



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARNİTİN UYGULAMALARININ TUZ STRESİ
ALTINDA BİBER VE HIYAR TOHUMLARININ
ÇİMLENME VE ÇIKIŞ PERFORMANSLARI
ÜZERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

MUHAMMET ÖMÜR ASLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2022

**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARNİTİN UYGULAMALARININ TUZ STRESİ
ALTINDA BİBER VE HIYAR TOHUMLARININ
ÇİMLENME VE ÇIKIŞ PERFORMANSLARI
ÜZERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

MUHAMMET ÖMÜR ASLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı**

KAHRAMANMARAŞ 2022

TEZ BİLDİRİMİ

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

Muhammet Ömür ASLAN



Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 2020/3-5 YLS

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

KARNİTİN UYGULAMALARININ TUZ STRESİ ALTINDA BİBER VE HİYAR TOHUMLARININ ÇİMLENME VE ÇIKIŞ PERFORMANSLARI ÜZERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Muhammet Ömür ASLAN

ÖZET

Bu tez çalışmasında hücrelerde lipit metabolizmasında görev alan L-karnitin'in tuz stresi altında biber ve hıyar tohumlarının çıkış ve çimlenme performansı üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla 'Beith Alfa' hıyar ve 'Sena' çeşidi biber tohumlarına 0, 0.05, 0.1, 1, 5, 25 ve 50 mM L-karnitin uygulaması yapılarak optimum koşullarda (0 mM NaCl) ve tuz stresi koşullarında (biberde 90 mM NaCl ve hıyarda 125 mM) çimlenme testine tabi tutulmuşlardır. Çimlenme testinde çimlenme parametreleri yanında kökçük uzunluğu değerleri incelenerek en uygun L-karnitin dozu belirlenmiştir. Çimlenme testi sonuçlarına bağlı olarak hıyar ve biber tohumları 0, 0.05 ve 0.1 mM L-karnitin uygulaması sonrasında hem optimum hem de yukarıda belirtilen tuz stresi koşullarında fide çıkış testlerine tabi tutulmuşlardır. Çıkış testi sonrası çıkış parametreleri yanında kök uzunluğu, prolin, MDA ve H₂O₂ içerikleri ile katalaz ve peroksidaz enzim aktiviteleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının biber tohumlarının optimum ve tuz stresi koşullarında çimlenme ve fide çıkış performansları üzerine olumlu bir etkiye sahip olmadığını ve L-karnitin konsantrasyonunun artmasıyla tohum çimlenmesinin olumsuz etkilendiğini göstermiştir. Ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının hıyar tohumlarında ise tuz stresi koşullarında tohum çimlenmesini ve fide çıkışını olumlu etkilediği belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan L-karnitin konsantrasyonları arasında en etkili konsantrasyonun 0.05 mM ve 0.1 mM olduğu belirlenmiştir. L-karnitin konsantrasyonunun daha da artması tohum çimlenmesini olumsuz etkilemiştir. L-karnitin hıyar tohumlarında etki göstermesinin nedeninin hıyar tohumlarının yüksek oranda yağ içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuç olarak daha düşük konsantrasyonlar kullanılarak L-karnitin diğer türler üzerindeki etkilerini ortaya koyma çalışmalarında özellikle yağ içeriği yüksek türlerin araştırmalara konu edilmesi daha faydalı olacaktır.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı, 09/2022

Danışman: Prof. Dr. Ahmet KORKMAZ

Sayfa sayısı: 100

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CARNITINE APPLICATIONS ON
CUCUMBER AND PEPPER SEED GERMINATION AND SEEDLING
EMERGENCE PERFORMANCE UNDER SALT STRESS**

(M.Sc. THESIS)

MUHAMMET ÖMÜR ASLAN

ABSTRACT

In this thesis, the effects of L-carnitine, which is involved in lipid metabolism in cells, on the emergence and germination performance of pepper and cucumber seeds under salt stress were investigated. For this purpose, 0, 0.05, 0.1, 1, 5, 25 and 50 mM L-carnitine was applied to 'Beith Alfa' cucumber and 'Sena' pepper seeds after which they were subjected to the germination test under optimum conditions (0 mM NaCl) and salt stress conditions (90 mM NaCl for pepper and 125 mM for cucumber). In the germination test, the most effective L-carnitine dose was determined by examining the germination parameters as well as the radicle length values. Depending on the germination test results, cucumber and pepper seeds were subjected to seedling emergence tests under both optimum and above-mentioned salt stress conditions after application of 0, 0.05 and 0.1 mM L-carnitine. After the emergence test, in addition to the emergence parameters, root length, proline, MDA and H₂O₂ contents along with catalase and peroxidase enzyme activities were determined. The results obtained showed that L-carnitine applications before sowing did not improve the germination and seedling emergence performance of pepper seeds under optimum and salt stress conditions, and seed germination was negatively affected by increasing L-carnitine concentration. On the other hand, it was determined that pre-sowing L-carnitine applications had a positive effect on seed germination and seedling emergence under salt stress conditions in cucumber seeds. Among the L-carnitine concentrations used in the study, the most effective concentration was determined to be 0.05 mM and 0.1 mM. Further increase in L-carnitine concentration adversely affected seed germination. It is thought that the reason for the positive effect of L-carnitine in cucumber seeds is due to the high oil content of cucumber seeds. As a result, it would be more beneficial to study the effects of L-carnitine on other species by using lower concentrations, especially the species with high oil content.

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Institute for Graduate Studies in Science and Technology
Department of Bahçe Bitkileri 09/2022

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet KORKMAZ

Page number: 100

TEŞEKKÜR

‘Karnitin Uygulamalarının Tuz Stresi Altındaki Hıyar ve Biber Türleri Üzerine Olan Etkilerinin İncelenmesi’ adlı bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmalarının her aşamasında gerek bilgisinden ve tecrübelerinden yararlandığım sayın danışman hocam Prof. Dr. Ahmet KORKMAZ’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımın tüm aşamalarında bilgilerini, fikirlerini, maddi ve manevi tüm desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Sayın Dr. Aygöl Karaca ve Zir. Yük. Müh. Şebnem KÖKLÜ ARDIÇ ve çalışma arkadaşlarım Zir. Müh. Ezginur ÖRTLEK, Zir. Müh. Hilal Okyay ve Arş. Gör. Abdullah HAVAN’a ayrıca labaratuvar çalışmalarında emeği geçen diğer arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ediyorum.

Ayrıca verdiği finansal destekten dolayı Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi (BAP)’ne teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve yanımda olan annem Birgül ASLAN, babam Halil ASLAN, eniştem Harun KIRIŞTIOĞLU ve her zaman desteklerini hissettiğim kız kardeşlerim Elif İrem KIRIŞTIOĞLU, Reyhan Ayşe ASLAN ve Ecrin Zehra ASLAN ve yeğenim Ilgın Zeynep KIRIŞTIOĞLU’na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Muhammet Ömür ASLAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
2.1. Bitkilerde Tuz Stresi	5
2.1.1. Tuz Stresinin Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi	8
2.1.2. Dünyada ve Ülkemizde Tuzluluğun Durumu	13
2.1.3. Tuz Stresinin Klorofil Mekanizmasına Etkisi	15
2.1.4. Tuz Stresine Karşı Bitkilerde Oluşan Tedbirler	18
2.1.4.1. İyon Dengesi ve SOS Sinyal İletim Yolu	19
2.1.4.2. Antioksidan Enzim Aktivitesi Üzerine Tuz Stresinin Etkileri	20
2.1.4.3. Karbonhidratlar Üzerine Tuz Stresinin Etkileri	22
2.1.4.4. Poliol İçeriği Üzerine Tuz Stresinin Etkileri	23
2.1.4.5. Amino Asitler ve Amidler Üzerine Tuz Stresinin Etkileri	24
2.1.4.6. Hormonlar Üzerine Tuz Stresinin Etkileri	25
2.1.5. Tuz Stres Toleransını Arttırmaya Yönelik Uygulamalar	27
2.2. L-Karnitin	29
2.2.1. L-karnitin Tanımı	29
2.2.2. L-karnitin Keşfi	30
2.2.3. L-karnitin Doğadaki Kaynakları	31
2.2.4. L-karnitin Sentezi	32
2.2.5. L-karnitin Biyolojik Fonksiyonları	35
2.2.5.1. Uzun Zincirli Yağ Asitlerinin Mitokondriye Taşınması	35
2.2.5.2. Mitokondriyel Yanma ve Yağ Asit Oksidasyonu, L-Karnitin Katalitik Fonksiyonu	37
2.2.5.3. Asetil Tamponu Olarak L-Karnitin ve Metabolik Fonksiyonu	37
2.2.5.4. Asetil Deposu Olarak Fonksiyonu	38
2.2.6. L-Karnitin Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri	39
4. MATERYAL VE YÖNTEM	44
4.1. Materyal	44

4.2. Metot.....	44
4.2.1. L-karnitin Uygulamaları	44
4.2.1.1. Çimlenme Testi	45
4.2.1.2. Fide Çıkış Testi	46
4.2.2. Yapılan ölçüm ve analizler	47
4.2.2.1. Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) İçeriği	47
4.2.2.2. Malondialdehid (MDA) İçeriği	47
4.2.2.3. Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesi.....	48
4.2.2.4. Peroksidaz (POX) Enzim Aktivitesi	48
4.2.2.5. Prolin İçeriği.....	48
4.2.2.6. Kök Uzunluk Ölçümü	49
4.2.2.7. Ortalama Çıkış Hızı (MET).....	49
4.2.2.8. Yaş ve Kuru Ağırlık Ölçümü	49
4.2.2.9. Kök Yaş ve Kuru Ağırlık Ölçümü	49
4.3. Sonuçların Değerlendirilmesi	49
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	50
5.1. Biberde L-karnitin Uygulamasında Elde Edilen Bulgular.....	50
5.1.1. Çimlenme Yüzdesi (%)	50
5.1.2. Ortalama Çimlenme Hızı (MGT).....	51
5.1.3. Çimlenme Üniformitesi (T ₁₀₋₉₀)	51
5.1.4. Kökçük Uzunluğu (mm)	52
5.2. Biber Çıkış Testi ve Biyokimyasal Analiz Sonuçları	54
5.2.1. Fide Çıkış Yüzdesi	54
5.2.2. Ortalama Çıkış Hızı (MET)	55
5.2.3. Fide Yaş Ağırlığı.....	56
5.2.4. Fide Kuru Ağırlığı.....	57
5.2.5. Kök Yaş Ağırlığı.....	58
5.2.6. Kök Kuru Ağırlığı.....	58
5.2.7. Kök Uzunluğu	59
5.2.8. Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) İçeriği.....	60
5.2.9. Malondialdehid (MDA) İçeriği.....	60
5.2.10. Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesi.....	61
5.2.11. Peroksidaz (POX) Enzim Aktivitesi	62
5.2.12. Prolin.....	63
5.3. Hıyarda L-karnitin Uygulamasında Elde Edilen Bulgular	64
5.3.1. Çimlenme Yüzdesi.....	64
5.3.2. Ortalama Çimlenme Hızı (MGT).....	65
5.3.3. Çimlenme Üniformitesi (T ₁₀₋₉₀)	65
5.3.4. Kökçük Uzunluğu	66
5.4. Hıyar Çıkış Testi ve Biyokimyasal Analiz Sonuçları.....	68
5.4.1. Çıkış Yüzdesi	68
5.4.2. Ortalama Çıkış Hızı (MET)	70
5.4.3. Fide Yaş Ağırlığı.....	70
5.4.4. Fide Kuru Ağırlığı.....	71
5.4.5. Kök Yaş Ağırlığı.....	72
5.4.6. Kök Kuru Ağırlığı.....	73
5.4.7. Kök Uzunluğu	74
5.4.8. Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) İçeriği.....	76

5.4.9. Malondialdehid (MDA) İçeriği.....	76
5.4.10. Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesi.....	77
5.4.11. Peroksidaz (POX) Enzim Aktivitesi	78
5.4.12. Prolin İçeriği	79
5.4. Tartışma	80
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR.....	86
ÖZ GEÇMİŞ.....	99



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Bitkilerde Stres Faktörleri	5
Şekil 2.2. Topraktaki Tuzluluk Problemi	8
Şekil 2.3. Tuz Stresinin Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi.....	13
Şekil 2.4. Tuz Toleransının Gelişmesine Dayanan Biyokimyasal ve Fizyolojik Parametreler.....	19
Şekil 2.5. L-karnitin ve Asetil-L-karnitin.....	30
Şekil 2.6. L-Karnitin Biyosentezinde Bulunan Reaksiyon aşamaları	34
Şekil 2.7. Sitozol Üzerinden Mitokondri İçerisine Aktif Yağ Asitlerinin Taşınmasında L-karnitinde Bulunan Taşıyıcı Fonksiyon	36
Şekil 4.1. Hıyar ve Biber Tohumlarına L-karnitin Uygulaması.....	45
Şekil 5.1. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Tohumlarının Çimlenme Yüzdeleri Üzerine Etkileri.....	50
Şekil 5.2. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Tohumlarının Ortalama Çimlenme Hızları Üzerindeki Etkisi	51
Şekil 5.3. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Tohumlarının Ortalama Çimlenme Üniformitesi (T ₁₀₋₉₀) Üzerine Olan Etkisi.....	52
Şekil 5.4. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Tohumlarının Kökçük Uzunluğuna Olan Üzerine Olan Etkisi	53
Şekil 5.5. Ekim Öncesinde Yapılan L-Karnitin Uygulamaları Sonrasında Optimum Koşullarda Çimlendirilen Biber Tohumlarının Kökçük Uzunlukları.....	53
Şekil 5.6. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamaları Sonrasında Tuz Stresi Koşullarında Çimlendirilen Biber Tohumlarının Kökçük Uzunlukları	54
Şekil 5.7. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Tohumlarının Fide Çıkış Oranı Üzerine Olan Etkisi.....	55
Şekil 5.8. Ekim öncesinde yapılan L-karnitin uygulamaları sonrası biber fideleri	55
Şekil 5.9. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Tohumlarının Fide Ortalama Çıkış Hızı Üzerine Olan Etkisi	56
Şekil 5.10. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Fidelerinin Yaş Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi.....	57
Şekil 5.11. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Fidelerinin Kuru Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi.....	57
Şekil 5.12. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Fidelerinin Kök Yaş Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi	58
Şekil 5.13. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Fidelerinin Kök Kuru Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi	59

Şekil 5.14. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Fidelerinin Kök Uzunlukları Üzerine Olan Etkisi	59
Şekil 5.15. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Fidelerinin Kök Uzunluklarına Ait Fotoğraflar	60
Şekil 5.16. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının H_2O_2 İçeriği Üzerine Olan Etkisi.....	60
Şekil 5.17. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının MDA İçeriği Üzerine Olan Etkisi.....	61
Şekil 5.18. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının CAT İçeriği Üzerine Olan Etkisi.....	62
Şekil 5.19. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının POX İçeriği Üzerine Olan Etkisi.....	63
Şekil 5.20. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Prolin İçeriği Üzerine Olan Etkisi.....	63
Şekil 5.21. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Tohumlarının Çimlenme Yüzdeleri Üzerine Etkileri	64
Şekil 5.22. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Tohumlarının Ortalama Çimlenme Hızı Üzerine Etkileri	65
Şekil 5.23. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Tohumlarının Ortalama Çimlenme Üniformitesi Üzerine Etkileri	66
Şekil 5.24. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Tohumlarının Kökçük Uzunluğu Üzerine Etkileri	67
Şekil 5.25. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamaları Sonrası Optimum Koşullarındaki Hıyar Kökçük Uzunlukları	67
Şekil 5.26. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamaları Sonrası Tuz Stresi Koşullarındaki Hıyar Kökçük Uzunlukları	68
Şekil 5.27. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Tohumlarının Fide Çıkış Oranı Üzerine Olan Etkisi.....	69
Şekil 5.28. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamaları Sonrası Hıyar Fideleri.....	69
Şekil 5.29. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Tohumlarının Ortalama Çıkış Hızı Üzerine Olan Etkisi	70
Şekil 5.30. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Fidelerinin Yaş Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi.....	71
Şekil 5.31. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Fidelerinin Kuru Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi.....	72
Şekil 5.32. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Fidelerinin Kök Yaş Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi	73
Şekil 5.33. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Fidelerinin Kök Kuru Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi	74
Şekil 5.34. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Fidelerinin Kök Uzunluğu Üzerine Olan Etkisi	75

Şekil 5.35. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamaları Sonrasında Hıyar Fidelerinin Kök Uzunlukları	75
Şekil 5.36. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının H_2O_2 İçeriği Üzerine Olan Etkisi.....	76
Şekil 5.37. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının MDA İçeriği Üzerine Olan Etkisi.....	77
Şekil 5.38. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının CAT İçeriği Üzerine Olan Etkisi.....	78
Şekil 5.39. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının POX İçeriği Üzerine Olan Etkisi.....	79
Şekil 5.40. Ekim Öncesinde Yapılan L-Karnitin Uygulamalarının Prolin İçeriği Üzerine Olan Etkisi.....	80



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Radikal ve Radikal Olmayan Reaktif Oksijen Türleri	7
Çizelge 2.2. 1/1 Oranında Toprak ve Saf Su Karışımı Kullanılan, Toprak Tuz Düzeylerine Göre Bitkilerin Duyarlılık Seviyeleri Çizelgesi	11
Çizelge 2.3. Sebzelerin tuz toleransı	12
Çizelge 2.4. Kıtalarındaki Tuzluluk Sebebiyle Kullanılamaz Hale Gelmiş Olan Alanlar	13
Çizelge 2.5. Türkiye’deki Toprakların Tuzluluk ve Alkalilik Oranları	15
Çizelge 2.6. Besin Hammaddelerindeki Doğal L-karnitin İçeriği	32

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

μM	: Mikromolar
ABA	: Absisik Asit
AsA	: Askorbat
BBD	: C-Butyrobetaine Dioxygenase
Ca^{+2}	: Kalsiyum
CAT	: Katalaz
CK	: Kreatin Kinaz
Cl	: Klor
EC_e	: Bitkinin Suya Dayanım Tuzluluğu
EC_w	: Sulama Suyu Tuzluluğu
FAO	: Dünya Gıda ve Tarım Örgütü
g	: Gram
GA_3	: Giberellik Asit
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
H_2O_2	: Hidrojen Peroksit
HKT	: Yüksek Afiniteli K^+ Kanalları
IAA	: İndolasetik Asit
JA	: Jasmonik Asit
K^+	: Potasyum
Kg	: Kilogram
KoA	: Koenzim A
LCT	: Düşük Afiniteli Katyon Kanalları
M6PR	: Mannoz-6-Fosfat Redüktaz
MDA	: Malondialdehit
mg/g	: Miligram/gram
ml	: Milimetre
mM	: Milimolar
mM	: Milimol
Na^+	: Sodyum
NaCl	: Sodyum Klorür
NO	: Nitrik Oksit

NSCC	: Seçici Olmayan Katyon Kanalları
P5CS	: Δ-1 Pirrolin Karboksilat Sentetaz
PA	: Fazeik Asit
PEPC	: Fosfoenol Piruvat Karboksilaz
POX	: Peroksidaz
ppm	: Milyonda Bir Birim
PS	: Fotosistem
ROT	: Reaktif Oksijen Türleri
Rubisco	: Ribuloz Bifosfat Karboksilaz
RWC	: Nispi Su İçeriği
SOD	: Süperoksit dismutaz
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
μmol/g	: Mikromol/gram

1. GİRİŞ

Tuzluluk, dünya genelinde tarımı engelleyici en büyük problemler arasında yer almaktadır. Önemli bir husus olmasına karşın tuzluluk karşısında oluşan toleransın mekanizmasının genel olarak anlaşılamadığı düşünülmektedir (Babourina ve ark., 2000). Bu sebepten kaynaklı olarak araştırmacıların bitkilerin tuz stresleri esnasında organelleri içerisinde bulunan sodyum (Na), klor (Cl) ve potasyum (K) iyonlarının taşınımını, birikimini ve bu iyonların dengesini araştırmaktadır (Aktaş, 2002).

Tuzlu şartlar altında üreticiler tarafından yetiştirilen bitkilerin veriminin düşmesini engellemek ve bozulan bitki ozmoregülasyonunu stabil hale getirmek, üretici adına temel hedef olmaktadır. Tuz stresi altında olan bitkilerin veriminin düşmesinin sebeplerinden biri bitkideki iyon dengesinin bozulması olmaktadır. Bitki dokularındaki bozulmaların da bitkinin ozmoregülasyonunu bozduğu, ayrıca bitkinin enzim aktivasyonunu engellediği ve bu bağlamda bitki metabolizmasının olumsuz etkilendiği görülmektedir. Bu durumlarda bitkiye dışarıdan bazı takviyeler verilmesi gerekmektedir. Dışarıdan yapılan takviyelerle bitkinin stres derecelerinin azaltılması hedeflenmektedir (Aktaş, 2002).

Hıyar, Cucurbitaceae familyasının *Cucumis* cinsine ait olup, *Cucumis sativus* L. olarak adlandırılmakta ve ılıman ile subtropikal iklim kuşağı arasında kalan geniş bir alanda yetiştiriciliğinin yapıldığı görülmektedir. Ülkemizde üretimi yapılan sebzeler içerisinde açık tarlada üretimi en fazla olan sebzeler sırasıyla domates (12.841.990 t), karpuz (3.870.515 t), biber (2.625.669 t) ve hıyar (1.916.645 t) türleridir (TÜİK, 2020). Sera yetiştiriciliği açısından incelendiğinde 3.899.495 ton ile domates birinci sırada üretilirken, ikinci sırayı 1.156.997 ton ile hıyarın aldığı görülmektedir (TÜİK, 2020).

Hıyar üretimi Türkiye’de 2008 yılında 60 bin ha alanda üretilmekte, o dönem içerisinde Türkiye dünyada Çin ve Rusya’nın ardından 3. sırada yer almaktadır (Özalp, 2008). Günümüzde ise genel olarak sebze üretimi 2021 yıl sonu verilerine göre 31.8 milyon ton olmaktadır. Bu üretim 2020 yılına oranla 0.6 ton artmıştır. Ayrıca 2020 yılına oranla 2021 yılında hıyar üretimi yüzde 0.2 ve biber üretimi yüzde 11.9 artış göstermektedir (TÜİK, 2022). Dünya üzerinde bulunan sulama alanlarındaki yetiştiricilerin yeterli ve kaliteli su imkanlarındaki problemleri nedeniyle tuzlu su kullandıkları söylenmektedir (Villora ve ark., 2000). Gelecekte bu tutumun tarım alanında büyük problemlere sebebiyet vereceği, tuz konsantrasyonunda artışa ve yetiştirilen tarım ürünlerinde verimsizliğe yol açacağı ifade edilmektedir (Aktaş, 2002). Hıyar bitkisinin

tuzluluk eşiği 1.7 dS/m olup, tuz konsantrasyonlarındaki artış hıyar bitkisini olumsuz yönde etkilemektedir. Tuz seviyeleri 2.2'ye ulaşmasından itibaren verim düşmekte, bu oranın 4.2'ye çıkması durumunda ise bitki verimliliği yarı yarıya düşmektedir (Anonim a).

Dabuxilatu ve İkeda'nın 2005 yılında yapmış oldukları çalışmada hıyar (*Cucumis sativus* L.) ve soya fasulyesi üzerinde kalsiyum ve klor iyonlarının etkisi incelenmiştir. Soya bitkisi üzerinde tuzun neden olduğu zararlara yaprak ve kök hücrelerinin içerisinde biriktirdiği yüksek yoğunlukta olan klorun sebebiyet verdiği görölmekteyken, hıyar bitkisi incelendiğinde tuzun neden olduğu zararların temel nedeni, kök ve yaprak hücrelerinde bulunan sitoplazmalardaki sodyumun birikmesi olarak ifade edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada hıyar bitkisinde biriken sodyumun, besin solüsyonunda yüksek bir yoğunluğu olan kalsiyum iyonunun ve vakuollerde birikmiş olan klor iyonlarının ilişkili bir şekilde etkisine bağlı olduğu belirtilmiştir (Dabuxilatu ve İkeda, 2005).

Solanaceae familyasının *Capsicum* cinsine ait olan biber (*Capsicum annuum* L.) yetiştirilme koşullarına ve iklim şartlarına bağlı olarak subtropik iklimlerde tek yıllık, tropik iklimlerde ise birkaç yıllık olarak hem yazlık hem de kışık olarak yetiştirilmesi mümkün olan bir sebze türüdür. Anavatanının Güney Amerika ölkeleri olduğu bilinmekte ve buradan dünyaya yayıldığı kabul edilmektedir. Ölkemizde ise ilk olarak 16. yüzyılda İstanbul'a getirildiği bilinen biberin daha sonraki yıllarda Anadolu'nun çeşitli bölgelerine yayıldığı belirtilmiştir (Özalp, 2008).

Yaygın bir şekilde üretimi yapılan biberin ise tuza "orta derecede" bir hassaslığı bulunmaktadır. Biber yetiştiriciliğinde 1.0-1.5 dS/m değerleri verimlilik düzeylerinin sınır değerini kabul edilmekte, bu düzeyin 3.4 dS/m düzeyine ulaşması halinde ise verimin yarı yarıya düşebileceği söylenmektedir. Biberin tuz toleransı yapmış oldukları çalışmada 1.5 dS/m (eşik değerini) olarak ifade edilmektedir. Ayrıca biber verimliliğindeki nispi azalma (yüzdelik kayıp) yüzde 14 olarak gösterilmektedir (Ayers, 1989).

Verimin düşmesine sebebiyet veren durum olarak tuz stresi gösterilmektedir. Tuz stresinin bitkilerin gelişimindeki olumsuz etkilerinin azaltılması veya sonlandırılması adına birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Kullanılan yöntemler içerisinde temiz sulama suyunun kullanılmasıyla tuzun yıkama yöntemiyle uzaklaştırılması, drenaj sistemi kurulması, gübre kullanımında kimyasal oranı fazla gübrelerin kullanımının azaltılması veya sonlandırılması, toprağın organik madde içeriğinde artış sağlanması ve topraksız tarım teknikleri kullanılarak problemlerin ortadan kaldırılması bulunmaktadır. Her ne kadar bu

yöntemler genel olarak bilinse de bu yöntemlerin geniş alanlara uygulanabilirliği düşük ve maliyet oranı yüksek olmaktadır. Bu sebeple alternatif yöntemlerin geliştirilme ihtiyacı duyulmuştur.

L-karnitin, hayvansal dokularda yüksek oranda bulunan, sitoplazma üzerinden mitokondride bulunan matrikse transfer edilen uzun zincirli yağ asitlerinin transfer sonrası iç mitokondrial membran içerisinden geçişinden sorumlu olan amino asitlerin bir türevi olarak ifade edilmektedir (Kopce ve Fritz, 1973). L-karnitin, genel olarak sitozolün mitokondriyal matrikse aktardığı uzun zincirli yağ asitlerinin taşınımını, krebs döngüsünü, asetil-karnitin olarak enerjinin depolanmasını, membran yapısının korunmasını ve apoptozis inhibisyonunu sağlamaktadır (Ribas ve ark., 2014).

Ayrıca L-karnitin maliyetinin düşük olması, hızlı ve güvenilir sonuçlar vermesinin yanında organizma grubunun incelenmesine yanıtının kısa süreli oluşu gibi birçok avantajı sebebiyle, bitki genotoksiste testlerinin, mutasyonları da içerisinde bulunduran normal olmayan kromozomal yapılarının değerlendirilmesinde temel bir biyolojik test yöntemi olarak da kullanılmaktadır (Grant, 1999).

Bitkilerin diğer organizmalara kıyasla düşük kromozom sayısının olmasının yanında büyük kromozom yapısının bulunmasının da avantajıyla radyasyonun, pestisit, çevresel kirleticilerin ve mutajenik kimyasalların meydana getirdiği genetik olan değişimlerin daha erken saptanmasında büyük oranda kullanılmaktadır (Sharma ve Paneerselvan, 1990).

Murthy, ve ark. (2022) yaptığı çalışmada hıyar tohumlarının 100 g hıyar tohumunda 25 g yağ ile yağ içeriği yüksek türler arasında bulunmakta, 100 g biber tohumunda ise 11.04 g yağ ile yağ içeriği düşük türler arasına girmektedir (Azabou ve ark., 2017). Yapılan literatür taramalarında L-karnitin'in yağ metabolizmasında görev aldığı ifade edilmekte ve yağ içeriği bakımından zengin türlerde daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu sebeple yürütülen bu tez çalışmasında yağ içeriği yüksek tür olarak hıyar ve düşük tür olarak da biber türleri seçilmiştir.

Bitkiler üzerinde yürütülen çoğu stres çalışmalarında, kullanılan bitki büyüme düzenleyicilerinin ve hormonların stres ile başa çıkmada önemli rollerinin olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile aminoasit benzeri bir madde olan L-karnitin'in tuz stresi altındaki hıyar ve biber tohumlarının çimlenme ve çıkış performanslarını arttırması ile hayatta kalan sağlıklı bitki sayısını arttırarak stres koşullarının etkilerini azaltması

hedeflenmiştir. Ayrıca sebze yetiştiriciliği ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda L-karnitin uygulamalarına yönelik çok fazla sayıda araştırmanın olmadığı görülmektedir; o nedenle bu çalışma da L-karnitin'in tuz stresi koşullarında kullanılabilme olasılığı ve bu iki tür için optimum karnitin dozunun belirlenmesi hedeflenmektedir

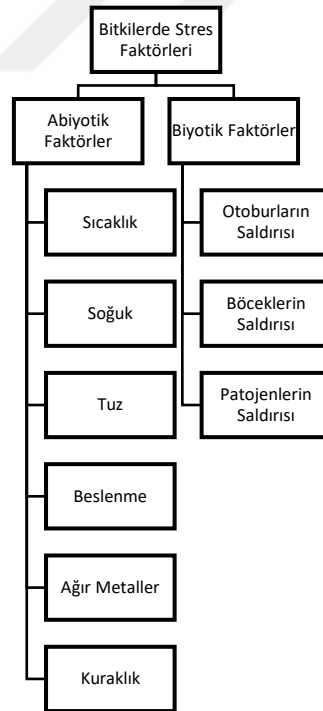


2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Bitkilerde Tuz Stresi

Bitkilerin hareket edemedikleri göz önünde bulundurulduğunda, yetiştirme ortamının çevresel koşullarında oluşan farklılıkların veya değişimlerin şiddet ve süre olarak değişkenlik göstermesi, bitkilerin metabolik faaliyetleri, gelişim ve büyümelerinde bir takım olumsuz etkiler barındırmaktadır. Bu etkiler bitkiler üzerinde ciddi değişime yol açmaktadır. Değişime sebebiyet veren elemanların her biri “stres faktörü”, bitkinin içerisinde bulunduğu durum ise “stres” olarak adlandırılmaktadır (Korkmaz ve Durmaz, 2017).

Biyolojik stres, biyolojik bir sistem üzerindeki stabil olan işleyişin olumsuz bir durum ya da kuvvet tarafından engellenme hali olmaktadır. Stres faktörleri genel olarak tuzluluk, ışık, sıcaklık, kuraklık, aşırı karbondioksit ve ozon gibi abiyotik faktörlerin yanında patojenler, böcekler ve hayvanlar gibi biyotik faktörlerin olduğu iki farklı sınıflandırma ile ifade edilmektedir. Bu sınıflandırma Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Bitkilerde Stres Faktörleri (Orbitbiontech, 2018)

Bitkilerde abiyotik stres faktörleri arasında en önemli iki faktör olarak “kuraklık” ve “tuzluluk” gösterilmektedir. Kuraklık kavramı, bitkilerin su ihtiyaçlarının yeterli düzeyde karşılanamadığı, bu durumun ise bitki yaşamını tehlikeli hale sokacak uzun bir zaman olduğu ve yağış miktarının tehlike arz edecek kadar düşük düzeyde olduğu durumları ifade etmek için kullanılmaktadır. Bu kavram “meteorolojik” bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır (Arslan, 2018). Tuzluluğun etkilerine bakıldığında bitkiler üzerinde farklı, karmaşık ve işleyişlerinin henüz aydınlatılamadığı mekanizmalar yoluyla besin element düzensizliği, su ve iyon toksisitesi, metabolik süreç değişikliği, oksidatif stres, membran üzerinde hasar ve hücre bölünmesine azalma gibi birçok düzensizlik ve genotoksosite görülmektedir (Ağar, 2017).

Dünya üzerinde 45 milyon hektarın üzerinde bir sulama alanı tuzluluk sebebiyle zarar görmektedir. Ayrıca yıllık olarak ortalama 1.5 milyon hektarlık bir toprağın üretimden çıkarıldığı, bu çıkarılmanın sebebinin toprak tuzluluğu olduğu söylenmektedir. Toprağın zarar görmesiyle beraber ülkeler ekonomik olarak da milyonlarca dolar zarar etmekte, bu durum ise tuzluluğun çok boyutlu zararlarının olduğu göstermektedir (Munns ve Tester, 2008).

Yapılan araştırmalar sonucunda tuzluluğun yüksek buharlaşma ve deniz suyu ile sulama yapılmasının yanında yanlış sulama yöntemleri sonucu da ortaya çıktığı düşünülmektedir. Büyük ekonomik kayıplara yol açan bu durumun nedenlerinin ortaya çıkması da büyük önem taşımaktadır. Genel olarak sulama suyu içeriğinde kalsiyum, magnezyum ve sodyum barındırmaktadır. Sulama sonrası suyun buharlaşmasıyla beraber toprakta “sodyum” yoğunluğu oluşmaktadır (Tuteja, 2007).

Tuzluluk durumunda toprağın yüksek Na^+ seviyesi, besin-iyon aktivitelerinin yanında $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ ya da Na^+/K^+ oranlarında da bir takım değişimler meydana getirmektedir. Bu değişimlerin yanında topraktaki katyon yoğunluğunun artması sonucu köklere su girişinin yavaşladığı görülmektedir. Bu yavaşlama katyon yoğunluğundaki artışla beraber bitkilerin bu durumdan olumsuz bir şekilde etkilenmesi, “kuraklığa benzer bir şekilde ortaya çıkan durum” olarak ifade edilebilmektedir (Ağar, 2017).

Bitkilerin yaşamış olduğu stres, diğer stres faktörlerinin de artışına sebebiyet verebilmektedir. Dolayısıyla stresin bitkiler üzerinde fizyolojik ve biyokimyasal etkilerinin yanında morfolojik etkisinin de bulunduğu söylenmektedir (Nezhadahmadi ve ark., 2013).

Tuzluluk ortamında bulunan bitkiler incelendiğinde, bitkilerin hücre membran ve organel yapılarının değişime uğradığı, ayrıca suyla alakalı fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerde problemlere yol açan doku dehidrasyonlarının tuzluluk sonucu oluşabileceği saptanmaktadır. Bitkilerin stres durumlarının uzun süreli olmasının ise reaktif oksijen türleri (ROS) üretiminde artışa sebebiyet verdiği söylenmektedir. Kısmen azaltılmış olan ya da uyarılmış olan atmosferik oksijen formları ROS olarak ifade edilmektedir. ROS kavramı, yarı ömürlü, oksidasyon potansiyeli farklı, radikal ve radikal olmayan formları ifade etmektedir (Zhao ve ark., 2001). Reaktif oksijen türleri Tablo 2.1’de gösterilmektedir. Tablo 2.1’de radikal ve radikal olmayan reaktif oksijen türlerinin formülleri ile gösterimi bulunmaktadır.

Tablo 2.1. Radikal ve Radikal Olmayan Reaktif Oksijen Türleri (Uğuzlar, 2009)

Reaktif Oksijen Türleri			
Radikaller	Formül	Radikal Olmayanlar	Formül
Süperoksit	O ₂ •	Hidrojenperoksit	H ₂ O ₂
Hidroksi	OH•	Hidroklorikasit	HOCl
Peroksi	ROO•	Hipobromikasit	BOBr
Alkoksi	RO•	Ozon	O ₃
Hidroperoksi	HOO•	Singlet Oksijen	Δ O ₂

Genel olarak bitkinin kloroplastında, mitokondrisinde ve peroksisom bölgelerinde “yan ürün” şeklinde sürekli olarak sentezi gerçekleştirilen fakat stres altında miktarında artış görülen ROS, “doymamış yağ asitlerinin çoğunlukta olduğu hücre zarlarının fosfolipitlerini, nükleik asitleri, proteinleri parçalamasının yanında klorofil de parçalayan, birçok gen ve sinyal iletim yolları içerisinde indüklemeye görevi gören toksik ürünler” olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca ROS’lar oksidatif hasarlara da sebebiyet vermektedir (Gill ve Tuteja, 2010).

Dünyada mevcut olan ekim alanları hakkında stres faktörleri üzerinden yapılan çalışmada %26 oranında su kaynaklarının yeterli oranda faydalanamaması, su kaynağının bulunamaması ve bu kaynakların giderek azalması sonucu oluşan stres bulunmaktadır. Ayrıca %20 oranında tuz stresi ve %15 oranında soğuk ve don stresi de tehlike arz edecek seviyelerde olmaktadır. Diğer streslerin %29 olduğu çalışmada stres faktörlerinin bulunmadığı alanların %10’luk bir alanı kapsadığı görülmektedir (Blum ve Jordan, 1985; Kalefetoğlu ve Emekçi, 2005).

Toprak tuzluluğunun tarımsal sürdürülebilirliği ve verimliliğini olumsuz etkilediğini ve bu durumun küresel bir problem olduğunu belirten görsel Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Topraktaki Tuzluluk Problemi (Sezen, 2021)

2.1.1. Tuz Stresinin Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi

Tuzluluk, yarı kurak veya kurak bölgelerde çözünebilir bir şekilde bulunan tuzların yıkanması sonucu yer altı suyuna nüfuz etmesi, yüksek taban suyuyla beraber kapilarite aracılığıyla yüzeye ulaşması, ulaşan tuzun suyun buharlaşmasıyla beraber toprak yüzeyinde kalarak git gide birikmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda tuz stresi, genel olarak yarı kurak ve kurak bölgelerin bitkisel üretiminin etkilendiği, önem arz eden bir abiyotik stres faktörü olmaktadır (Aycan, 2018). Tuzluluk artışı sebebiyle sürdürülebilir tarım alanlarının 21. yy. ortalarından itibaren yarısının tahrip olacağı düşünülmektedir (Kuşvuran, 2010).

Yağışın yetersiz olduğu bölgelerde tuzların derinlere taşınmadığı görülmektedir. Bu problemin özellikle yüksek sıcaklığın yanında yağışın bulunmadığı dönemlerde, içeriğinde tuzun da bulunduğu taban sularının kılcal yükselmelerle beraber toprağın zeminine kadar ulaşabildiği söylenmektedir. Yani sıcaklıkların etkisiyle buharlaşan suların geride bıraktığı tuzlar, toprak yüzeyinde veya yakınında bulunmaktadır. Dolayısıyla tuzluluğun temel nedeni yağışların yetersiz oluşu ve su buharlaşmasının yüksekliği olmaktadır (Aycan, 2018).

Bitkilerin tuzluluğun bulunduğu şartlarda vermiş olduğu tepkiler, iki farklı sınıflandırma ile ifade edilmektedir. İlk grubun içerisinde bulunan glükofitlerin 200 mM'nin aşığıındaki tuzluluk oranında büyüebildiğı ve birçok tahıl türünün de bu gruba dahil olduğı ifade edilmektedir. Bu grupta bulunan bitkilerin prolin ve glisin betain gibi maddelerin yanında şeker gibi çözünen maddelerin de sentezinin artırılması ve osmotik dengenin korunmasının yanında topraktan suyla beraber alınan tuz miktarındaki fazlalığın da engellenmesi üzerine çabaladığı görölmektedir (Tuteja, 2007).

Diğer grubun içerisinde bulunan bitkiler incelendiğinde ise karşımıza “tuz toleransı” bulunan halofitler çıkmaktadır. Bu tür bitkilerin 250 mM tuz oranının üstünde oranlara sahip topraklarda büyüebildiğı, hücre vakuollerinin tuzu ayırma ve biriktirme özelliklerinin olduğı görölmektedir. Bu sayede sitozollerindeki tuz artışının önüne geçildiğı, hücrelerinde yüksek oranda bulunan Na^+/K^+ oranlarının korunduğı ifade edilmektedir (Ağar, 2017).

