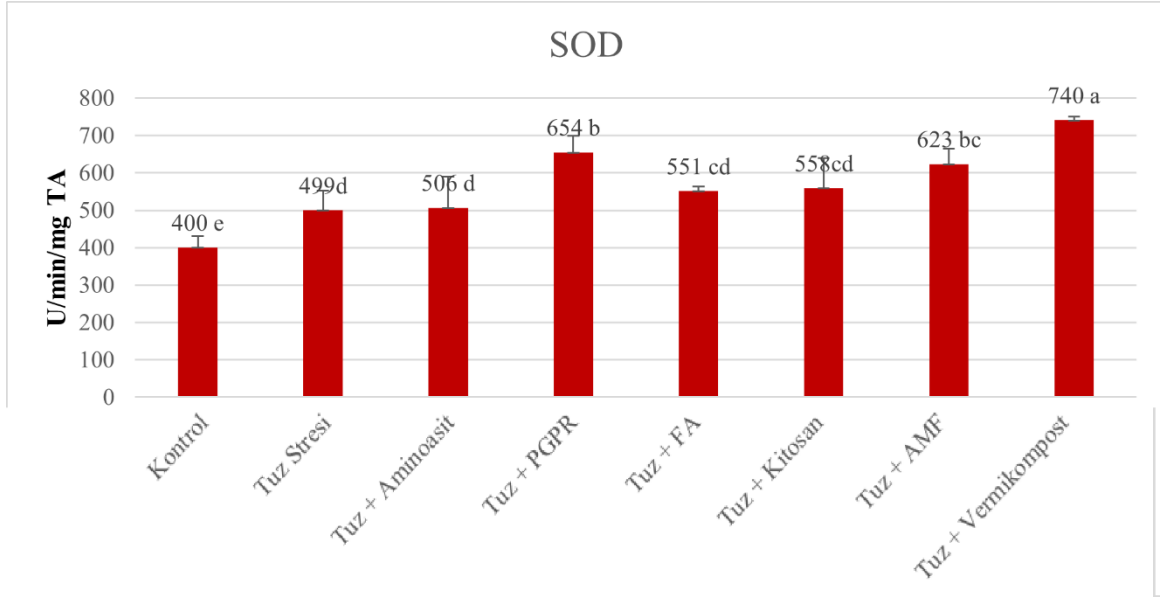
Şekil 4.20. Fesleğende biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı GR üretimi. GR: Glutathione Redüktaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

APX, bitki hücresinin sitozol ve kloroplastında bulunur ve burada CAT ile aynı işlevi yerine getirir. Askorbat-Glutatyon (ASC-GSH) döngüsünün ayrılmaz bir bileşenidir. CAT'den farklı olarak APX, hidrojen peroksitin katalizlenmesi veya temizlenmesi için indirgeyici madde olarak Askorbik asit (AA) kullanır. APX'in çeşitli hücre organellerinde bulunma özelliği ve hidrojen peroksit radikallerine karşı yüksek afinitesi, onu stresli ortamdaki bitkilerde H_2O_2 'nin yetkin bir temizleyicisi haline getirir ve hücre hasarını önler (Mushtaq ve ark.,2020). Yaptığımız çalışmada tuz stresine maruz kalan bitkilerde APX oranı kontrole karşı %125 oranında artış göstermiştir. Tuzlu sulama suyu içerisinde PGPR biyostimulantı uygulanan bitkilerde bu artış %627 oranına çıkmıştır. PGPR biyostimulantı ile aynı istatistiksel grup içerisinde yer alan vermikompost uygulamasında ise bu oran %568'dir. Biyostimulant eklenen tüm uygulamalar kontrol ve tuz uygulamasından daha yüksek APX içeriğine sahiptir.



Şekil 4.21. Fesleğinde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı APX üretimi. APX: Askorbat Peroksidaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

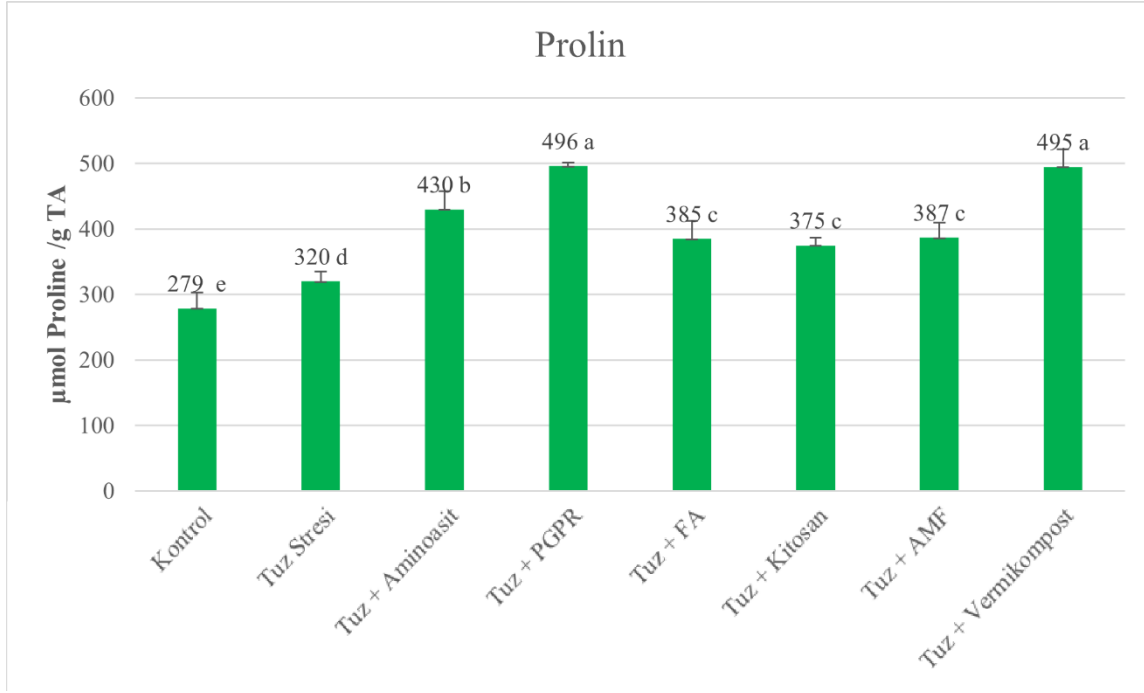
SOD, süperoksit radikalini oksijen ve hidrojen peroksit moleküllerine dönüştürerek uzaklaştırır (Mittler,2002). Stresli koşullar altında bitkiler SOD aktivitelerini artırır, bu da bitkilerin çevresel streslere karşı toleransını artırır (Boguszewska ve ark.,2010). Bu enzimin oksidatif hasarlara karşı ilk savunma hattı olduğu söylenmektedir. Zhang ve ark., (2003) yaptıkları çalışmada biyostimulant olarak deniz yosunu ekstraktını ve hüyük asidi kullanmış, sürünen bükülmüş çimenlere (Creeping Bentgrass) düzenli ve sürekli uygulanmış, fotosentezdeki iyileşmeyle birlikte süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesini (%47 ve %181) arttırmıştır. Yaptığımız çalışmada tuz stresine maruz kalan bitkilerde kontrol bitkilerine göre %25 artış görülmektedir. Vermikompost uygulaması en yüksek sonuca ulaşmış ve kontrol bitkileri ile arasındaki farkı %85'e kadar arttırmıştır. Vermikompostta sırasıyla %63 artış oranıyla PGPR ve %55 artış oranı ile AMF uygulaması izlemiştir.



