

Mısır Erken Fide Döneminde Limon Suyu Uygulamasının Tuz Stresine Etkisi

Tuğba SARICA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tarla Bitkileri Anabilim Dalı

Mart 2025

Effect of Lemon Juice Application on Salt Stress During the Early Seedling Stage
in Maize

Tuğba SARICA

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Field Crops

Mart 2025

Mısır Erken Fide Döneminde Limon Suyu Uygulamasının Tuz Stresine Etkisi

Tuğba SARICA

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca

Tarla Bitkileri Anabilim Dalı

Çayır Mera Yem Bitkileri Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Süleyman AVCI

“ESOGÜ-BAP tarafından FYL-2024-3105 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.”

Mart 2025

ONAY

Tarla bitkileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi **Tuğba Sarıca**'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Mısır Erken Fide Döneminde Limon Suyu Uygulamasının Tuz Stresine Etkisi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Süleyman Avcı

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Süleyman Avcı

Üye: Doç.Dr. Erdem Gülümser

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Onur İleri

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma Tümsek

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Süleyman Avcı danışmanlığında hazırlamış olduğum “Mısır Erken Fide Döneminde Limon Suyu Uygulamasının Tuz Stresine Etkisi” başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 20/03/2025

Tuğba Sarıca

İmza

ÖZET

Bu çalışmada, erken fide döneminde farklı mısır çeşitlerinin sitrik asit ve limon suyu uygulamalarıyla tuzluluk stresine gösterdiği tepkiler incelenmiştir. Tez çalışması Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü laboratuvarlarında ve iklim odasında yürütülmüştür. İlk olarak 21 mısır çeşidinin çimlenme ve çıkış testleriyle tuzluluk stresine tepkileri incelenerek, en hassas (P2088) ve en toleranslı (DKC6050) çeşitler fide ve yaş ağırlık değerlerindeki azalma oranlarına göre kümeleme analiziyle belirlenmiştir. Daha sonra erken fide döneminde bu iki çeşitte, tuzlu koşullarda [Kontrol (Saf su) ve 15 dSm⁻¹] sitrik asit uygulamaları [Kontrol (SS, saf su), sitrik asit (SA, 100 ppm) ve limon suyu (LS, 0 gr/l)] yapılmıştır. Denemeler, tesadüf parsellerinde faktöriyel düzende 4 tekrarlı olarak kurulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre bitki boyu ve sap kalınlığı tuz uygulamalarıyla azalmıştır. Ancak, tuzlu ortamda DKC6050'de SA uygulamasıyla bitki boyu artmıştır. SPAD değeri, tuzlu ortamda P2088 çeşidinde LS uygulaması ve DKC6050'de SA uygulamasından olumlu etkilenmiştir. Yaprak bağıl su içeriği tuzlu koşullarda sitrik asit uygulamasıyla P2088'de azalmış, DKC6050'de artış göstermiştir. Elektrolit sızıntısı tuzlu ortamda P2088 çeşidinde daha fazla olmakla birlikte sitrik asit uygulamaları bu sızıntıyı azaltmıştır. Kontrol koşullarında P2088'in yaprak alanı daha geniş iken, tuzlu ortamda her iki çeşitte daralmıştır. Limon suyu uygulamaları yaprak alanını artırmıştır. Yaş ağırlık DKC6050 çeşidinde daha yüksek olup sitrik asit etkisi önemsizdir. Kuru madde oranı P2088 çeşidinde sitrik asit uygulamalarıyla artmıştır. Tuzlu ortamda stoma sayısı artmış, P2088 çeşidinde limon suyu uygulamasıyla stoma boyu uzamıştır. Tuzlu ortamda P2088 çeşidinde sitrik asit uygulamalarıyla Na⁺/K⁺ oranı düşmüştür, bu da tuz toleransına işaret etmiştir. Sonuç olarak; başlangıçta yapılan çimlenme ve çıkış analizleri, çeşitlerin tuz toleransını belirlemede yetersiz kalmıştır. P2088 çeşidi, daha hassas olarak sınıflandırılmasına rağmen tuzlu koşullarda sitrik asit uygulamalarıyla bazı morfo-fizyolojik özellikler ve element içerikleri bakımından DKC6050'den daha olumlu tepkiler göstermiştir. Tuz toleransını kesin olarak belirlemek için osmalit birikimi, antioksidan enzim analizleri ve iyon birikimlerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mısır, tuz stresi, sitrik asit, sodyum (Na), elektrolit sızıntısı

SUMMARY

In this study, the responses of different maize genotypes to salinity stress with citric acid and lemon juice applications during the early seedling stage were investigated. The research was conducted in the laboratories and climate chamber of the Field Crops Department, Faculty of Agriculture, Eskişehir Osmangazi University. Initially, the responses of 21 maize genotypes to salinity stress were examined through germination and emergence tests. Based on a cluster analysis of reductions in seedling growth and fresh weight values, the most sensitive genotype (P2088) and the most tolerant genotype (DKC6050) were identified. Subsequently, citric acid applications [control (PW, pure water), citric acid (CA, 100 ppm), and lemon juice (LJ, 0 g/L)] were applied to these two genotypes under saline conditions [control (pure water) and 15 dS m⁻¹ saline conditions] during the early seedling period. The experiments followed a factorial design arranged in randomized plots with four replicates. The results showed that plant height and stem thickness decreased with salt applications. However, in saline conditions, plant height increased with CA application in the DKC6050 genotype. The SPAD value improved with LJ application in the P2088 genotype and with CA application in DKC6050 under saline conditions. Leaf relative water content decreased in P2088 with citric acid application under saline conditions but increased in DKC6050. Electrolyte leakage was higher in the P2088 genotype in a saline environment, but citric acid applications reduced this leakage. Under control conditions, the leaf area of P2088 was larger, but it decreased in both genotypes under saline stress. LJ applications mitigated this reduction and increased the leaf area. Fresh weight was higher in the DKC6050 genotype, although the effect of citric acid was negligible. The dry matter ratio increased in the P2088 genotype with citric acid applications. Stomatal density increased under saline conditions, while stomatal length increased in the P2088 genotype with LJ application. The Na⁺/K⁺ ratio decreased with citric acid applications in the P2088 genotype under saline conditions, indicating increased salt tolerance. In conclusion, initial germination and emergence analyses were insufficient to determine salt tolerance in maize genotypes. Although the P2088 genotype was classified as more sensitive, it demonstrated more favorable responses than DKC6050 in terms of certain morpho-physiological traits and Na⁺/K⁺ ratio under saline conditions with citric acid applications. In order to determine salt tolerance precisely, osmolyte accumulation, antioxidant enzyme analyses and ion accumulations should also be evaluated.

Keywords: Maize, salt stress, citric acid, sodium (Na), electrolyte leakage

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesi ve tezimin başından sonuna tüm aşamalarında bilgi, katkı, yardımını ve desteğini esirgemeyen aynı zamanda hoşgörüsünü, samimiyetini her zaman hissettiğim kıymetli Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Süleyman AVCI'ya teşekkürü borç bilir, şükranlarımı sunarım

Laboratuvar çalışmalarım sırasında desteklerini gördüğüm Ebru Yılmaztürk, Ahmet Tırpan, Melih Ertaşgin, Sedat Özen, Arzu Türkmen ve Ayşenur Evcimen'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması ESOGÜ-BAP birimi tarafından FYL-2024-3105 numaralı proje kapsamında desteklenmiş olup, üniversitemiz bilimsel araştırma projeleri komisyonuna teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca desteklerini esirgemeyen, beni bu günlere getiren aileme ve kıymetli eşim Gökhan Sarıca'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1. Deneme Materyali ve Özellikleri.....	19
3.2. Yöntem.....	20
3.2.1. Çimlenme çalışmaları.....	20
3.2.2. Çıkış çalışmaları.....	20
3.2.3. Sitrik asit uygulamaları.....	21
3.2.4. Element analizleri.....	24
3.2.5. Deneme sonuçlarının analizi.....	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
4.1. Çimlenme ve çıkış aşamalarında tuzluluk stresine hassas ve tolerant mısır çeşitlerinin belirlenmesi.....	25
4.1.1. Çimlenme Testleri.....	25
4.1.2. Çıkış Testleri.....	26
4.1.3. Kümeleme Analizi Sonuçları.....	28

İÇİNDEKİLER

Sayfa

4.2. Tuzluluk Stresi Altında Sitrik Asit Uygulamaları.....	30
4.2.1. Sitrik Asit Uygulamalarının Morfolojik ve Fizyolojik Özelliklere Etkileri...	30
4.2.1.1. <u>Bitki boyu</u>	30
4.2.1.2. <u>Sap kalınlığı</u>	33
4.2.1.3. <u>SPAD Değeri</u>	35
4.2.1.4. <u>Yaprak bağıl su içeriği (%)</u>	38
4.2.1.5. <u>Elektrolit sızıntısı (%)</u>	40
4.2.1.6. <u>Yaprak alanı (cm²)</u>	43
4.2.1.7. <u>Yaş ağırlık (mg/bitki)</u>	46
4.2.1.8. <u>Kuru madde oranı (%)</u>	48
4.2.1.9. <u>Stoma sayısı (mm²)</u>	51
4.2.1.10. <u>Stoma boyu (µm)</u>	53
4.2.2. Sitrik Asit Uygulamalarının Bitkide Element İçeriğine Etkileri.....	56
4.2.2.1. <u>Sodyum (Na, mg/kg)</u>	56
4.2.2.2. <u>Potasyum (K, mg/kg)</u>	59
4.2.2.3. <u>Na/K oranı</u>	60
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Çimlenme, çıkış ve sitrik asit uygulamaları. a: Çimlenme denemesi, b: Çimlenme denemesi sonucu gelişen fideler, c: Çıkış denemesi, d: Çıkış denemesi sonucu gelişen fideler, e: Sitrik asit uygulamaları için fidelerin yetiştirilmesi, f: Gelişen fidelere sitrik asit uygulamaları.....	23
3.2. Sitrik asit uygulaması için tuz uygulaması yapılan torf içeren saksılarda deneme sonunda tuzluluk miktarı.....	24
4.1. Çimlenme dönemi farklı mısır çeşitlerinde tuzluluk stresi altında fide uzunluğu azalma oranlar.....	26
4.2. Çimlenme dönemi farklı mısır çeşitlerinde tuzluluk stresi altında yaş ağırlık azalma oranları.....	26
4.3. Çıkış dönemi farklı mısır çeşitlerinde tuzluluk stresi altında sürgün uzunluğu azalma oranları.....	27
4.4. Çıkış dönemi farklı mısır çeşitlerinde tuzluluk stresi altında yaş ağırlık azalma oranları.....	28
4.5. Çimlenme ve çıkış dönemi tuzluluk stresi altında farklı mısır çeşitlerinde fide uzunluğu ve yaş ağırlık azalma oranlarına bağlı oluşan gruplar.....	29
4.6. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde bitki boyuna etkisi.....	32
4.7. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde sap kalınlığına etkisi.....	35
4.8. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde SPAD değerine etkisi.....	37
4.9. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde yaprak bağıl su içeriğine etkisi.....	40
4.10. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde elektrolit sızıntısına etkisi.....	42
4.11. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde yaprak alanına etkisi.....	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.12. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde yaş ağırlığa etkisi.....	47
4.13. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde kuru madde oranına etkisi.....	50
4.14. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde stoma sayısına etkisi.....	52
4.15. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde stoma boyuna etkisi.....	55
4.16. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde sodyum içeriği.....	57
4.17 Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde Na/K oranı.....	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Araştırmada kullanılan mısır çeşitlerinin isimleri ve adaptasyon özellikleri.....	19
4.1. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	30
4.2. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama bitki boyuna etkisi...	31
4.3. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama bitki boyuna etkisi.....	31
4.4. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama bitki boyuna etkisi.....	32
4.5. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının sap kalınlığı üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	33
4.6. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama sap kalınlığına etkisi	34
4.7. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama sap kalınlığına etkisi.....	34
4.8. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama sap kalınlığına etkisi.....	34
4.9. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının SPAD değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	36
4.10. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama SPAD değerine etkisi.....	36
4.11. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama SPAD değerine etkisi.....	36
4.12. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama SPAD değerine etkisi.....	37
4.13. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının yaprak bağıl su içeriği(%) üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	38
4.14. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama yaprak bağıl su içeriğine (%) etkisi.....	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.15. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama yaprak bağlı su içeriğine etkisi.....	39
4.16. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama yaprak bağlı su içeriği değerine etkisi.....	39
4.17. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının elektrolit sızıntısı (%) üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	41
4.18. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama elektrolit sızıntısına (%) etkisi.....	41
4.19. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama elektrolit sızıntısına etkisi.....	41
4.20. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama elektrolit sızıntısına etkisi.....	42
4.21. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının yaprak alanı üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları...	43
4.22. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama yaprak alanı etkisi.....	44
4.23. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama yaprak alanına etkisi.....	44
4.24. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama yaprak alanına etkisi.....	44
4.25. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının yaş ağırlık üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları....	46
4.26. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama yaş ağırlığa etkisi.....	46
4.27. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama yaş ağırlığa etkisi.....	47
4.28. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama yaş ağırlığa değerine etkisi.....	47
4.29. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının kuru madde oranı üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	49
4.30. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama kuru madde oranı üzerine etkisi.....	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.31. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama kuru madde oranına etkisi.....	49
4.32. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama kuru madde oranına etkisi.....	49
4.33. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının stoma sayısı üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları...	50
4.34. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama stoma sayısı üzerine etkisi.....	51
4.35. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında stoma sayısına etkisi..	52
4.36. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama stoma sayısına etkisi.....	52
4.37. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının stoma boyu üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları....	54
4.38. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama stoma boyuna etkisi.....	54
4.39. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama stoma boyuna etkisi.....	54
4.40. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama stoma boyuna etkisi.....	55
4.41. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının sodyum (Na) üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları..	56
4.42. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama sodyum (Na) içeriğine etkisi.....	56
4.43. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama sodyum (Na) içeriğine etkisi.....	56
4.44. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama sodyum (Na) içeriğine etkisi.....	57
4.45. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının potasyum (K) üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları..	58
4.46. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama potasyum (K) oranına etkisi.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.47. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının Na/K oranı üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları...	59
4.48. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama Na/K oranı üzerine etkisi.....	60
4.49. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama Na/K oranı üzerine etkisi.....	60
4.50. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama Na/K oranı üzerine etkisi.....	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

Ca	Kalsiyum
Cl	Klor
cm ²	Santimetrekare
CO ₂	Karbondiyoksit
Cr	Krom
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit
K ⁺	Potasyum
Mg	Magnezyum
N	Azot
Na ⁺	Sodyum
NaCl	Sodyum klorür
NaF	Sodyum florür
P	Fosfor

Kısaltmalar

Açıklama

AA	Askorbik asit
ABA	Absisik asit
APX	Askorbat Peroksidaz
BY	Biyolojik verim
CA	Sitrik asit
CAT	Katalaz
CGR	Ürün büyüme hızı
EL	Elektrolit sızıntısı
FW	Sürgün taze ağırlığı
GA ₃	Giberellik asit
GE	Çimlenme enerjisi
GI	Çimlenme indeksi
GP	Çimlenme yüzdesi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
GY	Tane verimi
HI	Hasat indeksi
HSP	Şok proteini
IAA	İndol asetik asit
KIN	Kinetin
LAI	Yaprak alanı indeksi
MDA	Malonaldehit
mM	Milimolar
NAR	Net asimilasyon hızı
NLPP	Bitki başına yaprak sayısı
PAL	Fenilalanin amonyum liyaaz
PEG	Polietilen glikol
PH	Bitki boyu
POD	Peroksidaz
POX	Peroksidaz
PPO	Polifenol oksidaz
RDW	Kök kuru ağırlığı
RWC	Oransal su içeriği
SOD	Süperoksit dismutaz
SP	Çözünebilir protein
STI	Tuz tolerans indeksi
SVI	Tohum canlılık indeksi
SY	Sap verimi
TAL	Tirozin amonyum liyaaz
WRC	Su tutma kapasitesi
YBSİ	Yaprak bağıl su içeriği

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Mısır (*Zea mays* L.), birçok kullanım alanı, ekonomik, besinsel ve çevresel faydaları nedeniyle dünyada 203 milyon ha alanda yaygın olarak yetiştirilen en önemli üçüncü tahıl ürünüdür (FAOSAT, 2022). Mısır, özellikle Afrika, Latin Amerika ve Asya'nın bazı bölgelerinde milyonlarca insan için temel bir gıdadır (Nuss ve Tanumihardjo, 2010). Temel karbonhidratlar, vitaminler ve mineraller bakımından zengin olduğundan hem insan hem de hayvan beslenmesinde önemli bir gıda kaynağıdır (Loy ve Lundy, 2019). Mısır endüstrisi, aynı zamanda tarım ekonomilerinin temel itici gücüdür. İşlenmiş gıda ürünleri, hayvan yemi ve biyoyakıt üretimini destekler (Popp vd., 2016). Bu noktada dünyada mısır yetiştiriciliği, gıda güvenliği, ekonomik büyüme ve çevresel sürdürülebilirlik konularında hayati bir öneme sahiptir.