Tuz stresi içerisinde bulunan bitkilerin tuz tolerans mekanizmaları ve büyümesinin devam edebilmesi adına ek enerji kaynağı gereksiniminin olduğı bildirilmiştir. Bandehagh ve Taylor, 2020 yılında yapmış oldukları çalışmalarında bitkilerin tuz stresi esnasında büyümesinin ve gelişiminin sürdürölmesi adına enerji adına arz-talep dengesinin oluşması gerektiğini söylemektedir (Bandehagh ve Taylor, 2020). Tuzluluk stresi içerisindeki olumsuzluklar, iyon ve su toksisitesi, besin element düzeninde problemler, oksidatif stres, metabolik süreçler üzerindeki değişimler, membranda oluşan hasarlar, hücre bölünmesindeki düzensizlikler, azalmalar ve genotoksosite olarak ifade edilmektedir (Akgöl, 2019).

Bitkilerin üzerinde oluşan bu olayların eşliğinde tuz stresi, bitkiler üzerinde büyüme, gelişme ve hayatını sürdürme olasılıklarında azalmalara sebep olmaktadır. Tuz stresinin en önemli problemleri olarak bitkinin gelişim süreçlerindeki; bitki yağ metabolizması, protein sentezi, fotosentez ve stoma kapanması gibi metabolik süreçlerin olumsuz bir şekilde etkilenmesi gösterilmektedir (Ağar, 2017).

Bitkilerin tuz stresine maruz kalması sonucu bitkinin verimi ve büyümesi büyük oranda etkilenmektedir. Ayrıca bitkilerin tuz stresıyla karşı karşıya kalmasının ve sürecin ilerlemesinin sonucu olarak büyük alanlar tarım dışı alan şeklini almaktadır. Tuzlar genel olarak klorür, sülfat, karbonat, borat ve bikarbonat olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat doğada en yaygın olarak bulunan tuz NaCl (sodyum klorür) olmaktadır (Hansu, 2021).

Bitkiler tuz stresinden iki safhada etkilenmektedir. İlk safha bitkilerin osmotik stres altında kalmaları sonucu meydana gelen “hızlı safha” olmaktadır. Bu safhada bitki, toprakta yeterli seviyede suyun bulunmasına karşın, su stresinden kaynaklı olarak o sudan yeterli bir şekilde yarar sağlayamamaktadır (Çulha ve Çakırlar, 2011). İlk faz, bitkilerin kısa süreli bir stres durumunda ortaya çıkmakta, bitki kökleri tuzlu çözeltiden kaynaklı olarak sudan yararlanamamaktadır. Bu durumda da bitkinin gelişiminde ve büyümesinde azalmalar meydana gelmektedir. Bitkinin gövdesinin ise strese sebebiyet veren yüksek tuz yoğunlaşmalarına karşı kökten daha duyarlı bir yapısının olduğu söylenmektedir. Bu sayede topraktaki nemin tutulmasına izin verilmekte ve toprağın tuz yoğunluğu üzerindeki artışın önüne geçilmektedir. Diğer safhaya bakıldığında bitkinin uzun süreli bir strese maruz kalma durumu söz konusu olmaktadır. Bu safha bitkinin tuzun toksik etkilerine karşın vermiş olduğu bir cevap niteliği taşımaktadır. Tuzlar, bitki içerisinde hızlı olarak birikmekte, bu da enzim aktivitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Yaşlı yapraklar içerisinde biriken Na^+ toksik bir etki yapmaktadır. Yeni yaprak üretiminin yaşlı yaprak ölümlerinden az olduğu durumlarda da bitkinin genç yapraklar adına karbonhidrat ihtiyaçlarını karşılayamayacak hale geldiği, bu durumun da büyüme oranında ciddi azalmalara sebebiyet verdiği ifade edilmektedir (Munns ve Tester, 2008).

Tuz stresinin şiddet seviyeleriyle alakalı olarak bitkinin direkt olarak ölümüyle sonuçlanması haricinde bitkinin mevcut olan tuz toleransının yanında ortamın da tuz yoğunluğuyla ilişkili bir şekilde büyümeyi de etkilediği, ilk olarak yaşlı yaprakların etkilendiği membran ve klorofil parçalanmalarına (kloroz ve nekroz) sebebiyet verebildiği görülmektedir. Çevresel faktörlere ve fizyolojik etkilere bağlı olarak bitkilerin kendi içerisinde oluşturduğu tuz toleransının farklı bitkilerde, farklı şekillerde olduğu söylenmektedir. Ayrıca bitki türlerinin aynı olduğu genotiplerin dahi aralarında farklılıklar olabileceği ifade edilmektedir (Hafizoğlu, 2020).

Bitkilerde mevcut olan tuz toleransının tanımlaması “yüksek tuz miktarlarının bulunduğu ortamlardaki bitkilerin, gelişimini ve büyümesini devam ettirebilmeleri adına bulundurdıkları bir yetenek” şeklinde olmaktadır. Bitkilerin tuz toleransı iki farklı şekilde olmaktadır. Bunlar tuzu kabullenme ve tuzdan sakınım olarak ifade edilmektedir. Tuzu kabullenme mekanizmasını faaliyete sokan bitkilerin Na^+ ve Cl iyonlarının doku toleransı gösterdiği, tuzdan sakınım mekanizmasına sahip olan bitkilerin ise tuzu kendilerinden uzaklaştırarak hücre içindeki tuz yoğunluğunun stabilizasyonu sağladığı görülmektedir (Doğru ve Canavar, 2020).

Bitkinin yetiştirme ortamında fazla tuza maruz kalması bitki gelişimini sınırlamaktadır. Bayraklı (1998), çalışmasında bitki büyümesine tuzların etkisini üç farklı sınıflandırma ile açıklamıştır. Bunlar;

- Kimyasal etki, bazı tuz türlerinin besin maddelerinin alımını engellemesi veya yavaşlatması sonucunda bitki metabolizmasının bozulmasıyla bitki bünyesine zarar vermesiyle oluşmaktadır. Bu durum “özel iyonların toksisitesi” olarak tanımlanmaktadır.
- Fiziksel etki, ozmotik basınç artışı sonucunda bitkinin su alımı yavaşlamaktadır. Bu yavaşlamanın ardından dolaylı olarak beslenme de yavaşlamakta ya da durmaktadır. Bitkinin su alımında güçlük çekmesi “ozmotik basınç etkisi” olarak ifade edilmektedir.
- Dolaylı etki ise sodyum kaynaklı ya da tuzluluğun toprakta birtakım değişiklikler meydana getirmesi sonucu bitkilerin gelişiminin etkilenmesi olmaktadır.

Toprak tuz düzeylerine göre bitkilerin duyarlılık seviyeleri farklılık göstermektedir. Çizelge 2.2’te bitkilerin duyarlılık seviyeleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. 1/1 Oranında Toprak ve Saf Su Karışımı Kullanılan, Toprak Tuz Düzeylerine Göre Bitkilerin Duyarlılık Seviyeleri Çizelgesi (Quide, 1999)

Tuzluluk (EC_e, dSm⁻¹)		Bitkilerin Tepkisi
0-0.98	Çok az tuzlu	Tuzluluk etkisi çoğunlukla ihmal edilebilir.
0.98-1.71	Az Tuzlu	Çok duyarlı bitkilerin ürün verimleri düşebilir
1.71-3.16	Tuzlu	Birçok bitkinin ürün verimi düşer.
3.16-6.07	Çok Tuzlu	Tuza dayanıklı bitkiler normal ürün verebilir.
> 6.07	Aşırı Tuzlu	Tuza çok dayanıklı birkaç bitki ürün verebilir.

Bitkilerin tuza olan direncinin gelişme dönemiyle yakın bir ilişkisinin olduğu söylenmektedir. Genel olarak bitkilerin gelişme dönemlerinde tuza duyarlılıkları daha üst seviyede olmaktadır. Gelişim döneminde bitkiler tuz stresine maruz kalmaları halinde ileriki dönemlerde daha yetersiz bir gelişim sergilemektedir. Çevresel ya da yetersiz drenaj gibi ekonomik sınırlamalar bulunan topraktan tuz uzaklaştırılması zor olmaktadır. Bu durumların söz konusu olduğu toprak mevcudiyetinde seçilecek bitkilerin tuza yüksek toleransı olması beklenmektedir (Ekmekçi, 2007).

Tuz stresinin bitki gelişimine olan etkileri şu şekilde olmaktadır (Ekmekçi ve ark., 2005);

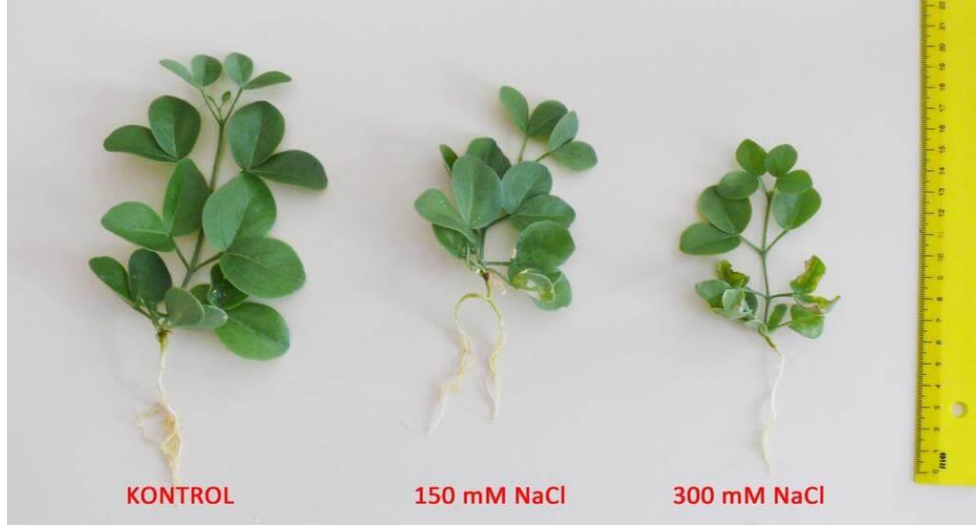
- Çimlenmenin yavaş ve yetersiz olması,
- Solma, kuruma ve fizyolojik kuraklık,
- Kısa gövde, kısa dallar, küçük yapraklar ve bodurluk,
- Yeşil yaprakların mavimsi şekil alması,
- Geciken çiçeklenme, çiçek açmada seyreklik ve tohumların normale oranla daha küçük olması,
- Bitkilerin yanında tuza dayanıklı yabancı ot türlerinin gelişim göstermesi.

Bu bağlamda sebzelerin tuz toleransı Çizelge 2.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Sebzelerin Tuz Toleransı (Ekmekçi ve ark., 2005)

Bitki Çeşidi	Eşik Değer		Verimdeki Azalma (%)					
	EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)	10		25		50	
			EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w
Brokoli	2.8	1.9	3.9	2.6	5.5	3.7	8.2	5.5
Pancar	4	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4
Domates	2.5	1.7	3.5	2.3	5	3.4	7.6	5
Biber	1.5	1	2.2	1.5	3.3	2.2	5.1	3.4
Havuç	1	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3
Lahana	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	7	4.6
Soğan	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9
Marul	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.2	3.4
Ispanak	2	1.3	3.3	2.2	5.3	3.5	8.6	5.7

Çizelgede dokuz farklı sebzenin EC_e (bitkinin tuz toleransı) ve EC_w (sulama suyu tuzluluğu) oranları gösterilmektedir. Buna karşın çizelgede her bitkinin farklı eşlik değerlerinin olduğu, bu kapsamda da verimlerdeki azalmaların farklı olduğu görülmektedir. Bu durum, bitkilerin gelişiminin de tuzluluk seviyesine göre farklılık gösterdiği gibi, aynı tuzluluk oranında farklı bitkilerin de gelişiminin farklılık göstereceği sonucu ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.5'te aynı çemen otu (*Trigonella foenum-graecum*) bitkisi üzerinde tuzluluk oranlarının farklılaşması sonucu tuzun bitki üzerindeki tahribatı net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2.3. Tuz Stresinin Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi (Anonim b)

2.1.2. Dünyada ve Ülkemizde Tuzluluğun Durumu

Tuzun birikmesi sebebiyle tarım arazilerinin tahrip olması, her yıl yüzlerce kilometrekarelik araziye etkileyerek devam etmektedir. Günümüzde ise dünya üzerinde 400 ila 950 milyon ha tarım arazisinin tuzluluk sebebiyle tahrip olduğu düşünülmektedir. Dünya geneline bakıldığında tahrip olan bölgeler, tarım arazilerinin yaklaşık olarak 3'te 2'sini oluşturmaktadır (Hasegawa ve ark., 1986).

Çizelge 2.4. Kıtalardeki Tuzluluk Sebebiyle Kullanılamaz Hale Gelmiş Olan Alanlar (Sezen, 2021)

Kıtalar	Tuzlu Topraklar (Milyon ha)	Alkali Topraklar (Milyon ha)	Toplam (Milyon ha)	Yüzde (%)
Avusturalya	17.6	340	357.6	38.4
Asya	194.7	121.9	316.5	33.9
Avrupa	7.8	22.9	30.8	3.3
Afrika	53.5	26.9	80.4	8.6
Amerika	77.6	69.3	146.9	15.8
Dünya Geneli	351.2	581	932.2	100

Çizelge 2.4'te gösterilen alanlar dünya üzerinde bulunan kıtaların tuzluluk sebebiyle kullanılamaz hale gelmiş alanları göstermektedir. Bu bağlamda tuz probleminin en çok yaşandığı kıta Asya kıtası, en az yaşandığı kıta ise Avrupa kıtası olmaktadır. Fakat alkali toprakların da göz önünde bulundurulduğu oranlar incelendiğinde Avusturalya kıtası

en çok, Avrupa kıtası ise en az toprak tahribatının olduğu kıta konumunda bulunmaktadır (Sezen, 2021).

Günümüzde Dünya'nın yaklaşık olarak %43'ünün topraklarının kurak veya yarı kurak iklim bölgelerinde yer aldığı söylenmektedir. Bu bölgelerdeki sulama uygulamalarının yürütüldüğü tarım arazilerinde ise %50'lik kısmının tuz tehdidi altında olduğu görülmektedir. 2020 yılı verilerine göre dünya genelinde yaklaşık olarak 932 milyon ha arazinin tuzdan etkilendiği bildirilmiştir. Türkiye'de tuzun tahrip ettiği tarım arazileri yaklaşık olarak 4 milyon hektarı bulmaktadır. Bu oran Türkiye'nin sulanabilir arazilerinin yaklaşık olarak 5'te 1'ini oluşturmaktadır (Sönmez, 1990). Günümüzde Türkiye'de su kaynaklarının yaklaşık 3'te 2'si tarımsal faaliyetlerde kullanılmaktadır. İklim değişiklikleri sebebiyle su kaynaklarının kullanımında tasarruf ön plana çıkmaktadır. Ayrıca tarımsal faaliyetlerde kullanılan tatlı su kaynaklarının bilinçsiz kullanılması sonucunda toprak erozyonu ve taban suyunun yükselmesi gibi olumsuzluklarının yanında tuzlanma ya da çoraklaşma gibi çevresel problemlerin de meydana geldiği söylenmektedir.

Türkiye'de üreticilerin tuz stresi hakkında bilgisinin yetersiz olduğu düşünülmekte, bu bağlamda ülkede çeşitli seminer, konferans gibi eğitim faaliyetleri yürütülmektedir. Ayrıca Türkiye'de üreticilerin tuz stresinden kaynaklı problemlerin çözümlerinde yanlış çözüm yollarına başvurduğu söylenmekte, Türkiye'de tuzluluk problemlerinin boyutunun önemli derecelerde olduğu ifade edilmektedir. Karadavut (1995) yapmış olduğu çalışmada Türkiye'nin en büyük projesi olan "GAP (Güneydoğu Anadolu Projesi)" alanında kademeli bir şekilde sulamanın yaygınlaştırılması, bölgenin sulama kültürü adına yeterli bilgi sahibi olmayışı nedeniyle dengesiz ve aşırı sulama yapılması neden olduğu bildirmektedir. Bölgenin tuzluluk problemiyle karşı karşıya kalmasının başlıca nedeninin aşırı ve dengesiz sulama olduğu düşünülmektedir (Karadavut, 1995).

Özel İhtisas Komisyonu Raporu incelendiğinde ise Türkiye'nin 2023 yılına kadar yürütülecek politikaları kapsamında tespit edilen 2.5 milyon hektarlık alanda tarımsal faaliyetleri ve üretimi tehdit eden birtakım problemlerin çözümü adına politikalar yürütülmesi planlanmıştır. Belirtilen problemlerin "ciddi" olarak tanımlandığı problemler ise yüksek taban suyu ve tuzluluk olmaktadır. 6.5 milyon hektarlık alanın ise sulamanın düzensiz ve aşırı olması sonucu taban suyundaki artış gözlemlendiği, bu bağlamda tuzluluk haritası çıkarılması ve kurumsal kapasitenin artırılması adına faaliyetler yürütüleceği bildirilmektedir (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2018).

Çizelge 2.5'te göre Türkiye'deki tarım arazileri incelendiğinde bitkisel problemlerin yaşandığı alanların büyük bir kısmı “hafif tuzlu alan” olarak nitelendirilmektedir. Türkiye'nin genel olarak toprak probleminin yaklaşık 1.518.722 hektarlık bir alanda olduğu görülmektedir. Bu alanların %41'i hafif tuzlu, %33'ü tuzlu, %0.5'i alkali, %8'i hem hafif tuzlu hem alkali ve %17.5'i ise tuzlu ve alkali olarak değerlendirilmektedir. Türkiye'de tuz probleminin en yaygın yaşandığı alanlar ise Konya-Ereğli, Aksaray, Malya, Erzurum, Erzincan, Çukurova ve Iğdır'ın yanında Menemen, Bafra, Söke, Acıpayam, Salihli, Harran, Amik ve Reyhanlı olmaktadır (Sezen, 2021).

Çizelge 2.5. Türkiye'deki Toprakların Tuzluluk ve Alkalilik Oranları (Sezen, 2021)

Toprak Özellikleri	Alan (ha)	Sorunlu Alanlara Göre (%)
Tuzlu	505.603	33.0
Hafif Tuzlu	614.617	41.0
Alkali	8.461	0.5
Tuzlu-Alkali	264.958	17.5
Hafif Tuzlu-Alkali	125.863	8.0
Toplam	1.518.722	100

2.1.3. Tuz Stresinin Klorofil Mekanizmasına Etkisi

Bitkilerin fotosentetik dokuları üzerinde tuzluluğun artması sonucunda bitişik grana membranı üzerinde bir yığılma, klorofillerde parçalanma ve tilakoidlerde büzülme gibi istenmeyen sonuçlar çıkmaktadır (Ashraf, 2004). Tuz stresinin patates üzerindeki etkisi kloroplastların sayılarının azalması, domates üzerindeki etkisi kloroplastların kümelenmesi şeklinde olmaktadır (Parida ve Das, 2005).

Bitkilerin tuza (NaCl) maruz kalması sonucunda çeltik bitkileri incelendiğinde bu bitkilerde tilakoidlerin şiştiği, lipid damlacıklarıyla polisakkarit tanelerinin biriktiği ve grana dizilerinin büküldüğü görülmektedir (Rahman ve ark., 2000). Tilakoidlerin pigment-protein baz alınarak yapılan analizlerde, yüksek NaCl oranının Fotosistem I ve II (PS I ve PS II) reaksiyon merkezleri üzerinde büyük etkisinin olduğu gözlemlenmektedir. Tilakoidler üzerinde elektron taşıma sisteminin faaliyetlerinin yüksek tuzluluğa maruz kalınması durumunda azaldığı da görülmektedir (Parida ve ark., 2003). Yüksek tuzluluk oranlarının klorofilin moleküler yapısını bozmakta, düşük tuzluluk yapısının ise klorofil içeriğini artırmaktadır (Ashraf, 2004).

Tuz stresi altındaki bitkiler incelendiğinde ortaya bazı olumsuzlukların çıktığı tespit edilmektedir. Örneğin tuz stresi altındaki mısır bitkisinin yapraklarında bulunan karotenoid ve klorofil içerikleri (Yakıt ve Tuna, 2006), bazı Cucumis türleri üzerinde (Kuşvuran ve ark., 2008) ve pamuk çeşitlerinin bazılarında (Dutta Gupta, 2007) klorofil miktarlarında azalma tespit edilmiştir. Bitkilerin klorofil içeriğinde azalma görülmesi, klorofil sentezindeki azalmalardan veya klorofil pigmentleri üzerinde olan parçalanmalardaki artıştan kaynaklı olabilmektedir. Çoğunlukla klorofilin parçalanmasının nedeni klorofilaz enzim faaliyetlerinin artması olmaktadır (Yıldız ve ark., 2010).

Tuzluluğun bitkiler üzerinde net fotosentez oranında, transpirasyon oranında ve stoma iletkenliğinde azalmalara neden olmakta, aynı zamanda da stoma direncini artırmaktadır (Ashraf, 2004). Gómez-Cadenas ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada *Citrus sinensis* üzerinde 100 mM tuz uygulaması yapılmış, sonucunda ise fotosentez oranının ve stoma iletkenliğinin azaldığı gözlemlenmiştir (Gómez-Cadenas ve ark., 2002).

Yüksek yapılı bitkiler incelendiğinde tuzluluk oranının net fotosentez, fotosentetik parametre, pigment kompozisyonu üzerinde bazı değişimlere sebep olmaktadır. Tuzluluk toleransının üzerinde bir orana maruz kalmış bitkilerde ise fotosentez oranlarının düşmesinin yanında stoma kapanmasının sonucunda CO₂ fiksasyonunun da düştüğü gözlemlenmektedir (Sultana ve ark., 1999).

Halofit *Plantago coronopus* bitkisi incelendiğinde, tuzluluğun stoma iletkenliğiyle ilişkili bir şekilde su kullanımındaki etkinliği ve fotosentezi büyük oranda etkilediği görülmektedir. Yaprak alanındaki ve karotenoid/klorofil oranlarındaki azalmayla birlikte foton sistemlerin de elektron akışlarının tuzluluk nedeniyle azaldığı tespit edilmektedir (Koyro, 2006)

Tuzluluğa maruz kalan pamuğun net fotosentezinde ve stoma iletkenliğinde azalmalar olmaktadır. Tuzluluğun PS II'de herhangi bir etkisi görülmemesine karşın, stoma açıklığının ve fotosentez kapasitesinin sınırlandığı görülmektedir (Meloni ve ark., 2003). *Alhagi pseudoalhagi* ve dut bitkisi incelendiğinde CO₂ asimilasyon oranında tuzluluk sebebiyle azalmalar meydana gelmektedir. *Atriplex lentiformis*'in tuzluluğa maruz kalması sonucu net CO₂ asimilasyon oranında düşüşün yanında fosfoenol piruvat karboksilaz (PEPC)/Rubisco (ribuloz bifosfat karboksilaz) oranlarının da azaldığı tespit edilmektedir. Tuz uygulaması yapılan *Macrotyloma uniflorum* bitkisi incelendiğinde ise

fotosentetik elektron taşıma sistemiyle Calvin döngüsünün enzim faaliyetlerinin engellendiği görülmüş, bu durumun sebebinin ise stoma iletkenliğinin ve CO₂ asimilasyon oranlarının yüksek seviyelerde azalması olduğu saptanmıştır (Parida ve Das, 2005).

Toprak çözeltisinde bulunan yüksek oranlardaki tuz, bitkinin K⁺ alımını azaltmaktadır. Bu bağlamda tuza maruz kalan bitkilerde K⁺ sağlanması, kök tüylerinde bulunan plazmalemmalardaki kalsiyumun yerine sodyumun geçmesiyle daha zor olmaktadır. Aynı zamanda bu yer değiştirmenin ardından bitkideki membran sistemin de ayrıştığı, buna bağlı olarak ise köklerden dışarıya olacak şekilde bir K akımının arttığı tespit edilmektedir. Mandarin ağaçları ile yapılan farklı tuz uygulamasında fergitasyonla uygulaması yapılan farklı K⁺ seviyelerinin etkileri baz alınmaktadır. Çalışmanın sonucunda ise K⁺ uygulamalarının bitkideki su potansiyeliyle net CO₂ asimilasyonu parametreleri arasındaki ilişkinin yanında stoma yoğunluğuyla olan ilişki de test edilmektedir. K⁺ oranının artırılması sonucu su potansiyelinde düşüş meydana geldiği, net CO₂ asimilasyonunun ve stoma yoğunluğunun ise yükseldiği tespit edilmiştir (Anaç ve ark., 1999).

Tuz stresinden kaynaklı olarak bitkilerin normalin üstünde bir serbest radikal sentezinin olduğu, serbest radikallerce meydana gelecek doku hasarlarının önüne geçilmesi adına bitkide bulunan aktioksidatif savunma mekanizmalarının uyarıldığı söylenmektedir. K eksikliğinin tespit edildiği bitkilerde H₂O₂ yıkıcı enzimlerinde de azalmalar görülmektedir. Ayrıca Çakmak, 1994 yılında yapmış olduğu çalışmada kuraklık, yüksek ışık ve tuzluluk gibi bitkide stres oluşturan koşullardaki fotooksidatif hasarların önlenmesinde potasyumun “koruyucu” bir görev aldığını ifade etmektedir. Yani çevresel olarak meydana gelen stres durumlarında oksidatif zararlar karşısında kloroplastın zarar görmemesi adına K, büyük önem taşımaktadır. K eksikliğinde bitkilerin kloroz ve nekrozlarının hasar görmesinin yanında kloroplast hasarları da meydana gelmektedir (Çakmak, 1994).

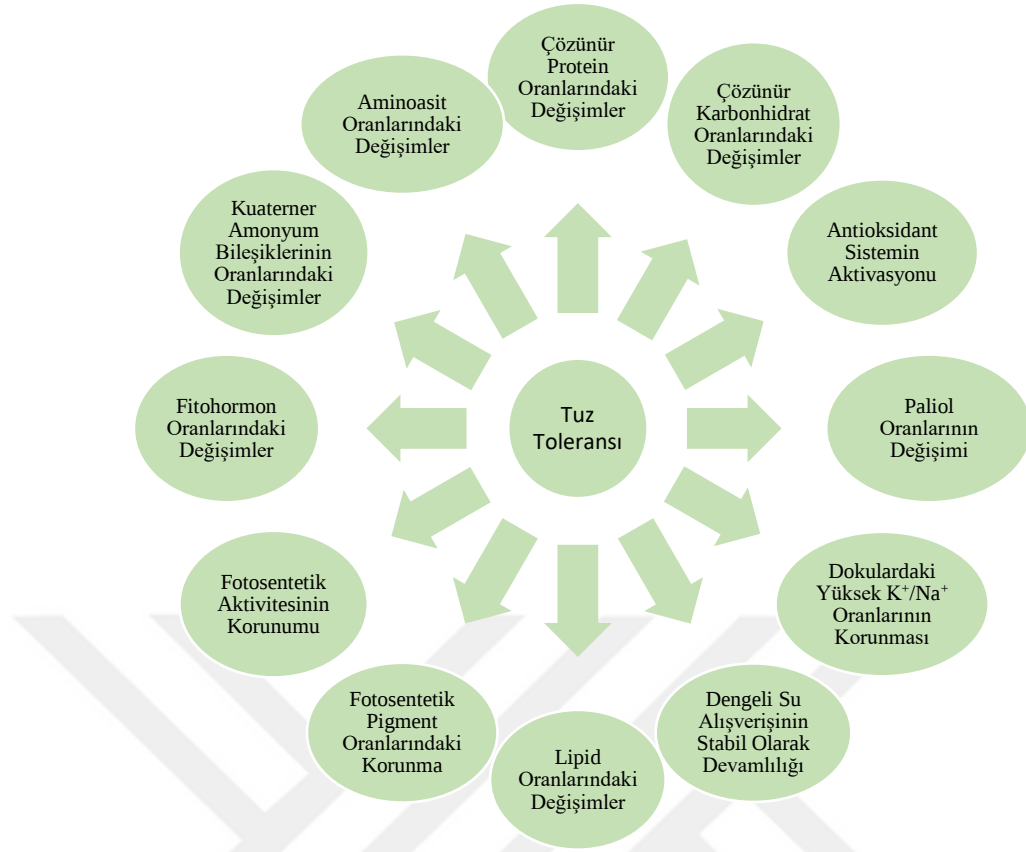
Akar (2015) tarafından yürütülen doktora tezinde, marul fidelerinin yapraklarına 50 µM ve 100 µM sodyum nitroprussid (SNP) uygulandıktan 48 saat sonra fidelere 50 mM ve 150 mM NaCl uygulanmış ve SNP'nin tuz stresi altındaki etkileri araştırılmıştır. Kontrol ile karşılaştırıldığında tuz uygulamasının marul yapraklarında GA, IAA, SA ve bazı amino asitlerin konsantrasyonlarını önemli ölçüde azalttığı, MDA, H₂O₂, ABA, toplam fenolik madde konsantrasyonlarını, APX, CAT, POD, SOD aktivitelerini, çözünebilir şekerlerin (glukoz, fruktoz, maltoz ve sükroz) ve bazı organik asitlerin miktarlarında görülen artışın

önemli düzeyde olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, marul fidelerine tuz uygulamasından 48 saat önce yapraklara uygulanan SNP'nin MDA, H₂O₂, ABA konsantrasyonlarını azaltmak, GA, IAA, SA ve bazı amino asitlerin konsantrasyonlarını artırmak, antioksidan enzimlerin (APX, CAT, POD ve SOD) aktivitelerini, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasiteyi daha fazla artırmak yoluyla tuz stresine toleransı önemli oranda teşvik ettiği belirlenmiştir. Araştırmacı, SNP, tuz stresıyla birlikte artan ROS miktarını azaltarak, fenolik madde, antioksidan enzim aktiviteleri ve tuza toleransta rol oynayan anahtar genlerin ifadelerini artırarak marul fidelerini tuz stresinin oluşturduğu olumsuz etkilerden etkili bir biçimde koruduğunu bildirmiştir.

2.1.4. Tuz Stresine Karşı Bitkilerde Oluşan Tedbirler

Tuzlu toprak şartlarında bitki gelişiminin ve yaşama kapasitesinin ifadesi “tuz toleransı” olmaktadır (Parida ve Das, 2005). Bitkilerin yaşamlarını devam ettirebilmesi adına birtakım moleküler ve biyokimyasal mekanizmalar geliştirmektedir (Munns ve Tester, 2008). Bu mekanizmalar iyonların uzaklaştırılması veya seçici birikim, iyonların köklerce kontrollü absorbanası ve yapraklara aktarılması, bitkilerin organlarının tamamındaki iyonların lokalizasyonu, fotosentetik yoldaki değişim, ozmo-regülatörlerin sentezlenmesi, antioksidatif enzim faaliyetleri, hücrenin membran yapısındaki değişimler ve DNA metilasyonu olmaktadır.

Tuz stresine maruz kalan bitkilerde tuz toleransının gelişmesi hakkındaki biyokimyasal ve fizyolojik parametreler Şekil 2.6’da gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Tuz Toleransının Gelişmesine Dayanan Biyokimyasal ve Fizyolojik Parametreler (Doğru ve Canavar, 2020)

2.1.4.1. İyon Dengesi ve SOS Sinyal İletim Yolu

Bitkilerin tuzlu şartlar altında canlılığının sağlanması adına Na/K oranları bulunan çevrelerde sitozolik Na/K oranlarının korunmasını sağlayarak, toksik seviyelerde bulunması istenmeyen Na konsantrasyonunun önüne geçilmektedir. Ayrıca turgor basıncının sürekli bir yapıda olması adına alınan su miktarlarının yeterliliğinin korunumu sağlanmaktadır (Reinhold ve Guy, 2002).

Topraktaki NaCl bileşiğiyle direkt olarak karşı karşıya kalan bitkilerin köklerinde Na girişinin “pasif” olarak gerçekleştiği görülmektedir. Pasif giriş ise kolaylaştırılmış difüzyon ya da iyon kanalı şeklinde bulunan taşıyıcılar yardımıyla LCT, HKT ve NSCC tarafından gerçekleştirilmektedir. Ayrıca bu taşıyıcıların bitkilerin büyüme şartlarının yanında bitki çeşidi ve bitki türüne göre farklılık gösterebileceği söylenmektedir (Apse ve Blumwald, 2007).

Toprak solüsyon ortamında Na'nın ilk taşınacağı alan kök kortesi ve kök epidermisi olmaktadır. Taşıyıcılar tarafından epidermise giren Na'nın taşıyıcıların haricinde plazmadesmolar aracılığıyla da merkezi silindire taşınabileceği, merkezi silindirden de ksileme aktarılabileceği tespit edilmektedir. Oluşturulan bu yol “simplastik yolu” şeklinde isimlendirilmektedir. Apoplastik yol incelendiğinde, katyon/proton değiştiriciye benzer katyon/H taşıyıcıları aracılığıyla Na iyonunun merkezi silindirin apoplastına endodermal hücrelerden taşınımı sağlanmakta, bu da ksileme taşınımının apoplastik yol aracılığıyla gerçekleştiğini göstermektedir. Simplastik yola bakıldığında ise Na iyonunun apoplastik yoldan hücre dışı matriksinin de kullanımı sayesinde suda çözünen veya su maddelerine karşı geçirgenliği bulunmayan kaspari şeridinde bulunan endodermisine taşınmaktadır. Bu yol sonrasında ise hücreye girmesi sonucu Na iyonunun simplastik yolla kaspari şeridinden geçtiği saptanmaktadır (Botella ve ark., 2005).

Na iyonunun köke girişinin ardından belli bir orandaki Na iyonu sürgüne doğru taşınırken, belli bir orandaki kısmı ise hücre vakuollerinde “vakuol tipi Na^+/H^+ taşıyıcıları tarafından depolanmaktadır. Depolamadan farklı olarak taşınmış olan Na iyonunun sürgündeki oranı daha az oranda bulunmaktadır. Na iyonunun merkezi silindir üzerinden ksileme yüklenmesi, hücre zarına bağlı olan Na^+/H^+ taşıyıcıları tarafından gerçekleştirilmektedir. Yapraklar içerisinde bulunan Na iyonunun parankima hücrelerine ksilemden taşınmasının Na iyonuna karşı seçiciliği bulunmayan uniporterlar (taşıma proteinini) ile ya da NSCC kanalı yardımıyla gerçekleştiği söylenmektedir. Yapraklarda birikmiş olan fazla tuzun ksileme geri yüklendiği ya da floem döngüsüne girerek köke tekrardan dönebileceği saptanmaktadır. Ayrıca bitki içerisinde tuzun, NHX yardımıyla vakuolde birikerek azaldığı görülmektedir (Botella ve ark., 2005).

Tuzun zararlarından korunmak adına farklı mekanizmalar meydana getiren bitkilerin iyon ve ozmotik dengelerini koruyarak tuz stresi karşısında tolerans gösterdiği görülmektedir. Bitkiler üzerinde yoğunlukta olan tuzluluk oranları hücre içinde bulunan iyonlardaki dengesizliğin yanında ozmotik strese de sebep olmaktadır. Ayrıca bitki, ozmotik denge sağlamak amacıyla bazı şeker alkoller, betain, glisin ve prolin gibi osmoprotektan bileşikler biriktirmektedir (Yokoi ve ark., 2002).

2.1.4.2. Antioksidan Enzim Aktivitesi Üzerine Tuz Stresinin Etkileri

Bitkilerin normal olarak büyüme koşulları içerisinde ROS'nin düşük olduğu saptanmaktadır. Eğer bir bitkide ROS üretimi fazla ise bitki üzerinde “çevresel stres

faktörleri” bulunmaktadır (Ashraf ve Harris, 2004). Tuz oranlarındaki yükseklik aynı zamanda hücrel elektron transportu üzerinde bozulmalara ve H_2O_2 , $O_2^{\cdot-}$, OH ve 1O_2 gibi aktif oksijen türlerinin oluşmasına sebebiyet vermektedir (Liang ve ark., 2018).

Sitotoksik etkiler barındıran ROS’lar, peroksidasyon reaksiyonlarının oluşmasını sağlayan lipid, protein ve nükleik asit gibi birçok biyomolekülde hasar oluşturmaktadır. Bundan dolayı hücre içindeki ROS seviyesinin “optimum sınır” diye tabir edilen oranları geçmemesi gerektiği düşünülmektedir (Munns ve Tester, 2008).

Shannon ve Grieve (1998) çalışmasında tuz stresinden kaynaklı tahribatın görüldüğü primer bölgeleri, membran olarak göstermektedir. ROS, doymamış yağ asitleriyle bir etkileşime girmekte, bu etkileşim intraselüler organellerde bulunan membran lipidlerinin ve plazmalemanın peroksidasyonuna sebebiyet vermektedir. ROS, bitki büyümesi ve gelişmesinin yanında bitki metabolizmasına da ciddi zararlar vermektedir. Bunun yanında hücre sinyalinin fizyolojik olayların birçoğunda (gen regülasyonu ve programlı hücre ölümü gibi) rol oynamaktadır (Gechev ve ark., 2006).

Stresin hücre zarlarında meydana getirdiği zararlar, yaprak dokularında biriken malondialdehit (MDA) ve H_2O_2 değerlerindeki farklılıklar aracılığıyla ortaya çıkarılmaya çalışılmaktadır. ROT’nin hücre zarlarında meydana getirdiği hasar sonucu oluşan MDA, hem membranların geçirgenlik ve seçicilik özelliklerinde olumsuz değişmelere hem de DNA’ki bazı bazlarla tepkimeye girerek mutajenik etkilere neden olmaktadır. Sitotoksik etkisi ve reaktif özelliklerinden dolayı da kontrol altına alınması gerekir. Bu nedenle yüksek yapılı bitkiler, hücreleri oksidatif zararlardan korumak ve ROT’nin seviyelerini dengelemek için SOD (süperoksit dismutaz), POX (peroksidaz), CAT (catalaz), APX (askorbat peroksidaz), gibi enzimatik ve α -tokoferol (E vitamini), askorbik asit (C vitamini), β -karoten ve fenolik bileşikler gibi, enzimatik olmayan antioksidatif savunma sistemlerini geliştirmişlerdir (Foyer ve ark., 1994; Biehler ve Fock, 1996).

Shams ve ark. (2016) yapmış oldukları çalışmada tuz stresi altındaki marul bitkisinin CAT, SOD, APX ve POD aktivitelerinde azalmalar olduğunu saptamaktadır. Ayrıca glisin betain uygulaması sonucunda H_2O_2 miktarlarının ve tuz stresinin giderek azaldığı rapor edilmektedir. Tuz stresine maruz kalan çeltik bitkilerinde SOD enzim faaliyetlerinin yüksekliği saptanmaktadır. Pamuk, bezelye, şeker pancarı ve dut gibi farklı bitkiler incelendiğinde ise tuz toleransı yüksek ve hassas çeşitlerin SOD faaliyetleri göz önünde bulundurularak tuz stresinin ve bu stresin etkilerinin araştırmaya konu olduğu

farklı çalışmaların tuz toleransı yüksek bitkilerdeki SOD faaliyetlerinin oranının daha yüksek olduğu saptanmaktadır.

2.1.4.3. Karbonhidratlar Üzerine Tuz Stresinin Etkileri

Tuzluluğa maruz kalan gikofit bitkilerin çözünebilir şeker oranları, organik ozmotiklerin diğerlerine oranla toplam ozmotik potansiyelin 2/1'ini meydana getirmektedir (Hasegawa ve ark., 2000). Tuz stresi altındaki bitkiler incelendiğinde sakkaroz, glikoz ve fruktoz hücrelerinin birikiminin yanında trihaloz ve fruktanlar gibi şekerlerin ve nişasta hücrelerinin de biriktiği görülmektedir. Ayrıca bu hücrelerin ozmotik düzenleme, karbon kaynağı, ozmotik koruma ve radikal temizleyicisi gibi fonksiyonları olmaktadır (Jang ve ark, 2003).

Kısa bir süre içerisinde stres altında olan C4 bitkilerinden *Seteria sphacelata* bitkisini inceleyen Da Silva ve Arrabaça (2004), bu bitkideki sakkaroz ve nişasta oranlarında azalmanın görüldüğünü rapor etmektedir. Stres durumunun uzun süreli olmasının ise şeker miktarlarında artışa, nişasta miktarlarında ise düşüşe sebep olduğu tespit edilmektedir. Bu çalışmada sakkarozun mekabolik olarak değişmesinin nişasta parçalanmasının ve sentezinin suktroz sentezinden etkilenme oranının daha fazla olması sebep gösterilmektedir.

Pennisetum clandestinum bitkisinin ise tuzluluğa maruz kalması sonucu glikoz ve fruktozun ozmolit olarak biriktiği rapor edilmektedir (Musclo ve ark., 2003). Tattini ve ark. (1996) ise farklı bir bitki türü olan zeytin bitkilerinde glikozun ozmolit olarak biriktiğini saptamaktadır. Buğday bitkilerinde tuzluluk stresi altında glukoz, sakkaroz, fruktozun yanında fruktanların oranlarında artış görülmektedir. Bitkilerde az miktarda olan ve redüklenme özelliğinin bulunmadığı şekerlerin bir türü olarak trihalozun bakteri ve mantarların çoğunda ve desikasyon toleransının yüksek olduğu bitkilerde bulunduğu da ifade edilmektedir (Kerepesi ve Galiba, 2000). Çeltik bitkilerinde ise trihalozun indüklenmesine sebep olan abiyotik streslerin birçoğuna bitkilerin toleranslı bir yapısının bulunduğu saptanmaktadır (Jang ve ark., 2003).