Şekil 4.22. Fesleğende biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı SOD üretimi. Süperoksit Dismutaz. Histogramlarda aynı harfe sahip ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

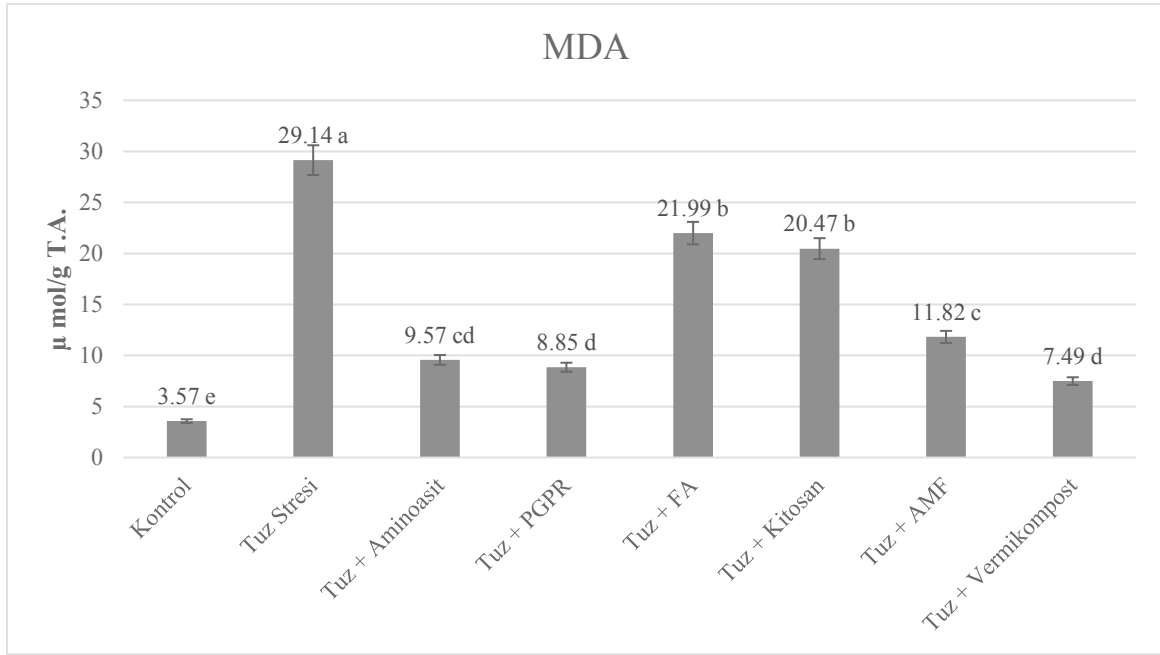
4.4.8. Fesleğemde Tuzlu Sulama Suyuna Karşı Biyostimulant Kullanımının Prolin ve MDA Üzerine Etkileri

Tuzluluk, prolin ve fenolik bileşiklerin içeriğini arttırmaktadır (Ganjavi ve ark., 2021). Prolin çok fonksiyonlu bir amino asittir ve bitki büyüme düzenleyicisi olarak görev yaparak sinyal verme özelliğine sahiptir, dolayısıyla çeşitli sinyalleşme süreçlerini etkiler (Mushtaq ve ark.,2020). Tuz stresi altında bitkiler endojen prolin seviyesini artırır, onları ROS'un zararlı etkilerinden korur. Artan prolin içeriği, bitki hücrelerinde Na^+ ve Cl^- birikimini azaltarak tuzluluğun olumsuz etkisinin üstesinden gelir(Kim ve Nam,2013). Yaptığımız çalışmada tuz stresi etkisi altındaki bitkiler kontrole göre %14 daha fazla prolin üretmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda PGPR veuygulaması bu oranı %77'e kadar çıkararak en fazla prolin içeriğine ulaşmışlardır. %54 ile aminoasit uygulaması bu iki uygulamayı takip etmektedir.



Şekil 4.23. Fesleğinde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı Prolin üretimi

Tuz stresinin bir belirleyicisi olarak kabul edilen MDA, hücre zarı ve lipidlerdeki hasarları belirler. Esasen, MDA, lipid peroksidasyon derecesini yansıtır (Gohari ve diğerleri, 2019; Ahanger ve diğerleri, 2020). MDA, çevresel stresin neden olduğu oksidatif lipid hasarının yaygın olarak kullanılan bir belirteçidir. Bu, MDA değerleri ne kadar yüksek olursa, o kadar fazla hasarın meydana geldiği anlamına gelir (Kong ve ark., 2016). Tuzluluk, membran lipidlerinin peroksidasyonu, membranın akışkanlığını, elastikiyetini kaybeder, hücrenin normal işleyişini engeller ve ayrıca hücreyi kendinden geçirir. Lipid peroksidasyonu, oldukça reaktif bir karbonik bileşik olan ve oksidatif stresin önemli bir biyolojik belirteci olarak kabul edilen malondialdehit (MDA) üretir (Kavas ve ark., 2012). Yaptığımız çalışmada tuz stresi kontrol bitkilerine göre %716 daha fazla MDA üretmiştir. Kontrole en yakın uygulamalar %109 artış ile vermikompost, %147 artış ile PGPR ve %168 ile aminoasit uygulaması olmuştur. Bütün biyostimulantlar tuz uygulaması ve kontrol bitkileri arasında değerler almış ve tuz stresi etkisini azaltmıştır.



Şekil 4.24. Fesleğinde biyostimulant kullanımı ile tuz stresine karşı MDA üretimi

5. SONUÇ

Tuz stresi ilerleyen yıllarda bitkisel üretimi en çok sınırlayan faktörlerden birisi olacaktır. İklim faktörlerindeki değişimle birlikte, tarımsal üretimde tuz stresinin etkileri çok şiddetli bir şekilde görülecektir. Ayrıca su tüketimi artan dünya nüfusu ile artmakta tuzlulukla birlikte yeraltı sularının kullanılmaz hale gelmesiyle suyun önemi artacaktır. Çalışma tuzlu sulama suyu ile birlikte tuz stresi etkilerini azaltmak üzere kullanılan biyostimulantların sebze yetiştiriciliğinde etkilerini göstermiştir ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Toplam 4 adet sebze türü ile gerçekleştirilen 100 mM NaCl uygulanması ile oluşturulan tuz stresi karşısında biyostimulantların etkilerini incelenmiştir.

Marul bitkisinde tuz stresine karşı biyostimulantlar arasında PGPR kullanımının bitki boyunu, bitki enini, yaprak alanını, klorofil içeriğini, kuru maddeyi, yaprak oransal su içeriğini, membran zararlanma indeksini, toplam flavanoid içeriğini, azot içeriğini, fosfor içeriğini, bakır içeriğini, mangan içeriğini, demir içeriğini, çinko içeriğini, APX içeriğini, SOD içeriğini, prolin içeriğini, sodyum ve MDA içeriğini düşürmüştür. Vermikompost kullanımı en geniş bitki çevresini, yaprak sayısını, yaprak alanını, gövde çapını, baş sertliğini, vitamin c içeriğini, potasyum içeriğini, magnezyum içeriğini, katalaz içeriğini, GR içeriğini arttırmış, sodyum içeriğini düşürmüştür. Bu sonuçlarla birlikte değerlendirildiğinde verim, en yüksek PGPR ve vermikompost uygulamalarında bulunmuştur.

Biber bitkileri incelendiğinde bitki boyu fulvik asit ve tuz stresi uygulaması dışında bütün biyostimulanlarda gövde çapında aminoasit ve kitosan uygulamalarında, yaprak alanı kitosan, vermikompost ve AMF uygulamalarında, biber meyve boyu AMF uygulamasında, biber meyve çapı AMF ve kitosan uygulamalarında, biber tek meyve ağırlığı AMF ve aminoasit uygulaması, biber meyve hacmi AMF uygulamasında, nitrat içeriği aminoasit, AMF ve kontrol uygulamasında, C vitamini AMF, toplam fenol içeriği AMF ve vermikompost uygulamasında, toplam flavanoid miktarı AMF, vermikompost, aminoasit ve tuz uygulamasında, azot içeriğinde aminoasit ve vermikompost uygulaması, fosfor içeriği vermikompost ve AMF uygulamasında, potasyum vermikompost ve AMF uygulamasında, kalsiyum içeriği kontrol bitkilerinde AMF ve vermikompost uygulamasında, magnezyum AMF uygulamasında, bakır en yüksek AMF uygulamasında, demir en yüksek AMF uygulamasında, sodyum en yüksek kontrol bitkileri ve AMF uygulamasında, çinko en yüksek Amf uygulamasında yaprak su potansiyeli kontrole en yakın vermikompost ve AMF uygulamasında, MZİ'de kontrole en yakın sonuçlar AMF ve vermikompost uygulamalarında, YOSİ en yüksek kitosan uygulamasında, yaprak stoma geçirgenliği kontrole en yakın olarak vermikompost ve AMF uygulamalarında HUE değeri vermikompost uygulamasında, klorofil içeriği vermikompost uygulamasında, CAT enzimi en yüksek vermikompost ve AMF uygulamasında, GR enzimi en yüksek vermikompost ve AMF uygulamasında, APX içeriği en yüksek vermikompost ve AMF uygulamasında, SOD içeriği en yüksek tuz uygulamasında, prolin içeriği en yüksek vermikompost ve kitosan uygulamasında ve sodyum en düşük AMF ve vermikompost uygulamasında MDA içeriği en düşük

vermikompist ve PGPR uygulamalarında görülmüştür. Bu bilgilerle birlikte verim incelendiğinde en yüksek verimi AMF ve vermikompost uygulamaları sağlamıştır.