Bitkilerde stres, büyüme, gelişme ve genel metabolizmayı etkileyebilecek önemli bir faktördür (Hasanuzzaman vd., 2012). Stres faktörleri, abiyotik ve biyotik olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. Abiyotik stres, sıcaklık, su eksikliği, tuzluluk, aşırı ışık gibi çevresel faktörlerden kaynaklanırken, biyotik stres, patojenler, zararlılar ve diğer bitki organizmalarından kaynaklanır. Bitki hücreleri, streslere yanıt vermek için hormonlarını, transkripsiyon düzenleyicilerini ve sinyal dönüştürücüleri kapsayan sinyal yollarını etkinleştirir ve stresle indüklenen genleri düzenlemek için proteinler ve enzimler üretmek için birleşir (Zandalinas vd., 2018). Ancak, bu yanıtlar sınırlıdır ve uzun süreli veya yoğun stres durumları bitkilerin büyüme ve gelişmesini engelleyebilir. Son yıllarda iklim değişikliği nedeniyle kuraklık, sıcaklık dalgalanmaları gibi abiyotik stres faktörlerinin bitkisel üretimi olumsuz etkilemesi daha sık görülmektedir (Alotaibi, 2023).

Küresel ısınma, yetersiz sulama ve yüksek sıcaklık gibi ekolojik dengesizlikler sebebiyle ülkemizde ve dünyada tuzlu toprakların miktarı artış göstermektedir. Toprak tuzluluğu, bitki büyümesine zarar verebilen, tarımsal verimliliği azaltabilen ve su kalitesini etkileyebilen topraktaki çözünür tuzların varlığına işaret eder (Singh, 2022). Günümüzde dünya genelinde ekili arazinin yaklaşık %20'si, ülkemizde ise % 5'i bir dereceye kadar toprak tuzluluğundan etkilenmektedir (Nachshon, 2018; Anonim, 2021). Bu etkilere bağlı olarak verim azalmakta ve bazı araziler aşırı tuzlanma sebebiyle tamamen tarımsal üretimin dışında kalmaktadır.

Türkiye'de gerek bilinçsiz tarım uygulamaları gerekse ekolojik faktörlerden dolayı mevcut arazi varlığının 4.2 milyon ha'ı tuzlanma nedeniyle üretkenliğini kısmen ya da tamamen kaybetmiştir (Doğan, 2011). Bu alanların 1.518.722 ha tuzluluk ve çoraklık, 2.775.115 ha ise az veya çok drenaj sorunu yaşamaktadır (Kendirli vd., 2005). Ülkemizde toprak tuzluluğu, özellikle kurak ve yarı kurak iklimlere sahip bölgelerde tarımsal üretkenliği etkileyen önemli bir sorundur. Sorun, ülkenin güneydoğu ve orta kesimlerinde özellikle yaygındır, ancak kötü sulama uygulamaları, uygunsuz drenaj veya yetersiz toprak yönetimi olan birçok alanda bulunabilir. Türkiye'de toprak tuzluluğu, özellikle sınırlı yağış ve yoğun tarım uygulamalarının olduğu bölgelerde önemli bir sorun olmaya devam etmektedir. Bu sebeple, özellikle ülkemizde yetiştirilen ekonomik öneme sahip kültür bitkilerinin tuz toleransının iyileştirilmesi ve stres toleransı yüksek tarım tekniklerinin uygulanması, gıda güvenliğinin sağlanması ve gelecekteki tarımsal üretimde sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılması açısından önemlidir.

Tuzluluk, mısırın çimlenmesini ve erken fide büyümesini önemli ölçüde etkiler, çünkü tuz stresi bitki gelişimi için gerekli olan fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri bozar (Vennam.vd., 2024). Tuz stresi mısır fidelerinin gelişimi üzerine; büyüme oranında azalma, besin dengesizliği, kloroz ve yaprak hasarı, hormonal dengesizlikler ve metabolik olayların bozulması gibi olumsuz etkilere sahiptir (Hasanuzzaman vd., 2013; Yadav vd., 2022). Bununla birlikte, mısır bitkileri tuz stresine karşı, hücre turgorunu korumak için prolin, betain ve şekerler gibi ozmolitlerin birikimi (Kholova vd., 2010), SOD ve CAT gibi enzimlerin sentezinde artış (Nawaz ve Ashraf, 2010; AbdElgawad vd., 2016) ve iyonik dengeyi korumak için köklerde ve sürgünlerde etkili Na^+ dışlama ve K^+ tutma (Guo vd., 2017; Ali vd., 2021) gibi adaptif mekanizmalar geliştirmiştir.

Tuz direnci bitkilerin tuz stresi altında hayatta kalma ve hasat edilebilir ürün üretme yeteneğidir. Tuzdan etkilenen topraklarda başarılı mısır ekimi için toleranslı genotiplerin ekilmesinin yanısıra eksojen olarak bazı biyouyarıcıların kullanılması ve besin yönetimini kapsayan entegre bir yaklaşıma ihtiyaç duyulabilir (Eker vd., 2006; Güneş vd., 2007; Li vd., 2010). Bu nedenle tarımı yapılan çeşitler arasında toleranslı çeşitlerin belirlenmesi ve tuz toleransını artıracı biyouyarıcıların ortaya koyulması büyük önem taşımaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar dışarıdan sitrik asit uygulamasının, çeşitli abiyotik stres koşulları altında bitkilerde büyüme ve verimi artırdığını ortaya koymuştur. Özellikle sitrik asitin bazı bitki türlerinde [*Gossypium barbadense* (El-Beltagi vd., 2017), *Leymus chinensis* (Sun ve Hong, 2011), *Hibiscus sabdariffa* (Abdellatif ve Ibrahim, 2018), *Melissa officinalis* (Ahmed vd., 2017), *Beta vulgaris* (Ahmed vd., 2017)] tuzluluk toleransını artırdığı ve sonuçta büyümeye ve verime olumlu etkisinin olduğu bildirilmiştir. Mısırdaki ise askorbik veya salisilik asit ile kombinasyon halinde sitrik asitin yaprağa uygulanmasının, tuz stresi koşulları altında mısırın büyümesini ve verimliliğini artırdığı tespit edilmiştir (El-Hawary ve Nashed, 2019). Bu çalışmada; yaprak alanı indeksinde artış, net asimilasyon oranı, hızlı büyüme, CAT, POX, PPO ve PAL aktivitelerinde artış, Prolin ve Na^+ da azalma, K^+ artışı gözlemlenmiştir. Öte yandan doğal, ucuz ve yüksek seviyede (%5 sitik asit) sitrik asit kaynağı olan limon suyunun mısırın tuz toleransı üzerindeki etkileri hakkında yapılmış bir çalışma mevcut değildir. Limon suyunun stres faktörlerine etkisiyle ilgili *Phaseolus vulgaris* bitkisinde kadmiyum stresi altında % 5 limon suyu uygulamasının 0,8 mM sitrik asit uygulamasına göre belirgin şekilde üstün olduğu bildirilmiştir (Rady vd., 2023).

Limon suyu zengin bir organik asit (Sitrik asit, askorbik asit, malik asit vb.), şeker, vitamin, mineral ve karbonhidrat kaynağıdır (Chanukya vd., 2017). Ayrıca; başta fenolik asit, flavonoidler ve flavonlar olmak üzere önemli miktarda fenolik bileşik içerir (Klimek-szczykutowicz vd., 2020). Limon posası ve kabuğunda ise özellikle potasyum, kalsiyum, sodyum, fosfor, çinko ve magnezyum gibi değerli makro ve mikro element içerikleri bulunmaktadır (Czech vd., 2020).

Tuz stresinin etkilerini azaltmak için eksojen sitrik asit ve sitrik asit içeren doğal limon suyu uygulamaları basit, uygulanabilir ve ucuz olmasıyla gelecek vaat etmektedir. Özellikle limon suyunun zengin içeriğine rağmen tuz stresi üzerindeki etkileriyle ilgili neredeyse hiç çalışma yoktur. Bu tez çalışmasıyla; ilk olarak İç Anadolu bölgemize uyum sağlamış bazı mısır çeşitlerinin çimlenme ve çıkış döneminde tuzluluk stresine verdiği tepkiler belirlenmiştir. Daha sonra bu çalışmalar sonucu belirlenen hassas ve dayanıklı 2 mısır çeşidi üzerinde önemli bir sitrik asit kaynağı olan limon suyunun tuzluluk stresini azaltmadaki etkisi incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Irshad vd. (2002)'i kompostlanmış gübre ve ürenin azot kaynakları olarak mısırın (*Zea mays* L.) farklı tuzluluk seviyelerinde büyümesi ve mineral [azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve sodyum (Na)] içeriği üzerindeki etkisini değerlendirmek için serada bir saksı denemesi yürütmüşlerdir. Tuzlu topraklarda son tuzluluk seviyeleri (ECe), sırasıyla S0 (işlenmemiş toprak), S1 (4dSm⁻¹), S2 (9 dSm⁻¹), S3 (13 dSm⁻¹) olarak gösterilmiştir. Tuzlu toprakların pH'ı 7,1 ile 7,4 arasında değişmiştir. Azot; üre, kompostlanmış gübre, ½ üre + ½ kompostlanmış gübre ve kontrol (N gübresi yok) olmak üzere dört seviyede uygulanmıştır. Uygulanan üç N seviyesinin her biri 200 kg ha oranındaydı ve ayrıca bir temel P ve K dozu uygulanmıştır. Sonuç olarak; mısır boyu ve kuru madde üretimi, artan tuzluluk seviyeleriyle birlikte azalmıştır. Kompostlanmış gübre ve üre gübresinin uygulanması, işlenmemiş kontrole kıyasla bitki büyümesini ve besin maddesi alımını artırmıştır. Mısır büyümesi, kompostlanmış gübreye göre üre gübresi altında daha iyi olmuştur. Besin maddesinin alımı ayrıca tuzluluk ve uygulanan gübre formundan da etkilenmiştir. Sürgünlerin kalsiyum, Mg ve Na alımı, gübre seviyesinden bağımsız olarak artan tuzluluk seviyesiyle artmıştır. Ancak, herhangi bir tuzluluk seviyesi için, bu elementlerin alımı şu sırayla farklılık göstermiştir: üre > üre + gübre > kompostlanmış gübre > kontrol. Azot alımı, S2'ye kadar artan tuzlulukla azalırken, P ve K S3'e kadar azalmıştır. Tuzluluktan bağımsız olarak, N, P ve K alımı, gübre ve kontrole kıyasla üre ve üre + gübre uygulamalarında daha yüksek olmuştur. Kompostlanmış gübrenin zayıf tepkisi, kısa süreli uygulanmasından veya tuzlu koşullar altında engellenen N mineralizasyonundan kaynaklanıyor olabilir.

Shahzad vd. (2004)'nin yaptıkları çalışmada hassas mısır bitkisinin tuzluluğa yanıt olarak büyümesindeki azalmanın, yaprak apoplastındaki daha yüksek Na⁺ ve Cl⁻ konsantrasyonlarıyla ilişkili olup olmadığını incelemişlerdir. Sağlam yapraklardaki hücre içi iyon örüntüleri, deiyonize su infiltrasyonu kullanılarak araştırılmıştır. Kontrole karşılaştırıldığında çözünür Na⁺ ve Cl⁻ konsantrasyonlarında sırasıyla yaklaşık 16 ve 4 kat artış bulunmuştur. Bu konsantrasyonlar, tamamen tuzluluk altında gelişen genişleyen yaprakların apoplastlarını karakterize etmiştir. İlginç bir şekilde, K⁺ konsantrasyonu, tuzluluk altında kontrole kıyasla %64 oranında azalmıştır. Sürgünlerdeki önemli ölçüde azalmış Ca²⁺ konsantrasyonu bulgumuz, Ca²⁺ konsantrasyonunun tuzluluk altında yaprak genişlemesindeki azalmayla olası bir ilişkisi olduğunu düşündürmüştür. Tuz uygulaması

sırasında apoplastik Na^+ konsantrasyonundaki mutlak artış, simplastik Na^+ konsantrasyonundaki artışa kıyasla çok daha düşük olduğundan, mısırdaki tuz uygulamasının, diğer bitki türlerinde öne sürüldüğü gibi yüksek apoplastik Na^+ konsantrasyonunun neden olduğu ozmotik strese yol açmadığı görülmüştür.