Stres altında yetiştirilmiş olan transgenik bitkileri incelendiğinde, fotosentetik aktivite artışının trihaloz miktarıyla bir ilişkisinin olduğu söylenmektedir. Ayrıca trihalozun çevresel stres kaynaklı hasarlar karşısında biyomoleküllerin korunmasını sağladığı tespit edilmektedir (Penna, 2003). Ayrıca tuz stresi karşısında karbonhidrat

birikiminin yükseldiği, CO₂ oranının ise düştüğü saptanmaktadır (Murakeozy ve ark., 2003).

Tuz stresi altındaki domates yaprakları incelendiğinde ise çözünebilir şekerlerin toplam sakkarit oranlarının yüksek bir artış gösterdiği, nişasta içeriğinin ise stresten etkilenmediği gözlemlenmektedir (Khosravinejad ve ark., 2009). Bakla bitkisinin tuz stresine maruz kalması sonucu yapılan incelemede ise çözünebilir ve hidroliz olabilen şekerlerin bu bitkide tuz stresine bağlı bir azalması görülmemektedir (Gadallah, 1999). Ayrıca bitki kısımlarında bulunan sakkarozun bir tuz toleransı belirleyicisi fonksiyonunun olabileceği ifade edilmektedir (Juan ve ark., 2005).

Bitkiler üzerinde tuz stresi, spesifik bir şekilde tuz hassasiyeti bulunan genotiplerin çözünebilir karbonhidratlarının miktarında bir artış göstermektedir. Tuz toleransının yüksek olduğu ayçiçeği bitkisinde ise, bu bitkinin aksesyonları üzerinde bulunan toplam çözünebilir şeker miktarlarının hassas aksesyonlara oranla birikiminin daha yüksek seviyelerde olduğu rapor edilmektedir (Ashraf ve Tufail, 1995).

Tuzluluk oranının yüksek olmasından kaynaklı şeker birikimlerinde olan değişimler, bazı türlerin veya çeşitlerin farklı dayanıklılıklar kazanmasına sebebiyet vermektedir (Ashraf ve Harris, 2004). Ayrıca Ashraf ve Harris, ıslah programı üzerinde bazı türlerin tuz toleransında bir indikatör görevi görmediğini ifade etmektedir.

2.1.4.4. Poliöl İçeriği Üzerine Tuz Stresinin Etkileri

Bitkiler üzerinde poliollerin siklik ve siklik olmayan (asiklik) formlarda olan “polihidrik şeker alkoller” olduğu söylenmektedir. Asiklik formda olan poliollerin gliserol, mannitol ve serbitol olduğu, siklik formda olan poliollerin ise ononitol ve pinitol olduğu ifade edilmekte, bu türlerin ise normal bir şekilde bitkilerde bulunduğu gözlemlenmektedir (Clark ve ark., 2003). Osmoregülasyon hususunda bitkilerin uyumlu çözünenleri içerisinde poliollerin de olumlu etkilerinin bulunduğu, tuz toleransı ile bir ilişkisinin olduğu söylenmektedir. Tuzluğa maruz kalan bitkilerde inorganik iyonların yüksek yoğunlukta olması, vakuolün lokalize olmasına ve ozmotik düzende bozukluklara sebebiyet vermektedir. Bu bağlamda poliollerin sitoplazmada birikmesi sonucu bu problem çözüme ulaşmaktadır (Baiges ve ark., 2002).

Siklik ve asiklik polioller, moleküler ağırlıkları düşük seviyede olan saponinlerin ve stres ile teşvikinin yapıldığı oksijen radikallerini yok etme hususunda büyük bir rol üstlenmektedir (Bohnert ve Shen, 1998). Mannitol (alkol şekeri türü), bitkide fotosentetik

bir ürün şeklinde sentezi yapılmakta, bazı bitki türlerinde ise metabolize edilmektedir (Conde ve ark., 2007). Bu bitki türleri arasında tütün, buğday gibi önemli tarımsal bitkilerde ya da farklı bitkilerin birçoğunda mannitol üretimi yapılmamaktadır (Liang ve ark., 2018).

Stres altında mannitol üretimi gerçekleşen dönüştürücü bitki çeşitlerinde, mannitolün birikimi ve biyosentezinin arttığı, mannitol katabolizmasının ise azaldığı görülmektedir (Sickler ve ark., 2007).

Kereviz bitkisi incelendiğinde bitki içerisindeki M6PR (Mannoz-6-Fosfat Redüktaz) aktivitesi aracılığıyla mannitol sentezi gerçekleşmekte (Zhifang ve Loescher, 2003), bu da düşük su potansiyelinin olduğu bitkiler üzerindeki birikimin azalmasını sağlamaktadır. Mannitol üretimi yapan bitkilerin tuzluluk karşısında mannitole birlikte tuzluluk toleransının arttığı gözlemlenmektedir (Tarczynski ve ark., 1992).

2.1.4.5. Amino Asitler ve Amidler Üzerine Tuz Stresinin Etkileri

Alanin, arjinin, glisin, serinin yanında prolin, non-protein amino asitler içerisinde bulunan sitrulin ve ornitin gibi amino asitler, asparajin ve glutamin gibi amidlerin tuzluluk ile birlikte yaşanan stres sürecinde bitkilerde birikmektedir (Mansour, 2000). Bitkilerin stres süreci içerisinde en çok kullandıkları amino asit türlerinden olan prolinin sentezi ornitin ya da glutamattan olabilmekteyken, strese bağlı olarak predominant olarak glutamattan sentezi yapılmaktadır. Bitkilerde prolinin birikmesiyle ilişkili etkenler ise kirlenme, besin eksikliği, tuz, kuraklık, sıcaklığın düşük veya yüksek olmasının yanında patojen enfeksiyonu, ağır metal ve UV ışını gibi stres koşulları olmaktadır. Bu stres koşulları altında aynı zamanda prolin oranlarında da artış görülmektedir (Siripornadulsil ve ark., 2002)

Prolin yoğunluğu bitkilerin çeşitlerine ve türlerine göre değişim gösterebilmektedir. Aynı zamanda prolin yoğunluğu genel olarak stres altında, bitkilerin sentezlediği ve diğer amino asitlere kıyasla daha yoğun bir şekilde birikim gösteren prolinin, “kullanılabilir azot” birikimlerini düzenlediği de tespit edilmektedir (Ábrahám ve ark., 2003). Bitkilerin stres altında prolin sentezi ve prolin biriktirmesine teşviki adına bulunan genin P5CS (Δ -1 Pirrolin Karboksilat Sentetaz) olduğu söylenmektedir (Hong ve ark., 2000).

Su kısıtlılığının neden olduğu kurak ve tuzlu toprakların bitki gelişiminde olumsuz bir etkisi olmaktadır. Bu olumsuz etkiler karşısında bitkiler uyum adına birçok mekanizma geliştirip, bu bağlamda uyum sağlamaktadır. Bitkiler, dokularında bulunan prolin içeriğini

artırmakta, bu artırım da uyum adına geliştirilen mekanizmalardan biri olarak görülmektedir. Bundan dolayı kurak ve tuzlu arazi şartlarında yetişmiş olan bitkilerde prolin içeriğinin normal şartlarda yetişen bitkilere oranla arttığı tespit edilmiş, bu artışla beraber bitki prolin biriktirme özelliğini tuza karşı kullanmıştır (Ghoulam ve ark., 2002).

Tuz stresi altındaki mısır bitkisi incelendiğinde boy, nispi su içeriği ve toplam kuru ve yaş ağırlıklarının azaldığı, Na/K oranlarında ve prolin oranlarının ise arttığı görülmektedir (Çiçek ve Çakırlar, 2002). Ayrıca Turan ve Aydın (2005) yapmış oldukları çalışmada mısır bitkisi üzerinde farklı tuz türlerinin birtakım fizyolojik özelliklere olan etkileri incelenmektedir. Çalışmada uygulanmış olan tuzun yoğunluğunun artması sonucunda toprak pH değerinde, topraktaki elektrik iletkenliğinde ve bitki prolin yoğunluğunda artış tespit edilmektedir. Azalmalara bakıldığında ise karşımıza bitki gelişimi, klorofil oranı, besin maddelerini alım oranı ve kuru madde miktarları çıkmaktadır.

2.1.4.6. Hormonlar Üzerine Tuz Stresinin Etkileri

Zorlu bir çevresel koşula bitkinin vermiş olduğu tepkilerin yanında fizyolojik tepkilerin değiştirilmesi veya düzenlenmesinde, transkriptom değişikliklerinin uyarılmasında rol oynayan hormonlar “fitohormon” olmaktadır. Tuz stresi karşısında en önemli rolü olan hormon ise “ABA (Absisik Asit)” olmaktadır (Nishiyama ve ark., 2011).

Yapılan çalışmalarda ABA, JA (jasmonik asit) ve etilen arasında bulunan çapraz ilişki *Thellungiella* bitkisinde incelenmektedir. Bunun yanında büyüme stresinde artırıcı bir etken olan hormonları (oksin ve sitokinin gibi) tuz stresi karşısında olan rollerinin belirlenmesi adına domates ve arabidopsis bitkileri incelenmiştir. İncelenen bu bitkilerde ise bitkini stres toleransının sebep olduğu bazı enzimlerde artış ve azalma görülmektedir (Nishiyama ve ark., 2011).

Bitkide stres durumlarının ortaya çıkması halinde ABA hormonunun tuzluluk seviyesine bağlı olarak ozmotik hafifleme görevleri bulunan genlerin indüklenmesini sağladığı görülmektedir (Botella ve ark., 2005). Ayrıca yapılan bir diğer araştırmada fasulye (*Phaseolus vulgaris*) bitkisinin 75 mM NaCl stres ortamında yetiştirilmiştir. 8. ve 13. güne kadar büyütüldüğünde tuz stresinde yetişen bitkilerin birincil üç yapraklı evreye ulaştığında, tuz stresinde yetiştirilmeyen diğer bitkilere göre yaprakların daha büyük olduğu söylenmektedir. İkincil üç yapraklı dönemde ise yapraklardaki ABA oranlarında birikimden dolayı yükseliş sağladığı ve bunun yanında yapraklarda Na⁺ ve Cl içeriklerinin

azaldığı, bu durumda da bitkideki tuz toleransında yükselme olduğu ayrıca Na^+ ve Cl^- toksisitesinden kaynaklı yaprakların büyümesindeki yavaşlamasının asıl nedeni ABA olduğu söylenmektedir (Montero ve ark., 1997).

Sitokinin hormonunun bitki sağlığının muhafazasında görev aldığını, biyosentezinin ise kuraklık stresine bağlı olarak azaldığını saptamaktadır. Kreatin kinaz (CK) seviyelerindeki düşüşün ise büyümenin inhibisyonuyla ilişkili bir şekilde yaşanmayı tetiklediği söylenmektedir. Strese bağlı olarak CK seviyelerinde azalma görülmekte, bu azalma ile strese bir tepki olarak ABA ve etilen kontrolünde düzenlemeler yapılmaktadır (Wang ve ark., 2011). Wang ve ark (2011) yapmış olduğu çalışmada elde edilen bulgulara ek olarak sitokinin etkisiyle birlikte Arabidopsis bitkisinin performansı üzerinde artış görülmüş, bu artışın tuz ve kurak şartlar altında olduğu tespit edilmiştir (Wang ve ark., 2011).

Diğer bir çalışmada ise mısır (*Zea mays* L. cv., DK 647 F1) bitkisi üzerinde NaCl olmayan, 100 mM NaCl olan, 100 mM NaCl'nin yanında 50 ppm oranında GA_3 ve 100 mM NaCl'nin yanında 100 ppm oranında GA_3 uygulaması yapılarak bitki büyümesi ve beslenme durumu üzerindeki birleşik etkileri incelenmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında tuz stresinin toplam kurumu madde oranlarını, klorofil içeriklerini ve RWC oranında azalmaya sebep olduğu, prolin içeriğinde, SOD, POD ve polifenol oksidaz enzim faaliyetlerinde ve elektrolit sızıntılarında ise artışa sebep olduğu görülmektedir. Bu çalışmada GA_3 'ün NaCl stresi altındaki bitkilerde olumsuz etkilerin azaldığı tespit edilmektedir. Bu olumsuz etkilerden biri olan membran geçirgenliği GA_3 ile korunmuş, makro ve mikro besin oranları artırılarak tuzluluk toleransında artış meydana gelmiştir (Tuna ve ark., 2008).

Yapılan bir çalışmada fasulye (*Phaseolus vulgaris*) üzerinde 100 mM NaCl stresine maruz bırakılan bitkilerde yaş-kuru ağırlık, uzunluk gibi parametrelerde bir azalma görülmektedir. Gözlemlenen bu azalmanın sebebi genel olarak sebebinin tuz stresinden kaynaklı olarak su kaybı gösterilmektedir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına dayanarak tuzluluk stresine bağlı olarak sonucunda tuzun bitkiler üzerindeki büyümeyi etkilediği rapor edilmektedir (Khadri ve ark., 2006). Tuz stresi altındaki bitkilerin oksin sentezleri ve dağılımının etkilendiği, bu bağlamda kök yapısında bazı değişimler olduğu gözlemlenmektedir. Tuzluluğa maruz bırakılarak yetiştirilen çeltik ve domates bitkileri üzerinde yapılan incelemede IAA yoğunluğunda büyük azalmalar görülmektedir (Kazan, 2013).

Ayrıca stres altında yetiştirilen bitkilerde oksin birikiminin ve dağılımının değişebildiği söylenmektedir. Bu değişimin ise kökün büyümesinde ve gelişmesinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu da stres altında yetiştirilen bitkilerin büyümesini ve gelişmesini etkilediğini göstermektedir (Ryu ve Cho, 2015).

2.1.5. Tuz Stres Toleransını Arttırmaya Yönelik Uygulamalar

Bitkilerin veriminde ve büyümesinde olumsuz etkilerinin olduğu toprağın yüksek tuzluluk oranları en çok kurak bölgelerdeki tarımsal faaliyetlerde karşılaşılan bir problem olmaktadır. Topraktaki tuzluluk oranlarıyla ilişkili olan sulama suyunun kalitesi, tarımsal verimlilikteki azalmalarda ve tuz birikiminde “ana faktör” konumunda olmaktadır (Dolatabadian ve Saleh Jounghani, 2009). Tuz stresinin sebebiyet verdiği fizyolojik bozuklukların en önemlileri ozmotik stres, iyonlardaki dengesizlik ve iyonların metabolik süreçte direkt olarak toksik etkileri şeklinde ifade edilmektedir (Munns ve ark., 2006).

Mehta ve ark. (2010) yapmış oldukları çalışmada tuz stresinin yüksek seviyede olmasının sonucunda donör bölgesindeki elektro taşıma oranlarına 4/3, akseptör bölgesine ise 4/1 oranında bir engellemeye sebep olduğu tespit edilmektedir. Bu engellemelerin temel bir çözümü olmamasına karşın bitkilerin tuz toleransının artırılmasının tarımsal bir verimlilik artışı sağlayacağı düşünülmektedir (Flowers ve Yeo, 1995).

Bitkilerin stres faktörleri adına geliştirmiş olduğu mekanizmaların tespit edilmesi, bu bağlamda çeşitli yöntemlerin geliştirilerek strese toleranslı bitkilerin oluşturulması, çevre koşullarının olumsuz olması halinde dahi ürün veriminin maksimum seviyelere çıkarılması adına yapılacak uygulamalar önem taşımaktadır.

AsA (askorbat), yüksek bitkiler sınıfında bulunan bitkilerin sitozolü üzerinde sentezlenmiş olan, suda çözünen ve ROS yoğunluğunun artması sonucu ortaya çıkan olumsuz etkilerin azaltılmasında kullanılan antioksidanların “en güçlüsü” olarak nitelendirilmektedir. AsA’ya birçok bitki hücresi tipinde rastlanmakta, özellikle fotosentetik hücrelerin organellerinde, mersistemlerinde ve bazı meyvelerin apoplastlarında karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında AsA, bitkilerin büyüme, farklılaşma ve metabolizma gibi birçok çeşitli süreçlerinde önemli görevler almaktadır. Bazı hidroksilaz ve oksijenaz enzimiyle alakalı “kofaktörel” bir yapısının olmasının yanında (De Tullio, 2004) membranların korunması adına (Li ve Jin, 2007), sertbest radikallerin birçoğunun indirgenmesinde, bazı enzim aktivitelerinin artırılmasında ve bu artırılma

sonucunda oksidatif stresten kaynaklı olan hasarların minimuma indirgenmesinde fonksiyonel bir niteliği bulunmaktadır (Foyer ve Noctor, 2005).

AsA'nın bitkideki stres toleranslarının artırılması hususunda önemli görevleri bulunmasının yanında, AsA ile bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda askorbik asit seviyelerinin azaldığı mutantların stres karşısında duyarlılık seviyelerinin yüksek oluşu görülmektedir (Conklin ve ark., 1996). Çalışmaların çoğunda AsA'nın abiyotik stres karşısında bitki toleransının iyileştirilmesi adına başarılı sonuçları olduğu gözlemlenmektedir (Shalata ve Neumann, 2001; Athar ve ark., 2008; Ahmad ve ark., 2011; Ahmad ve Umar, 2011).

Tuzluluğun ve buna bağlı stresin sebep olduğu AsA yoğunluğundaki artış, bazı araştırma raporlarında da ifade edilmektedir (Panda ve Upadhyay, 2004; Parida ve ark., 2004). Bu raporlardaki bulgular incelendiğinde bitkiler üzerinde tuzluluğun getirdiği solgunluğun, bitki içerisinde zarar verici ROS'un hücrel aktivitetlerindeki yükseklikle alakalı bir durum olduğu, ayrıca AsA'nın bitkilerin yaşamlarını devam ettirebilmeleri adına artan etkisinin ise ROS üretimi üzerinde meydana gelen kısmi inhibisyonla alakalı bir durum olduğu ifade edilmektedir. Tuz stresine maruz kalan bitkiler üzerinde ekzojen asorbik asit uygulamalarında bitkilerin kökleri, gövdeleri ve yaprak dokularında ROS'la beraber lipid peroksidasyon oranlarının da azaldığı saptanmaktadır (Shalata ve Neumann, 2001)

C vitamini uygulamaları sonucunda artan yaprak alanlarının yanında klorofil ve karotenoid içeriklerinin, prolin birikimlerinin arttığı, H_2O_2 içeriğinin azaldığı saptanmaktadır. Bu bağlamda C vitamini uygulamaları bitkilerin tuz stresine maruz kalmaları durumunda bitkinin büyümesi adına olumsuz etkilerin hafifletilmesi, kısmi tolerans sağlanması adına etkili olmaktadır. Dehghan ve ark. (2011), yapmış oldukları çalışmalarında ekzojen bir şekilde uygulaması yapılan AsA'nın tuz stresi altındaki soya fidelerinin büyümesinde oluşan olumsuz etkilerden korunduğunu rapor etmektedir.

Stres koşullarında bitkilerde uygulanan diğer yöntemler arasında kuraklık stresi için glisin betain uygulaması sık şekilde tercih edilen bir uygulama olduğu (Hussain ve ark., 2008), prolin; tuz (Heuer, 2003), don (Park ve ark., 2006) streslerinde uygulanan aminoasitlerden biridir, selenyum tuz toksisitesi üzerinde azalmaya (Aggarwal ve ark., 2011), NO (Nitrik Oksit) ise don, kuraklık ve tuz streslerinde (Wu ve ark., 2011), melatonin bitkide kuraklık ve tuz karşısında (Karaca, 2019) toleransın sağlanmasında,

silikon ise tuzlu arazi şartlarında (Avestan ve ark., 2019) bitkilere uygulanan uygulamalar arasında bulunmaktadır.

Bu uygulamaların yanında brassinosteroidler (Mahesh ve ark., 2013), poliaminler (Çömlekçioğlu ve Arıkan, 2017), paclobutrazol gibi uygulamalar, ayrıca askorbik asit (Khan ve Ashraf, 2008) ve salisilik asit (Noreen ve Ashraf, 2008) gibi uygulamaların da farklı stres koşulları altında bitkilere dışarıdan madde uygulaması yöntemleri bulunmaktadır.

Bitkilerde yukarıda ifade edilen birçok uygulamanın yanında toleransın artırılması amacıyla L-karnitin uygulaması yapılmaktadır. L-karnitin genel olarak 2.2’de incelenmektedir.

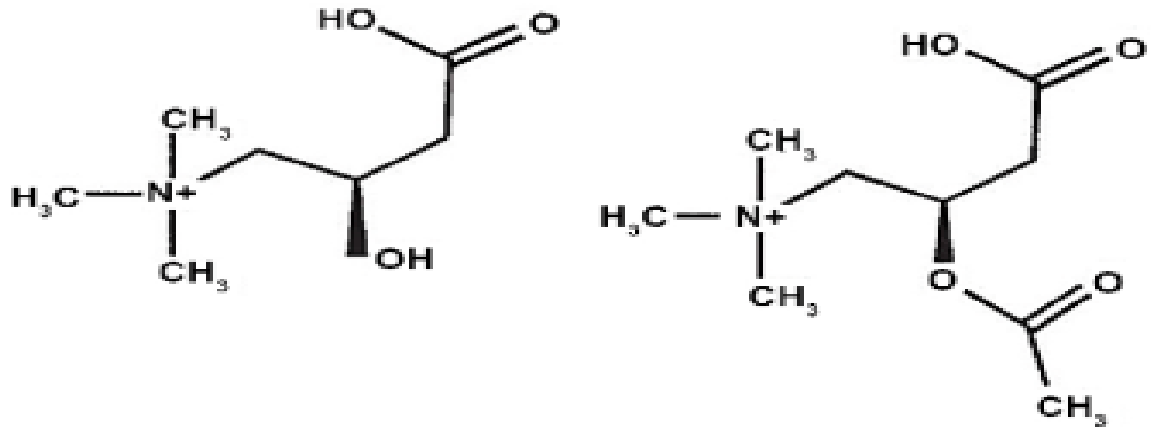
2.2. L-Karnitin

2.2.1. L-karnitin Tanımı

L-karnitin genel olarak 3 hidroksi ve 4 N-trimetil aminobütirik asitten oluşmaktadır. İnsan vücuduna giren besinlerin enerjiye dönüştürülmesine önemli katkılar sağlayan L-karnitin, beyaz renkli ve polar bir yapıya sahip olmasının yanında suda çözünebilen ve yüksek termostabil (200 °C) derecesine sahip bir madde olmaktadır. L-karnitin insan vücudundaki aktiviteleri sebebiyle vitamine benzetilmesinin yanında vücuttaki üretimin düşük olması sebebiyle bu sınıfa dahil edilmemektedir (Shigenaga ve ark., 1994).

Bu molekülün optikal bir aktiviteye sahip olması, karbon 2’deki asimetric yapısı dolayısıyla olmakta, ayrıca iki enantiyomer formda karşımıza çıkmaktadır. L-karnitin D formu, doğada saf bir hali olmamasına karşın, kimyasal sentez ile organizmada üretimi sağlanabilmektedir. Karnitin saf olarak doğada bulunan formu fizyolojik L-karnitin olmaktadır. L-karnitin interal tuz oluşturabilme özelliği bulunmaktadır. Bu özellik sayesinde betaine benzer bir yapısı bulunmakta ve bu nedenle de önemli oranlarda su tutan bir karaktere sahip olmaktadır. L-karnitin zwitterionik (hem pozitif hem de negatif yük içeren nötral molekül) bir tabiata sahip bir moleküldür. Bunun yanında asit ve bazik grupların içerisinde yapısal bir benzerlik göstererek molekül mesafesi lesitin molekül mesafesi ile neredeyse aynıdır. Zeyner ve Harmeyer (1999), yapmış oldukları çalışmalarında açıl-L-karnitin lipit mebranlar boyunca hızlı geçişini bu özellikler ile açıklamaktadır.

Serbest yağ asidi metabolizması üzerinde ve glukoz oksidasyonu üzerinde önemli bir rolü olan bu aminoasit, doğal bir aminoasit olarak nitelendirilmektedir (Bremer, 1983). Fakat L-karnitin tanımlamalarında bazı farklılıklar görülmektedir. L-karnitin basit bir şekilde ifade edilecek olursa, B grubu vitaminleriyle ilişkili olan, vitamin ve aminoasite benzer besleyici bir element şeklinde tanımlanabilmektedir. Ayrıca L-karnitin, yağ asitlerinin enerjiye dönüştürülmesi adına faaliyet gösteren esansiyel bir elementtir (Anonim d, 2003). L-karnitini önemli kılan bir diğer husus ise, canlı metabolizması içerisinde açıl-L-karnitinler ve serbest L-karnitinler olarak faaliyet gösteren ve enerji metabolizması adına bir zorunluluğu bulunan kuaterner bir amonyum bileşiği olması şeklinde ifade edilmektedir (Jones ve ark., 2010). L karnitinin yapısı Şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. L-karnitin ve Asetil-L-karnitin (Anonim c, 2022).

2.2.2. L-karnitinin Keşfi

L-karnitinin kas dokusundan izole edilmesi 1905 yılında gerçekleşmiştir. Bu bağlamda Latince et anlamına gelen “carnis” ismini almıştır (Harmeyer, 2002). L-karnitinin hidroksil grubunun β pozisyonunda olduğu 1927 yılında tespit edilse de yapılan ilk kapsamlı çalışma uzun süre sonra, 1935 yılında yayımlanmıştır (Baumgartner ve Blum, 1997).

1958 yılında un kurdu larvaları üzerinde bir vitamin çalışması yapılmış ve bu sayede L-karnitinin biyolojik fonksiyonlarına ait ilk bulgulara ulaşılmıştır. Çalışmada un kurdu larvalarında 9 çeşit B vitamini olduğu saptanmış, ayrıca bu larvaların tuzluluk stresi altında gelişiminin ve metamorfizminin yüksek derecede bozulduğu rapor edilmiştir. Ayrıca bu bozukluğun düzelmesi adına karaciğer preparatları ortamda kullanılmış ve

olumlu sonuçlar alınmıştır. Çalışmada karaciğer içeriğinde bulunan ve iyileştirici olan bu yapı, “vitamin BT” olarak tanımlanmaktadır. Vitamin BT’nin B harfi “vitamin B’yi” simgelerken, T harfi ise un kurdunun (*Tenebrio molitor*) ismini simgelemektedir. Un kurtlarında gelişime katkı sunması sebebiyle ihtiyaç duyulan ve esansiyel bir madde olan vitamin BT, 1952 yılında tespit edilmiş, besleyici bir element olarak nitelendirilmiş ve L-karnitin benzeri bir madde olduğu saptanmıştır (Baumgartner ve Blum 1997).

L-karnitinin mitokondride bulunan yağların yakılması adına çalışma 1958 yılında yapılmış, bu maddenin mitokondrideki yağ yakılmasında artış sağladığı ve yağ asitleri oksidasyonunda da rolünün önemli olduğu rapor edilmiştir (Anonim d, 2003). 1962 yılında ise L-karnitinin iki enantiyomerden oluşan formunun L-karnitin doğal formu olduğu saptanmıştır (Zeyner ve Harmeyer, 1999).

2.2.3. L-karnitin Doğadaki Kaynakları

Bitkiler, hayvanlar ve mikro organizmalar adına esansiyel bir bileşik olarak karşımıza çıkan L-karnitin doğadaki kaynakları incelendiğinde, birçok besin maddesinde farklı miktarlarda olduğu görülmektedir. Hayvansal besinlere oranla bitkisel besinlerin L-karnitin oranları daha düşük olmaktadır. Hayvansal ve bitkisel yağların L-karnitin içeriğinin olmamasına karşın, insan vücudunda bulunan birçok organ ve dokuların L-karnitin biyosentezi yapabilme özelliği bulunmaktadır. Özellikle insan vücudundaki iskelet ve kalp kasları yoğun olarak L-karnitin depolamaktadır (Pons ve ark., 1997).

Doğada karnitin yalnızca L formunda bulunmakta, D formu ise kimyasal bir şekilde üretilmektedir. Bir diğer form olan D-L formu ise kimyasal üretimi yapılan D formu ile doğal olan L formunun karışımı olmaktadır. Baumgartner ve Blum (1997) yapmış oldukları çalışmada D formunun L-karnitin yağ asitlerinin sitoplazma üzerinden mitokondriye taşınması adına görevi bulunan L-karnitin translokaz enziminde inaktivasyona sebep olduğu, bu bağlamda vücudun enerjisinde kayıp yaşandığını rapor etmektedir. Besin hammaddelerinde bulunan L-karnitin içerikleri Çizelge 2.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 2.6. Besin Hammaddelerindeki Doğal L-karnitin İçeriği (Baumgartner ve Blum, 1997)

Bitkisel Kaynaklı Besinlerde L-karnitin İçeriği (mg/kg)		Hayvansal Kaynaklı Besinlerde L-karnitin İçeriği (mg/kg)	
Pamuk Tohumu Unu	20	Et Unu	150
Buğday Kepeği	15	Tüy Unu	120
Soya Fasulyesi Unu	12	Balık Unu	120
Fındık	10	Et Kemik Unu (%40)	100
Arpa	7	Balık İskelet Unu	90
Yulaf	5	Plasma Proteini	15
Buğday Unu	5	Kan Unu	10
Üzüm Tohumu Unu	5	Kuzu eti	190
Ayçiçeği Tohumu Unu	5	Sığır eti	143
Mısır	5	Domuz eti	25
Mantar	2.6	Kanatlı et	13
Ekmek	0.4	Balık eti	3-10
Havuç	0.4	Yumurta	0.8

Çizelge 2.6'ye göre hammaddelerde bulunan besin değerleri farklılık göstermektedir. Bu durumda L-karnitin elde edilecek besinlerin doğadan temin edilmesinin de farklı yollarının ve farklı seçeneklerinin bulunduğu görülmektedir.

2.2.4. L-karnitin Sentezi

Vücutta yaygın olarak bulunan L-karnitin, organizmada memeliler üzerinde beyin ve karaciğerde biyosentezi yapılırken, insanda ise ek olarak böbrekte yapılabilmektedir. L-karnitin sentezinin yapılamadığı organların L-karnitin gereksinimini kanda bulunan L-karnitinden karşıladığı da bilinmektedir. Yetişkin (ortalama 70 kg) bir insanda toplamda 100 mmol bulunmakta, bu L-karnitin yüzde 98'lik kısmı kaslarda, yüzde 2'lik kısmı ise böbrekler ve karaciğerde depolanmaktadır (Coşkun ve Öter, 2001).

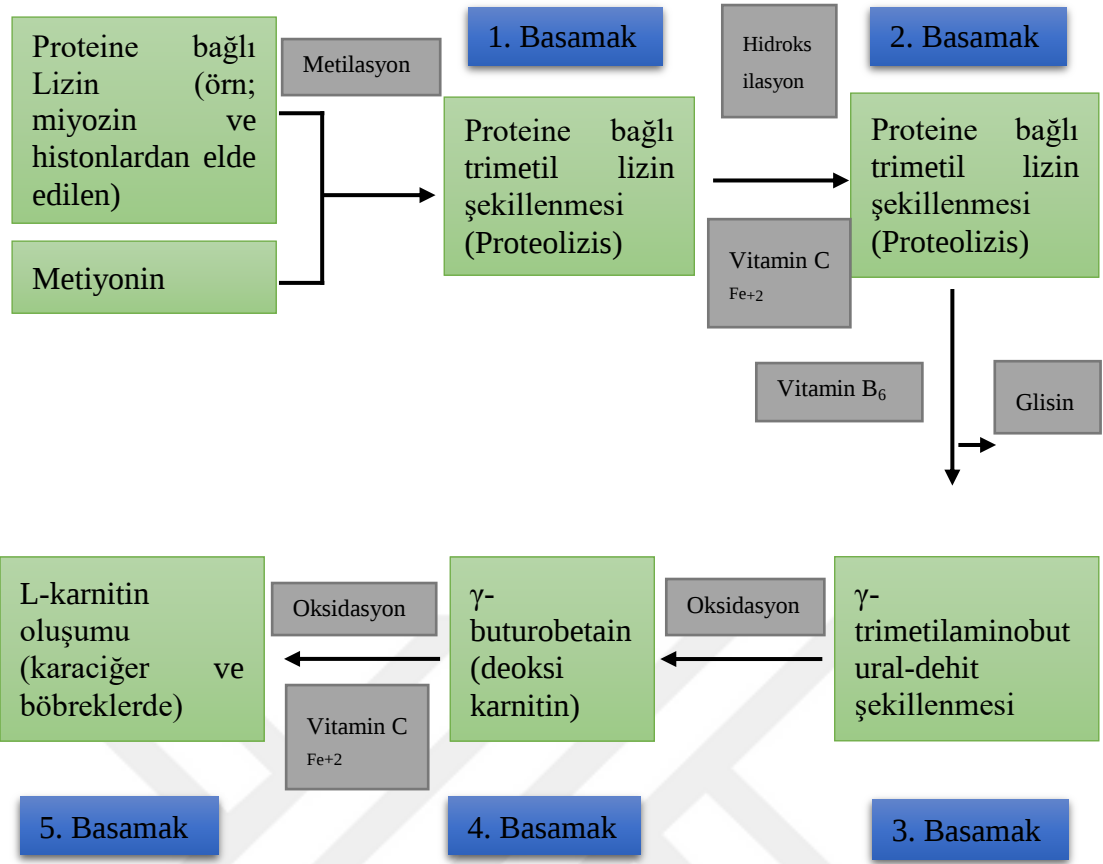
L-karnitin biyosentezi konulu çalışmaların büyük bir bölümünün ratlar (sıçan) üzerinde yapıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda bir ratın (yetişkin) günlük 3 mikromol oranında L-karnitin ürettiği saptanmıştır. L-karnitin biyosentezinde görevli başlıca organ karaciğerdir. Bunun sebebi ise BBD (C-butyrobetaine dioxygenase) aktivitesinin bulunduğu tek organ olması şeklinde ifade edilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucu rat testislerinin küçük oranlarda bir L-karnitin üretimi yeteneğinin bulunduğu da rapor edilmektedir (Vaz ve Wanders, 2002).

L-karnitin insan üzerindeki biyosentez miktarı 0.16 mg/kg ve 0.48 mg/kg vücut ağırlığı/gün arası değişim göstermektedir. Bu da yetişkin bir bireyin yaklaşık olarak 11 ile

34 mg/gün miktarında L-karnitin sentezi yapabildiğini göstermektedir. Sentez oranları, genel olarak sağlıklı bireyler içerisinde (vejeteryanların da dahil olduğu) yüzde 95 oranında bir yeniden emilime sahip olmakta, bu da L-karnitin eksikliğinin yeterli miktarlarda önlenmesini sağlamaktadır (Rebouche, 1992).

Yetişkin bir bireyin karaciğerinde L-karnitin içeriği %3 oranındayken, kanda bu oran %0.25 civarındadır. Organlar ve dokular arası L-karnitin üzerindeki bu dengesiz dağılımla beraber yaklaşık olarak 1/1000 oranına kadar bir değişim bulunmaktadır (Harmeyer, 2002).

L-karnitin gereksinimi insan vücudunda %75 oranında besinlerden karşılanırken, %25 oranında endojen bir şekilde biyosentezi yapılmaktadır (Rebouche, 1992). L-karnitin yoğunluğunun en az olduğu kısımlar ise plazma, idrar ve kan hücreleri olmaktadır. Ayrıca kasların plazmaya oranla 100 ile 300 kat, sütün ise 10 kat daha yüksek miktarlarda L-karnitin içeriğinin olduğu saptanmaktadır. Süt sığırları incelendiğinde, sığırların sütünde bulunan L-karnitin içeriğinin laktasyon süreçlerinde önemli miktarlarda azaldığı rapor edilmektedir (Roos ve ark., 1992). L-karnitin biyosentezindeki reaksiyon aşamaları Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Sentez adına gerekli substratların proteine bağlı olan lizin ve metiyonin olduğu tespit edilmektedir. Bunun yanında biyosentez adına B₆, Fe⁺² ve C vitamini gereksinimi duyulmaktadır. Evcil hayvanların üzerindeki biyosentez mekanizmasındaki yolun son basamağında butürobetain tarafından L-karnitin şekillenmesinin nerdeyse tamamı karaciğerde bulunmaktadır.

Şekil 2.6. L-Karnitin Biyosentezinde Bulunan Reaksiyon aşamaları (Harmeyer, 2002).

Şekil 2.9’da gösterildiği üzere L karnitinin karbon azotuyla karbon zincirinin L-lisinin, metil gruplarının metiyoninden meydana geldiği tespit edilmektedir. Sentez adına gerekli olan esansiyel aminoasitler lizin ve metiyonin olmaktadır. Bunun yanında demir, B₆ ve C vitamininin yanında niasine de gereksinim bulunmaktadır (Karadeniz ve ark., 2008).

Esansiyel besleyicilerin eksikliği halinde sentezin olumsuz etkileneceği, metiyonin sentezi adına gerekliliği bulunan B₁₂ vitamininin eksikliğinde ise L-karnitin fonksiyonel bütünlüğü bozulacağı bildirilmektedir (Bieber, 1998). L-karnitin sentezinin böbrek, beyin ve karaciğerde gerçekleşen basamağı son basamaktır. Son basamağın bu organlarda olmasının sebebi ise gereksinim duyulan bütürobetain hidroksilaz enziminin yalnızca bu dokularda bulunması şeklinde ifade edilmektedir. β-oksidasyon adına gereksinim duyulan

tüm enzimlerin mitokondrinin matriksinde yerleşmesinden dolayı dokuların yeterli oranlarda L-karnitin içeriğinin olmadığı da söylenmektedir (Borum, 1983).

2.2.5. L-karnitinin Biyolojik Fonksiyonları

Organizmadaki metabolik işlevler göz önünde bulundurulduğunda L-karnitinin etkilerinin genişliği göze çarpmaktadır. L-karnitinin temel olarak etkileri memeli dokları üzerindeki uzun zincirli yağ asitlerinin oksidasyon yeri olan mitokondriye taşınması adına rolü bulunmaktadır (Karayaylalı ve ark., 1997). Besinlerden ATP üretilmesi için mitokondriye taşınımı gereklidir. Mitokondride toplanan besin maddeleri, mitokondri içerisindeki enzimler yardımıyla metabolize edilerek enerji oluşumu sağlanmaktadır (Coşkun ve Öter, 2001). Ayrıca iskemik (oksijen dolaşımının yavaşladığı) koşullar altında mitokondri üzerinden gerçekleşen enerji üretiminin yavaşladığı, ATP'nin üretimi adına temel kaynak niteliğinde kaldığı görülmektedir (Önal ve ark., 2004). Orta zincirli ve kısa zincirli olarak bulunan yağ asitlerinin mitokondrideki oksidasyonları bağımsız bir şekilde L-karnitin olmaksızın yapılabilmesine karşın uzun zincirli yağ asitlerinde bu oksidasyon L-karnitine bağımlı bir şekilde yapılmaktadır. Bunun sebebi olarak iç membranın uzun zincirli yağ asitleri karşısında geçirgenliğinin bulunmaması ve geçişinin L-karnitin ile sağlanması olması şeklinde ifade edilmektedir.