Yaprak lahanada vermikompost uygulaması bitki boyu, bitki eni, yaprak alanı, gövde çapı, sap boyu, vitamin c içeriği, toplam fenol ve flavanoid içeriği, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum içeriği, YOSİ, MZİ, yaprak su potansiyeli, CAT aktivitesi, GR aktivitesi, SOD aktivitesi açısından kontrol bitkilerinden daha iyi, kontrol bitkileriyle aynı istatistiksel gruta veya kontrol bitkilerine en yakın sonuçları vermiş ve diğer biyostimulantlardan bu parametreler açısından daha yüksek sonuçlar elde etmiştir. Yaprak Na içeriği açısından en düşük sonucu vermiştir. PGPR uygulaması ise vermikompost uygulamasına yakın sonuçlar vermiştir. APX içeriği YOSİ, stoma geçirgenliği ve HUE parametreleri en yüksek PGPR uygulamasında elde etmiştir.

Verim incelendiğinde ise PGPR uygulaması en yüksek sonucu ortaya koyarken vermikompost ve AMF uygulaması arasında fark bulunmaksızın en yüksek ikinci verimi oluşturmuştur.

Fesleğen bitkilerinde ise vermikompost uygulaması bitki boyu, yaprak sayısı, kuru madde, YOSİ, MZİ, HUE değeri, vitamin c içeriği, toplam fenol ve flavanoid içeriği, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum içeriği, bakır, demir, mangan ve çinko içeriği, enzimlerden CAT, GR, APX, SOD aktiviteleri, prolin içeriği açısından en yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Sodyum ve MDA içeriği açısından ise kontrole en yakın sonuçlar bu biyostimulantta bulunmuştur. Verim değerlerinden de faydalandığımızda en etkili biyostimulantın fesleğen bitkisi için vermikompost olduğu görülmüştür.

Özetle marul bitkileri için PGPR ve vermikompost kullanımı, biber bitkileri için AMF ve vermikompost uygulamaları, yaprak lahanada yine vermikompost ve AMF uygulamaları, Fesleğen bitkilerinde ise vermikompost ve PGPR uygulamaları tuzlu sulama suyu ile yetiştiricilik yapıldığında tuz stresi etkisini en aza indirmiştir.

Gelecekteki çalışmalar, farklı bitki türlerinde ve farklı stres koşullarında biyostimulantların etkilerini daha kapsamlı bir şekilde araştırmalıdır. Ayrıca, biyostimulantların uzun vadeli etkileri ve ekonomik boyutları da değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- A. Ahanger et al. (2020). Influence of exogenous salicylic acid and nitric oxide on growth, photosynthesis, and ascorbate-glutathione cycle in salt stressed *Vigna angularis*. *Biomolecules*
- Abdel Latef, A.A.; Mostofa, M.G.; Rahman, M.M.; Abdel-Farid, I.B.; Tran, L.S.P. Extracts from yeast and carrot roots enhance maize Performance under seawater-induced salt stress by altering physio-biochemical characteristics of stressed plants. *J. Plant Growth Regul.* 2019, 38, 966–979.
- Abou-Sreea, AI, Azzam, CR, Al-Taweel, SK, Abdel-Aziz, RM, Belal, HE, Rady, MM, ... ve Khaled, KA (2021). Doğal biyostimülan, antioksidan, iyon ve fitohormon dengelerini yeniden şekillendirerek biberdeki tuzluluk stresi etkilerini hafifletir ve gen ifadesini artırır. *Bitkiler* , 10 (11), 2316.
- Afzal, J.; Saleem, M.H.; Batool, F.; Elyamine, A.M.; Rana, M.S.; Shaheen, A.; El-Esawi, M.A.; Javed, M.T.; Ali, Q.; Ashraf, M.A.; et al. Role of Ferrous Sulfate (FeSO₄) in Resistance to Cadmium Stress in Two Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes. *Biomolecules* 2020, 10, 1693.
- Aguiar, N.O.; Medici, L.O.; Olivares, F.L.; Dobbss, L.B.; Torres-Netto, A.; Silva, S.F.; Novotny, E.H.; Canellas, L.P. Metabolic profile and antioxidant responses during drought stress recovery in sugarcane treated with humic acids and endophytic diazotrophic bacteria. *Ann. Appl. Biol.* 2016, 168, 203–213.
- Ahmad, A., Blasco, B., & Martos, V. (2022). Combating salinity through natural plant extracts based biostimulants: a review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 862034.
- Altuntas, O., Dasgan, H. Y., Akhoundnejad, Y., & Nas, Y. (2024). Unlocking the Potential of Pepper Plants under Salt Stress: Mycorrhizal Effects on Physiological Parameters Related to Plant Growth and Gas Exchange across Tolerant and Sensitive Genotypes. *Plants*, 13(10), 1380.
- Ait-El-Mokhtar, M., Baslam, M., Ben-Laouane, R., Anli, M., Boutasknit, A., Mitsui, T., ... & Meddich, A. (2020). Alleviation of detrimental effects of salt stress on date palm (*Phoenix dactylifera* L.) by the application of arbuscular mycorrhizal fungi and/or compost. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 131.
- Akram, W., Yasin, N. A., Shah, A. A., Khan, W. U., Li, G., Ahmad, A., ... & Ali, S. (2022). Exogenous application of liquiritin alleviated salt stress and improved growth of Chinese kale plants. *Scientia Horticulturae*, 294, 110762.
- Alam, H.; Khattak, J.Z.K.; Ksiksi, T.S.; Saleem, M.H.; Fahad, S.; Sohail, H.; Ali, Q.; Zamin, M.; El-Esawi, M.A.; Saud, S.; et al. Negative impact of long-term exposure of salinity and drought stress on native *Tetraena mandavillei* L. *Physiol. Plant.* 2021, 172, 1336–1351.
- Alamdari, S., Mirzaee, O., Jahroodi, F. N., Tafreshi, M. J., Ghamsari, M. S., Shik, S. S., ... & Park, H. H. (2022). Green synthesis of multifunctional ZnO/chitosan nanocomposite film using wild *Mentha pulegium* extract for packaging applications. *Surfaces and Interfaces*, 34, 102349.

- Alcázar, R., Altabella, T., Marco, F., Bortolotti, C., Reymond, M., Koncz, C., ... & Tiburcio, A. F. (2010). Polyamines: molecules with regulatory functions in plant abiotic stress tolerance. *Planta*, 231, 1237-1249.
- Al-Karaki, G. N. (2006). Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. *Scientia horticulturae*, 109(1), 1-7.
- Al-Karaki, G. N. (2013). The role of mycorrhiza in the reclamation of degraded lands in arid environments. *Developments in soil classification, land use planning and policy implications: Innovative thinking of soil inventory for land use planning and management of land resources*, 823-836.
- 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.
- Angon, P. B., Mondal, S., Akter, S., Sakil, M. A., & Jalil, M. A. (2023). Roles of CRISPR to mitigate drought and salinity stresses on plants. *Plant Stress*, 100169.
- Asraf, M. ve Foolad, M. R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59, 206-216.
- Ayaz, A., & Yurttagül, M. (2006). Sebzelelerin nitrat ve nitrit içeriklerine etki eden faktörler. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 34(2), 51-64.
- Aybak, H. Ç (2002). Salata / Marul Yetistirciliği. Hasad Yayıncılık, 9 s, İstanbul.
- Bacha, H., Tekaya, M., Drine, S., Guasmi, F., Touil, L., Enneb, H., ... & Ferchichi, A. (2017). Impact of salt stress on morpho-physiological and biochemical parameters of *Solanum lycopersicum* cv. Microtom leaves. *South African Journal of Botany*, 108, 364-369.
- Bağ, E., 2019 Tuz Stresi Koşullarında Yetiştirilen Çilek Bitkilerine Uygulanan Mikorizanın Verim ve Bazı Vejetatif Büyüme Kriterleri Üzerine Etkisi, Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı
- Bahmani Jafarlou, M., Pilehvar, B., Modaresi, M., & Mohammadi, M. (2023). Seaweed liquid extract as an alternative biostimulant for the amelioration of salt-stress effects in *Calotropis procera* (Aiton) WT. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(1), 449-464.
- Balkaya, A., & Yanmaz, R. (2005). Promising kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) populations from Black Sea region, Turkey. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 33(1), 1-7.
- Başdıç, M. A., Kabay, T. (2022). Tuz Stresindeki Ispanakta Vermikompost ve Su Yosununun Bazı Fizyolojik Unsurlara Etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(1), 188-194.
- Baum, C., El-Tohamy, W., & Gruda, N. (2015). Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Scientia horticulturae*, 187, 131-141.