Eker vd. (2006)'i tarafından 19 melez mısır (*Zea mays* L.) çeşidinin tuz stresine toleransı, kontrollü çevre koşulları altında erken büyüme aşamasında besin solüsyonunda test edilmiştir. Tuz stresi uygulaması için, hasattan 6 gün önce besin solüsyonuna 250 mM konsantrasyonda sodyum klorür (NaCl) uygulanmıştır. Bitkiler 17 günlük büyümeden sonra hasat edilmiş ve sürgün ve kök kuru madde üretimi, yaprak hasarının şiddeti (daha yaşlı yapraklardaki nekrotik yamalar) ve kökler ile sürgünlerdeki potasyum (K), sodyum (Na) ve kalsiyum (Ca) konsantrasyonları açısından analiz edilmiştir. Çeşitler, NaCl uygulamasına verdikleri yanıtta büyük farklılıklar göstermiştir. 250 mM NaCl'nin neden olduğu yaprak semptomlarının gelişme süresi ve şiddeti, çeşitler arasında belirgin şekilde değişmiştir. Yaprak semptomlarının şiddetine göre, Maverik ve C.7993 çeşitleri sırasıyla en toleranslı ve en hassas çeşitler olarak sınıflandırılmıştır. NaCl uygulamasının bir sonucu olarak sürgün kuru madde üretimindeki azalmalar, kök büyümesindeki azalmalardan daha yüksek bulunmuştur. Yaprak semptomlarının şiddetine göre mısır çeşitlerinde daha yüksek tuz toleransı, sürgünlerde önemli ölçüde daha düşük Na konsantrasyonlarıyla ilişkilendirilmiştir. K/Na ve Ca/Na oranları, toleranslı çeşitlerin çoğunda önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. En hassas çeşit olan C.7993, en toleranslı çeşit olan Maverik'ten sürgünlerde 4 kat daha fazla Na konsantrasyonu içerdiği belirlenmiştir. RX.9292 ve MF.714 çeşitleri de sürgünlerde çok yüksek Na içeriyor olup yapraklarda ciddi toksisite semptomları göstermiştir. Maverik'in yanı sıra, düşük sürgün Na konsantrasyonları ile P.3394 ve P.3223 de toleranslı çeşitler olarak kabul edilmiştir. Tuz uygulaması altında, K/Na oranları ile sürgün kuru madde üretimi ($r = 0.541^{***}$), K/Na oranları ile yaprak hasarı ($r = -0.411^{***}$) ve Ca/Na oranları ile sürgün kuru madde üretimi ($r = 0.444^{***}$) arasında önemli korelasyonlar bulunmuştur, sonuçlar, mısırdaki NaCl toksisitesine karşı toleransta geniş bir genotiple çeşitliliğin varlığını göstermektedir ve bu durum, erken büyüme aşamalarında yüksek NaCl toleransına sahip mısır çeşitleri geliştirmeyi amaçlayan ıslah programlarında değerlendirilmelidir. Ölçülen iyonlar arasında sürgün Na konsantrasyonu, çeşitlerin tuz stresine toleransları açısından sıralanmasında güvenilir bir tarama parametresi olarak tespit edilmiştir.

Hussein vd. (2007)'i tuzluluk stresi altında ve salisilik asidin mısır bitkilerinin büyümesi üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir saksı çalışması yürütmüşlerdir. Vejetatif büyüme parametreleri ile sulama suyundaki tuz konsantrasyonundaki artış arasında negatif bir ilişki tespit edilmiştir. Yeşil yaprak alanı çoğunlukla 250 ppm tuz içeren suyla (kontrol) sulanan bitkilerde 5102 cm²'den 4000 ppm (53.18%) içeren suyla sulanan bitkilerde 2389 cm²'ye düşmüştür. Ayrıca, gövde, yaprak ve tüm bitkinin kuru ağırlığı yaklaşık olarak benzer tepki göstermiştir. 4000 ppm tuzlu su ile sulandığında gövde, yaprak ve tüm bitki kuru ağırlığındaki düşüş kontrole kıyasla %57.29, %47.43 ve %51.43 oranında olmuştur. Bitkilere 200 ppm oranında salisilik asit püskürtülmesi bitki boyu, yeşil yaprak sayısı ve alanı, gövde çapı ve gövde, yaprak ve tüm bitkinin kuru ağırlığı olmak üzere tüm büyüme karakterlerini iyileştirmiştir. En yüksek artış gövde kuru ağırlığında, en düşük artış ise gövde çapında gösterilmiştir. Prolin ve glisin hariç tüm aminoasit konsantrasyonları tuzluluk nedeniyle düşmüştür. Tüm belirli aminoasit konsantrasyonları (metiyonin hariç) salisilik asit uygulamasıyla (200 ppm) artmıştır. Öte yandan metiyonin hafifçe düşerek negatif yanıt vermiştir. Tatlı suyla sulanan bitkilerde SA, sistin üzerinde daha yüksek etkisini göstermiş, bunu arginin ve tirozin takip etmiş, diğer aminoasitler ise hafifçe etkilenmiştir. Serin fenilalanin ve tirozin yaklaşık olarak benzer tepki göstermiştir. Ancak, 4000 ppm muamelesinde, salisilik asit arginin, lisin, serin ve glutamik asit konsantrasyonunu iyileştirmiştir. 4000 ppm tuzlu su ile sulanan bir mısır bitkisi, kontrole karşılaştırıldığında yaprak alanını ve gövde, yaprak ve tüm bitkinin kuru ağırlığını sırasıyla %53.18, %57.29, %47.43 ve %51.43 oranında azaltırken, 200 ppm yapraktan uygulanan salisilik asit tuzluluğun zararlı etkilerini düzelterek bitki boyunu iyileştirmiştir. Ayrıca salisilik asit uygulaması stres koşullarında prolin birikimini ve arjinin, lisin, serin ve glutamik asit gibi aminoasit içeriklerini arttırdığı ve salisilik asit uygulamasının aynı zamanda mısırdaki tuzluluğun neden olduğu besin dengesizliğinin üstesinden gelmeye de yardımcı olduğu bildirilmiştir.

Tuna vd. (2008)'i tarafından tuz stresi ve gibberellik asitin (GA3) mısırın bitki büyümesi ve beslenme durumu üzerindeki birleşik etkileri bir saksı deneyinde incelenmiştir. Uygulamalar (1) kontrol (C): sadece besin çözeltisi, (2) tuz stresi (S): 100 mM NaCl, (3) S + GA1: 100 mM NaCl ve 50 ppm GA 3 ve (4) S + GA2: 100 mM NaCl ve 100 ppm GA 3 olarak belirlenmiştir. Tuz stresinin (S) toplam kuru maddeyi, klorofil içeriğini, bağıl su içeriğini (RWC) azalttığı, ancak prolin birikimini, süperoksit dismutaz (SOD; EC

1.15.1.1), peroksidaz (POD; EC 1.11.1.7) ve polifenol oksidaz (PPO; 1.10.3.1) enzim aktivitelerini ve elektrolit sızıntısını artırdığı bulunmuştur. GA3 uygulamaları, NaCl stresinin yukarıdaki fizyolojik parametreler üzerindeki olumsuz etkilerinin değişken ölçülerde üstesinden gelmiştir. GA3 uygulamaları, tuz stresi altındaki bitkilerde enzim aktivitelerini ve bazı makro-mikro besin konsantrasyonlarını azaltmıştır. Ancak, GA3'ün ekzojen uygulaması bunları kontrol uygulaması seviyelerini yükseltmiştir. GA3'ün yaprak uygulaması, membran geçirgenliğini koruyan ve makro ve mikro besin seviyelerini artıran prolin birikimiyle NaCl tuzluluğunun bazı olumsuz etkilerini ortadan kaldırmıştır.

Munns ve Tester (2008) tarafından yapılan çalışmada, mısırdaki tuz stresinin etkileri, direnç mekanizmaları ve yönetimi incelenmiştir. Sonuç olarak; 1. Çimlenme ve fide gelişim aşamaları, daha sonraki gelişim aşamalarına göre tuz stresine daha duyarlı bulunmuştur. 2. Yüksek rizosfer sodyum ve klorürü, bitkinin azot, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve demir alımını azaltmıştır. 3. Azalmış tane ağırlığı ve sayısı, tuz stresi altındaki mısırdaki düşük tane verimine neden olmuştur. 4. Aşırı sodyumun dışlanması veya vakuollere bölünmesi, tuz stresi altındaki mısır için önemli bir adaptif strateji olduğu belirlenmiştir. 5. Antioksidan savunma genlerinin ve β -ekspansin proteinlerinin yukarı düzenlenmesi, mısırdaki tuz direnci için önemli bulunmuştur. 6. Arbusküler mikorizal mantarlar, daha iyi bitki besin maddesi bulunabilirliği nedeniyle mısırdaki tuz direncini iyileştirmiştir. 7. Tohum priming uygulamalarının, tuz stresi altında mısır çimlenmesini iyileştirmek için etkili bir yaklaşım olduğu gösterilmiştir. 8. Tuz stresi için varyasyonun taranması, ıslah süreçleri ve iyon homeostaz mekanizmalarının tüm bitki için işlevsel bir paradigmaya entegre edilmesinin, mısırdaki tuz direncini artırmaya yardımcı olabileceği bildirilmiştir.

Kaya vd. (2010)'nin tarla koşullarında yaptıkları çalışmada; tuz stresi altında yetişen mısır bitkilerine yapraktan uygulanan kinetin ve indol asetik asitin etkileri incelenmiştir. Tuzluluk stresi, damla sulama sistemiyle verilen sulama suyuna sulama programı boyunca 100 mM NaCl ekleyerek yaratılmıştır. Kinetin (KIN), indol asetik asit (IAA) ve diğer kombinasyonlar yapraktan püskürtülmüştür. Tuz stresi (S) mısırın toplam kuru ağırlığını, klorofil içeriğini, oransal su içeriğini (RWC) azaltmıştır, fakat elektrolit sızıntıyı, ve prolin birikimini artırmıştır. Hem yaprağa uygulanan KIN ve hem de IAA uygulamaları daha önce bahsedilen fizyolojik parametreler üzerindeki tuzun olumsuz etkilerini belirli düzeyde gidermişlerdir. Ancak, KIN + IAA kombinasyonu mısır bitkisinde tuza toleransı geliştirmemiştir. Tuz stresi mısır bitkisinin yapraklarında Na^+ konsantrasyonunu artırmış ve

Ca_2^+ ve K^+ 'ninkini ise azaltmıştır. Hem KIN ve hem de IAA yaprak uygulamaları Na konsantrasyonunu önemli düzeyde düşürmüş ve Ca_2^+ ve K^+ 'nın konsantrasyonlarını ise yükseltmiştir. Özellikle 2 mM KIN ve IAA yaprak uygulamaları zorunlu inorganik besin elementlerinin alımını artırarak ve hücre zarı geçirgenliğini düzenleyerek tuzun zararlı etkilerini azaltmışlardır.

Akram vd. (2010)'i tuzlu şartlarda (ECe 5.71-8.91 dSm⁻¹) iki mısır melezinin harici K uygulamasına tepkisini incelemek için bir tarla çalışması yürütmüşlerdir. Veriler, dış K artışıyla birlikte farklı büyüme ve verim bileşenlerinde de artış olduğunu göstermiştir. Kontrol uygulaması açısından K 175 kg ha⁻¹ oranında uygulandığında artış daha belirgin olmuştur. Tuzlu koşullar altında bu hibritlerin artan büyümesi ve verimi, Na alımının azalmasıyla sonuçlanan K uygulamasının tepkisine bağlı olabilir. Sonuçlar Pioneer 32B33 hibritinin Dekalb 979 hibritinden daha iyi performans gösterdiğini ve 125 kg ha⁻¹ oranında potasyum uygulandığında ekonomik verim alınabileceğini gösterdi.

Bakht vd. (2011), 6 dS m⁻¹ NaCl ile tohum ön uygulamasının, üç tuzluluk seviyesine (0, 6, 8 dS m⁻¹) maruz bırakılan iki mısır çeşidinin (Azam ve Sarhad sarı) büyüme ve verim tepkileri üzerindeki etkisini incelemek için bir deney yürütmüşlerdir. Verilerin istatistiksel analizi, çeşitlerin, tuzlu su ile tohum ön uygulamasının (6 dS m⁻¹) ve daha sonra tuzluluk stresine maruz kalmanın, çimlenme, çıkışa kadar geçen gün sayısı, bitki boyu, sürgün taze ağırlığı, sürgün kuru ağırlığı, yaprak alanı, sürgün Na⁺, K⁺, prolin, absisik asit içerikleri ve verim değişkenleri üzerinde önemli (p < 0,05) bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Sonuçlar, artan tuzluluk seviyesinin çalışılan her iki çeşidin de büyümesi ve gelişimi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Verilerin analizi ayrıca, farklı tuzluluk seviyelerine maruz bırakıldığında mısır çeşidi Azam'ın çeşidi Sarhad sarı'dan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Azam çeşidinin NaCl ile ön işlemdaha erken çıkış (2 gün) ve çimlenme oranı (%31,92), bitki boyu (%12), sürgün prolini (950,33 µg g⁻¹ taze ağırlık) ve ABA seviyeleri (0,983 ve 1,203 µg g⁻¹ taze ağırlık) ve verim (ön ekimsiz işleme göre %36) ile sonuçlanmıştır. Bu sonuçlar, mısır tohumlarının ekimden önce NaCl ile ön işleminin fizyolojik ve biyokimyasal değişikliklere neden olduğunu ve bunun da daha sonra farklı tuzluluk seviyelerine maruz kaldığında daha iyi performansla sonuçlandığını göstermiştir.

Sun vd. (2011)'nin yaptığı çalışmada; bazı bitkilerin çevresel stres durumunda prolin gibi osmolitleri biriktirdiği ve bunun hücre turgorunu yeterli düzeyde tutarak büyümeyi desteklediği, dolayısıyla bitki büyümesini iyileştirdiği bildirilmiştir. Ancak, stres koşullarında organik asitlerin koruyucu rolleri konusunda yeterli kanıt olmadığı ve bu çalışmada stres tepkisinin bir bileşeni olarak sitrik asidin bitki büyümesi ve antioksidan enzim aktiviteleri üzerindeki etkilerini iki *Leymus chinensis* (Trin.) halofit genotipinde, (LcWT07 ve LcJS0107 araştırdıklarını belirtmişlerdir. Veriler, hem tuz stresi (200 mM NaCl) hem de alkali stresin (100 mM Na₂CO₃), nispi büyüme hızı ve CO₂ asimilasyon oranı üzerinde bitki büyümesini azalttığını ancak, 6 haftalık bitkilerdeki sitrik asit konsantrasyonlarını 72 saatlik deney süresince artırdığını göstermiştir. Stres koşulları altında 50 mg l⁻¹ sitrik asit dışarıdan uygulandığında, bitki büyümesini ve iç sitrik asit konsantrasyonunu önemli ölçüde iyileştirmiş ve ayrıca antioksidan enzim aktivitelerini artırarak savunma mekanizmalarını tetiklemiştir. Stres üzerindeki dışsal sitrik asidin azaltıcı etkilerini karşılaştırmak için, aynı koşullar altında prolinin dışarıdan uygulanması da gerçekleştirilmiş ve büyümenin iyileştirilmesi üzerinde benzer etkiler gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara dayanarak, sitrik asidin *L. chinensis*'te stres tepkisinin önemli bir bileşeni olduğunu ve 50 mg l⁻¹ sitrik asidin dışsal uygulanmasının stres toleransı üzerinde olumlu bir rol oynayabileceğini önermişlerdir.

Janmohammadi vd. (2012)'i tarafından ekim öncesi tohum uygulamalarının (kontrol, 96 saat boyunca -1,2 MPa üre ile ozmopriming ve 36 saat boyunca hidropriming) mısırın çimlenmesi ve erken büyümesi üzerindeki etkisi, 0,0, -0,4, -0,8 ve -1,2 MPa tuzluluk ve kuraklık stresi altında incelenmiştir. Çimlenme ve erken büyüme her iki stresten de etkilenirken, aynı ozmotik potansiyellerde PEG'nin baskılayıcı etkisi NaCl'den daha şiddetli bulunmuştur. Hidropriming, hem stres hem de stres olmayan koşullar altında son çimlenme yüzdesi, çimlenme indeksi, fide canlılık indeksi ve fide uzunluğu olarak sunulan çimlenmeyi ve fide büyümesini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Hidropriming uygulamasının, tuzluluk ve kuraklık stresinin çimlenme ve fide erken büyümesi üzerindeki etkilerini hafifletebileceği belirlenmiştir. Bu çalışma, hidropriming'in tuzlu ve kuraklığa eğilimli ortamlarda uygun bir tohum canlandırma işlemi olabileceğini göstermiştir.