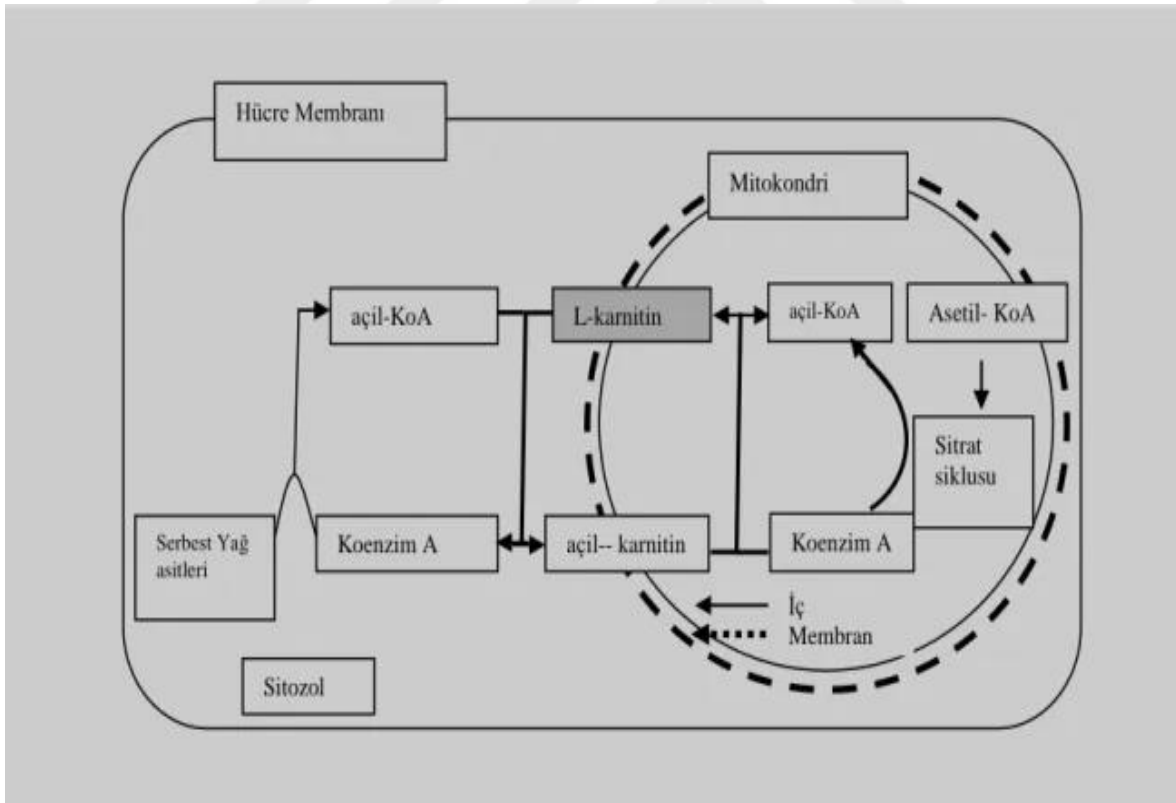
2.2.5.1. Uzun Zincirli Yağ Asitlerinin Mitokondriye Taşınması

L-karnitin, uzun zincirli yağ asitlerinin mitokondriye taşınımında görev almaktadır. Enerji üretimi adına mitokondrinin iç ve dış membranı içerisinde bulunan üç enzime ihtiyacı bulunmaktadır. Kalp kası ve iskelet kası hücrelerindeki dış mitokondriyel membranda L-karnitin-palmitoil transferaz I enzimi tarafından, açıl-Koa (Yağ Asidi+Koa) üzerinden açıl-L-karnitin formu üretilmektedir. Açıl-L-karnitin translokaz tarafından iç mitokondriyal membrana taşınmaktadır. Taşınımın sonunda ise propiyonil Koa ve asetil-Koa üretimi yapılmaktadır (Arrigoni ve ark., 2001).

Uzun zincirli yağ asitlerinin birçok organın yanında özellikle de karaciğer ve kas için asıl enerji kaynağı olduğu bilinmektedir. Dokuların birçoğunun yalnızca az miktarda yağ depoları bulunduğu için üretim genel olarak adipoz dokular üzerinden faaliyet gösterilen yağ asidi desteğine bağlıdır. Yağ asitlerinin lipolize bir şekilde üretildiği, kandaki albümün oranlarına bağlı bir şekilde taşındığı ve plazma membranı içerisinde bulunan transpor proteinler aracılığıyla dokulara alındığı saptanmıştır. Hücre içerisine alınan serbest yağ asitleri, stoplazmadaki oranının yüksek olduğu yağ asit bağlayıcı

proteinlere bağlanmaktadır. Dokular ve metabolik gereksinimlere bağlı bir şekilde yağ asitlerinin trigliserit veya membran fosfolipitlerine dönüştüğü, ayrıca enerji üretimi adına mitokondride oksidize edildiği ifade edilmektedir. Yağ asitlerinin depolanma, membranlar ya da oksidasyona yönlendirmesi yapılmadan önceki zaman diliminde açıl-KoA'lar tarafından aktifleştirilebildiği, ayrıca bu reaksiyonun mikrozomlar ve mitokondriler içerisinde yüksek oranlarda bulunan enzim olarak nitelendirilen uzun zincirli açıl-KoA sentetazca katalize edilebildiği söylenmektedir (Kerner ve Hoppel, 2000).

β -oksidasyon döngüsü içerisinde tekrarlı bir yapıda reaksiyonların katalizlenmesinde rol alan enzimler “açıl-KoA dehidrogenaz ve enoil-KoA hidrotazın yanında L-3-hidroksi açıl-KoA dehidrogenaz ve 3-keto açıl-KoA tiolaz” olarak ifade edilmektedir. Dört enzim içerisinde bulunan izoformlardan minimum ikisinin mitokondride mevcudiyeti bulunmaktadır. İzoenzimlerin temel görevinin de yağ asitlerinin asetil-KoA içerisine indirgenmesinin tamamen sağlanması sürecinde şekillenmiş olan ara ürünlerin etkin bir biçimde parçalanmasının kolaylaştırılması olduğu söylenmektedir (Schulz, 1994). Şekil 2.10’da bu döngü gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Sitozol Üzerinden Mitokondri İçerisine Aktif Yağ Asitlerinin Taşınmasında L-karnitinde Bulunan Taşıyıcı Fonksiyon (Harmeyer, 2002)

2.2.5.2. Mitokondriyel Yanma ve Yağ Asit Oksidasyonu, L-Karnitin Katalitik Fonksiyonu

L-karnitinin genel olarak yağların yanmasında ve lipogenezi inhibe etmede görev aldığı söylenmektedir. Kas hücreleri gibi vücut hücrelerinde yağ asitlerinin yakımı ve enerji oluşumu adına mitokondriye taşınım gerekmektedir. Bu bağlamda öncelikli bir şekilde β -oksidasyonu sonrası sitrik asit siklusu üzerine geçilerek yanma faaliyeti yürütülmektedir. Yağ asitlerinin aktive edilmesi hücrelere girmelerine müteakip olmakta, bu da mitokondriye giriş öncesi koenzim A'ya bağlanarak açıl-KoA bileşiklerini oluşturduğunu göstermektedir. İç mitokondride bulunan membranın bu şekilde dahi açıl-KoA bileşikleri adına geçirgenlik sağlamamaktadır (Köklü, 2013). Aktif edilen açıl-rezidüler bu nedenden dolayı iç mitokondrideki membrandan (koenzim A'dan L-karnitin içerisine) transfer edilmektedir. Bu transferin sebebi ise mitokondrinin iç membranında bulunan proteinlerin açıl-L-karnitin adına özel bir transport protein olması şeklinde ifade edilmektedir. Mitokondriyel matriksin içerisinde ise reaksiyonun tersine döndüğü, açıl-L-karnitin tekrar olarak KoA'ya bağlandığı söylenmektedir. Açığa çıkarılan L-karnitin tekrardan dış tarafa, sitozole transkolaz enzimiyle birlikte açıl-L-karnitinle 1/1 olacak bir oranda taşıma işlemi gerçekleştirilmektedir. Fakat bu işlemle beraber siklustaki mitokondriyel matriksin L-karnitin içeriğinde bir değişim olmamakla beraber L-karnitin harcaması yapılmamaktadır. Bu süreç literatürde süreç "L-carnitine Shuttle" olarak tanımlanmıştır (Harmeyer, 2002).

2.2.5.3. Asetil Tamponu Olarak L-Karnitin ve Metabolik Fonksiyonu

İntramitokondrial asetil-KoA üretiminin genel olarak yağ ve aminoasitlerin yanında karbonhidrat yıkımı ile sonuçlandığı söylenmektedir. Asetil-KoA'nın birikmesi sonucu yıkım faaliyetlerinin engellendiği ve bu bağlamda belirli bir yoğunlukta toksik etkiler meydana geldiği tespit edilmektedir. L-karnitinde bulunan diğer fonksiyonlar, fazla miktarda bulunan asetil gruplarının arındırılmasını (detoksifikasyonunu) ve serbest KoA önleyici bir etkiyle birlikte asetil-KoA/KoA havuzunun oluşturulmasını sağlamak olarak ifade edilmektedir. Bu faaliyet içerisinde KoA'nın serbest kaldığı görülürken, L-karnitin asetil gruplarla bağlanarak sonrasında asetil grupların böbreklere taşınmasında, elimine edilmesinde mitokondrial asetil-KoA/KoA'nın serbest KoA'ya dönüştürülmesinde rol almaktadır. Bu işlemler sonucu kalan KoA'nın karbonhidrat metabolizması adına kullanılabilmesi mümkün kılınmaktadır. Pürivat glikoliz süresince salınmakta ve bunun

yanında pürivat fazlalığı asetat aracılığıyla depolanmaktadır. L-karnitin tersi bir bağlantı ile birlikte sitrat döngüsünde de bu durumdan yararlanılmaktadır. Asetil-KoA/KoA'nın dengelenmesiyle birlikte ATP'nin mitokondri sonrası taşınmasına da dolaylı bir destek sağlanmaktadır. Asetil-KoA, mitokondri içerisinde birikim oranında yükselmeler olduğunda adenin nükleotit translokaz fonksiyonunu da engellemektedir (Baumgartner ve Blum 1997).

L-karnitinin ikinci fonksiyonu olan “asetil tampon” fonksiyonu, akciğer ve kas metabolizması adına önem arz etmektedir. Mekanizmanın faaliyetlerine devam etmesi adına büyük oranlarda L-karnitin gereksinimi duyulmaktadır. L-karnitinde bulunan bu fonksiyonla beraber yağ asitlerinin yanma faaliyetlerine karışmış olan substrat ve ara mekanizmalar içerisinde görev alan L-karnitinle, kaslarda faaliyet gösteren L-karnitin konsantrasyonları birbirleri arasında karıştırıldığında, L-karnitinin görevleri daha iyi bir şekilde gösterilmektedir. Yani kaslarda bulunan L-karnitin konsantrasyonu, enerji metabolizması üzerinde karışmış olarak ara basamaklardaki L-karnitin konsantrasyonundan 10 ile 100 kat daha yüksek olmaktadır. L-karnitin, kaslarda milimolar konsantrasyonda bulunmaktayken, enerji metabolizmasında ise mikromolar konsantrasyonda bulunmaktadır. Oranların yüksek olması ise L-karnitin bir asetil-KoA deposu görevi gördüğü, bu bağlamda depo hareketlerinin olduğu düşüncesini meydana getirmektedir (Harmeyer, 2002).

L-karnitin'de bulunan bu fonksiyon, aktifleşmiş olan yağ asidi miktarıyla asetil-KoA miktarlarının hücreler arası oksidatif gereksinimleri ve oksidatif kapasiteyi aşması durumunda ortaya çıkmaktadır. Bu durum insanlarda genel olarak yoğun egzersiz ya da yüksek lipotik faaliyetlerde ortaya çıkmaktadır. Harmeyer (2002) yapmış olduğu çalışmada köpekler, atlar ve domuzlarda bulunan L-karnitin %98'lik bir oranda serbest L-karnitin olduğunu, %2'lik kısmın ise açıl-L-karnitin olduğunu rapor etmektedir. İhtiyaç durumunda ise serbest L-karnitin asetil gruplar ile bağlandığı gözlemlenmektedir.

2.2.5.4. Asetil Deposu Olarak Fonksiyonu

Faaliyet gösteren kaslardaki oksidatif mekanizmanın üretmiş olduğu enerjinin kas aktivitesi adına yetersizliğinin olması, ATP eksikliği ve faaliyetin seviyesinin de etken olduğu bir glikoz yoluyla artış oluşmaktadır. Pirüvat ile sonlanan bu sürecin sonrasında dönüşüm asetil-KoA veya laktat şeklinde olmaktadır. Artan hipoksi durumlarında ise asetil-KoA ve L-karnitin tepkimesi olmakta, asetil-L-karnitin meydana gelmektedir. Bu

sayede asetil-KoA'nın reaksiyon yolu uzaklaştırması yapılmaktadır. Bu süreç içerisinde gereken L-karnitin miktarı daha yüksek bir oranda olmaktadır. Bu durumun sebep olduğu L-karnitin düşüşü ise %98'lik bir orandan %10'lara kadar bir düşüş olduğundan, fiziksel egzersiz sonrası tekrar bir artışının sağlanması gerekmektedir (Zeyner ve Harmeyer, 1999).

Yağ asidi metabolizması üzerindeki L-karnitinin etkisi temel olarak mitokondri içerisinde yağ asitlerinin taşınımının sağlanmasıyla birlikte bu asitlerin β -oksidasyona uğramalarının düzenli bir şekilde sağlanması olmaktadır. Aktif asetil gruplarının bağlanması adına L-karnitin "rezervatuvar" bir rolü bulunmakta, bu rol ile de mitokondriyel enerji üretiminin diğer fonksiyonlarından olan düşük seviyelerdeki asetil-KoA/KoA yoğunluğunun devamlılığı sağlanmaktadır (Nemoto ve ark., 2001).

Ayrıca L-karnitin, mitokondri iç membranı üzerinden adenin nükleotit taşınması adına aktive etme görevi görmektedir, bu durumda mitokondriyel asetil-KoA-KoA miktarlarının azalmasıyla beraber piruvat dehidrogenaz aktivitesinin indüklenmesinde rol almaktadır. Aktif asetil kalıntıların tranferiyle beraber asetil-KoA yoğunluğu azalmakta, serbest KoA yoğunluğu ise artış göstermektedir. Asetil-KoA/KoA oranlarının yüksekliğiyle birlikte sitrat siklusu çalışmakta, bu çalışma serbest KoA'ya a-ketoglutarat üzerinden suksinil KoA'ya bir şekillendirme gereksinimi adına yapılmaktadır (Bremer, 1995).

2.2.6. L-Karnitin Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri

L-karnitin bitki gelişimi üzerindeki etkilerinin saptanması adına birçok çalışma yürütülmüştür (Gökçe ve ark., 2015; Yuan ve ark., 2018; Oney-Birol, 2019). Bu çalışmalardan elde edilen veriler genel olarak L-karnitin bitki gelişimi üzerinde olumlu etkileri olduğu yönündedir. L-karnitin stres faktörlerinden kaynaklanan bitki gelişimi üzerindeki olumsuz etkilerin giderilmesinde bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda L-karnitin bitki gelişimi üzerindeki etkilerin saptanması adına elde edilen veriler şu şekilde özetlenebilir.

Gökçe ve ark. (2015) yapmış oldukları çalışmada bitki verimliliğinin etkilendiği stres ortamlarındaki verimin tekrardan artırılmasını amaçlamaktadır. Bu bağlamda sitoplazmadaki ozmolit oranlarının artırılmasının verimliliğe katkı sunduğu, hücre membranlarını koruduğu ve stres durumunda meydana gelen ROS'ların miktarının azaldığı görülmektedir. Bu çalışmada karnitin uygulamasıyla beraber bitkinin su durumunun korunduğu gözlemlenmektedir. Çalışmada ozmolit olarak "karnitin" gösterilmektedir. Tuz-

karnitin gruplarının ise iyileşme gösterdiği, ABA-intensive mutant stomaları ise kapanmadığı rapor edilmiştir. Fakat stomaların kapanmamasının yanında karnitin uygulamasıyla beraber bitkide tolerans oluşumunun arttığı gözlenmektedir. Bu gözlem sonucu karnitinle ABA'nın bir ilişkisinin bulunduğu düşüncesi ortaya çıkmaktadır. Çalışma sonucunda ise tuzlu koşullar içerisinde bulunan yaban tip ve ABA mutantları üzerinde antioksidan savunma sistemi enzimleri üzerinde, H_2O_2 ve TBARS oranlarında artış olduğu tespit edilmektedir. Karnitinin hayvan ve mikrobiyal bulunurluğunun yanında bitkide de bulunduğu vurgulanmış, bitkide çeşitli metabolik ve fizyolojik işlevlerdeki yaygınlığı ifade edilmiştir. *Arabidopsis thaliana*'nın yanında diğer bitkilerde de serbest ve acil karnitin miktarının belirlenmesi sonucu bitki lipid metabolizması üzerindeki karnitin katılımı tespit edilmektedir.

Soğuk stresinden kaynaklı oluşan ortam içerisinde karnitinin zar lipidlerinin adaptasyonu adına gerekliliği bulunan yağ asitlerinin hücrelere taşınması adına görev alabileceği söylenmektedir. Depolama lipidlerinin sentezinin yanında karnitinin ayrıca zar lipidleri ve zar fosfolipid sistemi adına da büyük önem taşıdığı ifade edilmektedir.

Türk ve ark. (2020), mısır tohumlarının soğuk stresine (20-22 °C) maruz bırakarak yaptığı çalışmada, dokuz günlük olan fideler I. Kontrol, II. Soğuk, III. Soğuk + L-karnitin ve IV. Karnitin olmak üzere 4 gruba ayrılmıştır. Grup I ve II'ye distile edilmiş su püskürtülürken, diğer gruplara sırasıyla 25 $\mu\text{mol dm}^{-3}$ L-karnitin püskürtülmüştür. Bitkiler 15 günlük olduğunda biyokimyasal analizler için hasat edilmiştir. Karnitin tek başına fide büyümesinde kontrole göre etkili bir artış sağlarken, soğuk stresi + L-karnitin uygulamasıyla soğuk stresinin olumsuz etkisini azaltarak büyümede artış sağlamıştır. Benzer şekilde, fotosentetik parametrelerde (yaprak yüzey alanı, stoma açıklığı, klorofil içeriği ve Rubisco'nun aktivitesi ve gen ekspresyonu) ve nitrojen asimilasyon yolunda (nitrat redüktaz, glutamin sentaz ve glutamat sentazın aktiviteleri ve gen ekspresyonları) soğuk kaynaklı azalmaların L-karnitin uygulamasıyla arttırdığı görülmektedir. L-karnitin uygulaması antioksidan enzimlerinde (süperoksit dismutaz, guaiakol peroksidaz, katalaz, askorbat peroksidaz ve glutatyon redüktaz) aktivitelerini olumlu yönde artırarak oksidanların (süperoksit anyon ve hidrojen peroksit) ve oksidatif hasar parametrelerde (lipid peroksidasyonu, protein oksidasyonu ve donma hasarı) azalmalar sağlanmış. Karnitin ayrıca hücresel zarları soğuk stresinin neden olduğu hasardan korumak için zarlardaki doymuş yağ asitlerini azaltarak doymamış yağ asitlerinin oranını olumlu yönde değiştirdiği bildirilmiştir. Sonuç olarak L-karnitin, fizyo-biyokimyasal, fotosentez ve azot

asimilasyonunu modüle ederek ve antioksidan savunma sistemini geliştirerek bitki büyümesini ve soğuk toleransını arttırdığı belirlenmiştir.

Fosfatidik asit (PA) mutantlarının yanında *Arabidopsis thaliana* kullanılan çalışmada iki haftalık bitkiler üzerinde 80 mM NaCl ve 5 mM karnitin uygulaması yapılmış, fizyolojik ve biyokimyasal parametreler belirlenerek bitkilerin hasadı gerçekleşene kadar uygulamaya devam edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda stres koşulları içerisindeki PA mutantları üzerinde CAT ve POX'un yanında SOD ve APX antioksidant enzim faaliyetlerinin de karnitin uygulaması sonrası değişim gösterdiği tespit edilmektedir. Bu değişimler bitki grupları üzerinde bulunan hücre membran lipitlerinde olan peroksidasyonda gözlemlenmiş, tuz stresi üzerinde artış gösteren ve gelişime de engel olan ROS seviyelerinin L-karnitin ile beraber olumlu yönde etkilendiği tespit edilmektedir. Ayrıca çevresel stres faktörülerinin birçoğu karşısında bitkilerde PA oluşumunun tetiklendiği, bu bağlamda PA oluşumuyla karnitinin ortak işlevlerinin olduğu düşünülmektedir. Yapılan çalışma doğrultusunda bitkiler üzerinde tuz stresi kaynaklı gelişim yetersizliğinin karnitin sonrası tuz toleransı kazanmada etkisi bulunduğu söylenebilmektedir (Gökçe ve ark., 2015).

Tuz ve ozmotik strese maruz bırakılarak yetiştirilen *Arabidopsis thaliana* sürgünleri ile yapılan karnitin uygulamalarının (5 μ M ve 5 mM) tuz stresi adına geliştirilmiş olan toleransta etkisinin olduğu, fakat bu etkinin lipid metabolizmasından değil, kendi osmoregülatör özelliğinden kaynaklandığı rapor edilmiştir (Charrier ve ark., 2012; Türk, 2018). Karnitin, tuz stresine maruz kalan bitkilerdeki tonoplast ve mekanizma zarında bulunan sodyum iyon taşıyıcılarının düzenlenmesinde görev alarak sodyumun olağan toksik etkilerini azalttığı, bu etkiyi sodyum iyonlarının hücre içerisinde girişini ve birikimini engellemesinin yanında çıkışlarını da kolaylaştırmasıyla yaptığı ifade edilmiştir (Tuteja, 2007; Pardo, 2010; Türk, 2018).

Bir mM L-karnitin konsantrasyonu ile yapılan çalışmada L-karnitin tohum çimlenmesinin yanında bitki büyümesini düzenleyici etkisinin olduğu ve 1 mM L-karnitin konsantrasyonunun bitki büyümesinde “en etkili doz” olarak nitelendirildiği rapor edilmektedir. Yapılan çalışmadan elde edilen bilgiler doğrultusunda L-karnitin tuz stresine bağlı olarak bitkiler üzerindeki ROS seviyelerinin artması, bu artışla beraber ise bitkinin gelişiminin etkilendiği görülmektedir. L-karnitin genel olarak bitkilerde kullanılma amacının ise oksijen kaynaklı olan “problemin çözümünde faydalı olması” olduğu düşünülmektedir (Oney-Birol, 2019). Ayrıca aynı çalışmada NaCl

konsantrasyonlarını belirlemek için tohumların çimlenmesini büyük ölçüde engelleyen (%50'nin üzerinde çimlenme oranı) arpa tohumlarına uygulanan tuz konsantrasyonları sırayla 0.25 M, 0.30 M ve 0.35 M uygulanmış ve L-karnitin hangi dozunun tuz stresini hafifletmede etkili olduğunu belirlemek için yapılan ön çalışma sonucunda 1000 mM'den 0.1 mM'ye kadar konsantrasyonlar test edilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, tohum çimlenme yüzdesi, 0.25 M tuzda 5 mM (%84) ve 1 mM (%84) uygulanan L-karnitin benzer etkiye sahip olmuştur. Artan tuz stresi konsantrasyonuna bağlı olarak, çimlenme yüzdesi 5 mM L-karnitin seviyesinde düzenli olarak azaldığı görülmüştür (0.30 M'de %28 ve 0.35 M'de %10). Son olarak, 1 mM L-karnitin konsantrasyonunun, tohum çimlenmesine ve bitki büyümesinin düzenlenmesine yol açan tuz stresinin zararını gidermek için en etkili doz olduğu bulunmuştur. L-karnitin ön muamelesi (pozitif kontrol, 1 mM LC), tek başına arpa tohumlarında hücre bölünmesini uyarmada başarılı olmadığı belirtilmiştir. Genel olarak, distile suda (negatif kontrol, 0M NaCl) çimlenen arpa tohumlarının mitotik indeksi, L-karnitin ile ön işleme tabi tutulmuş tohum grubuna göre daha yüksek bir oran göstermiştir. Ayrıca her iki grupta da anafaz ve telofaz hücre sayısının çok düşük olduğu belirtilmiştir. Ancak negatif kontrol grubunda hücrelerin çoğu profaz evresinde gözlenmiştir. L-karnitin ile ön uygulama yapılmış ve uygulama yapılmamış gruplar arasında profaz ve metafaz indekslerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edildiği belirtilmiş, artan tuz stresi konsantrasyonuna bağlı olarak arpa tohumlarında mitotik indeks önemli ölçüde azalmıştır. Kontrol grubunda mitotik indeks değeri 0.17 olarak hesaplanmış olmasına rağmen, 0.25M NaCl'de 0.16, 0.30M NaCl'de 0.14 ve 0.35M NaCl konsantrasyonlarında 0.12 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, tuz stresi koşulları altında L-karnitin ile ön muamelenin mitotik indeksi, bir bitki büyümesini hızlandırıcı olarak umut verici bulunmuştur. Diğer bir deyişle, tuz stresinin hücre bölünmesi üzerindeki zararlı etkilerinin üstesinden gelmek için 1 mM L-karnitin ile ön işlem yapılan tohumlar, 0.25M NaCl'de 0.28, 0.30M NaCl'de 0.24 ve 0.35M tuzluluk koşullarında 0.14 mitotik indeks değeri ile etkili sonuçlar verilmiştir. L-karnitin ile ön muameleden sonraki faz indekslerinden görüldüğü gibi, tuz stresi koşullarında profaz evresi artırılarak mitotik döngü uyarıldığı belirtilmiştir (Oney-Birol., 2019).

Türk ve ark. (2019), mısır tohumlarının soğuk stresine maruz bırakarak yaptığı çalışmada, bitkilerin üçüncü yaprağını oluşturduğu dokuzuncu günlük olan fideler I. Kontrol, II. Soğuk, III. Soğuk + L-karnitin ve IV. Karnitin olmak üzere 4 gruba ayrılmıştır. Grup I ve II'ye distile edilmiş su püskürtülürken, diğer gruplara sırasıyla 25 $\mu\text{mol dm}^{-3}$ L-

karnitin püskürtülmüştür. Bitkiler 15 günlük olduğunda biyokimyasal analizler için hasat edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda dışardan uygulanan ve hücre içerisine taşınan L-karnitin hücre metabolizmasında aktif bir rol oynadığı, bitkilerde lipid katabolizmasını hızlandırarak lipidlerin solunuma katılmasını teşvik ettiği, L-karnitin hızlandırdığı lipid katabolizması sonucunda, mısır bitkilerinin toplam lipid miktarlarında bariz azalmalar tespit edildiği, solunumda kullanıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca TCA döngüsünün hızında önemli artış meydana geldiği, TCA döngüsünün hızındaki olumlu değişime paralel olarak, azot asimilasyonunda (protein sentezi) da önemli bir artış meydana geldiği, artan azot asimilasyonu, hem osmoportektan özelliğinde olan azotlu bileşiklerin sentezini, hem de dolaylı olarak fotosentezde üretilen enerjide verimliliği attırdığı görülmüştür. Ayrıca artan total solunum hem sitokrom yolunun hem de alternatif solunum yollarının aktivasyonundan kaynaklandığı enzimatik ve moleküler düzeyde kanıtlandığı bildirilmiştir.

Çancıoğlu (2014) yapmış olduğu çalışmasında kuraklık stresi altındaki bitkilerin ROS sinyallerinin ve antioksidan sistemlerinin üzerinde L-karnitin ile bir çalışma yapmaktadır. Yapmış olduğu çalışmada *Arabidopsis thaliana*'nın yaban tipi türü olan Col-0 ekotipi 48 saatlik süre içerisinde kuraklık ortamına maruz bırakılmaktadır. Bu çalışmada bağıl büyüme hızı, bağıl su içeriği, lipid peroksidasyonu, ROS oluşumu (H_2O_2 miktarı, NADPH oksidaz (NOX) aktivitesi), antioksidant savunma sisteminin yanında CAT, POX, APOX, GR ve monodehidroaskorbat redüktaz enzim faaliyetleri incelenmektedir. Çalışma sonucunda karnitin uygulamasıyla beraber kuraklık ile oluşan hücre hasarlarının bitkideki antioksidan savunma sistemlerinin etkilenmesi sonucu azalım gösterdiği rapor edilmektedir.

Çebi (2014) yapmış olduğu çalışmasında kuraklık stresinin etkisinde olan *Arabidopsis thaliana* üzerinden karnitin teşvikli proteinlerin tanımlanmasını konu edinmektedir. Bu bağlamda *Arabidopsis thaliana* bitkisinin col-0 ekotipi kuraklık ve karnitin uygulamasına tabii tutulmakta, bağıl büyüme hızı, bağıl su içeriği, lipid peroksidasyonu ve H_2O_2 içeriğinde karnitin uygulamasıyla beraber değişimler tespit edilmektedir. Bu değişimlerin sonucunda karnitin uygulamalarının olumlu bir tablo çizdiği rapor edilmektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Bu araştırma, 2019 ve 2020 yıllarında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümünde Tohum ve Sebze Fizyolojisi laboratuvarı ve iklim odasında kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bitkisel materyal olarak, Kahramanmaraş Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından ıslah edilen ve genellikle kırmızı pul biber üretimi için yetiştirilen 2019 yılında elde edilen ‘Sena’ çeşidi biber tohumları kullanılmıştır. Bir diğer bitkisel materyal olarak Mitofarm firması ürünü olan Beith Alfa çeşidi hıyar tohumları kullanılmıştır.

4.2. Metot

4.2.1. L-karnitin Uygulamaları

Öncelikle biber ve hıyar tohumları, tohum üzerinde taşınması mümkün olan mikroorganizmaların yok edilmesi amacı ile %1 (aktif madde) sodyum hipoklorit içeren suda 5 dk yüzeysel dezenfeksiyon yapıldıktan sonra bol suda yıkanmış ve oda koşullarında kâğıt havlu üzerinde belirli süre ile yüzeysel olarak kurutulmuşlardır. Daha sonra tohumlar 35x50x25 cm boyutundaki plastik kaplarda 0, 0.05, 0.1, 1, 5, 25 ve 50 mM oranındaki L-karnitin içeren su ile ıslatılmış olan çift katlı kurutma kâğıtları üzerinde 24 saat 20 °C’de bekletilmişlerdir (Şekil 4.1). Bu işlem sonunda muamele gören hıyar ve biber tohumları çeşme suyunda yıkanmışlar ve 1 gün süre ile kâğıt havlular üzerinde kurutulduktan sonra tuz stresi (biber: 90 mM NaCl ve hıyar:125 mM NaCl) ve optimum koşullar (0 mM NaCl-kontrol) altında çimlenme ve çıkış testlerine tabi tutulmuşlardır.



Şekil 4.1. Hıyar ve biber tohumlarına L-karnitin uygulaması

4.2.1.1. Çimlenme Testi

Çimlenme testi tesadüf parselleri deneme deseni doğrultusunda, 4 tekerrürlü ve her tekerrürde hıyar tohumları için 40 adet, biber tohumları için 50 adet tohum olacak şekilde çift kat kurutma kâğıdı içeren 35x50x25 cm çapındaki plastik kaplarda kurulmuştur. Yukarıda behsedildiği gibi 0.05, 0.1, 1, 5, 25 ve 50 mM konsantrasyonlarda L-karnitin ile muamele edilmiş tohumlar optimum koşullarda ve tuz stresi koşullarında çimlendirme testine tabi tutulmuşlardır. Tuz stresi altında çimlendirilen tohumların bulunduğu kaplara biber tohumları için 90 mM, hıyar tohumları için ise 125 mM NaCl, optimum şartlarda çimlendirilen tohumların kaplarına ise 0 mM NaCl içeren su (saf su) ilave edilmiştir.

Çimlenme testi sonrasında aşağıdaki parametreler belirlenmiştir.

Kökçük görülmesi için yeterli uzunluk “1 mm” olarak kabul edilmiş, günlük olarak çimlenmiş olan tohum sayılarının kaydı tutulmuştur. Yapılan işlem tohum sayısının sabit bir şekilde olmasıyla sonlandırılmıştır. Çimlenme testi 15 günde tamamlanmıştır.

Test sonucunda incelenen parametreler aşağıda belirtilmiştir;

- Toplam çimlenme oranı (%): Çimlenen tohumların yüzde olarak ifade edilmesi.
- Çimlenme üniformitesi (T_{10-90}) (gün): Tohumların %10 çimlenmesi ile %90 çimlenmesi arasında geçen süre.
- Ortalama çimlenme hızı (gün, MGT): $(A_1D_1+A_2D_2+...A_nD_n) / (A_1+A_2+...A_n)$
A= her gün çimlenen tohum sayısı, D: A sayısı kadar tohumun çimlenmesi için gerekli gün, n: son sayıma kadar geçen gün sayısıdır (Üniversitemizde geliştirilen Çimlenme Analizi 1.0 yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır).
- Kökçük uzunluğu (mm): Her bir uygulamanın her bir tekerrüründen rastgele seçilen 4 adet çimlenen tohumun kökçük uzunlukları dijital kumpasla ölçülmüş ve mm olarak ifade edilmiştir.

4.2.1.2. Fide Çıkış Testi

Çimlenme testi sonuçlarına dayanarak 0, 0.05 ve 0.1 mM konsantrasyonunda L-karnitin ile muamele edilen tohumlar kullanılarak optimum koşullarda ve tuz stresi koşullarında fide çıkış testleri kurulmuştur. Tohumlar, 3:1 oranında torf ve perlit karışımı ile doldurulmuş 35x50x25 cm ebatındaki kaplara tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekrarlı bir şekilde ve her tekrarda hıyar için 20 adet, biber için ise 40 adet tohum olacak şekilde ekilmişlerdir. Optimum şartlarda bulunan kaplara 0 mM NaCl (saf su) ilave edilmiş, tuz stresindeki kaplara için biberde 90 mM NaCl hıyarda ise 125 mM NaCl içeren su ilave edilmiştir. Kaplar 25 °C iklim dolaplarına yerleştirilmiş ve bu dolaplarda 16 saat aydınlık 8 saat karanlık olacak süreyle ışıklandırması yapılmıştır. Işık şiddeti $225 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ oranına göre ayarlanmıştır. Günlük olarak toprak yüzeyine ulaşan fidelerin sayıları kaydedilmiş, çimlenen fide sayısındaki sabitlik elde edilene kadar uygulama devam etmiştir. Fide hipokotil yayının toprak yüzeyinde görünmesi “fide çıkışı” olarak kabul edilmiştir. Toprak yüzeyine çıkan fideler her gün sayılmış ve çıkış yapan fide sayısı sabitlendiğinde sayım işlemi sonlandırılmıştır. Çıkış testi hıyar tohumları için 15 gün, biber tohumları için 20 gün sayım yapılmıştır.

Çıkış sabit hale geldikten sonra fideler torf seviyesinden kesilip ve yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Bu fidelerin yaprakları -80 °C’de muhafaza altına alınmış ve daha sonra aşağıda belirtilen biyokimyasal analizlerde kullanılmıştır. Bu fidelerin yaprakları -80 °C’de muhafaza altına alınmış ve daha sonra aşağıda belirtilen biyokimyasal analizlerde kullanılmıştır. Test sonucunda incelenen parametreler aşağıda belirtilmiştir.

4.2.2. Yapılan ölçüm ve analizler

4.2.2.1. Hidrojen Peroksit (H₂O₂) İçeriği

H₂O₂ analizi için alınan 250 mg yaprak örneği porselen havanların içinde 3 mL %0.1’lik trikloroasetik asit (TCA) ilave edilerek homojenize edilmiştir. Daha sonra homojenize örnekler 2000 µL’lik ependorf tüplere konulmuştur ve soğutuculu santrifüjde 4 °C’de 10.000 g’de 10 dk santrifüj edilmiştir. Daha sonra 5000 µL hacimli tüplere sırası ile 100 µL supernatant, 100 µL K-P tampon çözeltisi ve 1500 µL KI (potasyum iyodür) konulmuş, örneklerin absorbansı, vorteks ile 30 sn karıştırıldıktan sonra spektrofotometrede 390 nm’de okunmuştur. Kör numune olarak supernatant yerine saf su kullanılmış ve diğer işlemler aynı şekilde tekrarlanmıştır. 1-1000 nmol yoğunlukta H₂O₂ içeren çözeltilerin yardımıyla oluşturulan standart eğri eğri ile örneklerin H₂O₂ içerikleri hesaplanmıştır.

4.2.2.2. Malondialdehid (MDA) İçeriği

MDA içeriği Zhang ve ark. (2005)’nin yapmış olduğu çalışma doğrultusunda elde edilen metod ile belirlenmiştir. Bitkiler içerisinden tesadüfi bir şekilde seçilmiş olan bitkilerden yaprak örnekleri alınarak buz üzerinde bulunan porselen havanda %0.1 oranında 5 ml TCA ile ekstrakt edilmektedir. Ekstraktlar bir diğer aşamada 25 °C sıcaklıkta 6.000 g ve 5 dk santrifüj edilmekte, santrifüj edilen 1 mL’lik kısım test tüplerine alınmaktadır. Bu aşamadan sonra test tüpüne 4 mL ve yüzde 20 TCA içeriği bulunan %0.5 oranında TBA eklenmektedir. Test tüplerinin su banyosunda bekleme sıcaklıkları ise 95-100 °C arasında olmaktadır. Su banyosunda bekletilen test tüpleri 10 dk boyunca buz içerisine konulmakta, sonrasında 6000 g’de santrifüj edilmekte, oda sıcaklığına kadar gelmesi beklenmektedir. Örneklerin MDA verilerinin alınması aşağıdaki formüle göre olmaktadır.

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

4.2.2.3. Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesi

Bitki örneklerinin ekstraksiyonu için 250 mg yaprak örneği buz üzerinde soğutulmuş havanlarda ezildikten sonra, 3 mL'lik homojenizasyon tamponuyla birlikte örneği iyice ezilerek özümsemişi sağlanmıştır. CAT enzim aktivitesini belirlemek için 500 mM Trisma Base, 1 mM etilen di-amin tetra asetik asit (EDTA), 1 mM phenylmethanesulfonylflüoride (PMSF) ve 2 mM DTT karıştırılarak iyice homojenize edilen örnekler 30 dk süresince 4 °C'de 14.000 g'de santrifüj edilerek protein miktarları Bradford yöntemine göre belirlenmiştir. Katalaz (CAT) enziminin aktivitesi Güneş vd. (2007) de belirtilen yöntem baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 50 mM sodyum fosfat tampon çözeltisine (pH: 7.0), 0.1 mM EDTA eklenerek reaksiyon sıvısı elde edilmiştir. Daha sonra 920 µL reaksiyon sıvısı, 70 µL örnek ve 10 µL %3 H₂O₂ (toplam 1000 µL) spektrofotometre küvetine sırasıyla eklenerek spektrofotometrede 240 nM'de 1 dk süreyle her 5 saniyedeki absorbans değişimi (artış) kaydedilerek enzim aktivitesi hesaplanmıştır. Kör numunede, örnek yerine saf su kullanılmıştır.

4.2.2.4. Peroksidaz (POX) Enzim Aktivitesi

Bitki örneklerinin ekstraksiyonu için 250 mg yaprak örneği buz üzerinde soğutulmuş havanlarda ezildikten sonra, 3 mL'lik homojenizasyon tamponuyla birlikte örneği iyice ezilerek özümsemişi sağlanmıştır. CAT enzim aktivitesini belirlemek için 500 mM Trisma Base, 1 mM etilen di-amin tetra asetik asit (EDTA), 1 mM phenylmethanesulfonylflüoride (PMSF) ve 2 mM DTT karıştırılarak iyice homojenize edilen örnekler 30 dk süresince 4 °C'de 14.000 g'de santrifüj edilerek protein miktarları Bradford yöntemine göre belirlenmiştir. POX aktivitesi H₂O₂'nin varlığında guaiakolun oksidasyonu izlenerek Dolatabadian ve ark. (2008)'de belirtilen metoda göre ölçülmüştür. Bu amaçla 100 µL supernatant, 500 µL 5 mM H₂O₂, 500 µl 28 mM guaiakol ve 1900 µL 60 mM K-P tampon çözeltisi (pH: 6.1) bir test tüpü içerisinde karıştırılarak bir dk içerisinde parçalanmış H₂O₂ nedeniyle spektrofotometrede 470 nM'de absorbanstaki değişim kaydedilmiş ve enzim aktivitesi hesaplanmıştır.

4.2.2.5. Prolin İçeriği

Taze bitki örnekleri (0.5 g) %3 oranındaki sülfosalisilik asitle homojenize edilmiştir. Sonrasında filtre edilen örnekten 2 mL alınmış ve üzerine 2 mL asetik asit ve 2 mL ninhidrin reagent eklenmiştir. Daha sonra tüplere alınan örnekler 1 saat boyunca 100 °C'lik bir su banyosuna bekletilmiş ve sonrasında buz banyoyu üzerinde soğumaya

bırakılmıştır. Oda sıcaklığına kadar soğuyan örneklerin içerisine 4 mL tolüen eklenmiş ve absorbanları kısa bir vorteksleme sonrasında spektrofotometrede 520 nm’de okunmuştur. Örneklerin prolin içeriği ise değişik konsantrasyonlarda hazırlanan standart eğri yardımıyla hesaplanmıştır.

4.2.2.6. Kök Uzunluk Ölçümü

Çıkış testinde elde edilen bitkilerden tesadüfi olarak seçilen 4 fidenin kök uzunluklarının da incelemesi yapılmış, bu bağlamda kök ölçümünde kumpas kullanılarak ölçüm yapılmıştır.