- Bayat, R. A., Kuşvuran, Ş., Ellialtıoğlu, Ş., & Üstün, A. S. (2014). Tuz Stresi Altındaki Genç Kabak (Cucurbita pepo L. ve C. moschata Poir.) Bitkilerine Uygulanan Prolin'in, Antioksidatif Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 25-33.
- Bellitürk K, 2016. Sürdürülebilir Tarımsal Üretimde Katı Atık Yönetimi İçin Vermikompost Teknolojisi. *Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi*, 31(3): 1-5, (Özel Sayı).
- Bello, A. S., Ben-Hamadou, R., Hamdi, H., Saadaoui, I., & Ahmed, T. (2021). Application of cyanobacteria (roholiella sp.) liquid extract for the alleviation of salt stress in bell pepper (capsicum annum L.) plants grown in a soilless system. *Plants*, 11(1), 104.
- Benazzouk, S., Djazouli, ZE ve Lutts, S. (2018). Solucan humusunun domateste (Solanum lycopersicum cv. Ailsa Craig) tuzluluğa dayanıklılık üzerindeki önleyici etkisinin değerlendirilmesi. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40, 1-11.
- Beykkhormizi, A., Abrishamchi, P., Ganjeali, A., & Parsa, M. (2016). Effect of vermicompost on some morphological, physiological and biochemical traits of bean (Phaseolus vulgaris L.) under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 39(6), 883–893. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1109104>
- Bhatt, K., and D. K. Maheshwari. 2020. Zinc solubilizing bacteria (Bacillus megaterium) with multifarious plant growth promoting activities alleviates growth in Capsicum annum L. 3 *Biotech* 10 (2):1–10. doi: <https://doi.org/10.1007/s13205-019-2033-9>.
- Boguszewska D, Grudkowska M, Zagdańska B. Drought-responsive antioxidant enzymes in potato. *Potato Res* 2010;53:373-82
- Boşgelmez A, Boşgelmez İ İ, Savaşçı S ve Paslı N (2001). *Ekoloji – II (Toprak)*, Başkent Klişe Matbaacılık, Kızılay-Ankara
- Brady N C (1990). *The Nature and Properties of Soils*. 10th Edition, Macmillan Publishing Company, New York, USA.
- Bulgari, R., Trivellini, A., & Ferrante, A. (2019). Effects of two doses of organic extract-based biostimulant on greenhouse lettuce grown under increasing NaCl concentrations. *Frontiers in plant science*, 9, 403468.
- Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, 9(6), 306.
- Bulgari, R., Trivellini, A., & Ferrante, A. (2019). Effects of two doses of organic extract-based biostimulant on greenhouse lettuce grown under increasing NaCl concentrations. *Frontiers in plant science*, 9, 1870.
- Bulut, H., & Öztürk, H. İ. (2023). Domates Yetiştiriciliğinde Tuz Stresinin Olumsuz Etkilerine Karşı Kitosan Uygulaması. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 13(1), 31-39.
- BziouechSA,DhenN,HelaouiS,AmmarIB,DridiBAM.2022.Effect of vermicompost soil additive on growth performance, physiological and biochemical responses of tomato plants

- (*Solanum lycopersicum* L. var. Firenze) to salt stress. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 34(4):316-328. doi:10.9755/ejfa.2022.v34.i4.2844
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil*, 383, 3-41
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia horticulturae*, 196, 15-27.
- Carillo, P.; Ciarmiello, L.F.; Woodrow, P.; Corrado, G.; Chiaiese, P.; Rouphael, Y. Enhancing Sustainability by Improving Plant Salt Tolerance through Macro- and Micro-Algal Biostimulants. *Biology* 2020, 9, 253
- Causin, H. F. (1996). The central role of amino acids on nitrogen utilization and plant growth. *Journal of Plant Physiology*, 149(3-4), 358-362.
- Cheng, Y., Tian, Q., & Zhang, W. H. (2016). Glutamate receptors are involved in mitigating effects of amino acids on seed germination of *Arabidopsis thaliana* under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 130, 68-78.
- Chinsamy, M., Kulkarni, M. G., & Van Staden, J. (2013). Garden-waste-vermicompost leachate alleviates salinity stress in tomato seedlings by mobilizing salt tolerance mechanisms. *Plant Growth Regulation*, 71(1), 41–47. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9807-6>
- Colla, G., Rouphael, Y. (2015). Bahçecilikte biyostimülantlar. *Science. Hortic.* 196, 1–2. doi: 10.1016/j.scienta.2015.10.044
- Colla, G., Rouphael, Y., Canaguier, R., Svecova, E., & Cardarelli, M. (2014). Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Frontiers in Plant Science*, 5, 1-6. doi:10.3389/fpls.2014.00448
- Corwin, D. L. (2021). Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. *European Journal of Soil Science*, 72(2), 842-862.
- Cova, Amw; Freitas, Fto; Viana, Pc; Rafael, Mrs; Azevedo Neto, Ad; Soares, Tm. 2017., Content of inorganic solutes in lettuce grown with brackish water in different hydroponic systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 21: 150-155.
- Cristofano, F., El-Nakhel, C., Colla, G., Cardarelli, M., Pii, Y., Lucini, L., & Rouphael, Y. (2023). Modulation of Morpho-Physiological and Metabolic Profiles of Lettuce Subjected to Salt Stress and Treated with Two Vegetal-Derived Biostimulants. *Plants*, 12(4), 709.
- Çakmak, I., Marschner, H., 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiol*, 98: 1222-1226
- Çakmak, I., 1994. Activity of Ascorbate-Dependent H₂O₂ Scavenging Enzymes and Leaf Chlorosis are Enhanced in Magnesium and Potassium Deficient Leaves, But Not in Phosphorus Deficient Leaves. *J. Exp. Bot.*, 45:1259- 1266.