Abraham ve Yohannes (2013), beş tuzluluk seviyesine maruz bırakılan mısır fidelerinin büyümesi üzerinde 5 g/L NaCl ile tohum ön hazırlık işleminin etkisini araştırmışlardır. Mısır tohumları oda sıcaklığında 12 saat boyunca 5 g/L NaCl çözeltisinde

bekletilmiş ve tohumlar saksılara ekilerek beş konsantrasyondaki (0, 2, 4, 6 ve 8 g/l NaCl) iki gün arayla 200 ml tuzlu çözeltilerle sulanmıştır. Tohumların NaCl ile ön hazırlık işlemi, mısır bitkilerinin büyümesini önemli ölçüde ($P < 0,05$) iyileştirmiştir. Sonuç olarak, sürgün ve köklerin taze ve kuru ağırlıkları iyileşmiştir. Tohum ön uygulaması, tuz stresi altındaki mısır fidelerinin büyümesi üzerindeki tuz stresinin engelleyici etkisini hafifletmiştir. Bu nedenle, 5 g/l NaCl ile tohum ön uygulaması, *Zea mays*'ın erken büyümesini iyileştirmek için kullanılabilir.

Köse (2015), yaptığı çalışmada tuz stresinin birinci aşama (ozmotik stres) ve ikinci aşama (iyon toksisitesi) etkilerinin bazı mısır hibritleri (Pioneer 3906, SR 03, SR 05 ve SR 12) ile sorgum genotiplerinin (M71, Ji-2731, E-tian, SS79, 2007, Btx 623) gelişimi üzerine etkisini incelemiştir. Bitkiler hasattan önce altı gün tuz stresine (mısır; 150 mM, sorgum; 200 mM NaCl) maruz bırakılmış, çalışma kontrollü şartlar altında büyüme odalarında yürütülmüştür. Bütün bitkiler tuz stresi altında bitki büyümesinde azalma göstermiş ancak çeşitler tuz stresine aynı yanıtı vermemişlerdir. Tuza dayanıklı mısır hibritleri (SR 03, SR 05 ve SR 12), tuz stresinin ilk aşamasında tuza hassas çeşitten (Pioneer 3906) daha fazla bitki büyümesi sağlayabilmişlerdir. Ancak, tuz stresinin (150 mM NaCl) ikinci aşamasında SR hibritler Pioneer 3906'ten daha fazla etkilenmişlerdir. Sorgum genotipleri de tuz stresi (200 mM NaCl) altında büyüme performansında farklılık göstermişlerdir. Sorgum çeşitleri arasında 2007 genotipi tuz stresinin ilk aşamasında diğer çeşitlere göre daha dayanıklı bulunmuşken M71 genotipi tuz stresinin ikinci aşamasında en dayanıklı bulunan çeşittir.

Oo vd. (2015)'i, kompost ve solucan gübresinin toprak düzenleyici olarak tuzdan etkilenmiş toprakların iyileştirilmesinde ve mısır verimliliğinin artırılmasındaki etkinliğini araştırmışlardır. 2011 yağışlı sezonunda, Tayland'daki Khon Kaen Üniversitesi'nde tamamen rastgele düzenlenen ve üç tekrarlı yedi toprak iyileştirici uygulamanın bulunduğu bir sera denemesi kurulmuştur. Kompost ve solucan gübresi uygulamalarının yapıldığı muamelelerde, büyüme sezonu boyunca tuzlu ve tuzsuz iki farklı toprak tipinde, kontrol grubuna (gübre kullanılmayan) kıyasla bitki boyu ve toplam kuru madde miktarı artmıştır. Kompost ve solucan gübresi uygulamaları, solucanlar ile ya da solucansız olarak tuzlu toprakta, toprak pH'sını ve elektriksel iletkenliği kontrol grubuna kıyasla azaltmıştır. Bu uygulamalar, her iki toprakta katyon değişim kapasitesini, toprak organik karbonunu, toplam azotu ve alınabilir fosforu artırmıştır. Ayrıca, kompost ve solucan gübresi uygulamaları tuzlu toprakta değişebilir K^+ , Ca^{2+} ve Mg^{2+} değerlerini artırırken değişebilir Na^+ miktarını

azaltmıştır. Bu durum, Ca^{2+} 'nin Na^+ ile yer değiştirerek, değişebilir Na^+ 'nın yıkanıp toprağı terk ettiğini ve bu nedenle toprak tuzluluğunun azaldığını göstermektedir. Toprak mikrobiyal aktiviteleri, mikrobiyal C ve N ile temel toprak solunumu, her iki toprakta kompost ve solucan gübresi uygulamaları ile (solucanlar ile veya solucansız) kontrol grubuna kıyasla iyileştirilmiştir. Bu çalışma, kompost ve solucan gübresinin tuzluluğu azaltmada ve bitki büyümesini iyileştirmede etkili olduğunu göstermiştir.

Gao vd. (2016)'ne göre mısır, tuz stresine karşı orta derecede duyarlıdır; bu nedenle, toprak tuzluluğu, dünya çapında mısır üretimi için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu çalışmada, tuz stresine karşı tepkilerini ve tolerans mekanizmalarını anlamak amacıyla, mükemmel tuz toleranslı mısır saf hattı TL1317 ve son derece tuz hassas mısır saf hattı SL1303 taranmıştır. Göreli su içeriği, membran stabilite indeksi, stomatal iletkenlik, klorofil içeriği, maksimum fotokimyasal verimlilik, fotokimyasal verimlilik, sürgün ve kök taze/kuru ağırlığı, prolin ve suda çözünebilen şeker içeriği analizleri, tuz stresinin osmotik stres etkilerinin mısırdaki belirgin olduğunu ve yaklaşık 3 gün sonra kendini gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, iki mısır saf hattının iyon konsantrasyonları, tuz toleranslı mısır saf hattının, yaşlı yapraklarda Na^+ birikimini sağlayarak ve zamanla bu yaprakları dökerek düşük Na^+ konsantrasyonunu koruyabildiğini göstermiştir. Buna ek olarak, köklerin K^+ alımı ve tutma yetenekleri, mısırdaki tuz toleransını sağlamak için K^+ homeostazını korumada önemli olmuştur. RNA-seq ve qPCR sonuçları, bazı Na^+/H^+ antiporter genleri ve Ca^{2+} taşıma genlerinin TL1317'de, SL1303'e kıyasla daha hızlı ve daha yüksek bir şekilde yukarı regüle olduğunu ortaya koymuştur. Bazı K^+ taşıma genleri SL1303'te aşağı regüle edilmiş, ancak TL1317'de yukarı regüle edilmiştir. RNA-seq sonuçları, fenotip ve fizyolojik sonuçlarla birlikte, tuz toleranslı mısır saf hattı TL1317'nin, tuz stresinde toksik Na^+ iyonlarını uzaklaştırma ve K^+ seviyelerini koruma konusunda, tuz hassas mısır saf hattı SL1303'ten daha hızlı ve etkili bir yanıt verdiğini göstermektedir. Bu yanıt, tuz stresinde hücre homeostazını kolaylaştırmalı ve TL1317'de tuz toleransına yol açmalıdır.

Hu vd. (2016)'nin yaptığı çalışmada; sitrik asidin, bitkilerin yüksek sıcaklığa karşı tepkisinde rol oynayabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmanın amacı, dışarıdan uygulanan sitrik asidin soğuk mevsim çim türlerinden biri olan kamışsı yumak (*Lolium arundinaceum*) üzerindeki sıcaklık toleransını artırıp artırmadığını ve sitrik asidin sıcaklık stresi toleransı üzerindeki fizyolojik mekanizmalarını belirlemek olmuştur. Çimler, dört farklı sitrik asit

seviyesi (0, 0.2, 2 ve 20 mM) ve iki farklı sıcaklık seviyesi (25/20 ve 35/30 $\pm$ 0.5°C, gündüz/gece) ile büyüme odalarında muamele edilmiştir. Sıcaklık stresi, elektrolit sızıntısını (EL) ve malonaldehit (MDA) içeriğini artırırken, bitki büyümesini, klorofil (Chl) içeriğini, fotokimyasal verimliliği (Fv/Fm), kök aktivitesini ve antioksidan enzim aktivitelerini (süperoksit dismutaz, SOD; katalaz, CAT; peroksidaz, POD) azaltmıştır. Dışarıdan uygulanan sitrik asit, yüksek çim üzerindeki sıcaklık stresinin zararlı etkilerini hafifletmiş; bu durum, EL ve MDA içeriğinde azalma ve stres koşullarında bitki büyümesinin iyileşmesiyle kanıtlanmıştır. Ayrıca, sıcaklık stresi altındaki bitkilerde sitrik asit uygulaması, Chl içeriği, Fv/Fm, SOD, POD, CAT ve kök aktivitesindeki azalmayı hafifletmiştir. Yüksek sıcaklık, sitrik asit uygulaması sonrası sıcaklık stresi altında daha yüksek düzeyde ifade edilen ısı şok proteini (HSP) genlerinin ekspresyonunu indüklemiştir. Bu sonuçlar, dışarıdan uygulanan sitrik asidin, yüksek sıcaklıkların neden olduğu büyüme ve fizyolojik zararları hafifletebileceğini göstermektedir. Ayrıca, dışsal sitrik asit uygulamasının, zar stabilitesini korumaktan, kök aktivitesini sürdürmekten ve antioksidan yanıt ile HSP genlerinin aktivasyonundan sorumlu olabileceği ve bu etkilerin kamışsı yumakta sitrik asidin koruyucu rolüne katkıda bulunabileceği öne sürülmektedir.

Farida vd. (2017)'i toprak ve suyun ağır metaller ve metaloidlerle kirlenmesi, sağlıklı gıda ve güvenli su kıtlığına yol açma potansiyeli nedeniyle, en çok tartışılan ve acil küresel sorunlardan biri olduğunu bildirmişlerdir. Bilim camiası, metaller ve metaloidlerle kirlenmiş toprak ve suyu iyileştirmek için laboratuvar ve saha temelli fiziksel, kimyasal ve biyolojik çözümler önermektedir. Bu çalışma, sitrik asidin (CA) şelatlama rolü altında, kirlenmiş topraktan ayçiçeği bitkisi tarafından krom (Cr) ekstraksiyonu olasılığını araştırmaktadır. Ayçiçeği bitkileri farklı Cr (0, 5, 10 ve 20 mg/kg⁻¹) ve CA (0, 2,5 ve 5 mM) konsantrasyonlarında yetiştirilmiştir. Büyüme, biyokütle, gaz değişimi, fotosentez, elektrolit sızıntısı (EL), reaktif oksijen türleri (ROS; malondialdehit (MDA), hidrojen peroksit (H₂O₂)) ve antioksidan enzim aktiviteleri (süperoksit dismutaz (SOD), guaiakol peroksidaz (POD), askorbat peroksidaz (APX), katalaz (CAT)) ölçülmüştür. Sonuçlar, topraktaki Cr konsantrasyonunun artmasıyla birlikte bitki boyunda, kök uzunluğunda, yaprak alanında, bitki başına yaprak ve çiçek sayısında, ayrıca tüm bitki parçalarının taze ve kuru biyokütlesinde belirgin bir düşüş olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, klorofil a ve b, toplam klorofil, karotenoidler, çözünebilir proteinler, gaz değişim özellikleri ve SPAD değerlerinde de azalma gözlemlenmiştir. Artan Cr konsantrasyonu, bitki kökleri, gövde ve

yapraklarında Cr alımını ve birikimini artırmış, ayrıca ROS ve EL üretimini de yükseltmiştir. Antioksidan enzimlerin aktiviteleri, Cr konsantrasyonu 0'dan 10 mgkg⁻¹'a çıktıkça artmış, ancak 20 mgkg⁻¹ toprakta azalmıştır. CA uygulaması, Cr'nin bitki büyümesi, biyokütle, fotosentez, gaz değişimi, çözünebilir proteinler ve SPAD değeri üzerindeki baskılayıcı etkisini önemli ölçüde hafifletmiştir. CA'nın varlığı, tüm antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırmış ve ROS ile EL üretimini azaltmıştır. CA'nın şelatlama potansiyeli, Cr'nin bitki kökleri, gövde ve yapraklarında konsantrasyonunu ve birikimini artırmıştır. Sonuç olarak, ayçiçeği, CA uygulaması altında Cr'nin giderimi için potansiyel bir aday olabilir. Bununla birlikte, bu olasılık genotipe, Cr seviyesine ve CA konsantrasyonuna bağlı olarak değişebilir.

Sallah vd. (2017)'i fitoekstraksiyonun, özellikle kirlenmiş sulardan ve metal ile kirlenmiş topraklardan kirleticilerin, özellikle ağır metal(loid)lerin giderilmesi için uygun maliyetli ve çevre dostu bir teknik olduğu bildirmiştir. Ancak, büyüme ortamındaki ağır metallerin düşük kullanılabilirliği nedeniyle ağır metallerin fitoekstraksiyonu genellikle sınırlıdır. Organik şelatlayıcılar, büyüme ortamındaki metallerin hareketliliğini ve çözünürlüğünü artırarak fitoekstraksiyonu iyileştirebilir. Bu çalışma, *Lemna minor* (su mercimeği) tarafından krom (Cr) fitoekstraksiyonunun sitrik asit (CA) ile iyileştirilme olasılığını incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, sağlıklı bitkiler yakındaki bataklıktan toplanmış ve kontrollü koşullar altında hidroponik sistemde yetiştirilmiştir. Bataklık suyunun fizikokimyasal özellikleri ile birlikte hem suyun hem de bitkilerin başlangıçtaki metal içerikleri ölçülmüştür. Hidroponik sistemde belirli aralıklarla farklı Cr ve CA konsantrasyonları farklı kombinasyonlarla uygulanmıştır. Sürekli havalandırma sağlanmış ve pH 6.5 ± 0.1 seviyesinde tutulmuştur. Sonuçlar, artan Cr konsantrasyonlarının bitki biyokütlesini, fotosentetik pigmentleri, yaprak alanını ve antioksidan enzim aktivitelerini (örneğin katalaz, askorbat peroksidaz, süperoksit dismutaz, peroksidaz) önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Ayrıca, Cr stresi bitkilerde Cr konsantrasyonlarını, elektrolit sızıntısını, hidrojen peroksit ve malondialdehit içeriklerini artırmıştır. CA ilavesi, bitkilerde Cr kaynaklı toksisiteyi hafifletmiş ve *L. minor*'da Cr alımını ve birikimini artırmıştır. CA'nın eklenmesi, *L. minor*'daki Cr konsantrasyonunu, sırasıyla, 0, 10, 100 ve 200 μM Cr uygulamalarında CA olmadan yapılan uygulamalara kıyasla %6.10, %26.5, %20.5 ve %20.2 oranında artırmıştır. Genel olarak, bu çalışmanın sonuçları, CA ilavesinin bitki büyümesini

ve antioksidan enzim aktivitelerini artırarak *L. minor*'da Cr birikimini ve toleransını iyileştirebileceğini göstermektedir.