4.2.2.7. Ortalama Çıkış Hızı (MET)

$$\text{Ortalama çimlenme hızı (gün, MET)} = (A_1D_1 + A_2D_2 + \dots A_nD_n) / (A_1 + A_2 + \dots A_n)$$

A= her gün çimlenen tohum sayısı, D: A sayısı kadar tohumun çimlenmesi için gerekli gün, n: son sayıya kadar geçen gün sayısı (Üniversitemizde geliştirilen Çimlenme Analizi 1.0 yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.)

4.2.2.8. Yaş ve Kuru Ağırlık Ölçümü

Fidelerin toprak üstü kısmının yaş ve kuru ağırlıkları (g bitki^{-1}), toprak üstü kısımları kesilerek yaş ağırlığı hassas terazi yardımıyla ölçülmüştür. Yaş ağırlığı alınan bitkiler 48 saat ve 70 °C’ye ayarlanmış etüv içerisine yerleştirilerek kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan bitkinin yeşil aksamı hassas terazi ile ölçüm yapılmıştır.

4.2.2.9. Kök Yaş ve Kuru Ağırlık Ölçümü

Toprak üstü kısımlarının kesilmesinin ardından bitki köklerindeki torf/perlit karışımından temizlenerek yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Bu işlemin ardı sıra kökler etüvde 48 saat süreyle 70 °C’de kurutulmuşlar ve kuru ağırlıkları hassas terazi yardımıyla ölçülmüştür.

4.3. Sonuçların Değerlendirilmesi

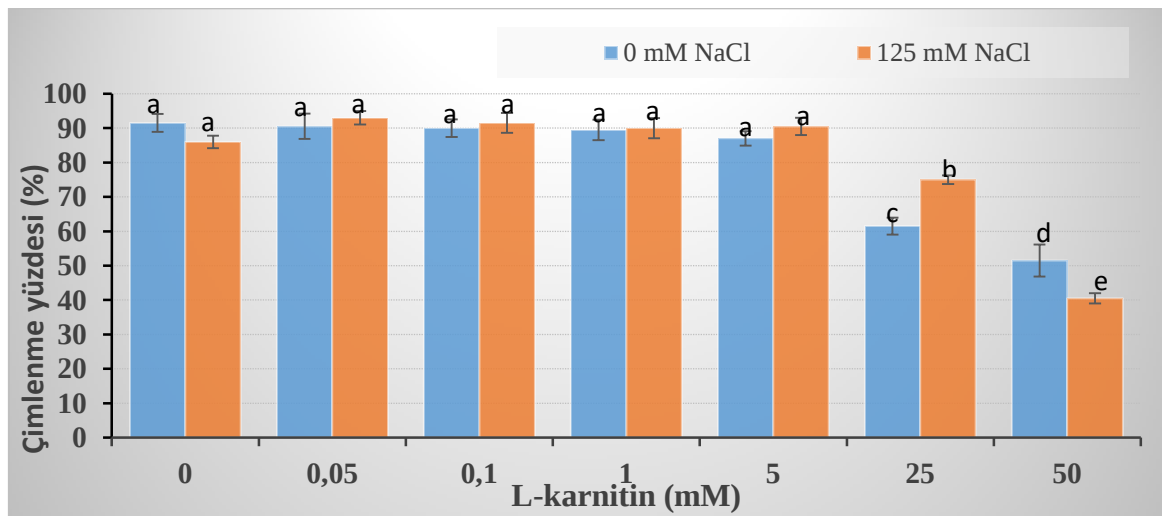
Elde edilen veriler, tek yönlü varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş ve uygulamalar arası farklılıkların saptanmasında LSD (asgari önemli fark) testi kullanılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Biberde L-karnitin Uygulamasında Elde Edilen Bulgular

5.1.1. Çimlenme Yüzdesi (%)

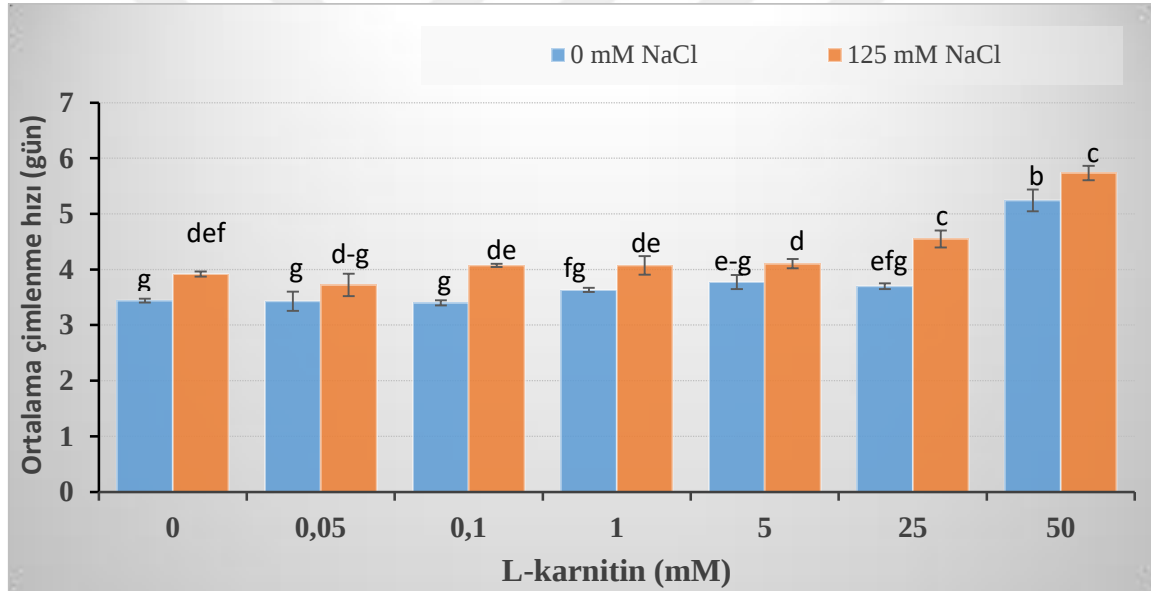
Optimum şartlarda ve tuz stresi altında ekim öncesinde ön uygulama olarak yapılan farklı konsantrasyonlarda L-karnitin uygulamalarının biber tohumlarının çimlenme yüzdesine ilişkin veriler Şekil 5.1’de sunulmuştur. Tuz stresi koşullarında L-karnitin uygulamalarıyla kontrol grupları arasında istatistiksel olarak kayda değer farklar belirlenmiş ve 0.05 mM L-karnitin uygulamalarında çimlenme yüzdesinin hafif fakat istatistiksel olarak önemsiz bir seviyede arttığı saptanmıştır. Fakat uygulanan L-karnitin dozunun yükselmesiyle çimlenme yüzdesi düşmüştür. Kontrol uygulamasında %86 olarak belirlenen çimlenme yüzdesi 0.05, 0.1, 1 ve 5 mM L-karnitin uygulamalarında sırayla %93, 91.5, 90 ve 90.5 olarak belirlemiş, L-karnitin konsantrasyonunun daha da artırılmasıyla birlikte çimlenme yüzdeleri olumsuz etkilenmiş ve çimlenme yüzdesinde düşüş meydana gelmiştir. Optimum koşullarda (0 mM NaCl) kontrol uygulamasıyla kıyaslandığında 0.05, 0.1, 1 ve 5 mM L-karnitin uygulamaları sonrasında çimlenme yüzdesinde bir değişiklik görülmemiş olmasına rağmen en yüksek çimlenme yüzdesi (%93) 0.05 mM L-karnitin uygulanan tohumlardan elde edilmiştir. Yüksek konsantrasyonda (≥ 25 mM) L-karnitin çimlenme yüzdesini olumsuz etkilemiş ve %52 seviyesine gerilemiştir.



Şekil 5.1. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Tohumlarının Çimlenme Yüzdesi Üzerine Etkileri

5.1.2. Ortalama Çimlenme Hızı (MGT)

Ekim öncesinde farklı dozlarda L-karnitin uygulamalarının biber tohumlarının tuz stresi altında ve optimum koşullar altında ortalama çimlenme hızı üzerindeki etkisiyle ilgili veriler Şekil 5.2’de verilmiştir. Tuz stresi koşullarında biber çimlenme hızlarındaki hafif düşüş yalnızca 0.05 mM L-karnitin uygulamasında olmuş, dozun yükselmesiyle beraber kontrol uygulamasına kıyasla biber çimlenme hızları düşmüştür. Kontrol tohumlarında 3.92 gün olarak hesaplanan çimlenme hızı süresi 0.05 mM L-karnitin uygulamasıyla 3.72 güne düşmüş, fakat 0.1, 1, 5, 25 ve 50 mM L-karnitin uygulamalarında çimlenme hızı olumsuz etkilenmiş, sırasıyla 4.07, 4.07, 4.1, 4.55 ve 5.73 güne yükselmiştir. Optimum koşullarda en yüksek çimlenme hızı 0.05 mM L-karnitin uygulamasında ölçülmüştür. Yüksek konsantrasyonda (>1 mM) L-karnitin optimum koşullarda da çimlenme hızını olumsuz etkilemiştir.

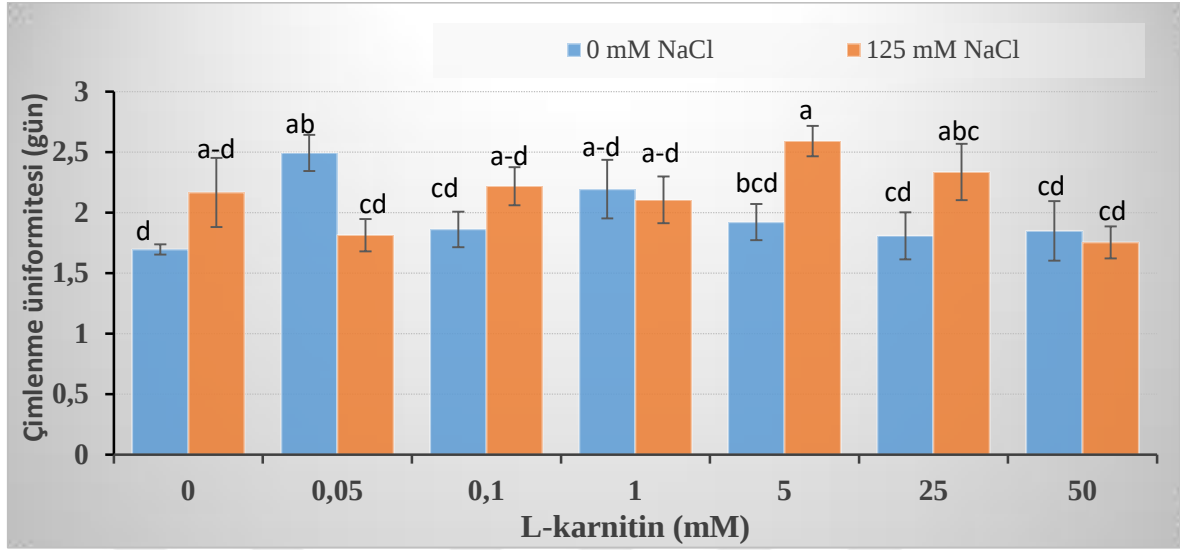


Şekil 5.2. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Tohumlarının Ortalama Çimlenme Hızları Üzerindeki Etkisi

5.1.3. Çimlenme Üniformitesi (T_{10-90})

Ekim öncesinde yapılan L-karnitin uygulamalarının biber tohumlarının tuz stresi ve optimum şartlar altında çimlenme üniformitesi (T_{10-90}) üzerine olan etkileriyle ilgili bilgiler Şekil 5.3’te verilmiştir. Optimum koşullarda tohumlara yapılan L-karnitin uygulamaları arasında sadece 0.05 mM uygulamasının kontrol uygulamasıyla kıyaslandığında çimlenme üniformitesini olumsuz etkilediği buna karşılık diğer uygulamaların ise önemli bir farka

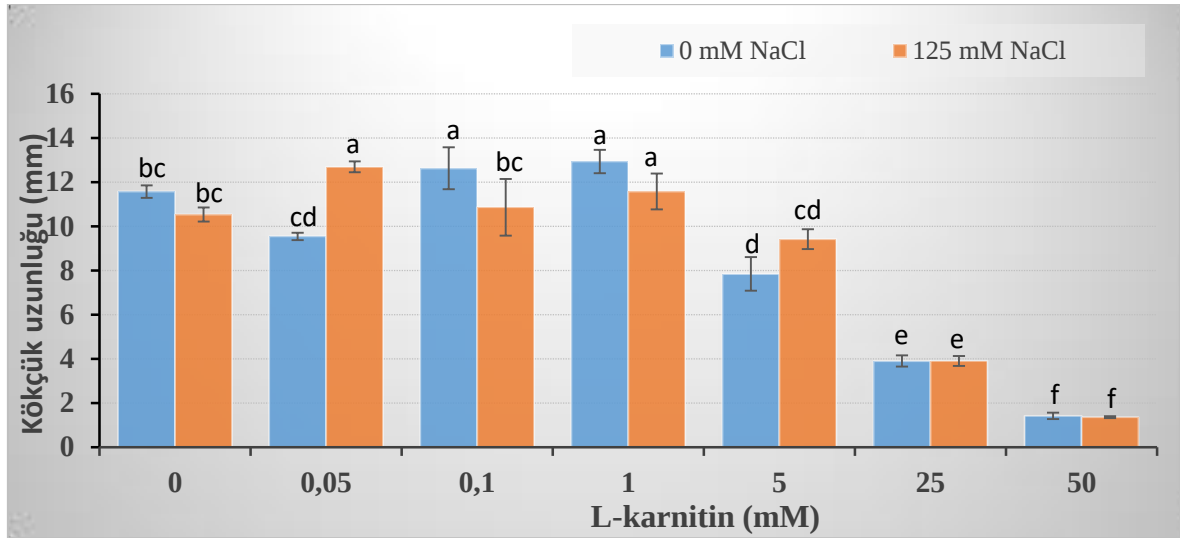
neden olmadığı görülmüştür. Tuz stresi koşullarında ise tüm L-karnitin uygulamaları ile kontrol tohumları arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır.



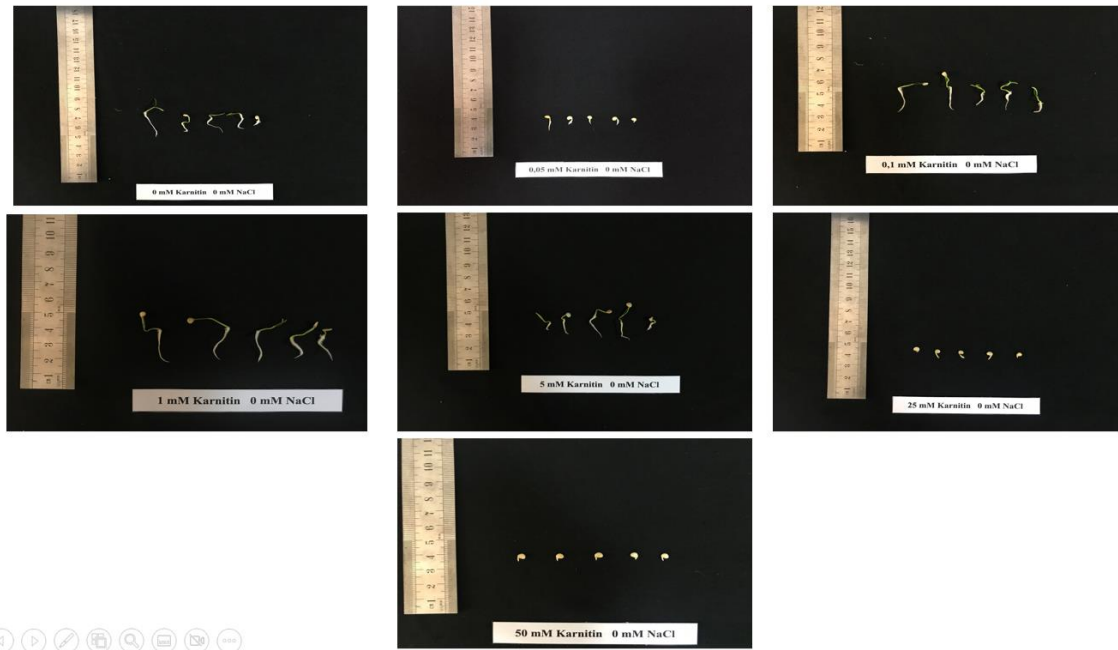
Şekil 5.3. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Tohumlarının Ortalama Çimlenme Üniformitesi (T_{10-90}) Üzerine Olan Etkisi

5.1.4. Kökçük Uzunluğu (mm)

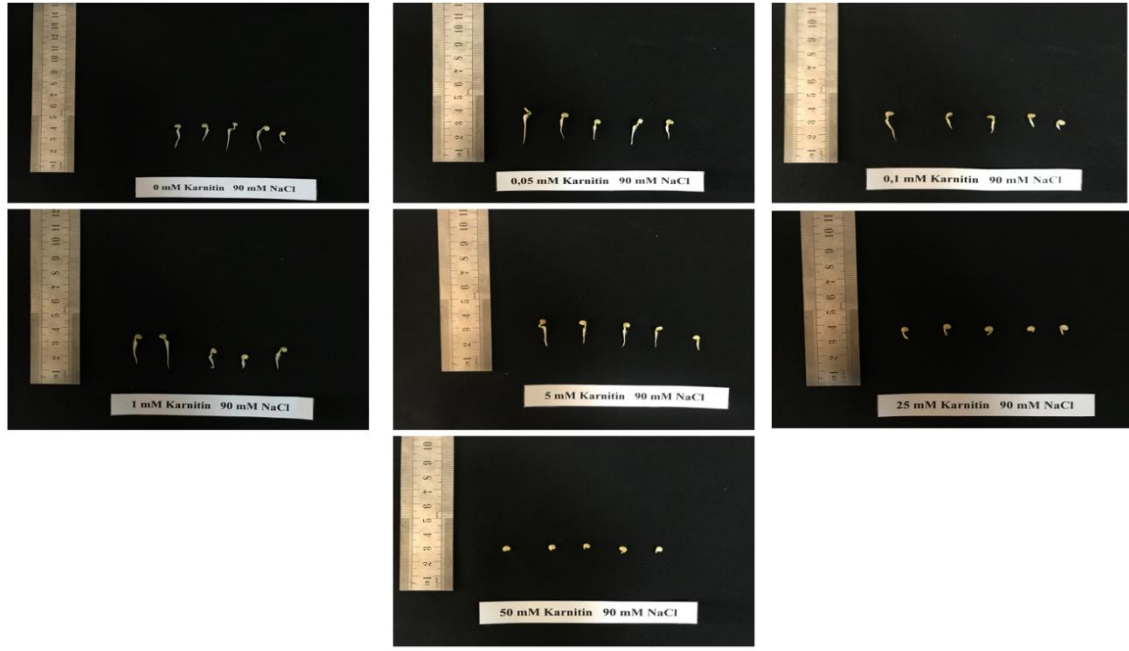
Ön uygulama şeklinde biber tohumlarına yapılan farklı L-karnitin uygulamalarının tuz stresi ve optimum koşullar altında tohumların kökçük uzunluğuna olan etkileri Şekil 5.4'te belirtilmiştir. L-karnitin uygulamaları hem optimum şartlarda hem de stres koşulları altında çimlenen tohumların kökçük uzunluğu üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş, yüksek konsantrasyonda (≥ 5 mM) kökçük uzunlukları azalmıştır. Tuz stresi koşullarında kökçük uzunluğunun en yüksek olduğu uygulama 0.05 mM L-karnitin (12.69 mm) uygulaması, en düşük olduğu uygulama ise 50 mM (1.35 mm) karnitin uygulaması olmuştur. L-karnitin konsantrasyonlarındaki artışın 1 mM L-karnitin uygulamasına kadar olumlu sonuçlar verdiği görülmektedirken, 5, 25 ve 50 mM L-karnitin uygulamalarında kökçük uzunlukları ciddi bir şekilde düşmüştür (Şekil 5.6). L-karnitin optimum koşullarda da kökçük gelişimini olumsuz etkilemiştir. Optimum koşullarda L-karnitin 0.1 mM, 1 mM uygulamaları kontrol uygulaması ile kıyaslandığında kökçük uzunluğunun artmasına neden olmuş, L-karnitin konsantrasyonunun daha da artmasıyla kökçük uzunluğunda azalmalar görülmüştür (Şekil 5.5).



Şekil 5.4. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Tohumlarının Kökçük Uzunluğuna Olan Üzerine Olan Etkisi



Şekil 5.5. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamaları Sonrasında Optimum Koşullarda Çimlendirilen Biber Tohumlarının Kökçük Uzunlukları

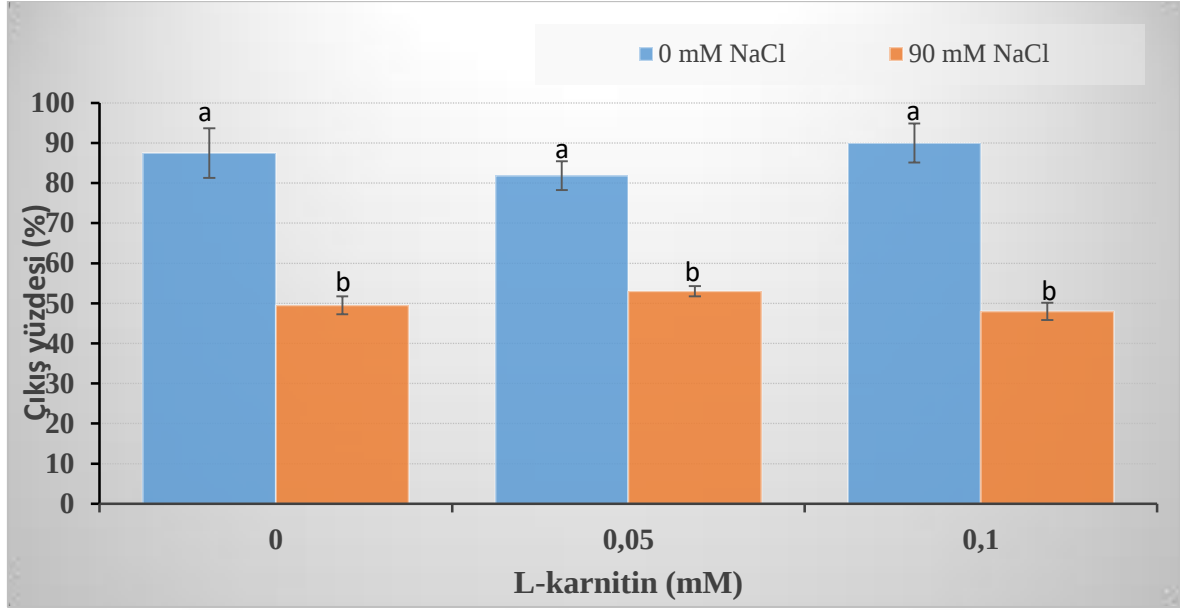


Şekil 5.6. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamaları Sonrasında Tuz Stresi Koşullarında Çimlendirilen Biber Tohumlarının Kökçük Uzunlukları

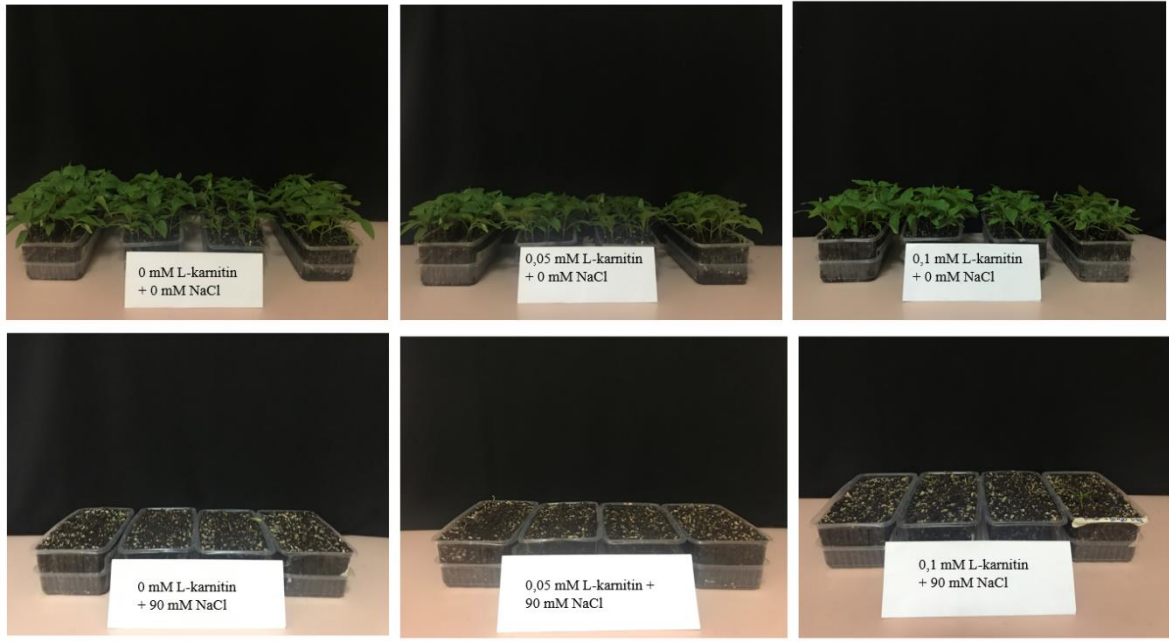
5.2. Biber Çıkış Testi ve Biyokimyasal Analiz Sonuçları

5.2.1. Fide Çıkış Yüzdesi

Biber tohumlarına ekim öncesinde uygulanan L-karnitin optimum şartlarında fide çıkış yüzdesi üzerine olan etkileri Şekil 5.7’de sunulmuştur. Tohumlara yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum ve tuz stresi şartları altında fide çıkış yüzdesi üzerindeki etkileri istatistiksel olarak önemsiz görülmüştür. Optimum koşullarda, kontrol uygulamasında çıkış oranının %87.5 düzeyinde olduğu, 0.05 mM L-karnitin uygulamasıyla %81.87’ye düşmüş, 0.1 mM L-karnitin uygulamasıyla ise %90’a yükselmiştir. Ayrıca, optimum şartlara kıyasla, tuz stresi biber çıkış yüzdelere olumsuz etkilemiştir. Tuz stresi altındaki kontrol uygulamasına çıkış %49.5 seviyelerindeyken, 0.05 mM L-karnitin uygulamasıyla %53’e yükselmiş, 0.1 mM L-karnitin uygulamasıyla ise %48’e düşmüştür (Şekil 5.8).



Şekil 5.7. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Tohumlarının Fide Çıkış Oranı Üzerine Olan Etkisi

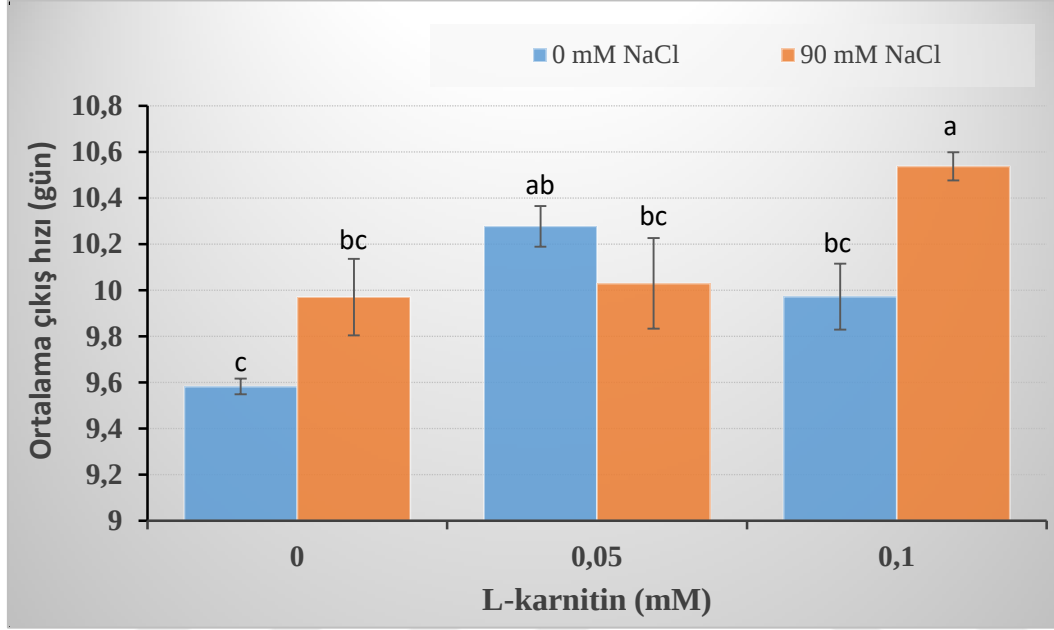


Şekil 5.8. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamaları Sonrası Biber Fideleri

5.2.2. Ortalama Çıkış Hızı (MET)

Biber tohumlarına ekim öncesinde yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum ve tuz stresi şartlarında ortalama fide çıkış hızı üzerine olan etkileri Şekil 5.9'da sunulmuştur. Optimum koşullarda kontrol uygulamasında 9.58 gün olan MET, 0.05 mM L-

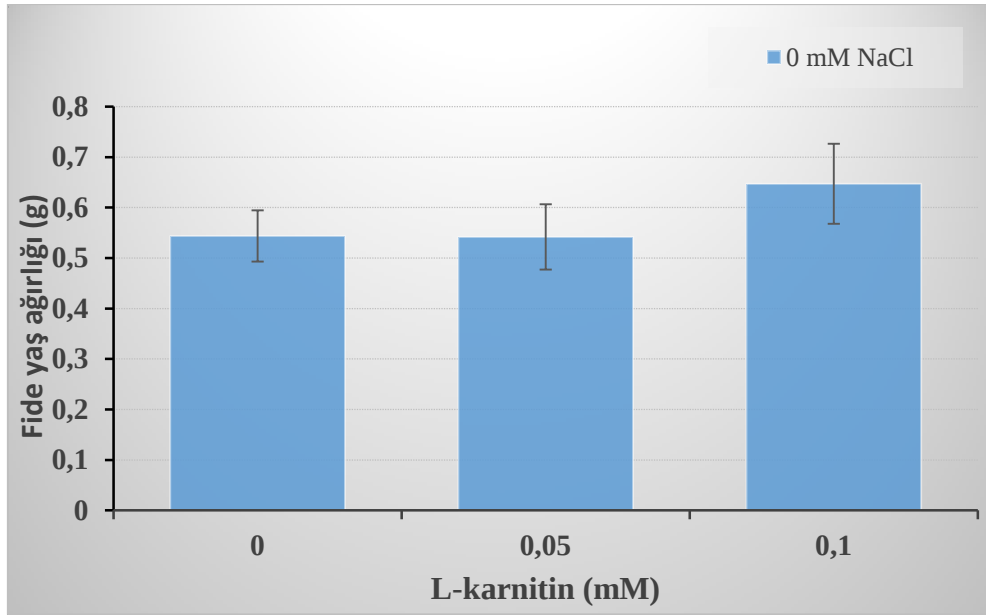
karnitin uygulaması sonrası artmış ve 10.27 güne ulaşmış ancak, 0.1 mM L-karnitin uygulamasında ise (9.97 gün) sonrası ise 0 mM uygulaması ile benzer MET değeri elde edilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda uygulanan L-karnitin tuz stresi altında MET değeri üzerine olan etkileri incelendiğinde kontrol uygulamasında 9.97 gün olan MET değerinin 0.05 mM L-karnitin uygulaması sonucu değişmediği ancak L-karnitin dozunun 0.1 mM'e artırılması sonucu ise olumsuz etkilenecek 10.57 güne yükseldiği görülmüştür.



Şekil 5.9. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Tohumlarının Fide Ortalama Çıkış Hızı Üzerine Olan Etkisi

5.2.3. Fide Yaş Ağırlığı

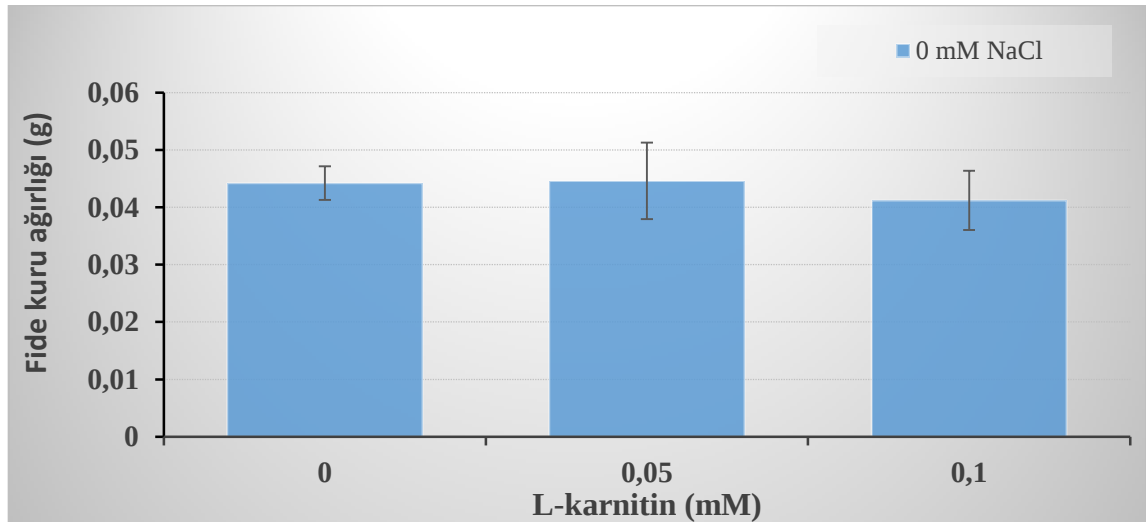
Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen biber fidelerinin yaş ağırlığı üzerine etkileri Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Tuz stresi koşullarında çıkış gösteren fideciklerin tamamının ölmesi sonucu üzerinde analiz ve ölçüm yapılacak materyal elde edilememesi nedeniyle sadece optimum koşullarda yapılan ölçüm ve analizlere ait sonuçlar verilecektir. Ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının fide yaş ağırlığı üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ve tüm uygulamalarda fidelerin benzer yaş ağırlığına sahip oldukları belirlenmiştir.



Şekil 5.10. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Fidelerinin Yaş Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi

5.2.4. Fide Kuru Ağırlığı

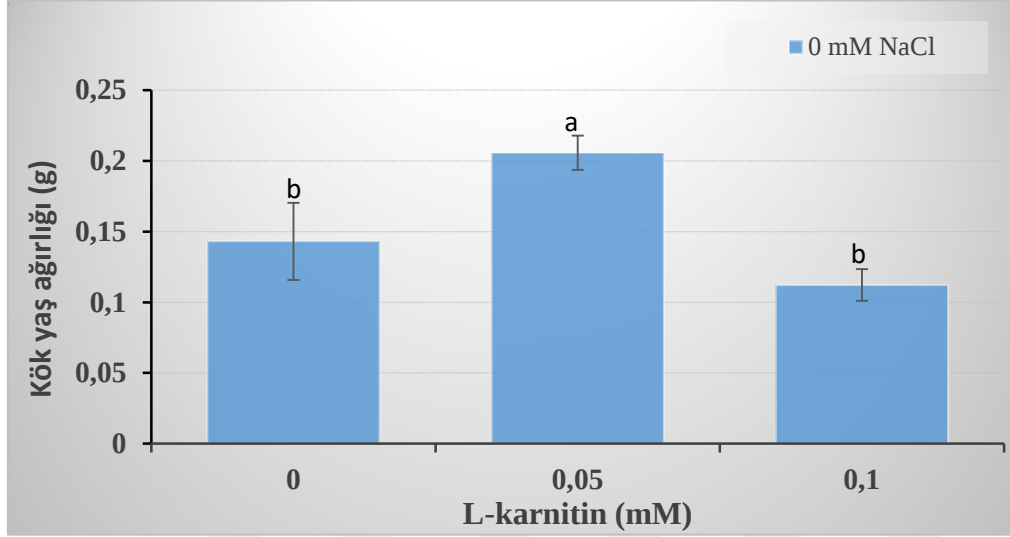
Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen biber fidelerinin kuru ağırlığı üzerine etkileri Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının fide kuru ağırlığı üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ve tüm uygulamaların benzer fide kuru ağırlıklarına sahip oldukları belirlenmiştir.



Şekil 5.11. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Fidelerinin Kuru Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi

5.2.5. Kök Yaş Ağırlığı

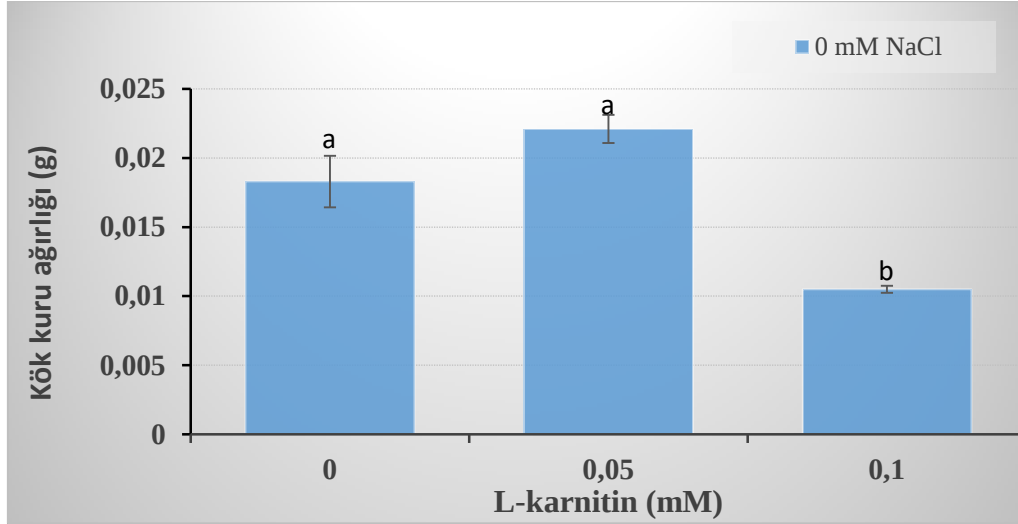
Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen biber fidelerinin kök yaş ağırlığı üzerine etkileri Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Optimum koşullarda kontrol uygulamalarında 0.1431 g olan kök yaş ağırlığı, 0.05 mM L-karnitin uygulamasında artarak 0.2058 g’a ulaşmış ancak L-karnitin dozunun 0.1 mM’e artırılması sonucu 0.1122 g’a gerilediği görülmüştür.



Şekil 5.12. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Fidelerinin Kök Yaş Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi

5.2.6. Kök Kuru Ağırlığı

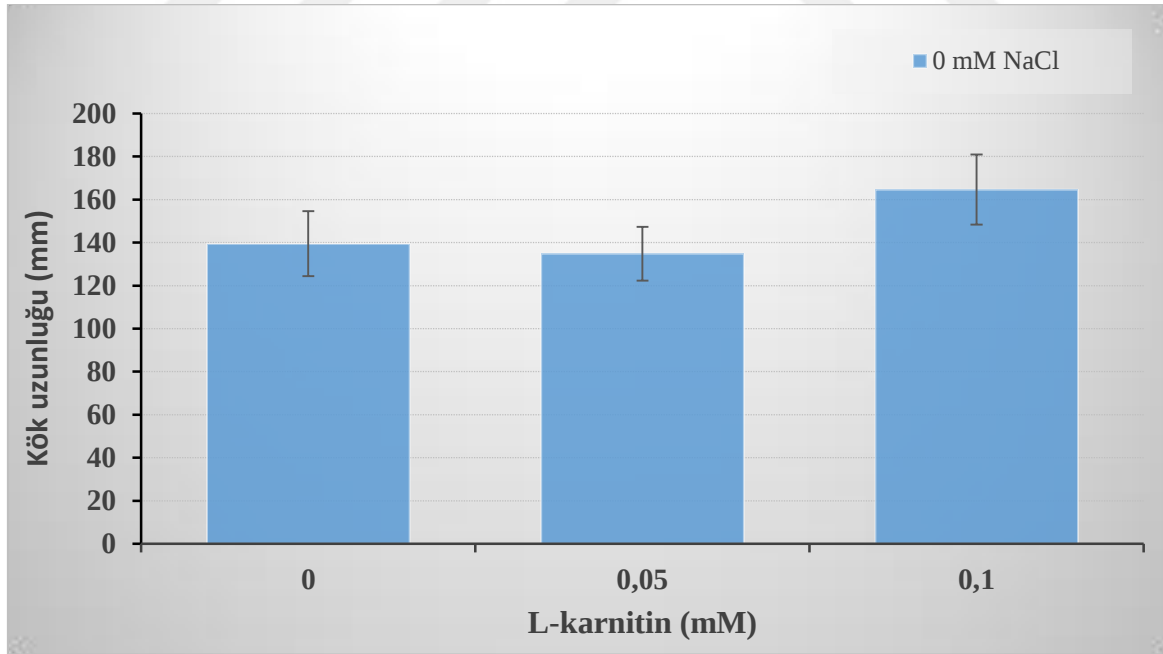
Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen biber fidelerinin kök kuru ağırlığı üzerine etkileri Şekil 5.13’te gösterilmiştir. Optimum koşullarda kontrol uygulamalarında 0.0183 g olarak belirlenen kök kuru ağırlığının 0.05 mM L-karnitin uygulamasında değişmediği (0.0221 g) ancak 0.1 mM L-karnitin uygulamasıyla önemli seviyede düştüğü (0.0105 g) görülmüştür.