- Çamoğlu, G., & Demirel, K. (2015). Marulda Farklı Tuz ve Potasyum Uygulamalarının Verim ve Bazı Fizyo-Morfolojik Özelliklere Etkileri. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(1), 89-97.
- Dasgan, H. Y., Kacmaz, S., Arpacı, B. B., İkiz, B., & Gruda, N. S. (2023). Biofertilizers Improve the Leaf Quality of Hydroponically Grown Baby Spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Agronomy*, 13(2), 575.
- Dasgan, H. Y., Yilmaz, D., Zikaria, K., İkiz, B., & Gruda, N. S. (2023). Enhancing the yield, quality and antioxidant content of lettuce through innovative and eco-friendly biofertilizer practices in hydroponics. *Horticulturae*, 9(12), 1274.
- Dasgan, H.Y.; Aldiyab, A.; Elgudayem, F.; İkiz, B.; Gruda, N.S. Effect of biofertilizers on leaf yield, nitrate amount, mineral content and antioxidants of basil (*Ocimum basilicum* L.) in a floating culture. *Sci. Rep.* 2022, 12, 20917
- Dasgupta, S., Hossain, M. M., Huq, M., & Wheeler, D. (2015). Climate change and soil salinity: The case of coastal Bangladesh. *Ambio*, 44, 815-826.
- Davies., K.J.A., 1987. Protein damage and degradation by oxygen radicals. 1. General Aspects, *J. Biol. Chem.*, 262: 9895-990
- De Azevedo, A.D.N.; Prisco, J.T.; Enéas-Filho, J.; de Abreu, C.E.B.; Gomes-Filho, E. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. *Environ. Exp. Bot.* 2006, 56, 87–94.
- de Oliveira, FA, da Silva, DD, dos Santos, ST, de Oliveira, MK, Nascimento, L., Silva, RT, ... ve Pinto, FFB (2023). Tuzlu su stresi ve kalsiyum nitrat altında mineral beslenme ve topraksız lahana üretimi. *Horticultura Brasileira* , 41 , e2615.
- Deivanai, S., Xavier, R., Vinod, V., Timalata, K., Lim, O. F., 2011. Role of exogenous proline in ameliorating salt stress at early stage in two rice cultivars. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry* 7 (4), 157-174.
- Demir, H., Polat, E., Sönmez, İ. (2010). Ülkemiz İçin Yeni Bir Organik Gübre: Vermikompost, *Tarım Aktüel Dergisi*, 14,54-60.
- Desai, S., P. Kumar, U. Sultana, S. Pinisetty, and G. Reddy. 2012. Potential microbial candidate strains for management of nutrient requirements of crops. *African Journal of Microbiology Research* 6 (17):3924–31. doi: <https://doi.org/10.5897/AJMR12.224>.
- Desoky, E. S. M., Merwad, A. R. M., & Rady, M. M. (2018). Natural biostimulants improve saline soil characteristics and salt stressed-sorghum performance. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(8), 967-983.
- Di Martino, C., Delfine, S., Pizzuto, R., Loreto, F., & Fuggi, A. (2003). Free amino acids and glycine betaine in leaf osmoregulation of spinach responding to increasing salt stress. *New Phytologist*, 158(3), 455–463. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00770>

- Diao, M., Ma, L., Wang, J., Cui, J., Fu, A., & Liu, H. Y. (2014). Selenium promotes the growth and photosynthesis of tomato seedlings under salt stress by enhancing chloroplast antioxidant defense system. *Journal of plant growth regulation*, 33(3), 671-682.
- D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, KF, Ravi, S. ve Runyan, CW (2013). Küresel çölleşme: Etkenler ve geri bildirimler. *Su Kaynaklarındaki Gelişmeler*, 51, 326 – 344.
- Du Jardin, P. (2012). The science of plants biostimulants: a bibliographic analysis. EU.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticulturae*, 196, 3-14.
- Du, S. T., Zhang, Y. S., & Lin, X. Y. (2007). Accumulation of nitrate in vegetables and its possible implications to human health. *Agricultural Sciences in China*, 6(10), 1246-1255.
- Dudaš, S., Šola, I., Sladonja, B., Erhatic, R., Ban, D., & Poljuha, D. (2016). The effect of biostimulant and fertilizer on “low input” lettuce production. *Acta Botanica Croatica*, 75(2), 253-259.
- Egamberdieva, D., Wirth, S., Bellingrath-Kimura, S. D., Mishra, J., & Arora, N. K. (2019). Salt-tolerant plant growth promoting rhizobacteria for enhancing crop productivity of saline soils. *Frontiers in microbiology*, 10, 2791.
- El-DakakR, El Aggan W, Badr G, Helaly A, Tammam A. 2021. Positive salt tolerance modulation via vermicompost regulation of sos 1 gene expression and antioxidant homeostasis in vicia faba plant. *Plants*, 10(11):2477. <https://doi.org/10.3390/plants10112477>
- El-Nakhel, C., Cozzolino, E., Ottaiano, L., Petropoulos, S. A., Nocerino, S., Pelosi, M. E., ... & Di Mola, I. (2022). Effect of biostimulant application on plant growth, chlorophylls and hydrophilic antioxidant activity of spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown under saline stress. *Horticulturae*, 8(10), 971.
- ElSayed, A.I.; Boulila, M.; Rafudeen, M.S.; Mohamed, A.H.; Sengupta, S.; Rady, M.; Omar, A.A. Melatonin Regulatory Mechanisms and Phylogenetic Analyses of Melatonin Biosynthesis Related Genes Extracted from Peanut under Salinity Stress. *Plants* 2020, 9, 854.
- El-Shazly, M. M. (2020). Effect of using mycorrhizae and biostimulants on productivity of canola under salt stress. *Plant Archives*, 20(2), 8303-8314.
- Ertani, A., Schiavon, M., Muscolo, A., & Nardi, S. (2013). Alfalfa plant-derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed *Zea mays* L. plants. *Plant and soil*, 364, 145-158.
- Eşiyok, D. (2012). Kışlık ve yazlık sebze yetiştiriciliği. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 410s.
- Fang, Z., Liu, Y., Lou, P., & Liu, G. (2004). Current trends in cabbage breeding. *Journal of New Seeds*, 6(2-3), 75-107.
- FAO, F. (2016). The state of food and agriculture: Climate change, agriculture and food security. Rome, Italy.
- Forde, B. G., & Lea, P. J. (2007). Glutamate in plants: Metabolism, regulation, and signalling. *Journal of Experimental Botany*, 58(9), 2339-2358. doi:10.1093/jxb/erm121

- Fridovich, I., 1986. Biological effects of the superoxide radical. Arch. Biochem. Biop., 274: 1-11.
- G. Gohari et al. (2020). Modified multiwall carbon nanotubes display either phytotoxic or growth promoting and stress protecting activity in *Ocimum basilicum* L. in a concentration-dependent manner *Chemosphere*
- Ganjavi, A. S., Oraei, M., Gohari, G., Akbari, A., & Faramarzi, A. (2021). Glycine betaine functionalized graphene oxide as a new engineering nanoparticle lessens salt stress impacts in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 14-26.
- Gardiner D T ve Miller R W (2008). *Soils in Our Environment*. 11th Edition, Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle Hill, Ne Jersey, USA
- Geçmez, S., (2011). Diyarbakır sebze üretim merkezlerinde sebzecilik potansiyelinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Diyarbakır.
- Gedeon, S., Ioannou, A., Balestrini, R., Fotopoulos, V., & Antoniou, C. (2022). Application of biostimulants in tomato plants (*Solanum lycopersicum*) to enhance plant growth and salt stress tolerance. *Plants*, 11(22), 3082.
- Golkar, P., Taghizadeh, M., & Yousefian, Z.(2019). The effects of chitosan and salicylic acid on elicitation of secondary metabolites and antioxidant activity of safflower under in vitro salinity stress. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 137(3), 575–585. <https://doi.org/10.1007/s11240-019-01592-9>
- Gossett, D.R., Millhollon, E.P., Lucas, M.C., 1994. Antioxidant response to NaCl stress in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of cotton. *Crop Sci.*, 34:706-714.
- Granada, C. E., Passaglia, L. M., De Souza, E. M., & Sperotto, R. A. (2018). Is phosphate solubilization the forgotten child of plant growth-promoting rhizobacteria?. *Frontiers in microbiology*, 9, 2054.,
- Gündoğdu A (2005) Doğu Karadeniz Bölgesinde Yetişen Karalahanalarda (*Brassica oleracea* var. *acephala*) Bazı Element Tayinleri. Yüksek Lisans Tezi, (yayınlanmamış), Karadeniz Teknik Üniversitesi, s. 165.
- Güzel N, Gülüt K Y ve Büyük G (2004). *Toprak Verimliliği ve Gübreler*. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 246, Ders Kitapları Yayın No: A-80, Adana
- Hasanuzzaman, M., Parvin, K., Bardhan, K., Nahar, K., Anee, T. I., Masud, A. A. C., & Fotopoulos, V. (2021). Biostimulants for the regulation of reactive oxygen species metabolism in plants under abiotic stress. *Cells*, 10(10), 2537
- Hassan, A.; Amjad, S.F.; Saleem, M.H.; Yasmin, H.; Imran, M.; Riaz, M.; Ali, Q.; Joyia, F.A.; Mobeen, A.S.; Ali, S.; et al. Foliar application of ascorbic acid enhances salinity stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) through modulation of morpho-physio-biochemical attributes, ions uptake, osmoprotectants, and stress response genes expression. *Saudi J. Biol. Sci.* 2021, 28, 4276–4290.