El Hawary ve Nashed (2019) bu araştırmada, tuzlu toprak koşullarında yetiştirilen mısır bitkisinin büyüme ve verimliliği üzerinde farklı oranlarda dışarıdan uygulanan antioksidanların fizyolojik etkisini incelemektedir. Çalışma, Mısır'ın sarı mısır üçlü melez 352 çeşidinin tuzlu toprak koşullarında yetiştirildiği Güney Port Said, Mısır'daki bir tarlada, 2016 ve 2017 yıllarında gerçekleştirilen iki ardışık yaz sezonu boyunca yapılmıştır. Araştırmada, askorbik asit, sitrik asit ve salisilik asit gibi dışarıdan uygulanan antioksidanların, her biri için 100 ppm ve 200 ppm konsantrasyonları ile üç antioksidanın 100 ppm karışımının etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre 100 ppm antioksidan karışımının yapraktan uygulanması, bitki boyu, yaprak alanı indeksi (LAI), ürün büyüme hızı (CGR), net asimilasyon hızı (NAR), fotosentetik pigmentler, çözünür şekerler, antioksidan enzimleri [katalaz (CAT), polifenol oksidaz (PPO), peroksidaz (POD), fenilalanin amonyum liyaz (PAL) ve tirozin amonyum liyaz (TAL)], potasyum içeriği, koçan uzunluğu, koçan başına tane ağırlığı, 100 tane ağırlığı, tane ve sap verimlerini artırmıştır. Bu etkiler, 200 ppm askorbik asit (AA) ile yapılan yapraktan uygulamadan sonra gelmiştir. Bununla birlikte, prolin, sodyum içeriği ve yapraklardaki sodyum/potasyum oranı kontrol grubuna kıyasla azalmıştır.

Chakroborty vd. (2022) bu çalışmada, sitrik asidin (CA) tohum hazırlama ve dışsal bir ajan olarak, tuz stresi nedeniyle engellenen çimlenme ve bamy bitkilerinin erken büyümesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, tohumlar CA (1 mM ve 2 mM) ile ön işleminden geçirilmiş ve 60 dakika boyunca distile suda (kontrol) bekletilmiştir. Çimlenen tohumlar hidroponik çözelti içerisinde büyütülmüş ve tuz stresine (50 mM ve 100 mM NaCl) maruz bırakılmıştır. Aynı CA konsantrasyonları (1 mM ve 2 mM) dışarıdan püskürtülerek üç bağımsız tekrarla uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 1 mM CA ile yapılan tohum hazırlama, kontrol grubuna kıyasla en yüksek çimlenme yüzdesi (GP), çimlenme indeksi (GI), çimlenme enerjisi (GE), tohum canlılık indeksi (SVI), radikula uzunluğu ve ağırlığı, hipokotil uzunluğu ve ağırlığı ile yan kök sayısını sağlamış; ayrıca çimlenme süresini azaltmıştır. Bulgular, tuz stresinin kök ve sürgün uzunluğunu, bitki boyunu, kök ve sürgün yaş ve kuru ağırlıklarını ve relatif su içeriğini (RWC) önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Ancak, 1 mM ve 2 mM CA'nın tuz stresi altında RWC, kök ve sürgün uzunluğu, yaş ve kuru

ağırlıklar ile bitki boyunu önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, sitrik asit ile tohum hazırlamanın çimlenme parametrelerini iyileştirdiğini ve dışsal uygulamaların bamyada fidelerinin tuz toleransını artırabileceğini ortaya koymaktadır. Araştırmacılar, 1 mM CA'nın, tuz stresinin etkilerini azaltmada ve bamyanın erken fide gelişimini teşvik etmede etkili bir tohum hazırlama ve dış uygulama ajanı olarak kullanılabileceğini önermektedir.

Shareef vd. (2022)'i tarafında palm bitkisinin Sayer çeşidinin tuzluluk toleransını artırmak için bir saha deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneyde 500 ve 1.000 ppm konsantrasyonlarında salisilik asit ve sitrik asit kullanılmıştır. Sonuçlar, tuzluluk koşulları altında bitki boyu, yaprak alanı ve yaprak sayısı gibi tüm büyüme parametrelerinin azaldığını göstermiştir. Ancak, antioksidan uygulamaları, kontrol grubuna kıyasla bitki boyunu, yaprak alanını, karbonhidratları ve relatif su içeriğini artırmıştır. 1.000 ppm sitrik asit uygulaması, elektrolit sızıntısını ve malondialdehit seviyesini azaltmıştır. Tuzluluk koşullarında indolasetik asit seviyeleri azalırken, absisik asit seviyeleri artmıştır. Antioksidan uygulamaları, indolasetik asidi artırırken absisik asit seviyelerini azaltmıştır. Ayrıca, prolin, protein içeriği ve peroksidaz aktivitesi, antioksidanlarla birlikte artmıştır. Potasyum seviyeleri ve K/Na oranı da antioksidan uygulamaları altında artış göstermiştir. Sitrik asit, salisilik asitten daha etkili bir iyileştirme sağlamış ve çevresel stres hasarlarını azaltmak için düşük maliyeti nedeniyle çiftçilerin kullanımını teşvik etmektedir.

Aslam vd. (2023)'ne göre florür toksisitesi, çevre kirliliğinin başlıca nedenlerinden biri olup, özellikle tahıl bitkileri için fitotoksik bir element olarak kabul edilmektedir. Toprakta yüksek miktarda florür birikimi, bitkilerin metabolizmasını bozmakta ve büyümelerini azaltmaktadır. Bu nedenle, bir deney yapılarak sodyum florürün (NaF) bitki büyümesi üzerindeki etkileri ve bu toksik etkilerin sitrik asit uygulamasıyla iyileştirilmesi incelenmiştir. Çalışmada, iki mısır çeşidi olan Pak Afgoi (tuz toleranslı) ve Pearl (tuz duyarlı) kullanılmıştır. NaF, 100 ppm ve 200 ppm konsantrasyonlarında bir haftalık fidelerde uygulanmıştır. NaF kaynaklı tuzluluk stresinin uygulanmasından iki hafta sonra, 100 mgL⁻¹ ve 150 mgL⁻¹ konsantrasyonlarında sitrik asit yapraktan püskürtme yöntemiyle uygulanmıştır. Sitrik asit uygulamasından on beş gün sonra bitkilerin sürgün uzunluğu, sürgün ve kök yaş ve kuru ağırlıkları, klorofil a, klorofil b, toplam klorofil, karotenoidler, iyonlar ve kül içerikleri ile ilgili veriler toplanmıştır. Sonuçlar, 150 mgL⁻¹

konsantrasyonundaki sitrik asidin mısır bitkilerinin büyümesi üzerinde olumlu bir etki gösterdiğini ve sodyum florürün toksik etkilerini azalttığını ortaya koymuştur.

Ali vd. (2024)'ne göre son yıllardaki çalışmalar sitrik asit/sitratların bitkilerde abiyotik stres direnci sağlayabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada, patlıcan çeşidi Pusakranti, 2021 yılı bahar mevsiminde, dört farklı sitrik asit (CA) konsantrasyonu (0, 100, 200 ve 300 ppm) ve iki tuz stresi seviyesi (0 mM ve 60 mM NaCl) altında yapraktan uygulanmıştır. Her uygulama için dört tekrarlı deneyler gerçekleştirilmiştir. Tuz stresi, bitki büyümesini, verim parametrelerini, pigmentleri ve metabolitleri azaltmıştır. Buna karşın, stres altındaki bitkilerin antioksidan enzim aktiviteleri, stres altında olmayan bitkilere göre artış göstermiştir. 300 ppm CA uygulaması, sürgün ve kök taze biyokütlesini sırasıyla %75 ve %71,8, kuru biyokütlesini ise %82,5 ve %40,7 oranında artırmıştır. 200 ppm CA uygulaması ise meyve sayısını %50, meyve çapını %49 ve yaprak fotosentetik pigmentlerini %61 oranında artırmıştır. Benzer şekilde, CA uygulaması, antioksidanları hem enzimatik hem de enzimatik olmayan düzeyde artırmıştır. Örneğin, katalaz %42, peroksidaz %66, süperoksit dismutaz %44, polifenol oksidaz %50 ve glutatyon peroksidaz %37 oranında artmıştır. Ayrıca, 300 ppm CA uygulaması, birincil metabolitler (toplam protein içeriği %75, toplam serbest aminoasitler %32) ve ikincil metabolitler (toplam fenoller %31, flavonoidler %96) açısından da iyileşme sağlamıştır. Genel olarak, bu sonuçlar, yapraktan uygulanan 200 ppm sitrik asidin patlıcanda tuz stresine etkili bir şekilde karşı koyarak bitki biyokütlesini, pigmentleri, birincil ve ikincil metabolitleri iyileştirdiğini ve antioksidan savunma sistemini modüle ettiğini göstermektedir.

Hajaji vd. (2024)'nin yaptığı çalışmada *Moringa oleifera* tohumları kumlu ve vermikülitli toprak karışımına (1/2 w/w) ekilerek Hoagland solüsyonu ile sulanmıştır. İki hafta sonra fideler üç gruba ayrılmıştır: İlk grup kontrol çözeltisi (Hoagland solüsyonu) ile, ikinci grup tuz çözeltisi (10 g/l NaCl) ile ve üçüncü grup ise karışık çözeltisi (10 g/l NaCl ve 100 mM sitrik asit (CA)) ile sulanmıştır. Tuzluluk, *Moringa oleifera* fidelerinin büyümesi üzerinde önemli bir engelleyici etki göstermiştir. Tuz uygulaması, sürgün taze ağırlığını (FW), fotosentetik pigmentlerin içeriğini ve toplam çözünebilir proteinleri (SP) azaltmıştır. Ayrıca, tuz uygulaması toplam serbest aminoasitler, çözünebilir şekerler ve prolin birikimine neden olmuştur. Tuzlu çözelti içinde sitrik asit ilavesi, sürgün büyümesini ve fotosentetik pigment ile çözünebilir protein seviyelerini artırmıştır. Yapraklardaki sitrik asit içeriği,

toplam serbest aminoasitler, çözünebilir şeker ve prolin seviyelerindeki azalma ile ilişkilendirilmiştir. Bunun ötesinde, dışarıdan uygulanan sitrik asit, malondialdehit (MDA) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) birikimini azaltmış, bu da tuz stresinin neden olduğu dengesizlik durumunun ve zar zararı durumunun azaldığını göstermiştir. Alternatif olarak, tuzlu koşullarda sitrik asit uygulaması, tuzluluk altında artan süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) aktivitelerindeki artışı azaltmıştır. Sitrik asit, tuz uygulanan *Moringa oleifera* fidelerinin büyüme hızını artırarak antioksidan fonksiyonunu geliştirmiştir. Sonuç olarak, sitrik asit uygulaması, *Moringa oleifera* bitkilerinin tuz stresine toleransını artırmak için umut verici bir yöntem olabilir.

Hossain vd. (2024)'ne göre tuz stresi (SS), modern, yoğun girdi kullanan tarım sistemlerinde *Vigna mungo* gibi baklagillerin verimliliğini ciddi şekilde tehdit etmektedir. Bu durum, SS'nin olumsuz etkilerini hafifletmek için biyolojik olarak uygulanabilir, çiftçi dostu ve çevre dostu stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, *Vigna mungo* 'nun BARI Mash-3 çeşidi üzerinde üç farklı SS seviyesi (0, 50 ve 100 mM NaCl) ve sitrik asit (CA, 0, 50 ve 100 μ M) uygulaması değerlendirilmiştir. CA uygulamaları yaprak spreyi olarak uygulanmış ve SS'nin olumsuz etkilerini azaltma potansiyeli incelenmiştir. İncelenen özellikler arasında bitki boyu (PH), bitki başına yaprak sayısı (NLPP), kök kuru ağırlığı (RDW), fotosentetik pigmentler (klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil); bitki su durumu (bağıl su içeriği [RWC] ve su tutma kapasitesi [WRC]), tane verimi (GY), sap verimi (SY), biyolojik verim (BY), hasat indeksi (HI) ve *Vigna mungo* tanelerindeki azot (N) ve protein (P) içeriği yer almaktadır. Bulgular, 100 μ M CA uygulamasının, en yüksek düzeyde tuz stresi (100 mM NaCl) altında bitki büyümesini ve verimliliğini önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur. Bu muamele, PH (%76,25), NLPP (%37,52), RDW (%83,67), Chl a (%17,80), Chl b (%11,59), tChl (%15,51), RWC (%9,81) ve WRC'yi (%26,64) artırmıştır. Ayrıca, 100 μ M CA uygulaması, bakla başına tane sayısı (%23,89), 100 tane ağırlığı (%59,74), GY (%82,86), SY (%59,66), BY (%64,94) ve HI açısından tüm diğer uygulamaları geride bırakmıştır. Özellikle, CA uygulaması, SS koşulları altında tane azot ve protein içeriğini %29,9 oranında artırmıştır. Bu sonuçlar, sitrik asit uygulamasının tuz stresinin olumsuz etkilerini bitki büyümesini, verimi ve besin kalitesini artırarak etkili bir şekilde hafiflettiğini göstermektedir. Bu nedenle, sitrik asit, tuzlu ortamlar altında *Vigna mungo* üretkenliğindeki düşüşle başa çıkmak için umut verici bir strateji olarak geliştirilebilir.

Iqbal vd. (2025)'ne göre ay ve derin uzay tarımında, hidroponik olarak yetiştirilen sebzelerde insan idrarının neden olduğu tuz stresi (SS), bitki beslenmesi için kullanımında temel sorunlardan birini oluşturmaktadır. Bu nedenle, şeker pancarları üzerinde sitrik asit (CA, 50 μ M; çimlenmeden sonraki 26. ve 38. günlerde, el tipi bir püskürtücü ile iki sprey olarak uygulanmış) yaprak gübrelemesi ve kontrol uygulaması (10% sentetik idrar ikame maddesi ve 50 mM NaCl ile indüklenmiş SS içeren standart bir bitki besin çözeltisi) etkilerini değerlendirmek amacıyla bir kapalı alan hidroponik deneyi gerçekleştirilmiştir. İncelenen özellikler arasında bitki boyu, sap kalınlığı ile yaprak, kök ve tüm bitkinin uzunlukları ve taze ağırlıkları gibi vejetatif büyüme özellikleri yer almıştır. Elde edilen bulgular, çimlenmenin dördüncü haftasında CA yaprak gübrelemesinin şeker pancarlarının yaprak genişliği ve bitki boyu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığını göstermiştir. Ancak, CA uygulaması çimlenmenin altıncı, sekizinci ve onuncu haftalarında sırasıyla %17, %14 ve %35 daha uzun bitkiler üretmiştir. Benzer şekilde, kontrol uygulaması, çimlenmenin 8. ve 10. haftalarında, CA yaprak gübreleme uygulamasına kıyasla şeker pancarlarının yaprak genişliklerinde sırasıyla %32 ve %30 daha küçük değerler kaydetmiştir. Ek olarak, CA yaprak gübrelemesinin, SS altında kontrol uygulamasına kıyasla sap uzunluğunu %16 ve kök uzunluğunu %38 oranında artırmada etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca, CA yaprak gübrelemesi sap çapını %26 ve kök taze ağırlığını %29 artırmıştır. Yaprak uzunluğu, yaprak taze ağırlığı ve tüm bitki taze ağırlığı açısından, CA yaprak gübrelemesi, kontrol uygulamasına kıyasla sırasıyla %32, %21 ve %42 daha yüksek değerler üreterek etkinliğini göstermiştir. Sonuç olarak, CA yaprak gübrelemesi, tuz stresinin zararlı etkilerini hafifletmek ve hidroponik olarak yetiştirilen şeker pancarlarının vejetatif büyümesini artırmak için güçlü bir strateji olarak kullanılabilir.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneme Materyali ve Özellikleri

Tanelik ve silajlık olmak üzere İç Anadolu bölgesine uyum sağlamış 21 mısır çeşidi tuzlu koşullarda çimlenme ve çıkış denemeleriyle ön seleksiyon için materyal olarak kullanılmıştır. Mısır çeşitlerinin firma ve çeşit isimleriyle yetiştirilme amaçları Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Biyouyarıcı olarak sitrik asit (Merck 100244.1000 Citric acid monohydrate) ve limon suyu (Lemas çeşidi) uygulanmıştır. Limon suyu sıkıldıktan sonra dondurarak kurutma yöntemiyle (Liyofilizasyon) toz haline getirilmiş ve uygun konsantrasyonlar o şekilde hazırlanmıştır. Tuzluluk stresi oluşturmada NaCl (Sodyum Klorür, CAS No: 7647-14-5 - Saflık: 99,0%) tuzu kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Araştırmada kullanılan mısır çeşitlerinin isimleri ve yetiştirilme amaçları

Çeşit No	Çeşit adı	Firma ismi	Yetiştirilme amacı
1	Inteligen	KWS	Danelik
2	Kerubino	KWS	Danelik
3	Kashmir	KWS	Danelik
4	Kefrancos	KWS	Danelik
5	Kalumet	KWS	Danelik/Silajlık
6	6777	DKC	Silajlık
7	5812	DKC	Danelik
8	6980	DKC	Danelik
9	7240	DKC	Silajlık
10	5685	DKC	Danelik
11	5709	DKC	Danelik
12	6050	DKC	Danelik
13	6664	DKC	Danelik
14	2088	PIONEER	Silajlık
15	0900	PIONEER	Danelik
16	0551	PIONEER	Danelik
17	0729	PIONEER	Danelik
18	0920	PIONEER	Danelik
19	0937	PIONEER	Danelik
20	2183	PIONEER	Danelik
21	2105	PIONEER	Danelik

3.2. Yöntem

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Ziraat Fakültesi laboratuvarında 2023- 2024 yıllarında yürütülmüştür.