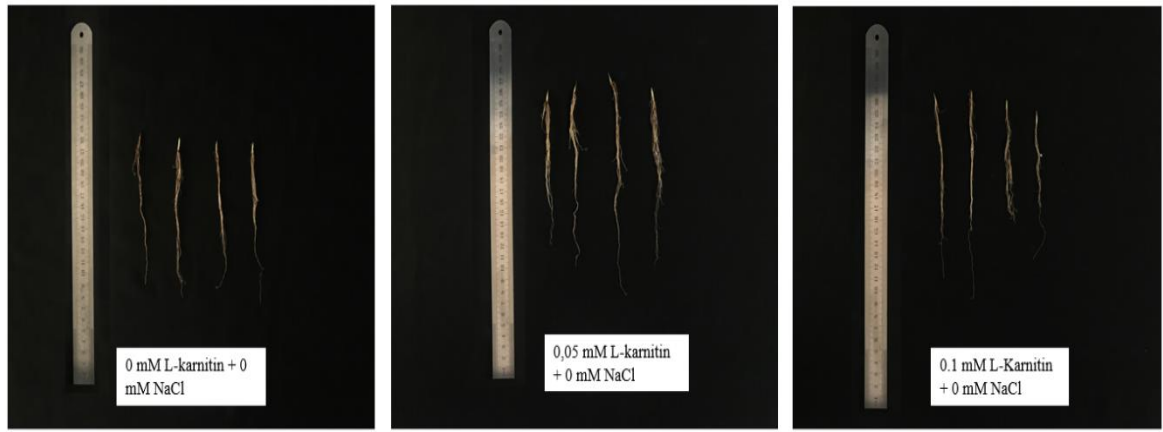
Şekil 5.13. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Fidelerinin Kök Kuru Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi

5.2.7. Kök Uzunluğu

Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen biber fidelerinin kök uzunluğu üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Şekil 5.14 ve Şekil 5.15).



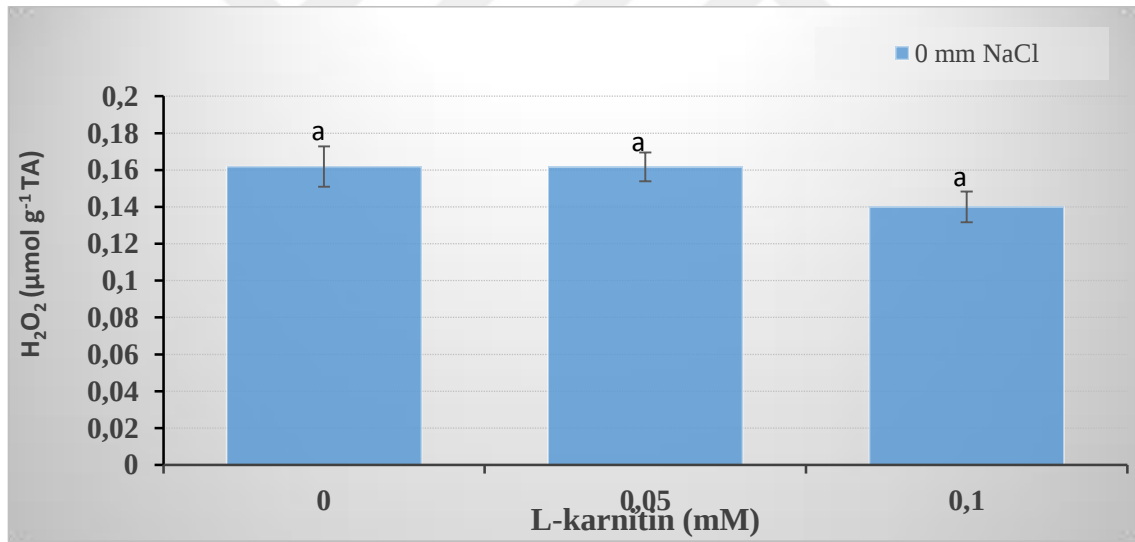
Şekil 5.14. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Fidelerinin Kök Uzunlukları Üzerine Olan Etkisi



Şekil 5.15. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Biber Fidelerinin Kök Uzunluklarına Ait Fotoğraflar

5.2.8. Hidrojen Peroksit (H_2O_2) İçeriği

Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen biber fidelerinin H_2O_2 içeriği üzerine önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Şekil 5.16).

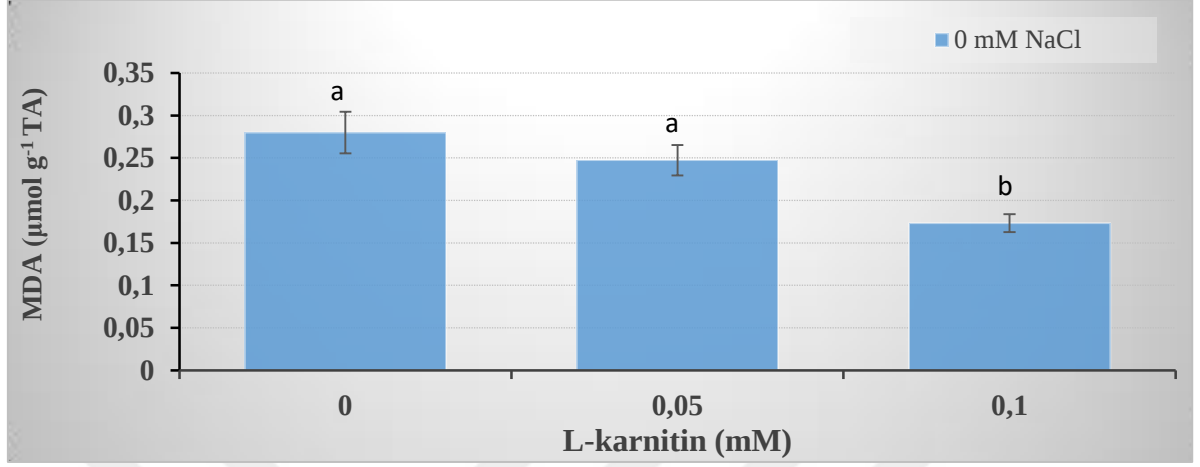


Şekil 5.16. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının H_2O_2 İçeriği Üzerine Olan Etkisi

5.2.9. Malondialdehid (MDA) İçeriği

Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen biber fidelerinin MDA içeriği üzerine etkileri Şekil 5.17’de gösterilmiştir. Tohumlara yapılan L-karnitin uygulamaları optimum koşullarda yetişen biber fidelerinin dokularında biriken MDA içeriği üzerine önemli etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Kontrol uygulamasında

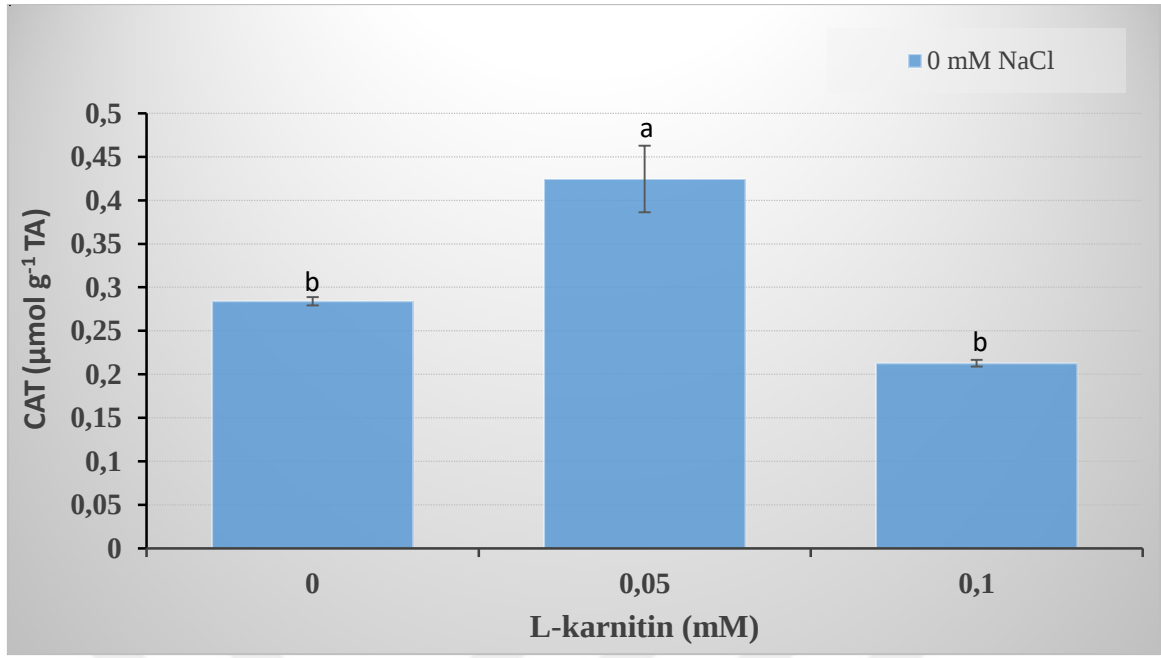
belirlenen MDA içeriği ($0.28 \mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$), 0.05 mM L-karnitin uygulaması ile değişmemiş ($0.24 \mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$) fakat L-karnitin dozunun 0.1 mM 'e yükseltilmesi sonucu önemli seviyede gerilemiştir ($0.17 \mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$).



Şekil 5.17. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının MDA İçeriği Üzerine Olan Etkisi

5.2.10. Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesi

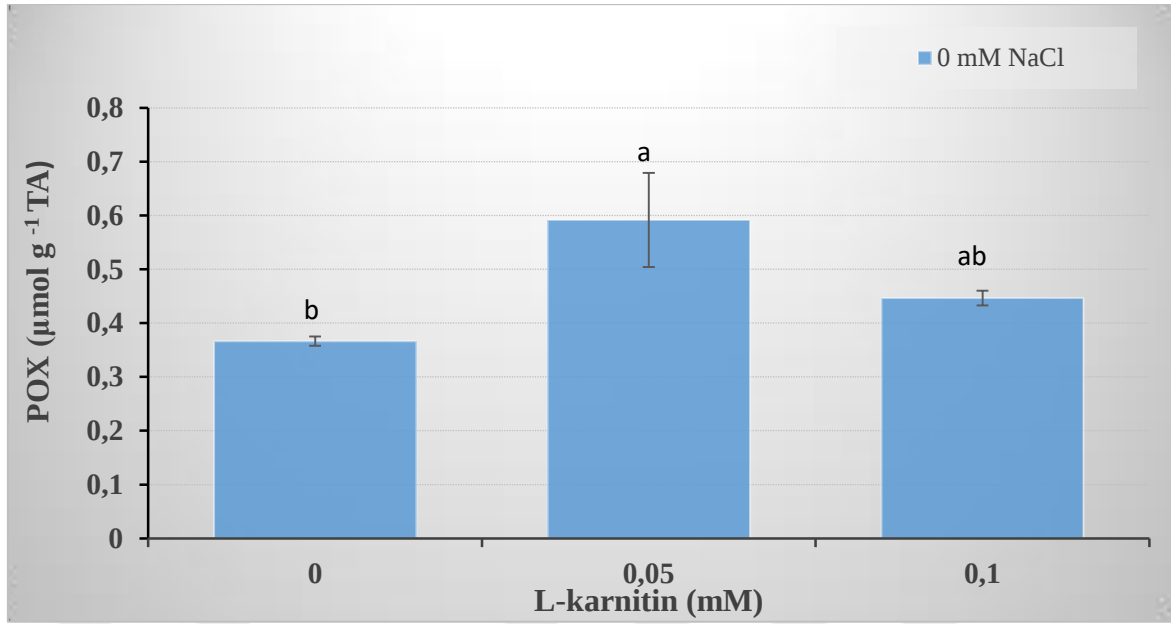
Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen biber fidelerinin CAT içeriği üzerine etkileri Şekil 5.19'da gösterilmiştir. Biber CAT seviyeleri kontrol uygulamasında $0.28 \mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$ seviyesindeyken, 0.05 mM L-Karnitin uygulamasında önemli seviyede artarak $0.42 \mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$ seviyesine yükselmiş, fakat 0.1 mM L-karnitin uygulamasında tekrar kontrol uygulaması seviyelerine ($0.21 \mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$) gerilemiştir.



Şekil 5.18. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının CAT İçeriği Üzerine Olan Etkisi

5.2.11. Peroksidaz (POX) Enzim Aktivitesi

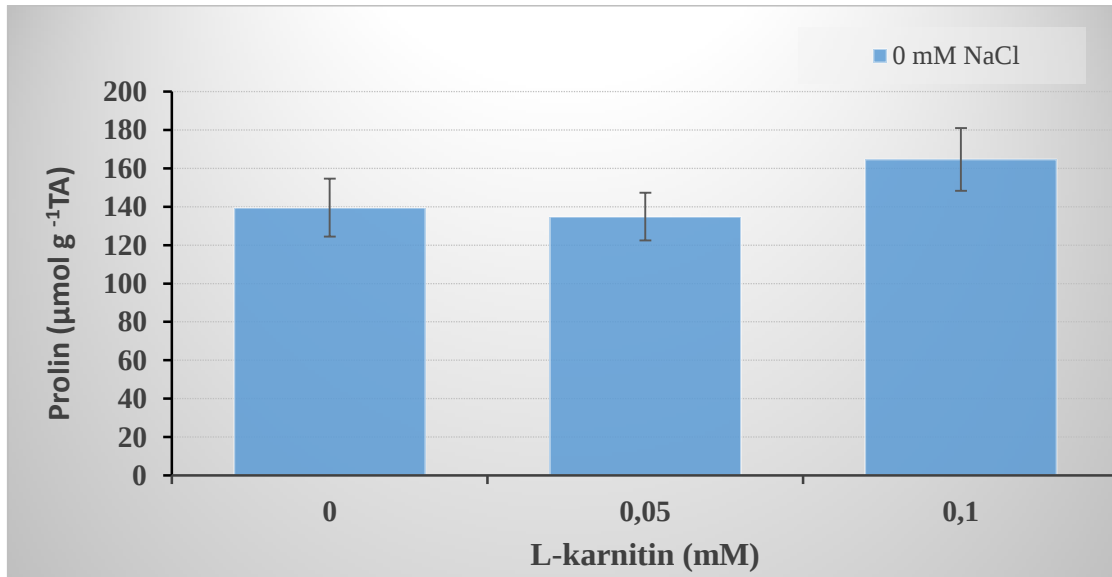
Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen biber fidelerinin POX içeriği üzerine etkileri Şekil 5.19’da gösterilmiştir. Biber POX seviyeleri kontrol uygulamasında $0.36 \mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$ seviyesindeyken, 0.05 mM L-Karnitin uygulamasında önemli seviyede artarak $0.59 \mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$ seviyesine yükselmiş, fakat 0.1 mM L-karnitin uygulamasında tekrar kontrol uygulaması seviyelerine ($0.44 \mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$) gerilemiştir.



Şekil 5.19. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının POX İçeriği Üzerine Olan Etkisi

5.2.12. Prolin

Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen biber fidelerinin prolin içeriği üzerine etkileri Şekil 5.20’de gösterilmiştir. Ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının prolin içeriğine üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ve tüm uygulamaların benzer prolin içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir.

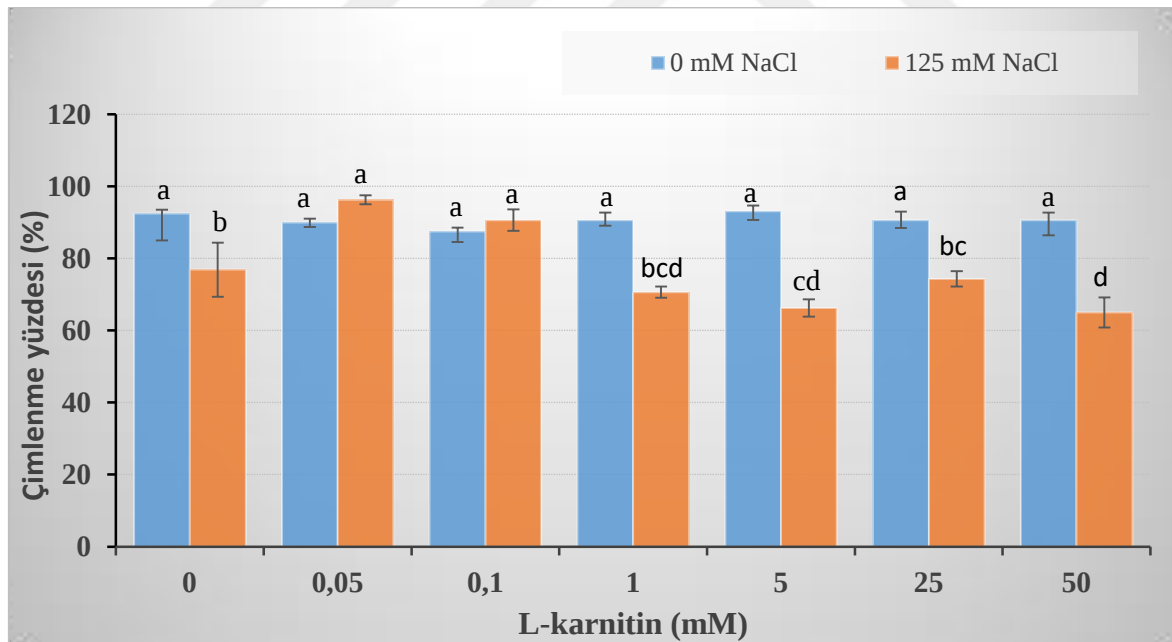


Şekil 5.20. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Prolin İçeriği Üzerine Olan Etkisi

5.3. Hıyarda L-karnitin Uygulamasında Elde Edilen Bulgular

5.3.1. Çimlenme Yüzdesi

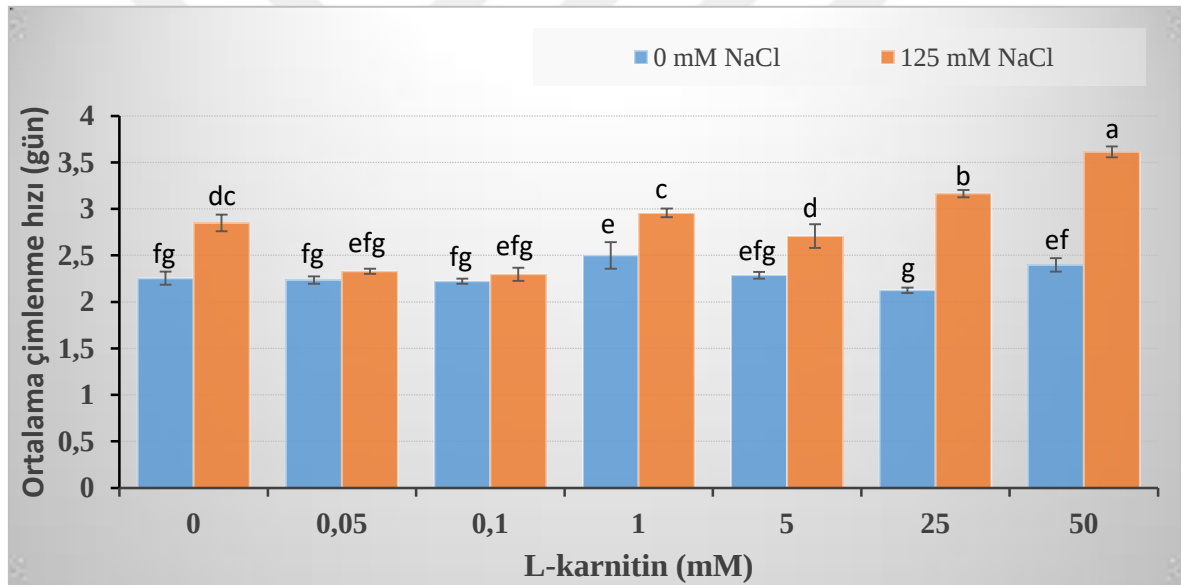
Optimum şartlarda ve tuz stresi altında ekim öncesinde ön uygulama olarak yapılan farklı konsantrasyonlarda L-karnitin uygulamalarının hıyar tohumlarının çimlenme yüzdesine ilişkin veriler Şekil 5.21’de sunulmuştur. Tuz stresi koşullarında L-karnitin uygulamalarıyla 0 mM L-karnitin uygulaması arasında istatistiksel olarak kayda değer farklar belirlenmiş ve 0.05 mM ve 0.1 mM L-karnitin uygulamalarında çimlenme yüzdesinin istatistiksel olarak önemli bir seviyede arttığı saptanmıştır. Fakat uygulanan L-karnitin dozunun daha da artmasıyla çimlenme yüzdesinin düştüğü belirlenmiştir. Kontrol uygulamasında %76.9 olarak belirlenen çimlenme yüzdesi 0.05 mM, ve 0.1 mM L-karnitin uygulamalarında sırayla %96.3 ve 91 olarak ölçülmüş, L-karnitin konsantrasyonunun daha da artırılmasıyla birlikte çimlenme yüzdesi %65 (25 mM L-karnitin) seviyesine gerilemiştir. Optimum koşullarda (0 mM NaCl) kontrol uygulamasıyla kıyaslandığında L-karnitin uygulamaları sonrasında çimlenme yüzdesinde bir değişiklik görülmemiştir.



Şekil 5.21. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Tohumlarının Çimlenme Yüzdesi Üzerine Etkileri

5.3.2. Ortalama Çimlenme Hızı (MGT)

Ekim öncesinde farklı dozlarda L-karnitin uygulamalarının hıyar tohumlarının tuz stresi altında ve optimum koşullar altında tohumların ortalama çimlenme hızı üzerindeki etkisiyle alakalı veriler Şekil 5.22’de verilmiştir. Tuz stresi koşullarında 0.05 mM ve 0.1 mM L-karnitin uygulamaları sonrasında ortalama çimlenme hızında önemli seviyede bir iyileşme görülmüş ancak L-karnitin dozunun daha da artmasıyla MGT değerleri olumsuz etkilenerek yükselmiştir. Kontrol tohumlarında 2.85 gün olarak hesaplanan MGT 0.05 mM ve 0.1 mM L-karnitin uygulamasıyla sırasıyla 2.33 ve 2.30 güne düşmüş, fakat 1, 5, 25 ve 50 mM L-karnitin uygulamalarında MGT olumsuz etkilenmiş, sırasıyla 2.96, 2.71, 3.17 ve 3.61 güne yükselmiştir. Optimum koşullarda ise 1 mM L-karnitin uygulaması hariç diğer tüm uygulamalarda kontrol uygulamasına benzer MGT değerleri elde edilmiştir.

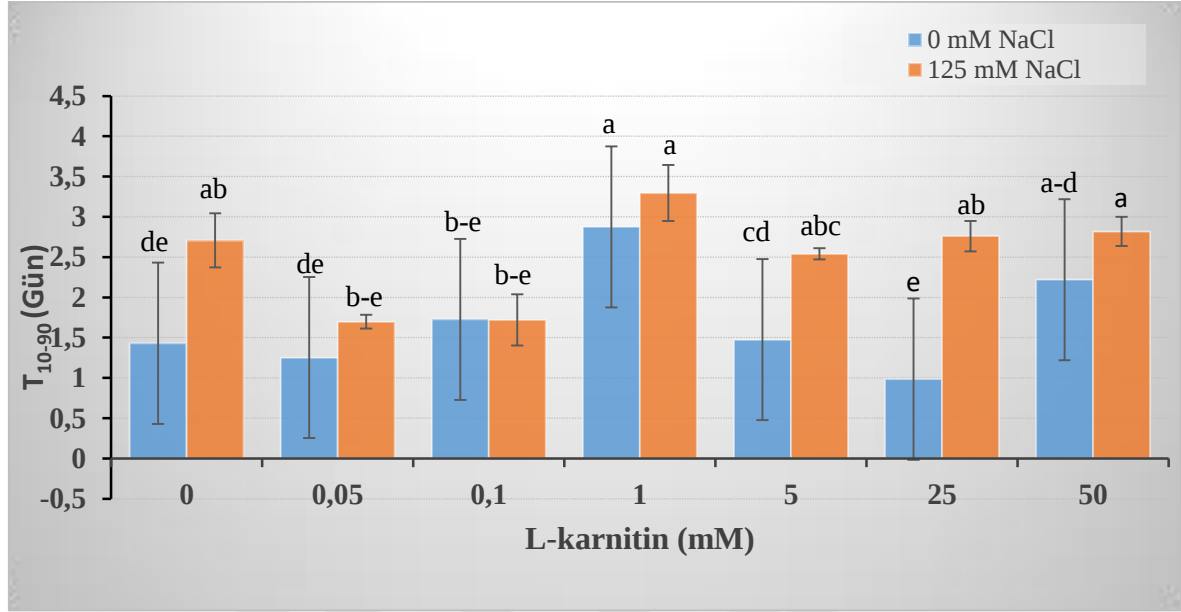


Şekil 5.22. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Tohumlarının Ortalama Çimlenme Hızı Üzerine Etkileri

5.3.3. Çimlenme Üniformitesi (T_{10-90})

Ekim öncesinde yapılan L-karnitin uygulamalarının hıyar tohumlarının tuz stresi ve optimum şartlar altında çimlenme üniformitesi (T_{10-90}) üzerine olan etkileriyle ilgili bilgiler Şekil 5.23’te verilmiştir. Optimum koşullarda tohumlara yapılan L-karnitin uygulamaları arasında sadece 1 mM L-karnitin uygulamasıyla kontrol uygulaması kıyaslandığında çimlenme üniformitesini olumlu etkilediği buna karşılık diğer uygulamaların ise önemli bir

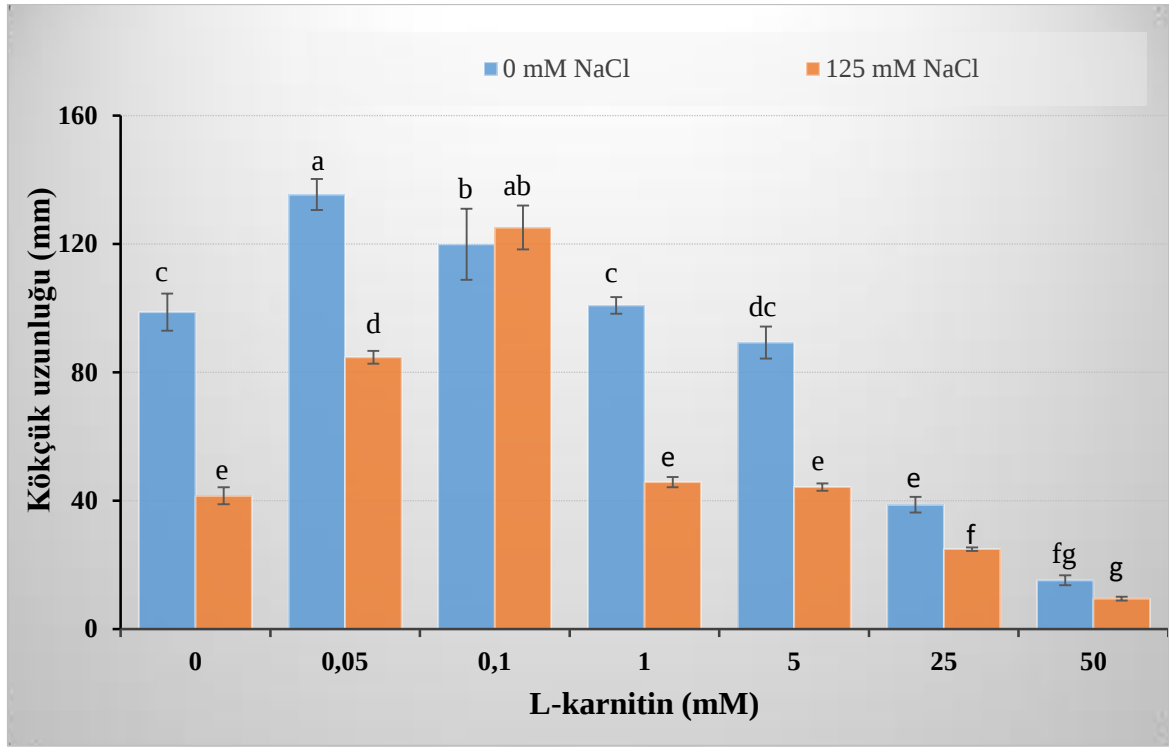
farka neden olmadığı görülmüştür. Tuz stresi koşullarında ise 1 ve 50 mM L-karnitin uygulamasında fark görülürken diğer L-karnitin uygulamaları ile kontrol tohumları arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır.



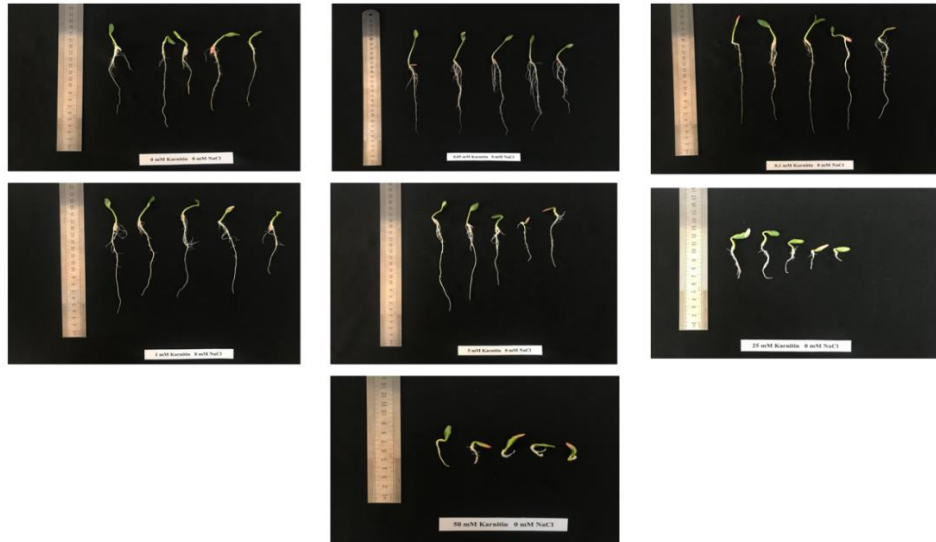
Şekil 5.23. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Tohumlarının Ortalama Çimlenme Üniformitesi Üzerine Etkileri

5.3.4. Kökçük Uzunluğu

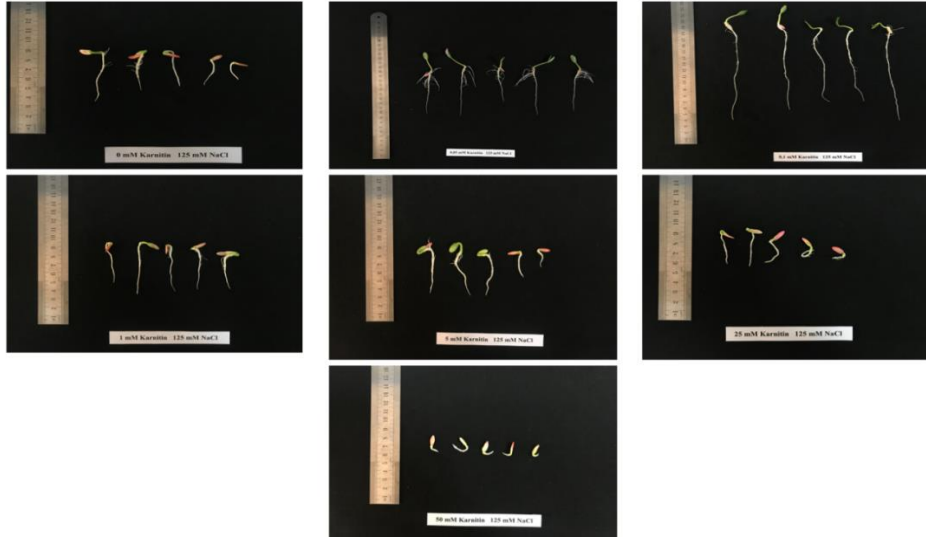
Ön uygulama şeklinde hıyar tohumlarına yapılan farklı L-karnitin uygulamalarının tuz stresi ve optimum koşullar altında tohumların kökçük uzunluğuna olan etkileri Şekil 5.24'te belirtilmiştir. Tohumlara uygulanan L-karnitin uygulamaları hem optimum şartlarda hem de stres koşulları altında çimlenen tohumların kökçük uzunluğu üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş, yüksek konsantrasyonda (>5 mM) kökçük uzunlukları düşmüştür. Tuz stresi koşullarında kökçük uzunluğunun en yüksek olduğu uygulama 0.1 mM L-karnitin (125.1 mm) uygulaması, en düşük olduğu uygulama ise 50 mM (9.5 mm) L-karnitin uygulaması olmuştur. L-karnitin konsantrasyonlarındaki artışın 1 mM L-karnitin uygulamasına kadar olumlu sonuçlar verdiği görülmekteyken 5, 25 ve 50 mM L-karnitin uygulamalarında hıyar kökçük uzunlukları ciddi bir şekilde düşmüştür (Şekil 5.26). Yüksek dozda L-karnitin optimum koşullarda da kökçük gelişimini olumsuz etkilemiştir. Optimum koşullarında 0.05 ve 0.1 mM L-karnitin uygulamalarının kontrole kıyasla olumlu etkisi görülmüştür ancak L-karnitin konsantrasyonunun daha da artmasıyla kökçük uzunluğunda azalmalar görülmüştür (Şekil 5.25).



Şekil 5.24. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Tohumlarının Kökçük Uzunluğu Üzerine Etkileri



Şekil 5.25. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamaları Sonrası Optimum Koşullarındaki Hıyar Kökçük Uzunlukları

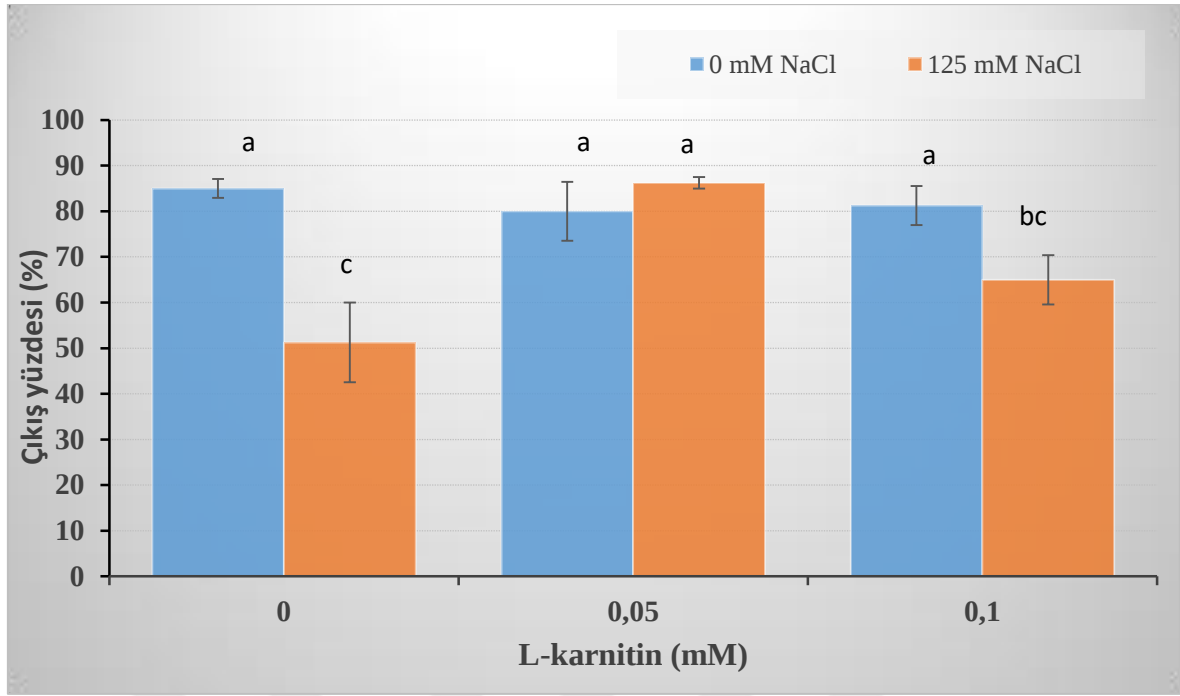


Şekil 5.26. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamaları Sonrası Tuz Stresi Koşullarındaki Hıyar Kökçük Uzunlukları

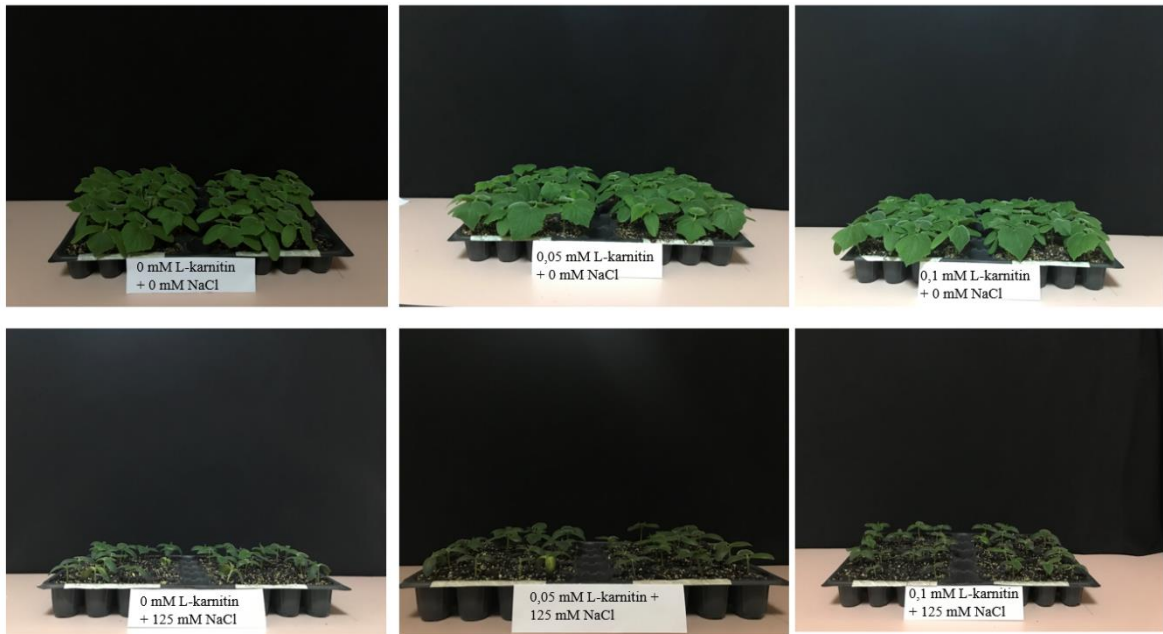
5.4. Hıyar Çıkış Testi ve Biyokimyasal Analiz Sonuçları

5.4.1. Çıkış Yüzdesi

Hıyar tohumlarına ekim öncesinde uygulanan L-karnitin optimum ve tuz stresi şartlarında fide çıkış yüzdesi üzerine olan etkileri Şekil 5.27’te sunulmuştur. Tohumlara yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum şartlar altında fide çıkış yüzdesi istatistiksel olarak önemsiz olsa da tuz stresi şartları altında fide çıkış yüzdesi üzerindeki etkileri istatistiksel olarak olumlu fark görülmüştür. Optimum koşullarda, kontrol uygulamasında çıkış oranının %85 düzeyinde olduğu, 0.05 mM ve 0.1 mM L-karnitin uygulamasıyla çıkış oranı sırasıyla %80 ve %81 olarak gerçekleşmiştir. Tuz stresi koşullarında ise kontrol uygulamasında çıkış %51 seviyelerindeyken, 0.05 mM L-karnitin uygulamasında %86 seviyesine yükselmiş fakat 0.1 mM L-karnitin uygulamasıyla tekrar kontrol uygulaması seviyesine (%65) gerilemiştir (Şekil 5.28).