- Hassan, M. N., Mekkawy, S. A., Mahdy, M., Salem, K. F., & Tawfik, E. (2021). Recent molecular and breeding strategies in lettuce (*Lactuca* spp.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68, 3055-3079.
- Helaly, A. A., Mady, E., Salem, E. A., & Randhir, T. O. (2022). Stimulatory effects of growth-promoting bacteria on growth, nutritional composition, and yield of kale plants. *Journal of Plant Nutrition*, 45(16), 2465-2477.
- Hernández-Hernández, H., González-Morales, S., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., & Juárez-Maldonado, A. (2018). Effects of chitosan–PVA and Cu nanoparticles on the growth and antioxidant capacity of tomato under saline stress. *Molecules*, 23(1). <https://doi.org/10.3390/molecules23010178>
- Hmelak Gorenjak, A., & Cencič, A. (2013). Nitrate in vegetables and their impact on human health. A review. *Acta alimentaria*, 42(2), 158-172.
- Ibrahim, W. M. (2016). Potential impact of marine algal extracts on the growth and metabolic activities of salinity stressed wheat seedlings. *Journal of Applied Sciences*, 16(8), 388-394.
- Ikuyinminu, E., Goñi, O., & O'Connell, S. (2022). Enhancing irrigation salinity stress tolerance and increasing yield in tomato using a precision engineered protein hydrolysate and *Ascophyllum nodosum*-derived biostimulant. *Agronomy*, 12(4), 809.
- Isayenkov, S. V., & Maathuis, F. J. (2019). Plant salinity stress: many unanswered questions remain. *Frontiers in plant science*, 10, 80.
- Jakubke, H. D., Jeschkeit, H., & Rabczenko, A. (1982). *Aminokwasy, peptydy, białka*. Państwowe Wydaw. Naukowe.
- Kacar B ve Katkat V (2010). *Bitki Besleme*. 5. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti, Kızılay-Ankara
- Kaluzewicz, A., Bosiacki, M. ve Spizewski, T. (2018). Kuraklık stresine maruz kalan brokoli bitkilerinde biyostimülanların makro ve mikro besin içeriği üzerine etkisi. *Elementoloji Dergisi*, 23 (1).
- Kantarcı M D (2000). *Toprak İlmi*. İÜ Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İ Ü Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın No. 462, İstanbul, 420 s.
- Kara, A., Tunçtürk, M., & Tunçtürk, R. (2019). *Ekinezya (Echinaceae purpurea L.) bitkisinde tuz stresi ve deniz yosunu uygulamalarının bazı fizyolojik parametreler üzerine etkisinin araştırılması*. Derim. <https://doi.org/10.16882/derim.2019.537609>
- Karanlık, S., 2001. *Değişik Buğday Genotiplerinde Tuz Stresine Dayanıklılık ve Dayanıklılığın Fizyolojik Nedenlerinin Araştırılması*. (Doktora Tezi, basılmamış), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 125 s.
- Katz, D. L., & Meller, S. (2014). Can we say what diet is best for health?. *Annual review of public health*, 35, 83-103.
- Kavas M, Baloğlu MC, Akça O, Köse FS, Gökçay D. Effect of drought stress on oxidative damage and antioxidant enzyme activity in melon seedlings. *Turk J Biol* 2013;37:491-8.

- Keleş, D. (2007). Farklı biber genotiplerinin karakterizasyonu ve düşük sıcaklığa tolerans.
- Kim GB, Nam YW. A novel $\Delta 1$ -pyrroline-5-carboxylate synthetase gene of *Medicago truncatula* plays a predominant role in stress-induced proline accumulation during symbiotic nitrogen fixation. *J Plant Physiol* 2013;170:291-302
- Kiran, S. (2019). Effects of vermicompost on some morphological, physiological and biochemical parameters of lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) under drought stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(2), 352–358. <https://doi.org/10.15835/nbha47111260>
- Kisiriko, M., Anastasiadi, M., Terry, L. A., Yasri, A., Beale, M. H., & Ward, J. L. (2021). Phenolics from medicinal and aromatic plants: Characterisation and potential as biostimulants and bioprotectants. *Molecules*, 26(21), 6343.
- Koca, H., Bor, M., Özdemir, F., & Türkan, İ. (2007). The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. *Environmental and experimental Botany*, 60(3), 344-351.
- Kong, W., Liu, F., Zhang, C., Zhang, J., & Feng, H. (2016). Non-destructive determination of Malondialdehyde (MDA) distribution in oilseed rape leaves by laboratory scale NIR hyperspectral imaging. *Scientific reports*, 6(1), 35393.
- Kucinska, J. K., Magnucka, E. G., Oksinska, M. P., & Pietr, S. J. (2014). Bioefficacy of hen feather keratin hydrolysate and compost on vegetable plant growth. *Compost Science & Utilization*, 22(3), 179-187.
- Kumar, A., Singh, S., Gaurav, A. K., Srivastava, S., & Verma, J. P. (2020). Plant growth-promoting bacteria: biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1216.
- Kusvuran, A., Kaytez, I.A., Yılmaz, U., Kusvuran, S., 2019. The effects of exogenous amino acid on growth, ionic homeostasis, biochemical composition and antioxidative activity of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) taub.) seedlings. *Applied Ecology And Environmental Research* 17(6):15519-15530
- Kusvuran, Ş., & Havadar, S.,(2021) Domateste Mle (*Moringa Oleifera* Leaf Extract) Uygulamasının Tuza Tolerans Üzerindeki Etkisi.
- Kusvuran, S., Kiran, S., & Altuntas, O. (2021). Influence of salt stress on different pepper genotypes: Ion homeostasis, antioxidant defense, and secondary metabolites. *Glob. J. Bot. Sci*, 9, 14-20.
- Lakhdar, A., Trigui, M., & Montemurro, F. (2023). An Overview of Biostimulants' Effects in Saline Soils. *Agronomy*, 13(8), 2092.
- Lazarević, B., Šatović, Z., Nimac, A., Vidak, M., Gunjača, J., Politeo, O., & Carović-Stanko, K. (2021). Application of phenotyping methods in detection of drought and salinity stress in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 12, 629441.

- Lee, H. J., Lee, J. H., Lee, S. G., An, S., Lee, H. S., Choi, C. K., & Kim, S. K. (2019). Foliar application of biostimulants affects physiological responses and improves heat stress tolerance in Kimchi cabbage. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 60(6), 841-851.
- Levitt, J., 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol.II, 2nd ed. Academic Press, New York, pp:607.
- Li, Z., Wu, N., Meng, S., Wu, F., & Liu, T. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) enhance the tolerance of *Euonymus maackii* Rupr. at a moderate level of salinity. *PloS one*, 15(4), e0231497.
- Ličina, V. Đ., Jelačić, S. Č., Beatović, D. V., & Antić-Mladenović, S. B. (2014). Mineral composition of different basil (*Ocimum* spp.) genotypes. *Hemijška industrija*. 68(4). 501-510.
- Lonnerdal, B. Dietary factors influencing zinc absorption. *J. Nutr.* 2000, 130, 1378S–1383S.
- Lucini, L., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Canaguier, R., Kumar, P., & Colla, G. (2015). The effect of a plant-derived biostimulant on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown under salin
- Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J., 1996. NaCl-Induced Senescence in Leaves of Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars Differing in Salinity Resistance. *Annals Of Botany*, 78: 389- 398.e conditions. *Scientia Horticulturae*, 182, 124-133.
- Maia, S. S., da Silva, R. C., Oliveira, F. D. A. D., Silva, O. M. D. P., Silva, A. C. D., & Candido, W. D. S. (2017). Responses of basil cultivars to irrigation water salinity. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21, 44-49.
- Marschner, H. 2012. Mineral nutrition of higher plants. 3.ed London: Elsevier. 643p.
- Martinez-Alonso, A., Garcia-Ibañez, P., Bárzana, G., & Carvajal, M. (2022). Leaf Gas Exchange and Growth Responses of Tomato Plants to External Flavonoids Application as Biostimulators under Normal and Salt-Stressed Conditions. *Agronomy*, 12(12), 3230.
- McCauley A, Jones C ve Jacobsen J (2009). Nutrient Management. Nutrient management module 9 Montana State University Extension Service. Publication, 4449-9, p.1–16.
- Miceli, A., Moncada, A., & Vetrano, F. (2021). Use of microbial biostimulants to increase the salinity tolerance of vegetable transplants. *Agronomy*, 11(6), 1143.
- Michalak, I., Norrie, J., & Critchley, A. T. (2021). Enhancing plant pigments using natural biostimulants. In *Biostimulants for Crops from Seed Germination to Plant Development* (pp. 165-196). Academic Press.
- Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci* 2002;7:405-10.
- Mohammadi, H., Hazrati, S., Janmohammadi, M., (2019). Approaches to enhance antioxidant defense in plants. In: *Approaches for enhancing abiotic stress tolerance in plants*, Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Fujita, M., Oku, H., Islam, M.T. (eds). CRC Press, Taylor & Francis Group, Florida, 1-26.