3.2.1. Çimlenme çalışmaları

Çimlendirme denemeleri kurutma kâğıtları arasında ve 25 ± 1 °C’ de tamamen karanlık çimlendirme dolabında yürütülmüştür. Araştırma, 4 tekerrürlü ve her tekerrürde 50 adet tohum olacak şekilde kurulmuştur. Çimlenme koşullarında ön seleksiyon için farklı mısır genotipleri farklı tuz dozları (0 ve 15 dSm^{-1}) içeren ortamlarda çimlenmeye alınmıştır (Şekil 3.1a). Her tekerrüre uygun test solüsyonundan 10 ml eklenmiş ve buharlaşmayı engellemek için ağzı kilitli plastik torbalara konulmuştur. Her iki günde bir, kâğıtlar değiştirilerek tekrar 10 ml solüsyon eklenmiştir. Fideler 8. günde bitki boyu ve fide yaş ağırlığındaki değişimleri gözlemlemek için her tekerrürden 10 adet fidede ölçüm yapılmıştır (Şekil 3.1b). Daha sonra bu değerler üzerinden Shirani Rad ve Abbasian (2011)’den uyarlanarak yüzde azalma oranı ($\text{Yüzde azalma} = \frac{Y_p - Y_s}{Y_p} \times 100$) hesaplanmıştır. Formüllerde, Y_s : tuz stresinde çeşidin fide özelliği, Y_p : kontrol şartlarda çeşidin fide özelliğini ifade etmektedir.

3.2.2. Çıkış çalışmaları

Çimlenme denemelerinde olduğu gibi 21 mısır çeşidi 0 ve 15 dSm^{-1} ’lik tuz koşullarında çıkış denemelerine alınmıştır. İlk olarak 4,5lt’lik çok amaçlı plastik küvetler 1360 gr torf (Klasman Potgont H Torf) ile doldurulmuş ve her uygulama 4 tekrarlı ve 25 tohum olacak şekilde tohumlar 3-4 cm derinliğe ekilmiştir (Şekil 3.1c). Her küvet 700 ml solusyon ile sulanmıştır. Daha sonra bu kaplar 25°C ’ % 60 nemde ve 16/8 gündüz ve gece fotoperiyodunda çıkış denemelerine alınmıştır. Küvetler her iki günde bir defa kontrol edilmiş ve eksilen test solusyonuyla tamamlanmıştır. Uygulamalar sonrası çıkış tamamlandıktan sonra 8. günde fide boyu ve yaş ağırlığı için 10 fide üzerinde ölçümler yapılmıştır (Şekil 3.1d). Elde edilen veriler üzerinden çimlenme denemelerinde olduğu gibi azalma oranları hesaplanmıştır.

3.2.3. Sitrik asit uygulamaları

Çimlenme ve çıkış döneminde yapılan gözlemler ile mısır çeşitleri arasında % azalma oranlarına göre en hassas (P2088) ve en toleranslı (DKC6050) çeşitler ortaya koyulmuştur. Bu iki çeşit üzerinde yapraktan uygulamalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda sitrik asit dozu olarak El-Hawary ve Nashed (2019) tarafından mısırdaki belirlenen 100 ppm dozu kullanılmıştır. Limon suyu konsantrasyonu için ise Rady vd. (2023) tarafından belirlenen % 5 konsantrasyonu dikkate alınmıştır. Tuz dozu olarakta önceki çimlenme ve çıkış çalışmalarında başarı sağlamış ve uygulamalar arası seçim yapabilen 15 dSm^{-1} dozu uygulanmıştır. Deneme tesadüf parsellerinde 4 tekrarlı olarak kurulmuş olup, birinci faktörü mısır çeşitleri (Hassas ve tolerant), ikinci faktörü sitrik asit uygulamaları (Saf su, 100 ppm sitrik asit ve % 5 limon suyu) ve üçüncü faktörü ise tuz dozları [0 (Saf su) ve 15 dSm^{-1} dozu] oluşturmuştur. Mısır tohumları çimlendirme işleminin ardından içinde torf bulunan küçük saksılara fidelenmiş ve uygun tuz solusyonlarıyla sulanmıştır (Şekil 3.1e). Daha sonra iki gün aralıklarla saksılardaki nem miktarı kontrol edilerek eksik olan kısım uygun solusyonla tamamlanmıştır. Mısır fidelerine V2 ve V3 aşamasında 2 defa 20 ml besin maddesi olarak Hoagland solüsyonu uygulanmıştır. Sitrik asit uygulamaları V3 ve V4 aşamalarında 7 gün aralıkla yapraktan yapılmıştır (Şekil 3.1f). Araştırmada yapılan morfolojik ve fizyolojik ölçümlerin detayları aşağıda verilmiştir.

a- Fide boyu ve sap kalınlığı: fide boyu cetvel ve sap çapı (mm) kumpas yardımıyla ölçülmüştür.

b- Fide yaş ağırlığı: 4 fide üzerinde 0,01 hassas terazi yardımıyla fide yaş ağırlığı belirlenmiştir.

c-Klorofil miktarı: SPAD ölçümleri olarak Konica Minolta SPAD-502 cihazıyla yapılmıştır.

d-Yaprak alanı ölçümleri: Üçgen alan hesabıyla $[a \cdot h / 2]$ (Taban (a), yükseklik (h)) belirlenmiştir.

e- Kuru madde oranı (%): 4 bitki üzerinde yapılan yaş ve kuru ağırlık ölçümleri sonrası takip eden formüle göre hesaplanmıştır. Kuru madde miktarı: $(\text{Kuru ağırlık} / \text{Yaş ağırlık}) \times 100$

f- Yaprak bağıl su içeriğinin (YBSİ) tahmini: Jones vd. (1978) tarafından tarif edilen yönteme göre belirlenmiştir. Yaprak bağıl su miktarı için 4 adet bitkiden alınan yaprak örneklerinin yaş ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonra bu örnekler turgor oranını belirlemek amacıyla 25 °C' de 24 saat bekletilmiş ve hafifçe kurularak tekrar tartılmıştır. Aynı örnekler 65 °C'lik fırında 48 saat kurutularak kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Örneklerden elde edilen yaş ağırlık, kuru ağırlık ve turgor miktarları üzerinden aşağıdaki formül kullanılarak yaprak bağıl su içeriği hesaplanmıştır.

$$YBSİ (\%) = \frac{\text{Yaprağın yaş ağırlığı} - \text{Yaprağın kuru ağırlığı}}{\text{Şişmiş yaprağın ağırlığı} - \text{Yaprağın kuru ağırlığı}} \times 100$$

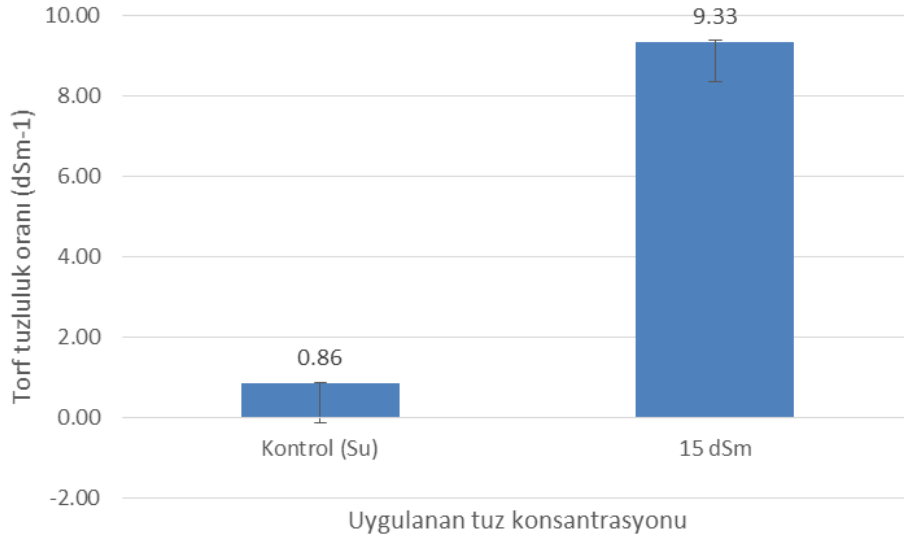
g- Elektrolit sızıntısı: yapraklarda membran geçirgenliği Lutts vd. (1996) tarafından tarif edildiği gibi yapılmıştır. Muamele başına 4 bitkinin yapraklarında stres uygulamasından sonra 1 cm'lik diskler alınmıştır. Yüzeye yapışmış elektrolitleri uzaklaştırmak için numuneler üç kez deiyonize su ile yıkanmış ve yaprak segmentleri 10 ml saf su içeren tıpalı şişelerde 25 °C'de inkübe edilmiştir. Banyo solüsyonunun elektrik iletkenliği (Lt) 24 saat sonra belirlenmiştir. Numuneler daha sonra 120 °C'de 20 dakika otoklavlanmış ve 25 °C'de 1 saat dengelendikten sonra son bir iletkenlik okuması (L0) daha yapılmıştır. Elektrolit sızıntısı Lt/L0*100 değeri üzerinden % ifade edilmiştir.

h- Stoma gözlemleri: yaprakların kuraklık stresi koşullarında stomalarındaki değişimi anlamak için tam açılmış yapraklardan tırnak cılası kullanarak ışık mikroskobu altında stoma boyutları ve belirli bir alandaki sayıları belirlenmiştir.

Sitrik asit uygulamalarından sonra torfun tuzluluk oranını belirlemek amacıyla her uygulamadan (0 ve 15 dSm-1) 24 örnekte EC ölçümü yapılmıştır. Örnekler ilk olarak köklerinden arındırılmış ve elenmiştir. Daha sonra 70 C'de 48 saat kurutulmuştur. Bu torf örneklerinden 5 gr tartılarak 40 ml su ile tamamlanmıştır. 1 saat çalkalama işleminden sonra suya doyurulmuş örneklerde EC ölçümü yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çimlenme, çıkış ve sitrik asit uygulamaları. a: Çimlenme denemesi, b: Çimlenme denemesi sonucu gelişen fideler, c: Çıkış denemesi, d: Çıkış denemesi sonucu gelişen fideler, e: Sitrik asit uygulamaları için fidelerin yetiştirilmesi, f: Gelişen fidelere sitrik asit uygulamaları



Şekil 3.2. Sitrik asit uygulaması için tuz uygulaması yapılan torf içeren saksılarda deneme sonunda tuzluluk miktarı (Dikey çubuklar, ortalama değerler $\pm$ standart hata'yı gösterir.)

Buna göre uygulama sonrası 15 dSm⁻¹ tuzlulukta torfun EC değeri 9,33 dSm⁻¹ ve saf suyun EC değeri ise 0,86 dSm⁻¹ olarak ölçülmüştür. Maas (1986)'a göre bu değer 8-15 dSm⁻¹ aralığında olduğundan orta tuzlu toprak olarak nitelendirilmiştir.

3.2.4. Element analizleri

Elde edilen örneklerde Na ve K elementlerine bakılmıştır. Bunun için ilk olarak 0,2 gr öğütülmüş bitki örnekleri mikrodalga fırında % 65'lik Nitrik Asitle muamele edilerek yakılmış ve daha sonra elde edilen süzüntü Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü müdürlüğü labratuvarında ICP cihazında okunmuştur.