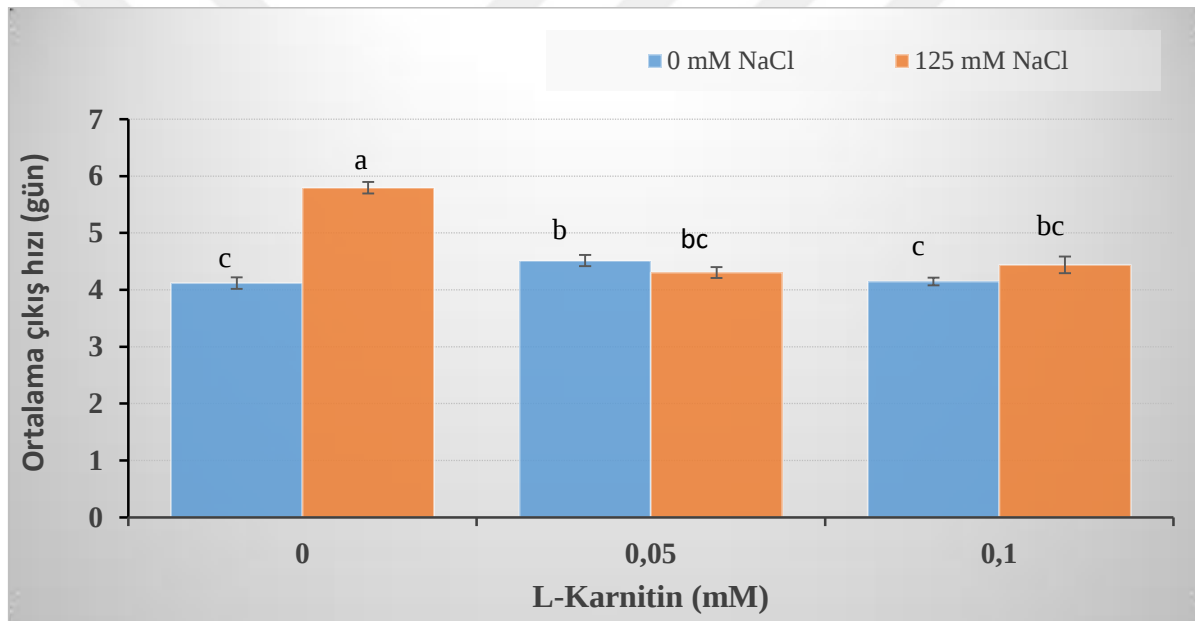
Şekil 5.27. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Tohumlarının Fide Çıkış Oranı Üzerine Olan Etkisi



Şekil 5.28. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamaları Sonrası Hıyar Fideleri

5.4.2. Ortalama Çıkış Hızı (MET)

Hıyar tohumlarına ekim öncesinde yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum ve tuz stresi şartlarında ortalama fide çıkış hızı üzerine olan etkileri Şekil 5.29’da sunulmuştur. Optimum koşullarda kontrol uygulamasında 4.11 gün olan MET, 0.05 mM L-karnitin uygulaması sonrası artmış ve 4.51 güne ulaşmış ancak, 0.1 mM L-karnitin uygulaması ise sonrası ise benzer MET değeri (4.14 gün) elde edilmiştir. Fakat bu farklılık istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır Farklı konsantrasyonlarda biber tohumlarına ekim öncesinde uygulanan L-karnitin tuz stresi altında MET üzerine olan etkileri incelendiğinde yapılan uygulamaların etkisinin önemli olduğu görülmüş ve kontrol uygulamasında 5.08 gün olan MET değerinin 0.05 ve 0.1 mM L-karnitin uygulamalarının sonucu sırayla 4.30 ve 4.43 güne düştüğü belirlenmiştir.

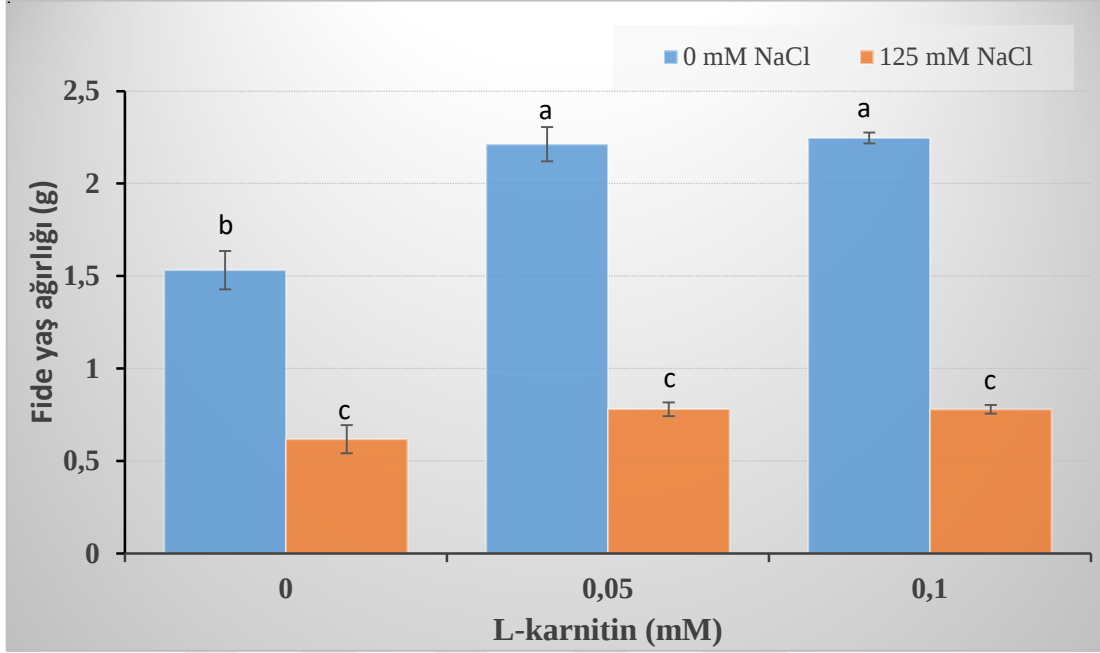


Şekil 5.29. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Tohumlarının Ortalama Çıkış Hızı Üzerine Olan Etkisi

5.4.3. Fide Yaş Ağırlığı

Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum ve tuz stresi koşullarında yetişen hıyar fidelerinin yaş ağırlığı üzerine etkileri Şekil 5.30’da gösterilmiştir. Optimum koşullarda kontrol uygulamasına kıyasla yapılan L-karnitin uygulamaları önemli seviyede etkilenecek arttığı belirlenmiştir. Kontrol uygulamasında 1.53 g olarak belirlenen fide yaş ağırlığı 0.05 mM L-karnitin uygulamasında 2.21 g ve 0.1 mM L-karnitin uygulamasında ise 2.25 g olarak ölçülmüştür. Ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının tuz stresi

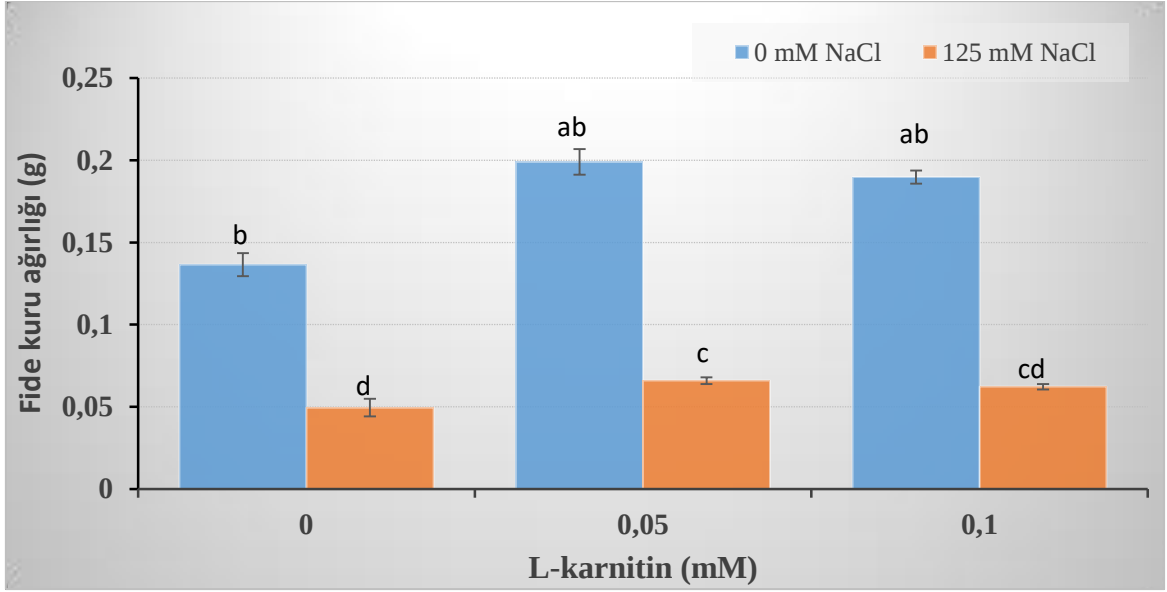
koşullarında ise fide yaş ağırlığı üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ve tüm uygulamaların benzer fide yaş ağırlıklarına sahip oldukları belirlenmiştir.



Şekil 5.30. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Fidelerinin Yaş Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi

5.4.4. Fide Kuru Ağırlığı

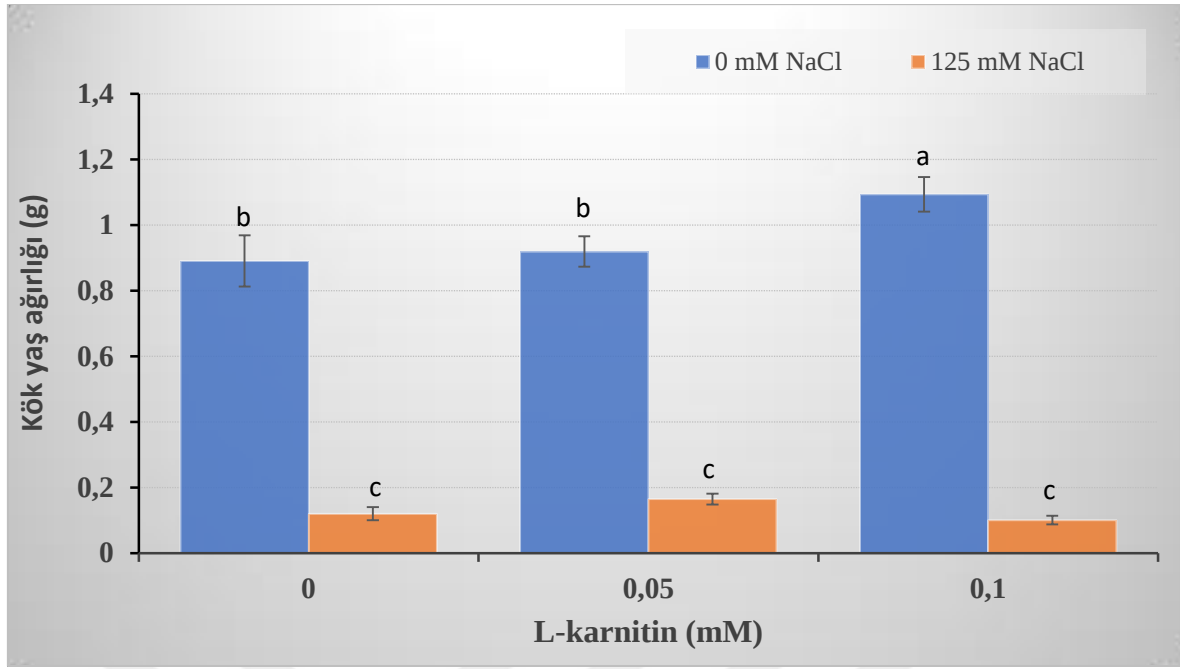
Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum ve tuz stresi koşullarında yetişen hıyar fidelerinin kuru ağırlığı üzerine etkileri Şekil 5.31’de gösterilmiştir. Optimum koşullarda kontrol uygulamasına kıyasla yapılan L-karnitin uygulamalarının fide kuru ağırlığını önemli seviyede etkilemediği görülmüştür. Tuz stresi koşullarında ise kontrol uygulamasına (0.050 g) kıyasla 0.05 mM uygulaması (0.066 g) sonrasında fide kuru ağırlığında önemli seviyede artış olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.31. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Fidelerinin Kuru Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi

5.4.5. Kök Yaş Ağırlığı

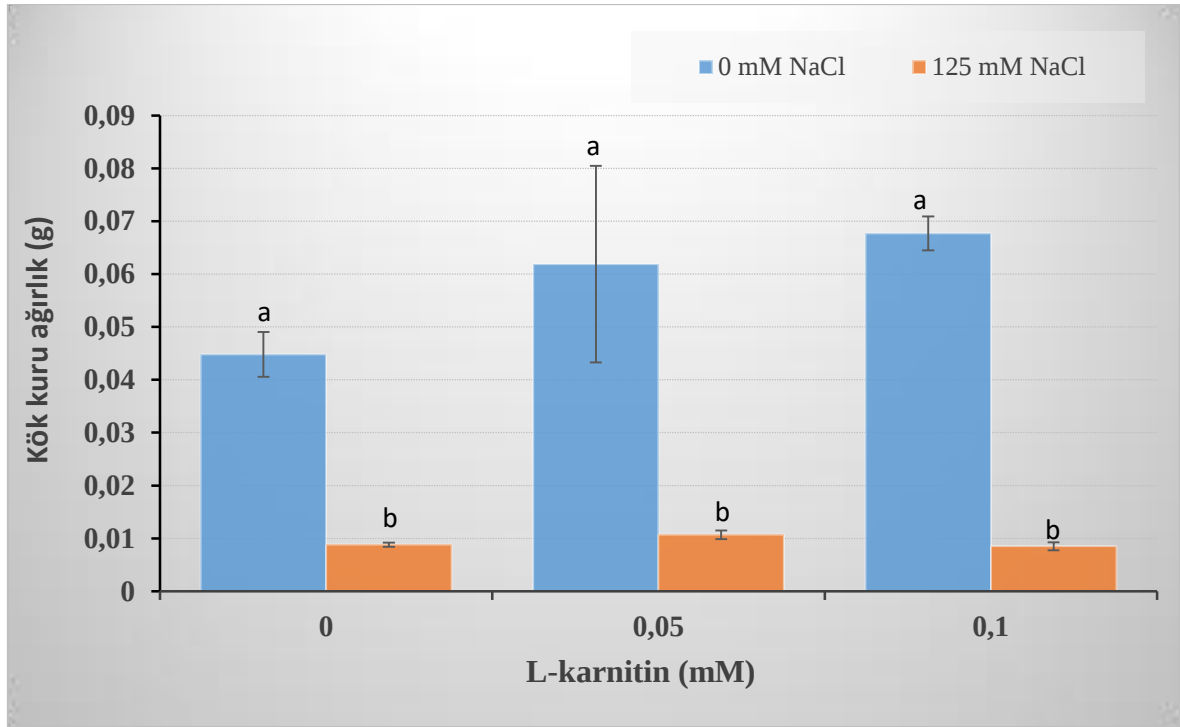
Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum ve tuz stresi koşullarında yetişen hıyar fidelerinin kök yaş ağırlığı üzerine etkileri Şekil 5.32’de gösterilmiştir. Optimum koşullarda kontrol uygulamalarında 0.89 g olan kök yaş ağırlığı, 0.1 mM L-karnitin uygulamasıyla önemli seviyede artarak 0.094 g seviyesine yükselmiştir. Ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının tuz stresi koşullarında kök kuru ağırlığı üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ve tüm uygulamaların benzer kök yaş ağırlıklarına sahip oldukları belirlenmiştir.



Şekil 5.32. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Fidelerinin Kök Yaş Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi

5.4.6. Kök Kuru Ağırlığı

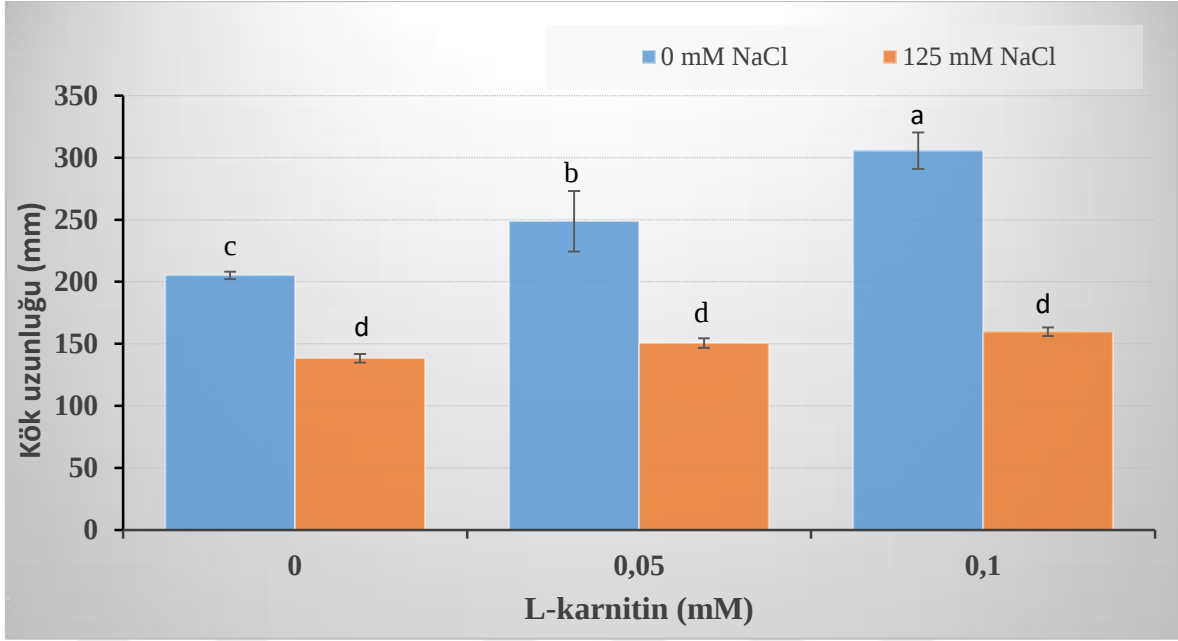
Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum ve tuz stresi koşullarında yetişen hıyar fidelerinin kök kuru ağırlığı üzerine etkileri Şekil 5.33'te gösterilmiştir. Ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının hem optimum hem de tuz stresi koşullarında kök kuru ağırlığı üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ve tüm uygulamaların benzer kök kuru ağırlıklarına sahip oldukları belirlenmiştir.



Şekil 5.33. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Fidelerinin Kök Kuru Ağırlığı Üzerine Olan Etkisi

5.4.7. Kök Uzunluğu

Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum ve tuz stresi koşullarında yetişen hıyar fidelerinin kök uzunluğu üzerine etkileri Şekil 5.34'te gösterilmiştir. Optimum koşullarda kontrol uygulamasında 205.16 mm olan kök uzunluğu, 0.05 mM L-karnitin uygulamasında 248.73 mm'ye ve 0.1 mM L-karnitin uygulaması sonucunda ise 305.65 mm'ye yükselmiştir. Ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının tuz stresi koşullarında ise kök uzunlukları üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ve tüm uygulamaların benzer kök uzunluklarına ağırlıklarına sahip oldukları belirlenmiştir.



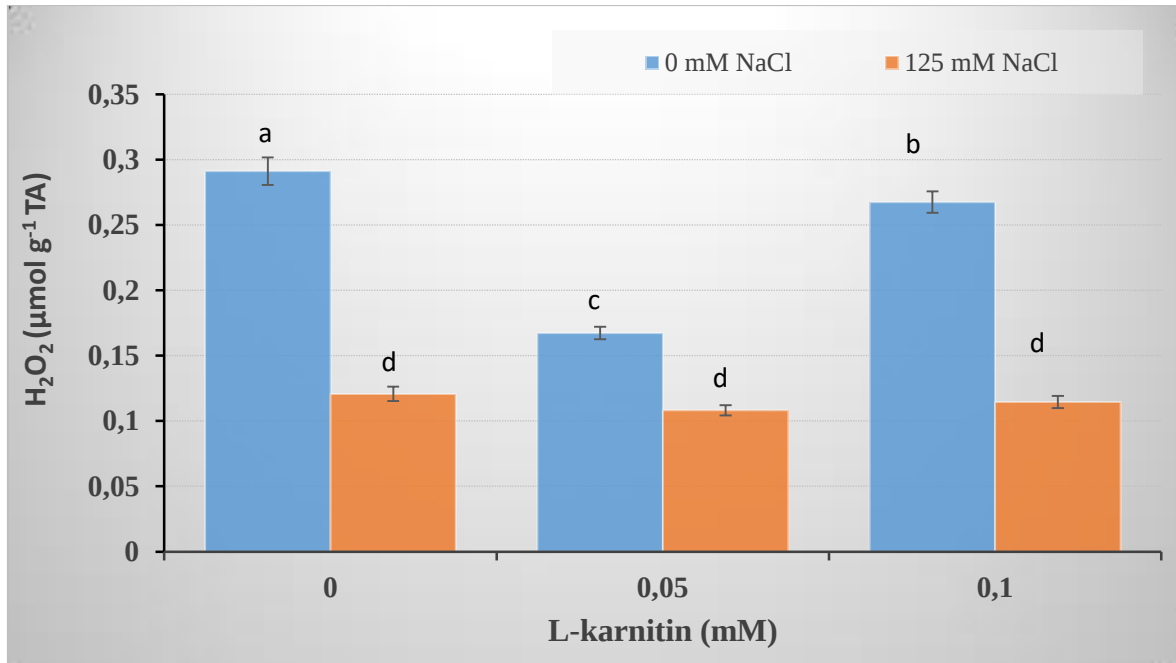
Şekil 5.34. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Hıyar Fidelerinin Kök Uzunluğu Üzerine Olan Etkisi



Şekil 5.35. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamaları Sonrasında Hıyar Fidelerinin Kök Uzunlukları

5.4.8. Hidrojen Peroksit (H₂O₂) İçeriği

Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen hıyar fidelerinin H₂O₂ içeriği üzerine etkileri Şekil 5.36'da gösterilmiştir. Optimum koşullarda kontrol uygulaması fidelerinde 0.2912 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$ olarak belirlenen H₂O₂ içeriğinin 0.05 mM L-karnitin uygulamasıyla 0.1673 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$ seviyesine gerilediği belirlenmiştir. Ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının tuz stresinde yetişen fideciklerin H₂O₂ içeriğine üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ve tüm uygulamaların benzer H₂O₂ içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir.

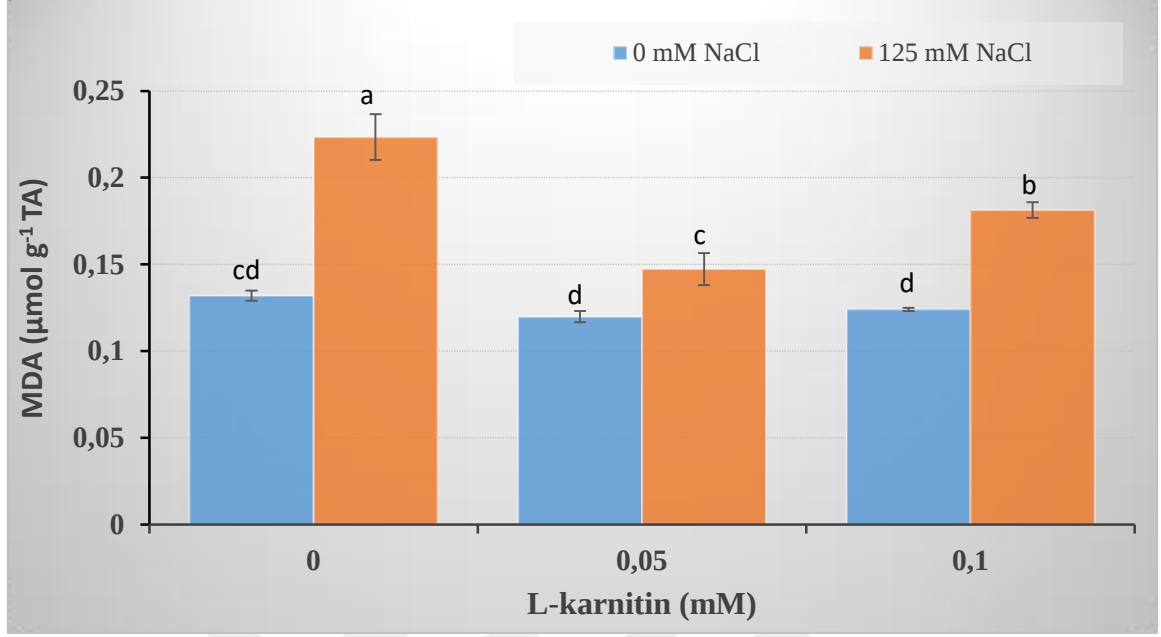


Şekil 5.36. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının H₂O₂ İçeriği Üzerine Olan Etkisi

5.4.9. Malondialdehid (MDA) İçeriği

Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen hıyar fidelerinin MDA içeriği üzerine etkileri Şekil 5.37'de gösterilmiştir. Ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum şartlarda yetişen fideciklerin MDA içeriğine üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ve tüm uygulamaların benzer MDA içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir. Tuz stresi şartlarında ise yapılan L-karnitin uygulamalarının önemli bir etkisinin olduğu ve kontrol uygulamasında 0.2234 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$ olan MDA içeriğinin 0.05

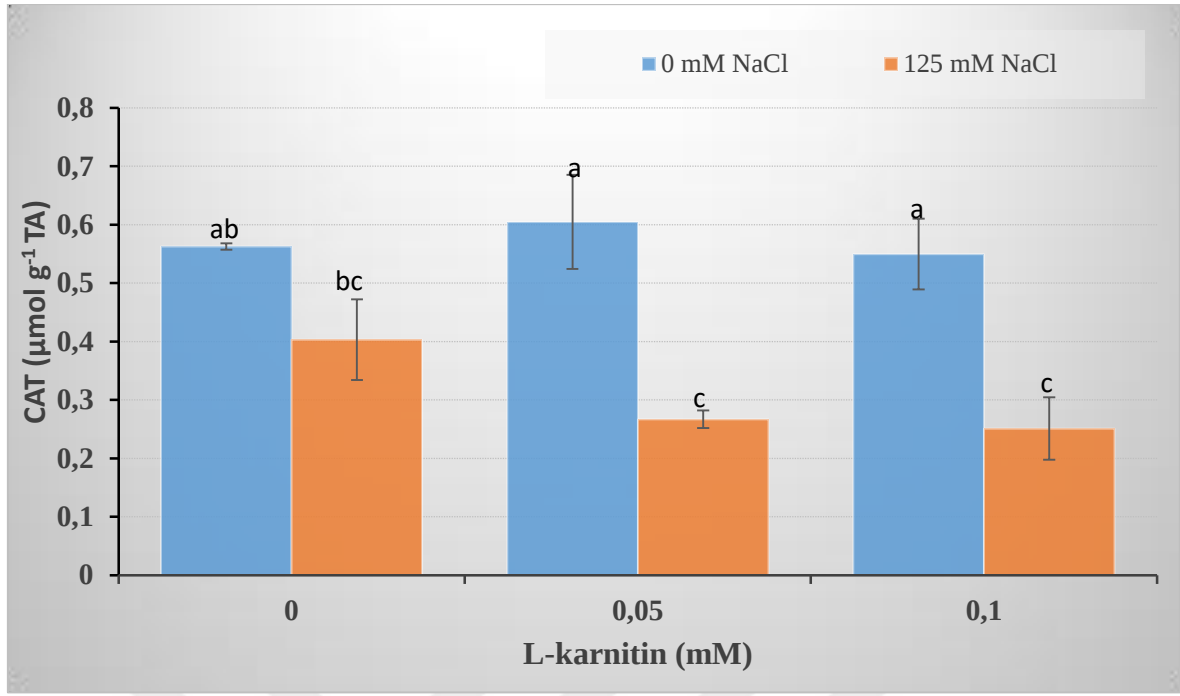
mM L-karnitin uygulaması sonucunda 0.1473 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$ seviyesine düştüğü görülmektedir.



Şekil 5.37. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının MDA İçeriği Üzerine Olan Etkisi

5.4.10. Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesi

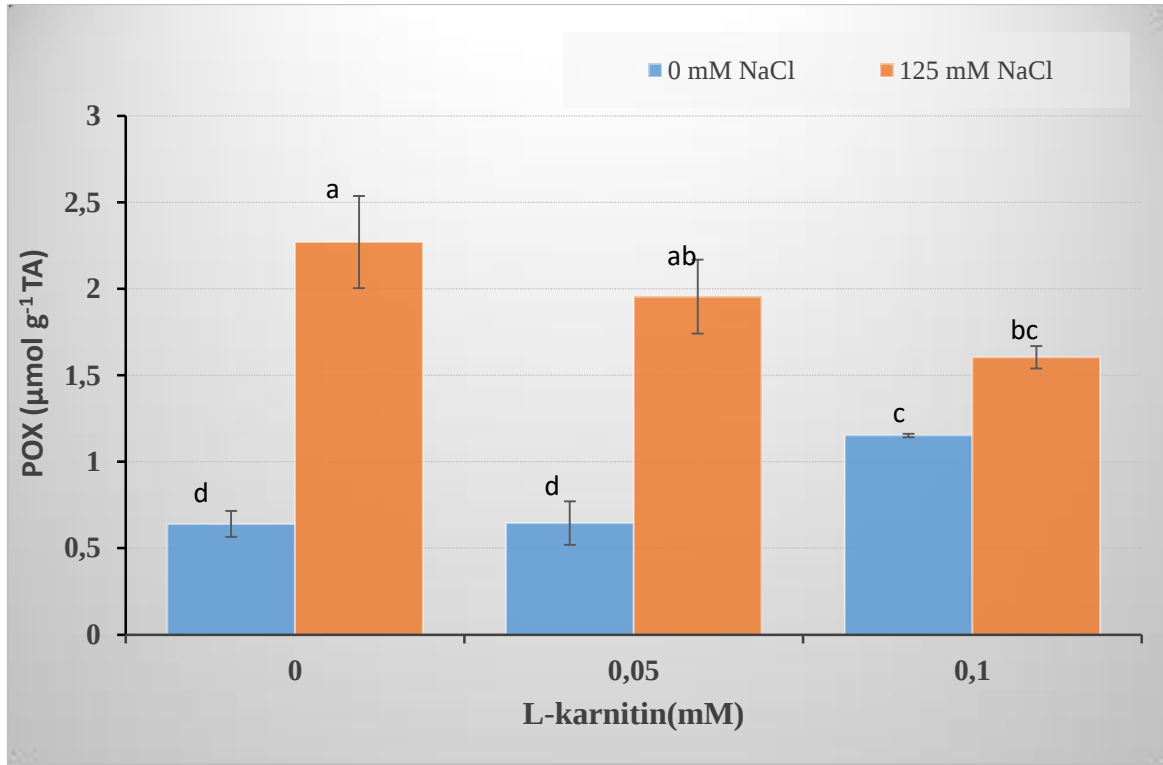
Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen hıyar fidelerinin CAT içeriği üzerine etkileri Şekil 5.38’de gösterilmiştir. Ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının hem optimum hem de tuz stresi koşullarında CAT enzimi aktivitesi üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ve tüm uygulamaların benzer enzim aktivite değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir.



Şekil 5.38. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının CAT İçeriği Üzerine Olan Etkisi

5.4.11. Peroksidaz (POX) Enzim Aktivitesi

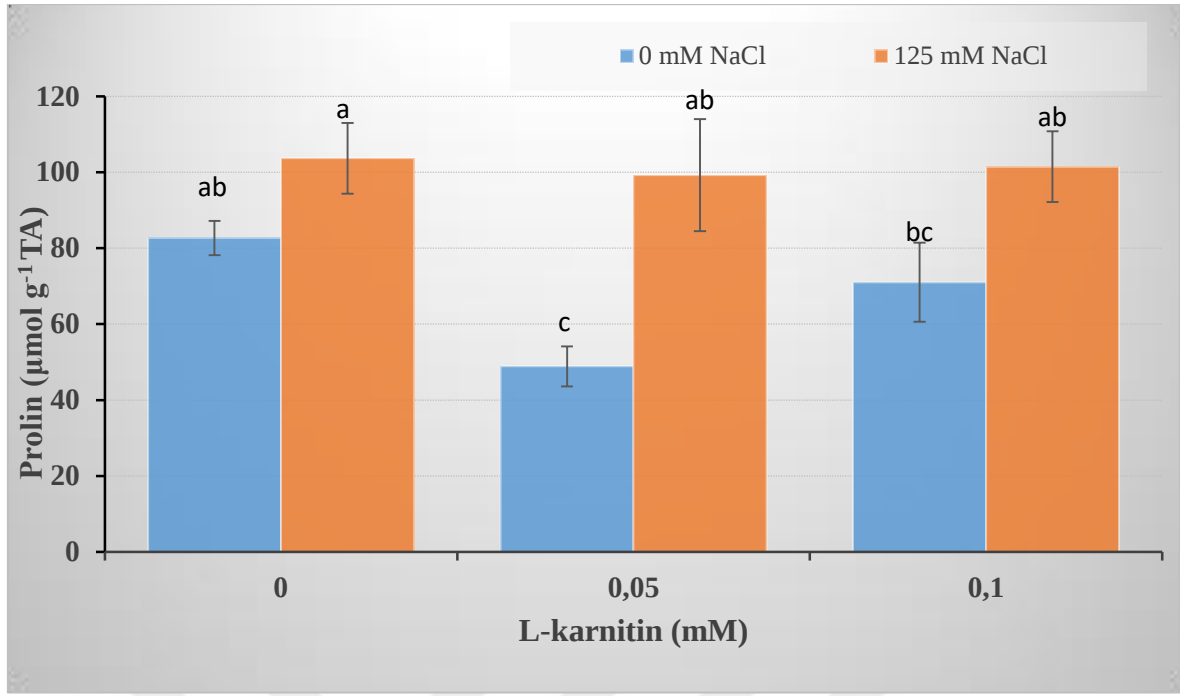
Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen hıyar fidelerinin POX içeriği üzerine etkileri Şekil 5.39'da gösterilmiştir. Optimum koşullarda yapılan L-karnitin uygulamaları sonucu POX aktivitesi önemli seviyede artarken tuz stresi koşullarında ise düşüş göstermiştir. Optimum koşullarda 0 mM L-karnitin uygulanmış tohumlardan elde edilen fidelerde $0.64 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TA}$ olan enzim aktivitesi 0.1 mM L-karnitin uygulaması sonrasında $1.15 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TA}$ seviyesine yükselmiştir. Tuz stresi koşullarında ise 0 mM L-karnitin uygulanmış tohumlardan elde edilen fidelerde $2.24 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TA}$ olan enzim aktivitesi 0.1 mM L-karnitin uygulaması sonrasında $1.60 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TA}$ seviyesine gerilemiştir.



Şekil 5.39. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının POX İçeriği Üzerine Olan Etkisi

5.4.12. Prolin İçeriği

Tohumlarda yapılan L-karnitin uygulamalarının optimum koşullarda yetişen hıyar fidelerinin prolin içeriği üzerine etkileri Şekil 5.40'ta gösterilmiştir. Ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının hem optimum hem de tuz stresi koşullarında prolin içeriği üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ve tüm uygulamaların benzer prolin içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir.



Şekil 5.40. Ekim Öncesinde Yapılan L-karnitin Uygulamalarının Prolin İçeriği Üzerine Olan Etkisi

5.4. Tartışma

Dünyada tarım arazileri üstünde ciddi oranlarda tuzluluk stresi bulunmaktadır. Dünyada tuzluluk stresi üzerine birçok araştırma yapılmaktadır. Bu araştırmaların bir tanesinin de L-karnitin uygulaması olabileceği düşünülmektedir. Literatürde L-karnitin biber ve hıyar bitkileri üzerinde tuz toleransı iyileştirme adına olumlu ve olumsuz sonuçlarını belirlemek için bir çalışma yapılmadığı görülmektedir. Bu bağlamda yürütülen bu tez çalışması bu iki tür üzerinde yapılan bir çalışma olması nedeniyle bir ilk olma özelliğindedir.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar L-karnitin uygulamalarının biberde ve hıyarda tohum çimlenmesi ve fide çıkış performansı üzerine etkilerini ortaya koymuştur. L-karnitin uygulaması sonucunda hem optimum hem de tuz stresi koşullarında biberde çimlenme ve fide çıkış oranlarını arttırmadığını tam tersine artan L-karnitin konsantrasyonunun tohum çimlenme yüzdesini hem optimum hem de tuz stresi koşullarında düşürdüğü belirlenmiştir. Hıyarda ise düşük konsantrasyonlarda (0.05 mM ve 0.1 mM) yapılan L-karnitin uygulamalarının tuz stresi koşullarında ise önemli etkilerinin olduğunu ve çimlenme ve fide çıkışını arttırdığı belirlenmiştir. Biberde olumlu etkinin görülmemesi buna karşılık hıyarda görülmesi türlerin tohumlarının yağ içerikleri ile ilgili

olabileceği düşünülmektedir. Çünkü yapılan araştırmalar L-karnitin yağ metabolizmasında etkili olduğu ve bu nedenle de yağ içeriği yüksek olan tohumlarda daha etkili olma ihtimalinin yüksek olacağını ortaya koymuştur.

Tuzun zararlı etkileri bitkinin farklı büyüme ve gelişme evrelerinde olduğu gibi tohumların çimlenme döneminde de ortaya çıkabilmektedir. Ancak pek çok sebze türünde üretim fide ile yapıldığından, tuz stresinin çimlenme dönemindeki olumsuz etkileri yapılan çalışmalar sonucunda, tuzun tohumlarda çimlenme ve çıkışı geciktirdiği ve azalttığını ortaya koymaktadır (Levitt 1980, Chartzoulakis ve Klapaki 2000, Sivritepe ve ark. 2003).

Signem Oney-Birol (2019) yapmış olduğu bir çalışmada arpa (*Hordeum vulgare* L. cv. Bulbul-89) tohumlarının L-karnitin hangi dozunun tuz stresinin etkilerini hafifletmede etkili olduğunu belirlemek amacıyla 1000 mM'den 0.1 mM'ye kadar konsantrasyonlar test etmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde 0.25 M NaCl koşullarında 0 mM L-karnitin uygulanmış tohumların %36, 1 mM L-karnitin uygulanmış tohumların ise %84 oranında çimlendiğini ortaya koymuştur. Artan tuz stresi konsantrasyonuna bağlı olarak, en yüksek çimlenme yüzdesi yine 1 mM L-karnitin uygulamasından elde edilmiştir. Örneğin, 1 mM L-karnitin uygulanmış tohumlar 0.30 M NaCl'de %64 (0 mM L-karnitin uygulanmış tohumlar %16) ve 0.35 M NaCl'de %54 (0 mM L-karnitin uygulanmış tohumlar %4) çimlenmişlerdir. Karnitin konsantrasyonunun 1 mM'den fazla olması özellikle 0.30 mM NaCl ve daha yüksek tuz konsantrasyonlarında çimlenme yüzdesini olumsuz etkilemiştir. Son olarak, 1 mM L-karnitin konsantrasyonunun, tohum çimlenmesine ve bitki büyümesinin düzenlenmesine yol açan tuz stresinin zararını gidermek için en etkili doz olduğu bulunmuştur. Yapmış olduğumuz çalışmada optimum koşullarda L-karnitin fide çıkış yüzdesindeki etkisi hıyar ve biber türlerinde görülmemiştir ancak hıyarda tuz stresi koşullarındaki L-karnitin uygulaması sonucu istatistiki açıdan önemli artışların olduğu görülmektedir. Ortalama çıkış hızının ise biberde stresli ve stressiz koşullardaki L-karnitin uygulamaları sonucunda kontrol uygulamasına göre düştüğü görülmektedir. Hıyarda ise stressiz koşullarda uygulanan L-karnitin uygulamalarında değişim görülmemiştir ancak stresli koşullarda kontrol uygulamasına göre ortalama çıkış hızını artırdığı görülmüştür.