- Molazem, D., Qurbanov, E. M., Dunyamaliyev, S. A., 2010. Role of proline, Na and chlorophyll content in salt tolerance of corn (*Zea mays* L.). *American-Eurasian Journal Agriculture Environment Science* 9 (3), 319-324.
- Moncada, A., Vetrano, F., & Miceli, A. (2020). Alleviation of salt stress by plant growth-promoting bacteria in hydroponic leaf lettuce. *Agronomy*, 10(10), 1523.
- Moncada, A., Vetrano, F., & Miceli, A. (2020). Alleviation of salt stress by plant growth-promoting bacteria in hydroponic leaf lettuce. *Agronomy*, 10(10), 1523.
- Mou, B. (2008). Lettuce. In *Vegetables I: Asteraceae, brassicaceae, chenopodiaceae, and cucurbitaceae* (pp. 75-116). New York, NY: Springer New York.
- Muchecua, Sm; Santos Júnior, Ja; Menezes, Sm; Silva, Gf; Chaves, Lh; Cruz, R1. 2022. Ionic relationships between macronutrients and sodium in parsley under nutrient solutions prepared with brackish water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 26: 11-20.
- Mumtaz, S.; Saleem, M.H.; Hameed, M.; Batool, F.; Parveen, A.; Amjad, S.F.; Mahmood, A.; Arfan, M.; Ahmed, S.; Yasmin, H.; et al. Anatomical adaptations and ionic homeostasis in aquatic halophyte *Cyperus laevigatus* L. under high salinities. *Saudi J. Biol. Sci.* 2021, 28, 2655–2666.
- Munns, R., Termaat, A., 1986. Whole-plant Responses to Salinity. *Aust. J. Plant Physiol.*, 13: 143-160.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25, 239–250. doi: 10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x
- Munns, R.; Tester, M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2008, 59, 651–681.
- Mushtaq, Z., Faizan, S., & Gulzar, B. (2020). Salt stress, its impacts on plants and the strategies plants are employing against it: A review. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 8(3), 81-91.
- Mutale-joan, C., Rachidi, F., Mohamed, H. A., Mernissi, N. E., Aasfar, A., Barakate, M., ... & Arroussi, H. E. (2021). Microalgae-cyanobacteria-based biostimulant effect on salinity tolerance mechanisms, nutrient uptake, and tomato plant growth under salt stress. *Journal of Applied Phycology*, 33, 3779-3795.
- Nephali, L., Piater, L. A., Dubery, I. A., Patterson, V., Huyser, J., Burgess, K., & Tugizimana, F. (2020). Biostimulants for plant growth and mitigation of abiotic stresses: A metabolomics perspective. *Metabolites*, 10(12), 505.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., and Tran, L. S. P. (2014). Response of plants to water stress. *Front. Plant Sci.* 5:86. doi: 10.3389/fpls.2014.00086
- Pal, S. C., Hossain, M. B., Mallick, D., Bushra, F., Abdullah, S. R., Dash, P. K., & Das, D. (2024). Combined use of seaweed extract and arbuscular mycorrhizal fungi for alleviating salt stress in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 325, 112597.
- Paleckiene, R.; Sviklas, A.; Šlinkšiene, R. Physicochemical properties of a microelement fertilizer with amino acids. *Russ. J. Appl. Chem.* 2007, 80, 352–357.
- Parniske, M. (2008). Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology*, 6(10), 763-775.

- Pavlović, I., Mlinarić, S., Tarkowská, D., Oklestkova, J., Novák, O., Lepeduš, H., ... & Salopek-Sondi, B. (2019). Early Brassica crops responses to salinity stress: a comparative analysis between Chinese cabbage, white cabbage, and kale. *Frontiers in plant science*, 10, 450.
- Piccolo, A. (1996). Humus and soil conservation. *Humic substances in terrestrial ecosystems*, 225-264.
- Pichyangkura, R., & Chadchawan, S. (2015). Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 49-65.
- Plaster E J (1992). *Soil Science and Management*. 2nd Edition, Delmar Publishers Inc., Albany, New York, USA.
- Popko, M., Michalak, I., Wilk, R., Gramza, M., Chojnacka, K., & Górecki, H. (2018). Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. *Molecules*, 23(2), 470.
- Popko, M., Wilk, R., & Gorecki, H. (2014). New amino acid biostimulators based on protein hydrolysate of keratin. *Przemysł Chemiczny*, 93(6), 1012-1015.
- Rady, M. M., Belal, H. E., Gadallah, F. M., & Semida, W. M. (2020). Selenium application in two methods promotes drought tolerance in *Solanum lycopersicum* plant by inducing the antioxidant defense system. *Scientia Horticulturae*, 266, 109290
- Rady, M.M.; Desoky, E.-S.M.; Ahmed, S.M.; Majrashi, A.; Ali, E.F.; Arnaout, S.M.A.I.; Selem, E. Foliar Nourishment with Nano-Selenium Dioxide Promotes Physiology, Biochemistry, Antioxidant Defenses, and Salt Tolerance in *Phaseolus vulgaris*. *Plants* 2021, 10, 1189.
- Regulation, E. U. (2019). 1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 Laying down Rules on the Making Available on the Market of EU Fertilising Products and Amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and Repealing Regulation (EC) No 2003/2003. 2019. *J. Eur. Union*, 170, 1-114.
- Rouphael, Y., Carillo, P., Garcia-Perez, P., Cardarelli, M., Senizza, B., Miras-Moreno, B., & Lucini, L. (2022). Plant biostimulants from seaweeds or vegetal proteins enhance the salinity tolerance in greenhouse lettuce by modulating plant metabolism in a distinctive manner. *Scientia Horticulturae*, 305, 111368.
- Ruzzi, M., & Aroca, R. (2015). Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 124-134.
- Sahin, U., Ekinici, M., Ors, S., Turan, M., Yildiz, S., & Yildirim, E. (2018). Effects of individual and combined effects of salinity and drought on physiological, nutritional and biochemical properties of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 240, 196-204.
- Saia, S., Corrado, G., Vitaglione, P., Colla, G., Bonini, P., Giordano, M., ... ve Rouphael, Y. (2021). Endofitik mantar bazlı bir biyostimulan, tuzluluk stresi seviyesine bağlı değişken mekanizmalar yoluyla uçucu ve uçucu olmayan ikincil metabolitleri ve sera fesleğenin (*Ocimum basilicum* L.) verimini modüle eder. *Patojenler*, 10 (7), 797.