3.2.7. Deneme sonuçlarının analizi

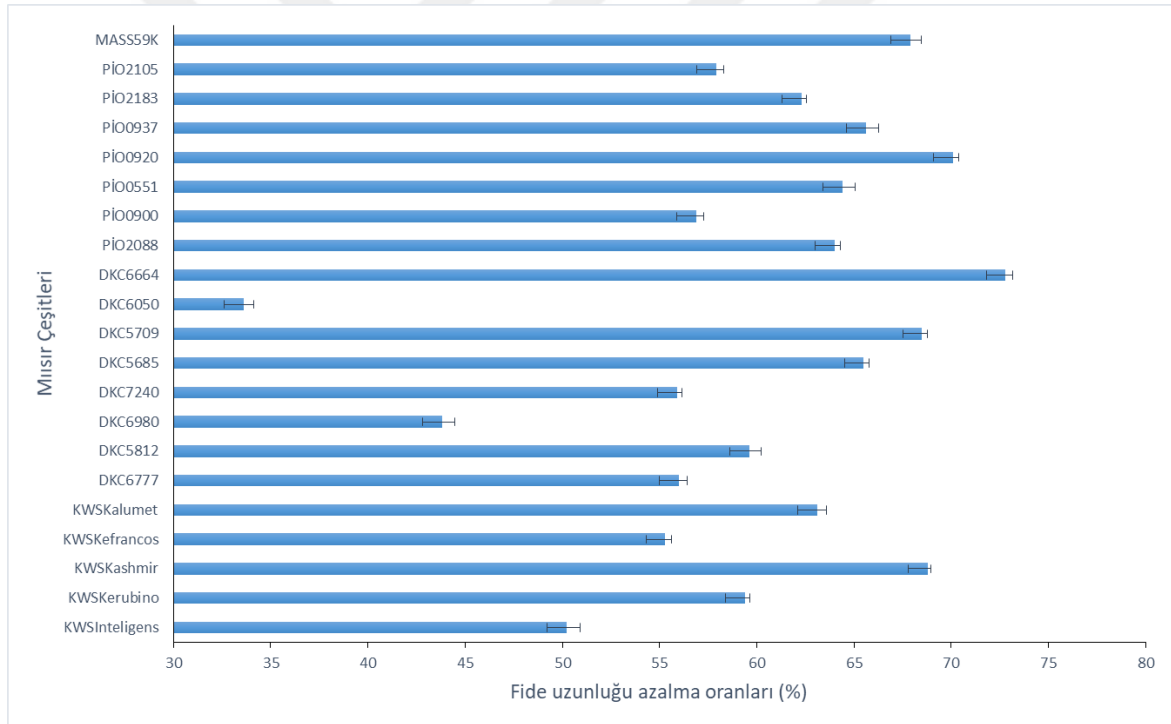
Denemede elde edilen veriler JMP 14 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırmanın ilk aşamasında ön seleksiyon için yapılan çimlenme ve çıkış denemelerinden elde edilen azalma oranları ilk olarak temel bileşen analizine tabi tutulmuş ve daha sonra elde edilen gruplar 2 grup üzerinden (PCA1 ve PCA2) hiyerarşik kümeleme analizi yapılmıştır. Sitrik asit uygulaması sonucu elde edilen morfolojik ve fizyolojik veriler 4 tekerrürlü, element ait veriler 3 tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme deseninde faktöriyel düzene göre varyans analizine tabi tutulmuştur. Uygulamalar arasındaki farklılıkların önem düzeylerini belirleyebilmek amacıyla LSD testi uygulanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

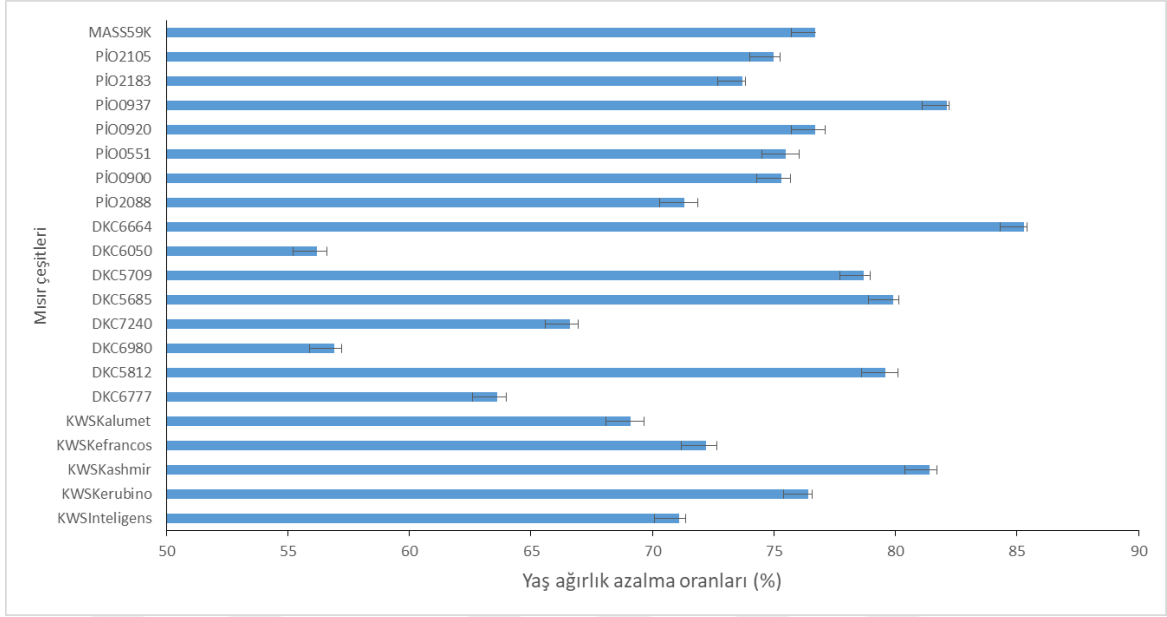
4.1. Çimlenme ve çıkış aşamalarında tuzluluk stresine hassas ve tolerant mısır çeşitlerinin belirlenmesi

4.1.1. Çimlenme Testleri

Çimlenme testleri sonucu fide uzunluğu ve bitki yaş ağırlığındaki tuz uygulamasıyla birlikte kontrol uygulamasına göre meydana gelen azalma oranları % olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Fide uzunluğunda en az azalma oranının DKC6050 ve en fazla azalma oranının ise DKC6664 çeşidinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.1). Diğer yandan bitki yaş ağırlığında da benzer bir sonuç ortaya çıkmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Çimlenme dönemi farklı mısır çeşitlerinde tuzluluk stresi altında fide uzunluğu azalma oranları(Dikey çubuklar,ortalama değerler $\pm$ standart hata'yı gösterir)

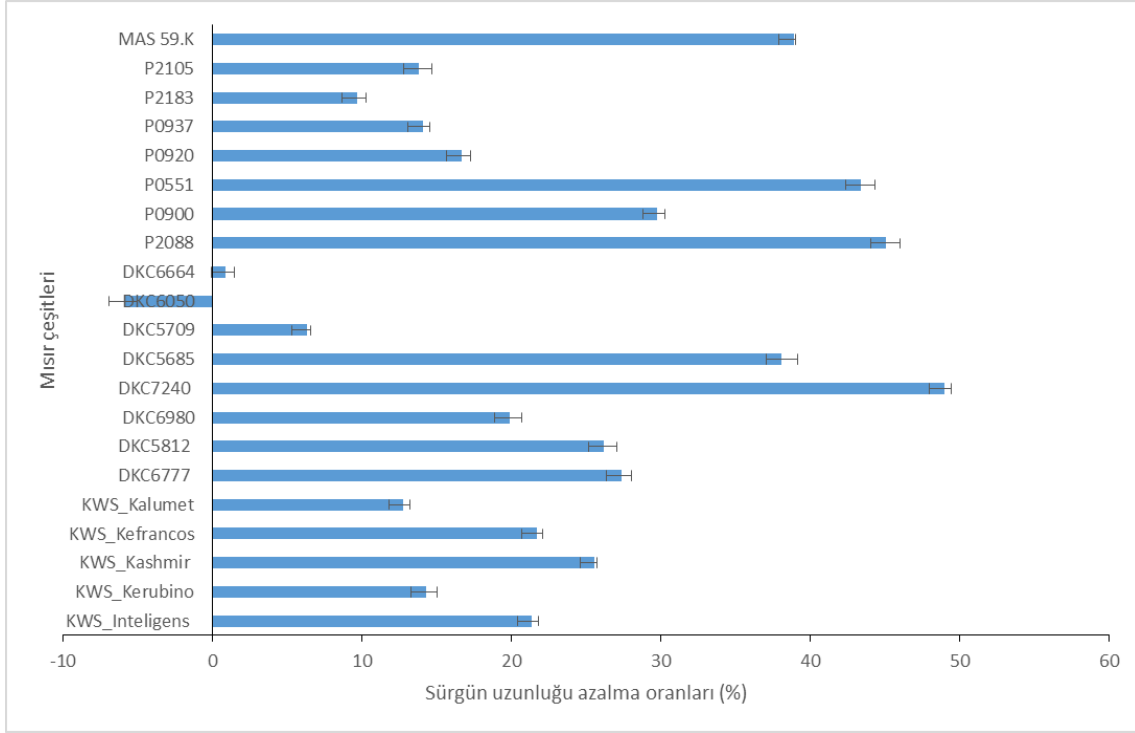


Şekil 4.2. Çimlenme dönemi farklı mısır çeşitlerinde tuzluluk stresi altında yaş ağırlık azalma oranları (Dikey çubuklar, ortalama değerler $\pm$ standart hata'yı gösterir)

Değişen tuzluluk seviyeleri altında çimlenme testleri, tohumların tuz stresine nasıl dayandığını değerlendirmeye yardımcı olur. Tuzluluk stresi altında çimlenmedeki azalma oranını ölçerek, araştırmacılar tuz toleransını ve bitki türlerinin uyum yeteneğini değerlendirebilirler. Bu uygulamalar özellikle tuza dayanıklı bitkilerin seçilmesinde ve tuzlu toprakların yönetiminde faydalıdır. Çarpıcı vd. (2009) ve Khodarahmpour ve Motamedi (2012), mısır çeşitlerinde tuz stresinin etkilerini belirlemek için yaptıkları çalışmalarda; çimlenme döneminde incelenen büyüme özellikleri bakımından çeşitler arasında farklılık olduğunu bildirmişlerdir. Öte yandan buğday (Saboora vd., 2006) ve sorgumda (Tigabu vd., 2012)'da benzer şekilde çimlenme dönemlerinde farklı genotipler tuz stresine tepkileri farklılık göstermiştir.

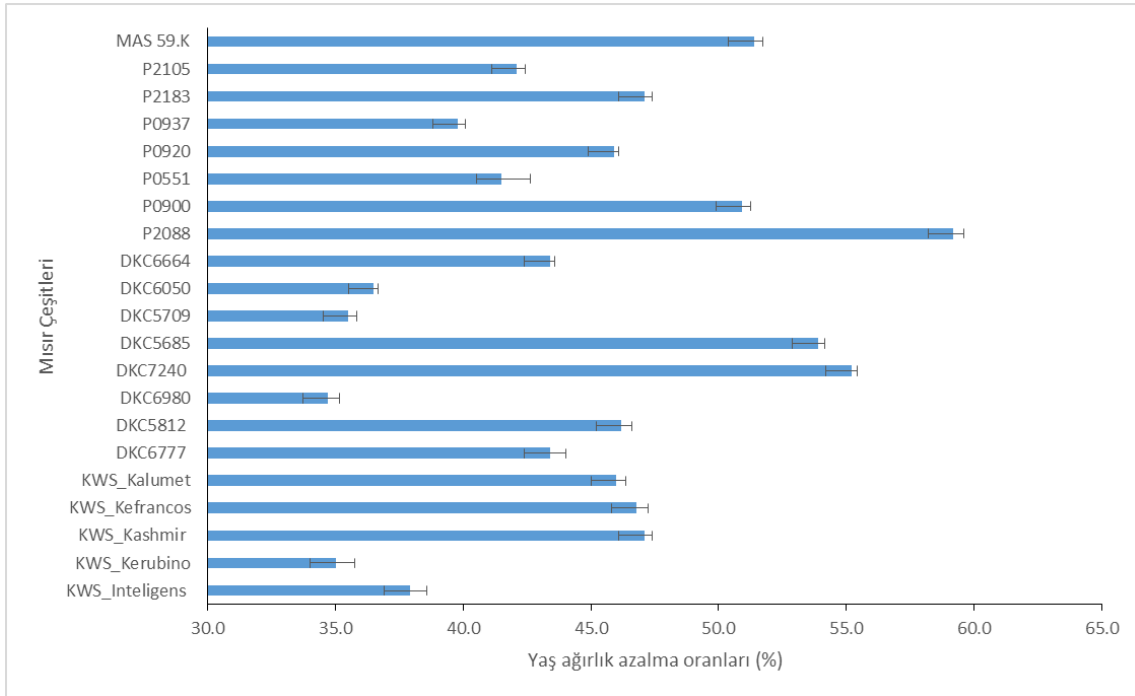
4.1.2. Çıkış Testleri

Çıkış testlerinde de çimlenme çalışmalarına olduğu gibi tuzlu ortamda sürgün uzunluğu ve yaş ağırlık oranlarındaki azalmalar kontrol uygulamasına göre % olarak belirlenmiştir (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). Sürgün uzunluğunda en düşük azalma oranlarının DKC6050 ve DKC6664 çeşitlerinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.3). En fazla azalma oranları ise DKC7240 ve P2088 çeşitlerindedir. Çimlenme testlerinde en yüksek azalma oranına sahip olan DKC6664 çeşidinin çıkış çalışmalarında en düşük azalma grubunda yer alması dikkat çekmektedir.



Şekil 4.3. Çıkış dönemi farklı mısır çeşitlerinde tuzluluk stresi altında sürgün uzunluğu azalma oranları(Dikey çubuklar,ortalama değerler $\pm$ standart hata'yı gösterir)

Bitki yaş ağırlığında ise DKC6050, DKC5709, DKC6980 ve KWS Kerubino çeşitleri düşük azalma oranları ve P2088 çeşidi yüksek azalma oranı göstermiştir (Şekil 4.4).

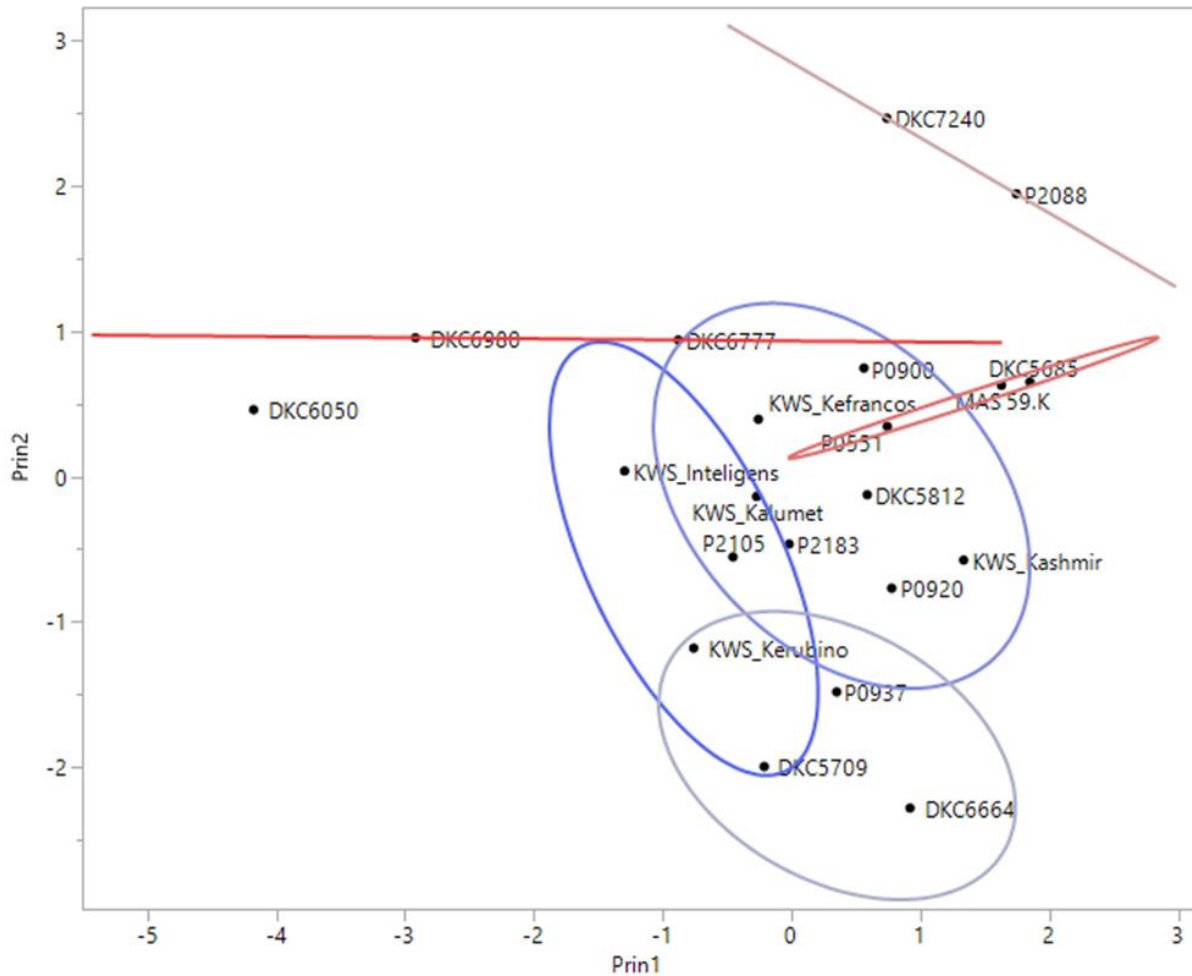


Şekil 4.4. Çıkış dönemi farklı mısır çeşitlerinde tuzluluk stresi altında yaş ağırlık azalma oranları(Dikey çubuklar,ortalama değerler $\pm$ standart hata'yı gösterir)

Tuz stresi, çimlenme, tohum çıkışı ve bitki gelişimini etkileyen önemli bir abiyotik strestir. Bugün ıslah yoluyla yüksek tuzlulukta çimlenmeyi sürdürebilen, tuza dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi sağlanmıştır. Erken gelişim dönemlerinde mısır genotiplerinin tuz stresi altında büyüme parametrelerinde farklılıklar olduğu yapılan bazı çalışmalarda ortaya koyulmuştur (Maiti vd., 1996; Ahmad vd., 2012; Huqe vd., 2021).