Gökçe (2015) yapmış olduğu çalışmada yabani tip ve ABA mutantı bitkileri üzerinde L-karnitin uygulaması yapmış, bitki boylarında karnitin uygulamasıyla yabani tipte %2 artışın yanında ABA mutantlarında ciddi bir artış rapor etmemiştir. Fakat bağıl büyüme hızı incelendiğinde ise araştırmacı karnitin uygulanan gruplar içerisinde %33 oranında bir artış rapor etmiştir. Yabani tip ve ABA mutantı bitkilerin CAT aktiviteleri

karnitin uygulamasıyla beraber yabancı tipte %26, ABA mutanlarında ise %16'lık bir azalma rapor edilmektedir. Çalışmamızda ise biberde CAT aktivitesinin $0.42 \mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$ seviyesinden $0.21 \mu\text{mol g}^{-1}\text{TA}$ seviyelerine düştüğü belirlenmiştir. Hıyarda ise optimum koşullarda (0 mM NaCl) CAT seviyesinde bir değişim görülmemiş fakat stres ortamında (125 mM NaCl) ise %38 seviyesinde CAT seviyesinde bir azalış olduğu belirlenmiştir. Çancıoğlu (2014) kuraklık stresi altındaki bitkiler üzerinde karnitin uygulaması yapmış ve CAT aktiviteleri karnitin uygulaması ile azalmanın %14.2 olduğunu rapor etmiştir.

Türk ve ark (2020) yapmış olduğu çalışmada L-karnitin, soğuk stresi, L-karnitin+soğuk stresi, L-karnitin uygulamaları sonucunda, antioksidan enzimler süperoksit dismutaz (SOD), guaiakol peroksidaz (GPX), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR) aktiviteleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Soğuk stresi koşullarında SOD enzim aktivitesini kontrol uygulamasına kıyasla arttığı ancak en çok enzim aktivitesi soğuk stresi + L-karnitin görülmüştür. GPX enzim aktivitesinde en düşük aktivite soğuk stresi grubu bitkilerinde olmakla beraber en yüksek aktiviteye sahip uygulama L-karnitin uygulanmış olan bitkilerde belirlenmiştir. CAT enziminde en düşük aktivite kontrol uygulaması bitkilerinde belirlenmiş buna karşılık en yüksek aktiviteye ise soğuk+L-karnitin uygulanmış bitkilerde belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada incelenen antioksidatif enzimlerden POX enzim aktivitesinde L-karnitin uygulamalarıyla optimum koşullarda artış görüldüğü ancak L-karnitin dozunun artışıyla birlikte POX aktivitesinde düşüşler olduğu görülmüştür. Yine yapılan L-karnitin uygulamaları sonucunda tuz stresi altında çimlenen hıyar fidelerinde azalmış POX aktivitesi fakat lipid peroksidasyonu sonucu oluşan ve toksik bir yan ürün olan MDA seviyelerinde düşüşler olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Türk ve ark. (2020) soğuk stresine maruz kalmış mısır fidelerine yapılan $25 \mu\text{mol dm}^{-3}$ konsantrasyonunda L-karnitin uygulamalarının POX dahil olmak üzere antioksidan enzim seviyelerini yükselttiğini ve MDA ve serbest radikallerin ise miktarlarında düşüşlere neden olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmada elde edilen sonuçlar bu açıdan bakıldığında Türk ve ark. (2020)'nin rapor ettiği sonuçlarla genelde uyum içerisindedir.

Bu çalışmada tuz stresi koşullarında çimlendirilen hıyar tohumlarına yapılan L-karnitin uygulamalarının kökçük uzunluğu ile fide kuru ağırlığını arttırdığı belirlenmiştir. Benzer sonuçlar da Türk ve ark. (2020) tarafından da rapor edilmiştir. Araştırmacılar soğuk stresi koşullarında yetiştirilen mısır fidelerine yapılan L-karnitin uygulamalarının kontrol bitkilerine kıyasla yaprak alanı ve kök uzunluğunu arttırdığını bildirmişlerdir.

Sonuç olarak; yapılan L-karnitin uygulamalarının tuz stresi koşullarında ağırlıklı olarak hıyar tohumları üzerinde olumlu etkilere sahip olduğu belirlenmiştir. L-karnitin uygulamalarının biber tohumlarının tuz stresi koşullarında sadece kökçük uzunluğunu olumlu etkilediği bulunmuştur. Buna karşılık hıyar tohumlarına yapılan L-karnitin uygulamalarının çimlenme yüzdesi ve ortalama çimlenme süresi, kökçük uzunluğu, fide çıkış yüzdesi, ortalama çıkış süresi, fide kuru ağırlığı ve MDA içeriği üzerinde önemli seviyede olumlu değişimlere neden olduğu belirlenmiştir. L-karnitin uygulamaları arasında en etkili konsantrasyonun düşük (0.05 mM ve 0.1 mM) konsantrasyonların daha etkili olduğu belirlenmiştir. L-karnitin konsantrasyonunun artırılması genelde hem optimum hem de tuz stresi koşullarında tohum çimlenme ve fide çıkış performansını olumsuz etkilemiştir. L-karnitin uygulamalarının hıyar tohumları üzerinde daha etkili olmasının nedeninin de hıyar tohumlarının daha yüksek oranda yağ içermesi olduğu düşünülmektedir. Bu sonuçlar araştırmada materyal olarak kullanılan türlerin seçimindeki gerekçeyi doğrular niteliktedir. L-karnitin uygulamalarının bitkilerde stres toleransını iyileştirmede kullanılması çalışmalarında daha da düşük konsantrasyonların denenmesi faydalı olacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürde tarla ve bahçe bitkileri ile tıbbi aromatik bitkiler üzerinde tuz stresinin konu edinildiği çok fazla sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen L-karnitin tuz stresi altındaki bitkilerin gelişimine sunmuş olduğu katkılar hakkında yeterli derecede bir çalışma olmadığı tespit edilmiştir. Şu ana kadar yürütülmüş olan az sayıdaki araştırma incelendiğinde su kısıtlılığı ve tuz stresi altındaki bitkiler üzerinde L-karnitin düzenleyici ve iyileştirici bir rolü olduğu saptanmaktadır. Bu araştırma L-karnitin uygulamalarının tuz stresi koşullarında biber ve hıyar tohumlarının çimlenme ve çıkış performanslarının belirlenmesi üzerine ilk olma özelliğindedir.

Elde edilen sonuçlar ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının biber tohumlarının optimum ve tuz stresi koşullarında çimlenme ve fide çıkış performansları üzerine olumlu bir etkiye sahip olmadığını ve L-karnitin konsantrasyonunun artmasıyla tohum çimlenmesinin olumsuz etkilendiğini göstermiştir.

Ekim öncesi yapılan L-karnitin uygulamalarının hıyar tohumlarında ise tuz stresi koşullarında tohum çimlenmesini ve fide çıkışını olumlu etkilediği belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan L-karnitin konsantrasyonları arasında en etkili konsantrasyonun 0.05 mM ve 0.1 mM olduğu belirlenmiştir. L-karnitin konsantrasyonunun daha da artması tohum çimlenmesini olumsuz etkilemiştir.

L-karnitin hıyar tohumlarında etki göstermesinin nedeninin hıyar tohumlarının yüksek yağ içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü L-karnitin yağ metabolizmasında uzun zincirli yağ asitlerinin mitokondriye taşınmasında görev almasından dolayı yağ içeriği yüksek tohumlarda daha etkili olduğu düşünülmektedir. Bu nedenlerden dolayı L-karnitin diğer türler üzerindeki etkilerini ortaya koyma çalışmalarında özellikle yağ içeriği yüksek türlerin araştırmalara konu edilmesi daha faydalı olacaktır.

Abiyotik stres faktörlerinin sebep olduğu ROS artışının dengelenmesi hususunda L-karnitin olumlu sonuçlarının olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca L-karnitin maliyetlerinin de düşük olması sebebiyle diğer uygulamalardan daha önemli bir tercih sebebi olacağı düşünülmektedir.

Araştırma sonuçları incelendiğinde bitkiler üzerindeki strese karşı toleransın artırılmasında düzenleyici bir rolü olduğu tespit edilen L-karnitin bu bağlamda bitkilerde

kullanılabilirliđinin olduđu saptanmaktadır. Kullanılabilirliđinin daha iyi anlařılabilmesi adına daha dűřűk konsantrasyonlar kullanarak farklı çalıřmaların yűrűtűlmesi, hem L-karnitinin bitkilerdeki fonksiyonlarının anlařılması hem de kullanımının yaygınlařması adına űnem tařımaktadır.



KAYNAKLAR

- Ábrahám, E., Rigó, G., Székely, G., Nagy, R., Koncz, C., Szabados, L. (2003). Light dependent induction of proline biosynthesis by abscisic acid and salt stress is inhibited by brassinosteroid in *Arabidopsis*. *Plant Molecular Biology*, 51, 363-372s.
- Aggarwal M, Sharma S, Kaur N, Pathania D, Bhandhari K, Kaushal N., Kaur R., Srivastav A., Singh K., Nayyar H. (2011). Exogenous proline application reduces phytotoxic effects of selenium by minimising oxidative stress and improves growth in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Biological Trace Element Research*, 140(3), 354-367s.
- Ağar, G. (2017). *Ekmeklik buğdayda (Triticum aestivum L.) Tuz stresinin meydana getirmiş olduğu moleküler ve fizyobiyo kimyasal değişiklikler üzerine 5-aminolevunilik asidin etkisi*. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum, 102s.
- Ahmad P., Nabi G., Ashraf M. (2011). Cadmium-induced oxidative damage in mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern. & Coss.] plants can be alleviated by salicylic acid. *South African Journal of Botany*, 77(1), 36–44s.
- Ahmad, P., Umar, S. (2011). Oxidative stress: role of antioxidants in plants. *Studium Press*, New Delhi, Hindistan.
- Akar, R. (2015). *Tuz Stresi Altında Gelişen Marul (Lactuca sativa L.) Fidelerinde Bazı Fizyolojik, Biyokimyasal Parametreler ve Fenolik Bileşiklerin Üretimi ile İlişkili Genlerin İfadesi Üzerine Nitrik Oksitin Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 18-41s.
- Akgül, G. (2019). *Biber fidelerinde kuraklık ve tuz stresinin bitki gelişimi, besin maddesi içeriği, bazı biyokimyasal ve fizyolojik özellikleri üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 6-44s.
- Aktaş, H. (2002). *Biberde tuza dayanıklılığın fizyolojik karakterizasyonu ve kalıtımı*. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana. 105s.
- Anaç, D., Aksoy, U., Anaç, S., Hepaksoy, S., Can, H.Z. (1999). Potassium and leaf water relations under saline conditions. *Sci. Reg. IPI satellite prog.* DOI: 10.1080/01904160009382114
- Anonim a, 2022. <https://www.haifa-group.com/tr/bitki-rehberi-h%C4%B1yar-yeti%C5%9Ftiricili%C4%9Fi> (Erişim Tarihi: 01.07.2022).
- Anonim b, 2022. <https://www.sorhocam.com/konu.asp?sid=4321&bitkilerde-tuz-stresi-nedir.html> (Erişim Tarihi: 01.07.2022).
- Anonim c, 2022. <https://www.tipacilar.com/levocarnitin/> (Erişim Tarihi: 01.07.2022)

- Anonim d, 2003. What is L-carnitine? Agro food industry hi-tech, prepared by dr. Oresta Piccolo ve Lonza Ltd. http://www.teknoscienze.com/agro/ins_agro/top/sp_hglts/l_carnitine.pdf (Erişim Tarihi: 01.07. 2022)
- Apse, M.P., Blumwald, E. (2007). Na⁺ transport in plants. *FEBS Letters*, 581, 2247-2254s.
- Arrigoni-Martelli, E., Caso, V. (2001). Carnitine protects mitochondria and removes toxic acyls from xenobiotics. *Drugs Under Experimental And Clinical Research*, 27(1), 27-49s.
- Arslan, Ö. (2018). Su kıtlığına maruz bırakılmış c3 ve c4 bitkilerinin fotosentetik aktivitelerinin belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(4), 47-54s.
- Ashraf, M. (2004). Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 199(5), 361-376s.
- Ashraf, M., Harris, P. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166, 3-16s.
- Ashraf, M., Tufail, M. (1995). Variation in salinity tolerance in sunflower (*Helianthus annuum* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 174, 351-362s.
- Athar, H.R., Khan A., Ashraf M. (2008). Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 63, 224– 231s.
- Avestan S., Ghasemnezhad M., Esfahani M., Byrt C.S., (2019). Application of nano-silicon dioxide improves salt stress tolerance in strawberry plants. *Agronomy*, 9(5), 246s.
- Aycan, M., (2018). *Türkiye’de Bazı Ekmeklik Buğday (Triticum aestivum L.) Çeşitlerinde Tuza Tolerans/Dayanıklılık Göstergesi Olarak Evrensel SSR Markörlerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması ve Tuz Stresi Koşullarında Gen İfade Profillerinin İncelenmesi*. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 105-206s.
- Ayers, R., Westcot W.D. (1989). Water Quality For Agriculture. *FAO Irrigaion and Drainage*, 29s.
- Azabou, S., Taheur F.B., Jridi M., Bouaziz M., Nasri M. (2017). Discarded seeds from red pepper (*Capsicum annum*) processing industry as a sustainable source of high added-value compounds and edible oil. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 22196–22203.
- Babourina, O., Leonova T., Shabala S., Newman I. (2000). Effect of sudden salt stress on ion fluxes in intact wheat suspension cells. *Annals of Botany* 85(6),759-767s.
- Baiges, I., Schäffner, A.R., Affenzeller, M.J., Mas, A. (2002). Plant aquaporins. *Physiologia Plantarum*, 115, 175-182s.

- Bandehagh, A., Taylor, N.L. (2020). Can alternative metabolic pathways and shunts overcome salinity induced inhibition of central carbon metabolism in crops. *Frontier in Plant Science*, 11, 1072s.
- Baumgartner, M., Blum, L. (1997). L-carnitine. *Carnitine-Chemistry, Biological Function and Deficiencies*, Lonza Ltd. Muenchensteinerstrasse 38, CH-4002, Basel. 1-8s.
- Bayraklı, F. (1998). Toprak Kimyası. *O.M.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No: 26, 1. Baskı*, Samsun, 214s
- Bieber, L.L. (1998). Carnitine. *Annual Review of Biochemistry*, 57, 261-283s.
- Biehler, K., Fock, H. (1996). Evidence for the contribution of the mehler-peroxidase reaction in dissipating excess electrons in drought-stressed wheat. *Plant Physiology*, 112(1), 265-272s.
- Blum, A., Jordan, W.R. (1985). Breeding crop varieties for stress environments. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2(3), 199-237s.
- Bohnert, H.J., Shen, B. (1998). Transformation and compatible solutes. *Scientia Horticulturae*, 78, 237-260.
- Borum, P. R. (1983). Carnitine. *Annual Review of Nutrition*, 3, 233-259s.
- Botella, M.A., Rosado, A., Bressan, R.A., Hasegawa, P.M. (2005). Plant adaptive responses to salinity stress. *Plant Abiotic Stress*, 36-56s.
- Bremer, J. (1983). Carnitine--metabolism and functions. *Physiological Reviews*, 63(4), 1420-1480.
- Bremer, J. (1995). Carnitine-dependent pathways in heart muscle (Editörler: De Jong, J.W., Ferrari, R.) In *The carnitine system*. Springer, 7-20
- Charrier, A., Rippa, S., Yu, A., Nguyen, P.J., Renou, J.P., Perrin, Y. (2012). The effect of carnitine on *Arabidopsis* development and recovery in salt stress conditions. *Planta*, 235, 123–135s.
- Chartzoulakis, K., G. Klapaki. (2000). Response of two greenhouse pepper hybrids to nacl salinity during different growth stages (Editörler: Guo W.W., Kondo, S., Martinez-Gomez, P., Pennisi, B.). *Horticultural Science*, 86(3): 247- 260s.
- Clark, A.J., Blissett, K.J., Oliver, R.P. (2003). Investigating the role of polyols in *Cladosporium fulvum* during growth under hyper-osmotic stress and in planta. *Planta*, 216, 614-619.
- Conde, C., Silva, P., Agasse, A., Lemoine, R., Delrot, S., Tavares, R., Geros, H. (2007). Utilization and transport of mannitol in *Olea europaea* and implications for salt stress tolerance. *Plant and Cell Physiology*, 48, 42-53.
- Conklin, P.L., Williams EH, Last R.L. (1996). Environmental stress sensitivity of an ascorbic acid-deficient *Arabidopsis* mutant. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93, 9970–9974.

- Coşkun, Ö., Öter, Ş.K. (2001). Genel bilgiler ve egzersiz ile ilişkisi; fizyolojik ve morfolojik etkileri. *Eğitimde-Bilimde-Haberde Sağlık*, 3(1), 11-22s.
- 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. *Journal of Experimental Botany*, 45, 1259- 1266s.
- Çancioğlu, E. (2014). *Kuraklık Stresi Altında Karnitin'in Ros Sinyali ve Antioksidan Sistem Üzerindeki Etkisinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 14-78s.
- Çebi, B. (2014). *Kuraklık Stresi Altında Karnitin Teşvikli Proteinlerin Tanımlanması*. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 24-62s.
- Çiçek, N., Çakırlar, H. (2002). The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 28(1-2), 66-74.
- Çömlekçiöğlu, N, Arıkan S. (2017). Fizyolojik stres ve eksojen poliaminlerin *Isatis tinctoria* L. yapraklarındaki indigo miktarı ve fide gelişimi üzerine etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 30(3), 261-267s.
- Çulha, Ş., Çakırlar, H. (2011). Tuzluluğun bitkiler üzerine etkileri ve tuz tolerans mekanizmaları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 11(2), 11-34s.
- Da Silva, J.M., Arrabaça, M.C. (2004). Contributions of soluble carbohydrates to the osmotic adjustment in the C₄ grass *Setaria sphacelata*: A comparison between rapidly and slowly imposed water stress. *Journal of Plant Physiology*, 161, 551s.
- Dabuxilatu ve Ikeda, M. (2005). Distribution of K, Na and Cl in root and leaf cells of soybean and cucumber plants grown under salinity conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 51(7), 1053-1057s.
- De Tullio, M.C. (2004). How does ascorbic acid prevent scurvy? A survey of the nonantioxidant functions of vitamin C. In: Asard H (ed) Vitamin C: its function and biochemistry in animals and plants. *Garland Science/BIOS Scientific Publishers, London/New York*, 176–190s.
- Dehghan, G., Rezazadeh. L., Habibi, G. (2011). Exogenous ascorbate improves antioxidant defense system and induces salinity tolerance in soybean seedlings. *Acta Biologica Szegediensis*, 55, 261–264s.
- Doğru, A., Canavar, S. (2020). Bitkilerde tuz toleransının fizyolojik ve biyokimyasal bileşenleri. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 8(1), 155-174s.
- Dolatabadian, A., Saleh Jouneghani R. (2009). Impact of Exogenous ascorbic acid on antioxidant activity and some physiological traits of common bean subjected to salinity stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37(2), 165–172s.

- Dutta Gupta, S. (2007). Plasma membrane ultrastructure in embryogenic cultures of orchardgrass during NaCl stress. *Biologia Plantarum*, 51(4), 759-763s.
- Ekmekçi, A.E. (2007). Farklı tuzluluk düzeylerindeki sulama sularının, biberde (*Capsicum annuum* L.) bazı büyüme, gelişme ve verim parametrelerine etkisi. Doktora Tezi, Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Samsun. 11-65s.
- Ekmekçi, E., Aptan, M., Kara, T. (2005). Tuzluluğun bitki gelişimine etkisi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(3), 118-125s.
- Flowers, T., Yeo, A. (1995). Breeding for salinity resistance in crop plants: where next? *Australian Journal of Plant Physiology*. 22, 875–884s.
- Foyer, C.H., Lelandais, M., Kunert, K.J. (1994). Photooxidative stress in plants. *Physiologia Plantarum*. 92(4), 696-717s.
- Foyer, C.H., Noctor G., (2005). Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses. *Plant Cell*, 17, 1866–1875s.
- Gadallah, M. (1999). Effects of proline and glycine betaine on *Vicia faba* responses to salt stress. *Biologia Plantarum*, 42, 249-257s.
- Gechev, T.S., Van Breusegem, F., Stone, J.M., Denev, I., Laloi, C. (2006). Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. *Bioessays*, 28, 1091-1101s.
- Ghoulam, C., Foursy, A., Fares, K. (2002). Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 47, 39-50s.
- Gill, S.S., Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, 909-930s.
- Gómez-Cadenas, A., Arbona, V., Jacas, J., Primo-Millo, E., Talon, M. (2002). Abscissic acid reduces leaf abscission and increases salt tolerance in citrus plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 21(3), 234-240.
- Gökçe, A. (2015). *Karnitin'in Tuz Stresine Maruz Bırakılan ABA Yoksun Mutantların Antioksidan Savunma Sistemi Üzerine Etkisinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 8-45s.
- Gökçe, A., Esen A.H., Türkan İ. (2015). *Arabidopsis thaliana'nın Tuz Stresine cevabında fosfotidik asit metabolizması ve karnitin arasındaki etkileşimin araştırılması, 1.Ulusal Bitki Fizyolojisi Sempozyumu, 1-4 Eylül 2015, 41.*
- Grant, W.F. (1999). Higher plant assays for the detection of chromosomal aberrations and gene mutations—a brief historical background on their use for screening and monitoring environmental chemicals *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 426(2), 107-112.

- Güneş, A., İnal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bağcı, E.G., Çiçek, N. (2007). Acid salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *Journal of Plant Physiology*, 164, 728-736.
- Hafizoğlu, C. (2020). *Kuraklığın bazı mısır genotiplerinde meydana getirdiği fizyolojik ve biyokimyasal değişimlerin drone teknolojisi ile belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ. 18-40s.
- Hansu, R. (2021). *Aydın İlindeki Artezyen Sularının Fizikokimyasal Olarak Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Aydın. 30-42.
- Harmeyer, J. (2002). The physiological role of L-carnitine. *Lohman Information*, 27, 15-21.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Handa, A.V. (1986). Cellular mechanisms of salinity tolerance. *Horticultural Science*, 21, 1317-1324.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.-K., Bohnert, H.J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Biology*, 51, 463-499.
- Heuer, B. (2003). Influence of exogenous application of proline and glycinebetaine on growth of salt-stressed tomato plants. *Plant Science*, 165(4), 681-923.
- Hong, Z., Lakkineni, K., Zhang, Z., Verma, D.P.S. (2000). Removal of feedback inhibition of Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. *Plant Physiology*, 122, 1129-1136s.
- Hussain, M., Malik M.A., Farooq M., Ashraf M.Y., Cheema M.A. (2008). Improving drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(3), 193-199s.
- Jang, I.C., Oh S.J., Seo, J.S., Choi, W.B., Song I.S., Kim, C.H., Kim, Y.S., Seo, H.S., Choi, Y.D., Nahm, B.H., Kim, J.K. (2003). Expression of a bifunctional fusion of the *Escherichia coli* genes for trehalose-6-phosphate synthase and trehalose-6-phosphate phosphatase in transgenic rice plants increases trehalose accumulation and abiotic stress tolerance without stunting growth. *Plant Physiology*, 131, 516-524s.
- Jones, L.L., McDonald, D. A., Borum, P. R. (2010). Acylcarnitines: role in brain. *Progress in Lipid Research*, 49(1), 61-75s.
- Juan, M., Rivero, R.M., Romero, L., Ruiz, J.M. (2005). Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 54, 193-201s.
- Kalefetoğlu, T., Ekmekçi, Y. (2005). The effects of drought on plants and tolerance mechanisms. *G.U. Journal of Science*, 18 (4), 723-740.

- Karaca, P. (2019). *Tuz stresi uygulanan domates bitkisinde ekzojen melatoninin bazı fizyolojik parametreler üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Aksaray. 25s.
- Karadavut, U., (1995). GAP'ta üretim potansiyeli. *Türk Kooperatifçilik Kurumu Karınca Dergisi*, Ankara. 54-57s.
- Karadeniz, A., Şimsek, N., Çakir, S. (2008). Haematological effects of dietary L-carnitine supplementation in broiler chickens. *Revue de Medecine Veterinaire*, 159(8-9), 437-444.
- Karayaylalı, İ., Güvenç, B., Tamer, L., Gürbüz, E., Adam, S. M., Paydaş, S., İspir, T. (1997). Kronik hemodiyaliz hastalarında L-karnitin ilavesinin lipid profili, Ca^{2+} Mg^{2+} ATPaz, Na^{+} K^{+} ATPaz ve intrasellüler Ca^{+} 2 üzerine etkisi. *Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 22(3), 152-157.
- Kazan, K. (2013). Auxin and the integration of environmental signals into plant root development. *Annals of Botany*, 112, 1655-1665.
- Kerepesi, I., Galiba, G. (2000). Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. *Crop Science*, 40, 482-487.
- Kerner, J., Hoppel, C. (2000). Fatty acid import into mitochondria. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1486(1), 1-17.
- Khadri, M., Tejera, N.A., Lluch, C. (2006). Alleviation of salt stress in common bean (*Phaseolus vulgaris*) by exogenous abscisic acid supply. *Journal of Plant Growth Regulation*, 25(2), 110-119.
- Khan, A., Ashraf, M. (2008). Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 63(1-3): 224-231.
- Khosravinejad, F., Heydari, R., Farboodnia, T., (2009). Effect of salinity on organic solutes contents in barley. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 12, 158.
- Kopec, B., Fritz, I.B. (1973). Comparison of properties of carnitine palmitoyltransferase I with those of carnitine palmitoyltransferase II, and preparation of antibodies to carnitine palmitoyltransferases. *Journal of Biological Chemistry*, 248(11), 4069-4074.
- Korkmaz, H., Durmaz, A., (2017). Bitkilerin abiyotik stres faktörlerine verdiği cevaplar. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2), 192-207.
- Koyro, H. W. (2006). Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environmental and Experimental Botany*, 56(2), 136-146s.
- Köklü, A. H. (2013). *L-Karnitinin oral mukozada yara iyileşmesi üzerine etkisinin farklı yöntemlerle incelenmesi*. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

- Kuşvuran, Ş. (2010). *Kavunlarda kuraklık ve tuzluluğa toleransın fizyolojik mekanizmaları arasındaki bağlantılar*. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana. 377s.
- Kuşvuran, Ş., Yaşar, F., Abak, K., Ellialtıoğlu, Ş. (2008). Tuz stresi altında yetiştirilen tuza tolerant ve duyarlı *Cucumis* sp.'nin bazı genotiplerinde lipid peroksidasyonu, klorofil ve iyon miktarlarında meydana gelen değişimler. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 18(1), 13-20s.
- Levitt, J. (1972). Responses of plants to environmental stresses. Volume II. Water, radiation, salt, and other stresses. *Academic Press, New York*. 365-490s
- Li, J.M., Jin, H. (2007). Regulation of brassinosteroid signaling. *Trends in Plant Science*, 12, 37–41s.
- Liang, W., Ma, X., Wan, P., Liu, L. (2018). Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 495, 286-291s.
- Lin, C.C., Kao, C.H. (2000). Effect of NaCl stress on H₂O₂ metabolism in rice leaves. *Plant Growth Regulation*, 30, 151-155s.
- Mahesh, K., Balaraju, P., Ramakrishna, B., Rao, S.S.R. (2013). Effect of brassinosteroids on germination and seedling growth of radish (*Raphanus sativus* L.) under PEG-6000 induced water stress. *American Journal of Plant Sciences*, 4(12), 2305-2313s.
- Mansour, M., (2000). Nitrogen containing compounds and adaptation of plants to salinity stress. *Biologia Plantarum*, 43, 491-500s.
- Mehta, P., Jajoo, A., Mathur, S., Bharti, S. (2010). Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on photosystem II in wheat leaves. *Plant Physiology Biochemistry*, 48(1), 16–20s.
- Meloni, D.A., Oliva, M.A., Martinez, C.A., Cambraia, J. (2003). Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 49(1), 69-76s.
- Montero, E., Cabot, C., Barcelo, J., Poschenrieder, C. (1997). Endogenous abscisic acid levels are linked to decreased growth of bush bean plants treated with NaCl. *Physiologia Plantarum*, 101, 17-22s.
- Munns, R., James, R., Läuchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*. 57(5), 1025–1043s.
- Munns, R., Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681s.
- Murakeozy, E.P., Nagy, Z., Duhazé, C., Bouchereau, A., Tuba, Z. (2003). Seasonal changes in the levels of compatible osmolytes in three halophytic species of inland saline vegetation in Hungary. *Journal of Plant Physiology*, 160, 395s.

- Murthy, H.N., Dewir, Y.H., Dalawai D., Al-Suhaibani N. (2022). Comparative physicochemical analysis of seed oils of wild cucumber (*Cucumis sativus* var. *hardwickii* (Royle) Alef.), cucumber (*Cucumis sativus* L. var. *sativus*), and gherkin (*Cucumis anguria* L.). *South African Journal of Botany*, 145, 186-191s.
- Muscolo, A., Panuccio, M.R., Sidari, M. (2003). Effects of salinity on growth, carbohydrate metabolism and nutritive properties of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum* Hochst). *Plant Science*, 164(6), 1103-1110s.
- Nemoto, S., Aoki, M., Dehua, C., Imai, Y. (2001). Effects of carnitine on cardiac function after cardioplegic ischemia in neonatal rabbit hearts. *The Annals of Thoracic Surgery*, 71(1), 254-259s.
- Nezhadahmadi, A., Prodhan, Z. H., Faruq, G. (2013). Drought tolerance in wheat. *The Scientific World Journal*, 1-12s.
- Nishiyama, R., Watanabe, Y., Fujita, Y., Le, D.T., Kojima, M., Werner, T., Vankova, R., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., Kakimoto, T., Sakakibara, H., Schmölling, T., Tran, L.S.P. (2011). Analysis of cytokinin mutants and regulation of cytokinin metabolic genes reveals important regulatory roles of cytokinins in drought, salt and abscisic acid responses, and abscisic acid biosynthesis. *The Plant Cell*, 23(6), 2169–2183s.
- Noreen, S., Ashraf, M. (2008). Alleviation of adverse effects of salt stress on sunflower (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of salicylic acid: growth and photosynthesis. *Pakistan Journal of Botany*, 40(4), 1657- 1663s.
- Oney-Birol, S. (2019). Exogenous L-carnitine promotes plant growth and cell division by mitigating genotoxic damage of salt stress. *Scientific Reports*, 9(1), 1-12.
- Orbitbiotech, (2018). *Responses Of a Plant Against Abiotic Stress Orbit Biotech Training*. <https://i0.wp.com/orbitbiotech.com/wp-content/uploads/2018/05/Responses-of-a-plant-against-Abiotic-Stress-Orbit-Biotech-Training.jpg?ssl=1> (Erişim tarihi:21.06.2022)
- Önal, A., Astarcıoğlu, H., Örmən, M., Atila, K., Sarıoğlu, S. (2004). Sıçandaki renal iskemi-reperfüzyon hasarında L-karnitinin koruyucu etkisi. *Ulusal Travma Dergisi*, 10(3), 160-167.
- Özalp, R. (2008). Türkiye Biber Üretimi ve Biber Tohumculuğunun Durumu. 7. *Sebze Tarımı Sempozyumu. Bildiri kitabı*, 26, 29s.
- Panda S.K., Upadhyay R.K. (2004). Salt stress injury induces oxidative alterations and antioxidative defence in the roots of *Lemna minor*. *Biologia Plantarum*, 48, 249–253s.
- Pardo, J.M. (2010). Biotechnology of water and salinity stress tolerance (Editörler: Stephanopoulos, G., Merr, J.R.) *Current Opinion in Biotechnology*, 21(2),185-196s. doi:10.1016/j.copbio.2010.02.005

- Parida, A.K., Das, A.B., ve Mitra, B. (2003). Effects of NaCl stress on the structure, pigment complex composition, and photosynthetic activity of mangrove *Bruguiera parviflora* chloroplasts. *Photosynthetica*, 41(2), 191-200.
- Parida, A.K., Das, A.B., Mohanty, P. (2004). Investigations on the antioxidative defense responses to NaCl stress in a mangrove, *Bruguiera parviflora*: differential regulations of isoforms of some antioxidative enzymes. *Plant Growth Regulation*, 42, 213–226s.
- Parida, A.K., Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324-349s.
- Park, E.J., Jeknic, Z., Chen, T.H. (2006). Exogenous application of glycinebetaine increases chilling tolerance in tomato plants. *Plant and Cell Physiology*, 47(6), 706-714s.
- Penna, S. (2003). Building stress tolerance through over-producing trehalose in transgenic plants. *Trends in Plant Science*, 8, 355-357.
- Pons, R., Carrozzo, R., Tein, I., Walker, W.F., Addonizio, L.J., Rhead, W., De Vivo, D.C. (1997). Deficient muscle carnitine transport in primary carnitine deficiency. *Pediatric Research*, 42(5), 583-587.
- Quide, S. Q. T. K. (1999). USDA, United States Department of Agriculture. *Agricultural Research Service*.
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_050956.pdf
 (Erişim tarihi:24.06.2022)
- Rahman, S., Matsumuro, T., Miyake, H., Takeoka, Y. (2000). Salinity-induced ultrastructural alterations in leaf cells of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Production Science*, 3(4), 422-429.
- Rebouche, C.J., Chenard, C.A. (1991). Metabolic fate of dietary carnitine in human adults: identification and quantification of urinary and fecal metabolites. *The Journal of Nutrition*, 121(4), 539-546.
- Reinhold, L., Guy, M. (2002) Function of membrane transport systems under salinity: plasma membrane (Editörler: Läuchli, A., Lüttge, U.). In: Salinity: Environment-Plants-Molecules. *Springer*, pp 397- 421.
- Ribas, G.S., Vargas, C.R., Wajner, M. (2014). L-carnitine supplementation as a potential antioxidant therapy for inherited neurometabolic disorders.
<https://doi.org/10.1016/j.gene.2013.10.017> (Erişim Tarihi:21.06.2022)
- Roos, N., De Vrese, M., Schulte-Coerne, H., Barth, C.A. (1992). L-carnitine in milk of monozygous bovine twins. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte*.
- Ryu, H., Cho, Y.G. (2015). Plant hormones in salt stress tolerance. *Journal of Plant Biology*, 58, 147-155.
- Schulz, H. (1994). Regulation of fatty acid oxidation in heart. *The Journal of Nutrition*, 124(2), 165-171.

- Sezen, S., (2021). *Topraklarımızdaki Tuzluluk* (<https://www.hortiturkey.com/yazilar/topraklarimizdaki-tuzluluk> (Erişim tarihi:23.06.2022)).
- 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, 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, 225-231.
- Shannon, M.C., Grieve C.M. (1998). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, 78, 5-38.
- Sharma, C.B., Paneerselvan, S.R. (1990). Genetic toxicity of pesticides in higher plant systems. *Critical Reviews in Plant Science*, 9, 409-442s.
- Shigenaga, M. K., Hagen, T. M., & Ames, B. N. (1994). Oxidative damage and mitochondrial decay in aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(23), 10771-10778s.
- Sickler, C.M., Edwards, G.E., Kiirats, O., Gao, Z., Loescher, W. (2007). Response of mannitol-producing *Arabidopsis thaliana* to abiotic stress. *Functional Plant Biology*, 34, 382-391s.
- Siripornadulsil, S., Traina, S., Verma, D.P.S., Sayre, R.T. (2002). Molecular mechanisms of proline-mediated tolerance to toxic heavy metals in transgenic microalgae. *The Plant Cell*, 14, 2837-2847s.
- Sivritepe, N., H.Ö. Sivritepe, A. Eriş. (2003). The Effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 97(3/4), 229-237s.
- Sönmez, B., (1990). Tuzlu ve sodyumlu topraklar. *Şanlıurfa Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları* (62): 60 s.
- Sultana, N., Ikeda, T., Itoh, R. (1999). Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Environmental and Experimental Botany*, 42(3), 211-220.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı (2018). Tarımda Toprak ve Suyun Sürdürülebilir Kullanımı, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, Yayın No: KB: 2984- ÖİK: 766. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/06/Tar%C4%B1mda-Toprak-ve-Suyun-S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir-Kullan%C4%B1m%C4%B1-%C3%96zel-%C4%B0htisas-Komisyonu-Raporu.pdf> (Erişim tarihi:24.06.2022)
- Tarczynski, M.C., Jensen, R.G., Bohnert, H.J. (1992). Expression of a bacterial mtlD gene in transgenic tobacco leads to production and accumulation of mannitol. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89, 2600-2604.

- Tattini, M., Gucci, R., Romani, A., Baldi, A., Everard, J.D. (1996). Changes in non-structural carbohydrates in olive (*Olea europaea*) leaves during root zone salinity stress. *Physiologia Plantarum*, 98, 117-124.
- Tuna, A.L., Kaya, C., Dikilitas, M., Higgs, D. (2008). The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants. *Environmental and Experimental Botany*, 62, 1-9.
- Turan, M., Aydin, A. (2005). Effects of different salt sources on growth, inorganic ions and proline accumulation in corn (*Zea mays* L.). *European Journal of Horticultural Science*, 70, 149-155.
- Tuteja, N. (2007). Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods in Enzymology*, 428, 419-438.
- TÜİK, 2020. www.tuik.gov.tr (Erişim tarihi:04.07.2022)
- TÜİK, (2022). Bitkisel Üretim İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2021-37249&dil=1>. (Erişim tarihi: 21.06.2022)
- Türk, H., Erdal S., Dumlupinar R. (2019). Exogenous carnitine application augments transport of fatty acids into mitochondria and stimulates mitochondrial respiration in maize seedlings grown under normal and cold conditions. *Cryobiology*, 91, 97-103s.
- Türk, H., Erdal S., Dumlupinar R. (2020). Carnitine-induced physio-biochemical and molecular alterations in maize seedlings in response to cold stress (Editörler: Deubel, A., Yu, K.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(7), 925-941s.
- Türk, H. (2018). *Mısır (Zea Mays L.) Bitkisinin üşümeye direnci üzerine karnitinin etkilerinin lipid ve solunum metabolizması ile bağlantılı olarak araştırılması*. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 6-52s.
- Uğuzlar, H. (2009). *Antalya'da yetişen Areceae arum dioscorides tohumlarının antioksidan aktivitesi ve toplam fenolik madde tayini*. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya. 12-48s.
- Vaz, F.M., Wanders, R.J. (2002). Carnitine biosynthesis in mammals. *Biochemical Journal*, 361(3), 417-429s.
- Víllora, G., Moreno, D.A., Pulgar, G., Romero, L. (2000). Yield improvement in zucchini under salt stress: determining micronutrient balance. *Scientia Horticulturae*, 86(3), 175-183.
- Wang, Y., Li, L., Ye, T., Zhao, S., Liu, Z., Feng, Y.Q., Wu, Y.(2011). Cytokinin antagonizes ABA suppression to seed germination of *Arabidopsis* by downregulating ABI5 expression. *The Plant Journal*, 68, 249-261.

- Wu, X., Ding, H., Zhu, W., Zhang, H., Zhang, H.J. (2011). Exogenous nitric oxide protects against salt-induced oxidative stress in the leaves from two genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 23: 304- 307.
- Yakıt, S., Tuna, A. L. (2006). Tuz stresi altındaki mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) stres parametreleri üzerine Ca, Mg ve K'nın etkileri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1), 59-67.
- Yıldız, M., Terzi, H., Cenkci, S., Arıkan Terzi, E.S., Uruşak, B. (2010). Bitkilerde tuzluluğa toleransın fizyolojik ve biyokimyasal markörleri. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi- C Yaşam Bilimleri ve Teknoloji*, 1(1), 6s.
- Yokoi, S., Quintero, F.J., Cubero, B., Ruiz, M.T., Bressan, R.A., Hasegawa, P.M., Pardo, J.M. (2002). Differential expression and function of *Arabidopsis thaliana* NHX Na⁺ /H⁺ antiporters in the salt stress response. *The Plant Journal*, 30, 529-539s.
- Yuan, Y., Li, X., Liu, H., Qu, Y., Zhang, W., Yu, H., Zhuang, H. (2018). Carnitine, a new precursor in the formation of the plant growth regulator mepiquat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(23), 5907-5912.
- Zeyner, A., Harmeyer, J. (1999). Metabolic functions of L-Carnitine and its effects as feed additive in horses. A review. *Archives of Animal Nutrition*, 52(2), 115-138.
- Zhang, J.H., Huang W.D., Liu Y.P., Pan Q.H. (2005). Effects of temperature acclimation pretreatment on the ultrastructure of mesophyll cells in young grape plants (*Vitis vinifera* L. cv. Jingxiu) under cross-temperature stresses. *Journal of Integrative Plant Biology*, 47(8), 959-970.
- Zhao, Z., Chen, G., Zhang, C. (2001). Interaction between reactive oxygen species and nitric oxide in drought-induced abscisic acid synthesis in root tips of wheat seedlings. *Australian Journal of Plant Physiology*, 28, 1055–1061s.
- Zhifang, G., Loescher, W. (2003). Expression of a celery mannose 6-phosphate reductase in *Arabidopsis thaliana* enhances salt tolerance and induces biosynthesis of both mannitol and a glucosyl-mannitol dimer. *Plant, Cell & Environment*, 26, 275-283.