- Sakr, M. T., El-Sarkassy, N. M., & Fuller, M. (2015). Minimization the effects of salt stress on sweet pepper plants by exogenous protectants application.
- Salachna, P., Piechocki, R., & Byczyńska, M. (2017). Plant growth of curly kale under salinity stress. *Journal of Ecological Engineering*, 18(1), 119-124.
- Santos, An; Silva, Êff; Silva, Gf; Bezerra, Rr; Pedrosa, Emr. 2017. Concentração de nutrientes em tomate cereja sob manejos de aplicação da solução nutritiva com água salobra. *Revista Ciência Agronômica* 48: 576-585
- Sarwar, M., Akhtar, M. E., Hyder, S. I., & Khan, M. Z. (2012). Effect of biostimulant (humic acid) on yield, phosphorus, potassium and boron use efficiency in peas. *Persian Gulf Crop Protection*, 1(4), 11-16.
- Scagel, C. F., Lee, J., & Mitchell, J. N. (2019). Salinity from NaCl changes the nutrient and polyphenolic composition of basil leaves. *Industrial Crops and Products*, 127, 119-128.
- Scagel, C. F., Lee, J., & Mitchell, J. N. (2019). Salinity from NaCl changes the nutrient and polyphenolic composition of basil leaves. *Industrial Crops and Products*, 127, 119-128.
- Shalata, A., & Neumann, P. M. (2001). Exogenous ascorbic acid (vitamin C) increases resistance to salt stress and reduces lipid peroxidation. *Journal of experimental botany*, 52(364), 2207-2211.
- Shams, M., Yildirim, E., Ekinci, M., Turan, M., Dursun, A., Parlakova, F., & Kul, R. (2016). Exogenously applied glycine betaine regulates some chemical characteristics and antioxidative defence systems in lettuce under salt stress. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 57(3), 225–231. <https://doi.org/10.1007/s13580-016-0021-0>
- Sharma, S. S., & Dietz, K. J. (2006). The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. *Journal of Experimental Botany*, 57(4), 711-726. doi:10.1093/jxb/erj073
- Singh, V., Singh, A. P., Bhadoria, J., Giri, J., Singh, J., TV, V., & Sharma, P. C. (2018). Differential expression of salt-responsive genes to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensitive rice (*Oryza sativa* L.) at seedling stage. *Protoplasma*, 255, 1667-1681.
- Soares, Hre; Silva, Êffs; Silva, Gf; Lira, Rm; Bezerra, Rr. 2016. Mineral nutrition of crisphead lettuce grown in a hydroponic system with brackish water. *Revista Caatinga* 29: 656-664.
- Söğüt,S.,(2017) Bitki Gelişimini Teşvik Edici Bakterilerin Tuz Stresi Koşullarında Buğday Gelişimi Üzerine Etkisinin Belirlenmesi Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı
- Stirk, W. A., & Van Staden, J. (2014). Plant growth regulators in seaweeds: occurrence, regulation and functions. In *Advances in botanical research* (Vol. 71, pp. 125-159). Academic Press.
- Taha, R. S., Alharby, H. F., Bamagoos, A. A., Medani, R. A., & Rady, M. M. (2020). Elevating tolerance of drought stress in *Ocimum basilicum* using pollen grains extract; a natural biostimulant by regulation of plant performance and antioxidant defense system. *South African Journal of Botany*, 128, 42-53.

- Tang, Y., Tian, J., Li, S., Xue, C., Xue, Z., Yin, D., & Yu, S. (2015). Combined effects of graphene oxide and Cd on the photosynthetic capacity and survival of *Microcystis aeruginosa*. *Science of the Total Environment*, 532, 154-161.
- Tuberosa, R. (2012). Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomics era. *Frontiers in physiology*, 3, 28919.
- Turan, M.; Yildirim, E.; Ekinici, M.; Argin, S. Effect of Biostimulants on Yield and Quality of Cherry Tomatoes Grown in Fertile and Stressed Soils. *HortSci. Horts* 2021, 56, 414–423
- Turhan, E., Kiran, S., Ates, C., Ates, O., Kusvuran, S., Ellialtioglu, S.S. (2020): Ameliorative effects of inoculation with *Serratiamarcescens* and grafting on growth of eggplant seedlings under salt stress, *Journal of Plant Nutrition*, 43 (4): 594-603. DOI: 10.1080/01904167.2019.1690662
- Türkan, I., & Demiral, T. (2009). Recent developments in understanding salinity tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 2-9.
- ur Rehman, H., Alharby, H. F., Bamagoos, A. A., Abdelhamid, M. T., & Rady, M. M. (2021). Sequenced application of glutathione as an antioxidant with an organic biostimulant improves physiological and metabolic adaptation to salinity in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 43-52.
- Ural,C.,(2020).Hümik Asitin Tuz Stresi Altındaki Domateste (*Solanum Lycopersicum*) Bazı Fizyolojik Parametreler ve Gen İfadeleri Üzerine Etkisi , Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı
- V´azquez, J.G., Hern´andez-Fern´andez, L., Hern´andez, L., P´erez-Bonachea, L., Campbell, R., 2021. Physiological and biochemical response of water lettuce (*Pistia stratiotes*) to short-term mild saline stress. *J. Plant Physiol. Pathol.* 9 (10), 269.
- Volpe, V.; Chitarra, W.; Cascone, P.; Volpe, M.G.; Bartolini, P.; Moneti, G.; Pieraccini, G.; Di Serio, C.; Maserti, B.; Guerrieri, E.; et al. The Association with Two Different Arbuscular Mycorrhizal Fungi Differently Affects Water Stress Tolerance in Tomato. *Front. Plant Sci.* 2018, 9, 1480.
- Vranova, V., Rejsek, K., Skene, K. R., & Formanek, P. (2011). Non-protein amino acids: Plant, soil andecosystem interactions. *Plant and Soil*, 342, 31-48. doi:10.1007/s11104-010-0673-y
- Waśkiewicz, A., Muzolf-Panek, M., & Goliński, P. (2013). Phenolic content changes in plants under salt stress. *Ecophysiology and responses of plants under salt stress*, 283-314.
- Willadino, L; Camara, Tr. 2010. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. *Enciclopédia Biosfera* 6: 1-23.
- Xiong, L., & Zhu, J. K. (2002). Salt tolerance. *The Arabidopsis book/American Society of Plant Biologists*, 1.
- Yan, Z., Guo, S., Shu, S., Sun, J., Tezuka, T., 2011. Effects of proline on photosynthesis, root reactive oxygen species (ROS) metabolism in two melon cultivars (*Cucumis melo* L.) under NaCl stress. *African Journal of Biotechnology*, 10 (80): 18381-18390.

- Ye, L.; Zhao, X.; Bao, E.; Cao, K.; Zou, Z. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on watermelon growth, elemental uptake, antioxidant, and photosystem II activities and stress-response gene expressions under salinity-alkalinity stresses. *Front. Plant Sci.* 2019, 10, 863
- Yilmaz, K., Akinci, I. E., & Akinci, S. (2004). Effect of salt stress on growth and Na, K contents of pepper (*Capsicum annuum* L.) in germination and seedling stages. *Pak. J. Biol. Sci.* 7(4), 606-610.
- Zafar-Ul-Hye, M., Mahmood, F., Danish, S., Hussain, S., Gul, M., Yaseen, R., & Shaaban, M. (2020). Evaluating efficacy of plant growth promoting rhizobacteria and potassium fertilizer on spinach growth under salt stress. *Pakistan Journal of Botany*, 52(4), 1441–1447. [https://doi.org/10.30848/PJB2020-4\(7\)](https://doi.org/10.30848/PJB2020-4(7))
- Zheng, X., Gong, M., Zhang, Q., Tan, H., Li, L., Tang, Y., ... & Deng, W. (2022). Metabolism and regulation of ascorbic acid in fruits. *Plants*, 11(12), 1602.
- Zuzunaga-Rosas, J., Calone, R., Mircea, D. M., Shakya, R., Ibáñez-Asensio, S., Boscaiu, M., ... & Vicente, O. (2023) Mitigation of salt stress in lettuce by a biostimulant that protects the root absorption zone and improves biochemical responses. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1341714.
- Zuzunaga-Rosas, J., Silva-Valdiviezo, D., Calone, R., Lupuț, I., Ibáñez-Asensio, S., Boscaiu, M., ... & Vicente, O. (2023). Biochemical responses to salt stress and biostimulant action in tomato plants grown in two different soil types. *Horticulturae*, 9(11), 1209.

ÖZGEÇMİŞ

İlköğretimini Yavuzlar İlköğretim Okulu'nda tamamlamıştır. Liseyi Mustafa Kemal Anadolu Lisesi'nde okumuştur. Üniversite hayatı Çukurova Üniversitesi Bahçe Bitkileri lisansı ile başlamış, Yüksek Lisansını aynı bölümde Sebzecilik Anabilimdalı altında Topraksız sistemler ile tamamlarken 2018'de Araştırma Görevlisi olarak atanmıştır. Doktorasını yine Çukurova Üniversitesi Bahçe Bitkileri Bölümü'nden almıştır.