4.1.3. Kümeleme Analizi Sonuçları

Çimlenme ve çıkış testlerinde sürgün uzunluğu ve yaş ağırlık azalma oranları kullanılarak yapılan kümeleme analizi sonucunda 7 farklı grup oluşmuştur (Şekil 4.5). Bu gruplar içerisinde azalma oranlarındaki değişim bakımından yukarıdaki şekilleri de dikkate alarak tuzluluğu en fazla tolere eden çeşidin DKC6050 ve en az tolere eden çeşitlerin DKC7240 ve P2088 olduğu ortaya çıkmaktadır. İlerleyen sitrik asit çalışmalarında tolerant olarak DKC6050 ve hassas olarak P2088 çeşitleri kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Çimlenme ve çıkış dönemi tuzluluk stresi altında farklı mısır çeşitlerinde fide uzunluğu ve yaş ağırlık azalma oranlarına bağlı oluşan gruplar.

Tuzlu koşullar altında tohum çimlenmesi ve çıkışı, özellikle tuzluluktan etkilenen bölgelerde, bitki biyolojisi ve tarımsal araştırmanın temel konularıdır. Yüksek tuz konsantrasyonları, tohumların çimlenmesini ve çıkışını önemli ölçüde etkileyebilir. Tohumlar çimlenmeyi başarsa bile, tuzlu koşullar altında kök ve sürgünlerin büyümesi engellenebilir. Diğer yandan tuz stresi genellikle fide çıkışında gecikmeye yol açarak bitkilerin gelişmesini olumsuz etkiler.

Kümeleme analizi, tuzlu koşullar altında tohum çimlenmesi ve çıkış verilerini analiz etmek için güçlü bir araçtır. Tuza dayanıklı türleri belirlemeye, tohumların tuzluluğa verdiği tepkilerdeki fizyolojik farklılıkları keşfetmeye ve potansiyel olarak tuzlu ortamlar için üreme ve tarım uygulamalarına rehberlik etmeye yardımcı olur. Bu noktada farklı mısır çeşitlerinin çimlenme ve çıkış dönemlerinde bitki boyu ve yaş ağırlık değerlerindeki değişimler ve buna göre yapılan gruplamalar çeşitlerin tuz stresine karşı tepkilerini ortaya koymak için önem arz etmektedir. Huqe vd. (2021) tuz stresi altında mısır genotiplerinde yaptıkları çalışmada; çok değişkenli analiz kullanılarak toplam 18 morfo-fizyolojik ve iyon birikimi özelliği incelenmiş ve incelenen özelliklerin tuz tolerans indeksi (STI) değerleri, çeşitlerin tuza dayanıklı ve tuza duyarlı gruplara ayrılması için değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonucunda; toplam taze ağırlık, toplam kuru ağırlık, toplam Na^+ ve toplam K^+ içerikleri ile K^+/Na^+ oranı gibi bazı özelliklerin, erken fide aşamasında tuza dayanıklı mısır genotiplerinin değerlendirilmesinde seleksiyon kriteri olarak etkili bir şekilde kullanılabileceği vurgulanmıştır. Mısırdan başka gerek arazi şartlarında gerekse laboratuvar koşullarında tuz stresi altında yapılan çalışmalarda; pamuk darısı (Mukami vd., 2020), arpa (Pour-Aboughadareh vd., 2021), buğday (Mubushar vd., 2022) türlerinde kümeleme analiziyle genotipler başarılı şekilde sınıflandırılmıştır.

4.2. Tuzluluk Stresi Altında Sitrik Asit Uygulamaları

4.2.1. Sitrik Asit Uygulamalarının Morfolojik ve Fizyolojik Özelliklere Etkileri

4.2.1.1. Bitki boyu

Bitki boyu üzerine yapılan uygulamaların etkisine ait varyans analiz sonuçları çizelge 4.1.'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre ana faktörler ve bunların bitki boyu üzerine interaksiyon etkileri B × C interaksiyonu haricinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F Değeri	Önem seviyesi
Mısır çeşitleri (A)	1	1,17	10,8**	0,0002
Tuz dozları (B)	1	160,2	1487,6**	0,0001
AxB	1	2,12	19,73**	0,0001
Sitrik asit uygulamaları (C)	2	1,45	6,73**	0,0003
AXC	2	2,10	9,78**	0,0004
BXC	2	0,20	0,96 ^{öd}	0,3906
AXBXC	2	0,98	4,56*	0,0200
Hata	36	3,87		
Genel	47	172,1		
CV (%): 2,68				

*p≤0.05 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

**p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

❖ Bitki boyu üzerine mısır çeşitleri, tuz dozları ve mısır çeşitleri × tuz dozlarının etkileri

Bitki boyu mısır çeşitlerine göre farklılık göstermiştir (Çizelge 4.2). P2088 çeşidi, DKC6050'ye göre daha yüksek bitki boyuna sahiptir. Diğer yandan kontrol uygulamalarında bitki daha yüksek bulunmuştur. Mısır çeşitleri × Tuz dozları interaksiyonuna göre ise en yüksek bitkiler P2088 çeşidinin kontrol uygulamalarından elde edilmiştir. 15 dSm⁻¹ tuzlulukta ise her iki çeşitte benzer bitki boyları oluşmuştur.

Çizelge 4.2. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama bitki boyuna etkisi

Mısır Çeşitleri	Tuz dozları		Ortalama
	Kontrol (Su)	15 dSm ⁻¹	
P2088 (Hassas)	14,1 ^{a*}	10,0 ^c	12,1 ^a
DKC6050 (Tolerant)	13,4 ^b	10,1 ^c	11,7 ^b
Ortalama	13,7^a	10,1^b	

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

❖ Bitki boyu üzerine sitrik asit uygulaması, mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması, tuz dozu × sitrik asit uygulaması ve mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması etkileri

Sitrik asit uygulamaları bakımından en yüksek boylu bitkiler kontrol uygulamasında elde edilmiştir ve diğer uygulamalar benzer sonuçlar göstermiştir. (Çizelge 4.3). Mısır çeşidi $\times$ sitrik asit uygulaması interaksyonunda ise en yüksek boylu bitkiler P2088 çeşidinde kontrol uygulamasında ölçülmüştür. Yine diğer uygulamalar benzer ve düşük değerler göstermiştir.

Çizelge 4.3. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama bitki boyuna etkisi

Mısır Çeşitleri	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
P2088 (Hassas)	12,6 ^{a*}	11,7 ^b	11,9 ^b
DKC6050 (Tolerant)	11,7 ^b	11,8 ^b	11,7 ^b
Ortalama	12,1^a	11,8^b	11,8^b

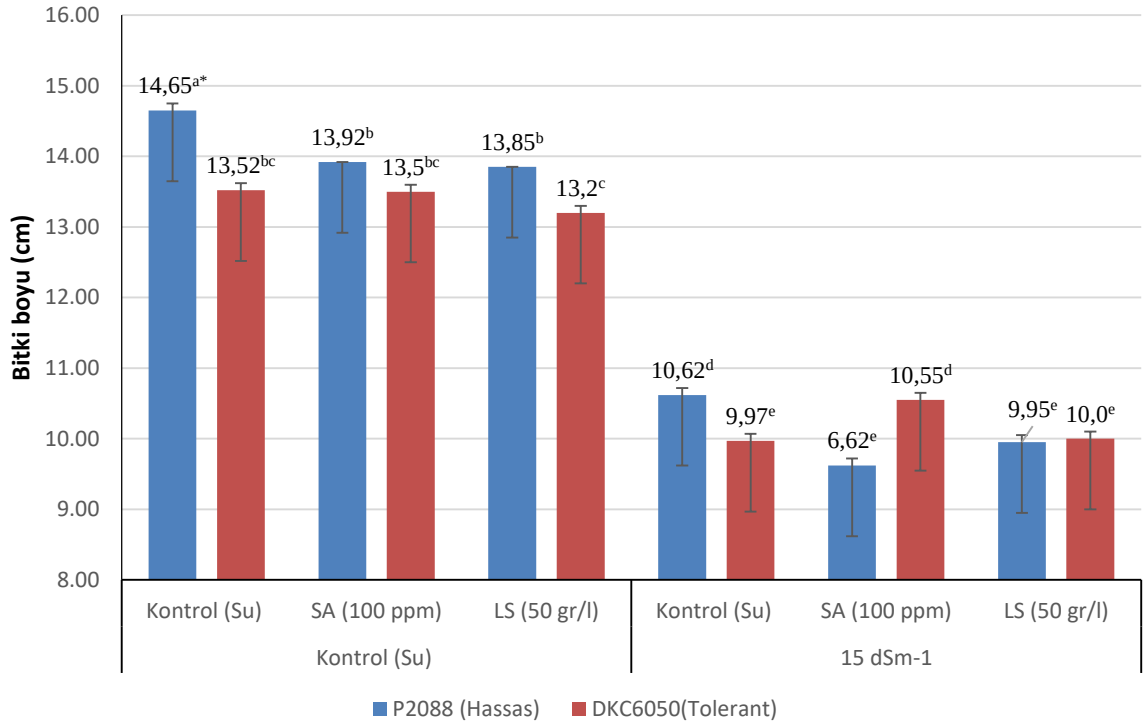
*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması interaksyonu bakımından bitki boyları arasında önemli bir farklılık oluşmamıştır (Çizelge 4.4). Diğer yandan uygulama yapılmamış bitkilerin daha uzun olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.4. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama bitki boyuna etkisi

Tuz dozları	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
Kontrol (Su)	14,0	13,6	13,5
15 dSm ⁻¹	10,3	10,0	9,9

Mısır çeşitleri $\times$ tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması interaksyonuna göre en yüksek bitki boyu kontrol uygulamasında P2088 çeşidinde ve yapraktan su uygulanmış bitkilerde ölçülmüştür ve sitrik asit uygulamasıyla bitki boyu azalmıştır (Şekil 4.6). DKC6050 çeşidinde ise sitrik asit uygulamaları bitki boyunda önemli bir değişime neden olmamıştır. 15 dSm⁻¹ uygulamasında sitrik asit uygulamalarıyla birlikte bitki boyu düşmeye başlamıştır. Diğer yandan DKC6050 çeşidinde 100 ppm sitrik asit kontrol uygulamasıyla benzer bitki boyları üretmiştir.



Şekil 4.6. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde bitki boyuna etkisi (*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.05$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.)

Kontrol şartlarında bitki boyu SA uygulamalarıyla azalırken tuzlu ortamda P2088 için azalma ve DKC6050 çeşidi için ise artış olmuştur. Tuz stresi, çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri etkileyerek bitki büyümesini ve boyunu önemli ölçüde etkileyebilir (Pandit vd., 2024). Javed vd. (2021)'i NaCl'nin Na_2SO_4 ve her iki tuzun karışımlarına kıyasla Na^+ ve Cl^- iyonlarının baskınlığı nedeniyle daha zararlı olduğunu ve NaCl'nin daha yüksek zararlı etkilerinin mısırdaki 15 dSm^{-1} tuzluluk seviyesinde meydana geldiğini vurgulamışlardır. Aynı çalışmada; NaCl, Na_2SO_4 ve bunların birleşik uygulamalarının, bitki boyunda önemli ($p \leq 0.05$) bir azalmaya neden olduğu bildirilmiştir. Oo vd. (2015)'i tuz stresi altındaki mısır bitkilerinde kompost ve solucan gübresi uygulaması yaparak toprak pH'sı ve EC'nin düştüğünü ve bitki boyu ile kuru madde üretimini arttığını belirlemişlerdir. Hossain vd. (2024)'i *Vigna mungo* (L.) Hepper bitkisinde sitrik asit uygulamasıyla tuzlu ortamda bitki boyu ve bitki yaprak sayısının olumlu etkilendiğini tespit etmişlerdir.

4.2.1.2. Sap kalınlığı

Sap kalınlığı üzerine yapılan uygulamaların etkisine ait varyans analiz sonuçları çizelge 4.5.'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre ana faktörler ve bunların sap kalınlığı üzerine interaksiyon etkileri sitrik asit uygulaması haricinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.5. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının sap kalınlığı üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F Değeri	Önem seviyesi
Mısır çeşitleri (A)	1	5,83	103,42**	0,0001
Tuz dozları (B)	1	5,15	91,43**	0,0001
AxB	1	2,09	37,17**	0,0001
Sitrik asit uygulamaları (C)	2	0,03	0,27 ^{öd}	0,7611
AXC	2	0,70	6,20**	0,0048
BXC	2	0,36	3,27*	0,0492
AXBXC	2	0,34	3,05*	0,0597
Hata	36	2,02		
Genel	47	16,55		
CV (%): 4,04				

* $p \leq 0.05$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

** $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

Öd: Önemli değil

❖ Sap kalınlığı üzerine mısır çeşitleri, tuz dozları ve mısır çeşitleri × tuz dozlarının etkileri

Sap kalınlığı mısır çeşitlerine göre farklılık göstermiştir (Çizelge 4.6). P2088 çeşidi, DKC6050 çeşidine göre daha yüksek sap kalınlığına sahiptir. Diğer yandan tuzlu ortamda sap kalınlığı beklendiği gibi azalmıştır. Mısır çeşitleri × Tuz dozları interaksiyonuna göre ise en kalın sap P2088 çeşidinin 15 dSm⁻¹ uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.6. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama sap kalınlığına etkisi

Mısır Çeşitleri	Tuz dozları		
	Kontrol (Su)	15 dSm ⁻¹	Ortalama
P2088 (Hassas)	5,88 ^{b*}	6,16 ^a	5,34 ^b
DKC6050(Tolerant)	4,81 ^c	5,92 ^b	6,04 ^a
Ortalama	6,02^a	5,36^b	

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

❖ Sap kalınlığı üzerine sitrik asit uygulaması, mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması, tuz dozu × sitrik asit uygulaması ve mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması etkileri

Sap kalınlığı üzerine sitrik asit uygulamalarının etkisi önemli değildir (Çizelge 4.7). Öte yandan mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması interaksiyonu incelendiğinde; DKC6050 çeşidinde sitrik asit uygulamaları yüksek ve istatistiki olarak benzer sonuçlar göstermiştir.

Çizelge 4.7. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama sap kalınlığına etkisi

Mısır Çeşitleri	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
P2088 (Hassas)	5,47 ^{b*}	5,14 ^c	5,42 ^b
DKC6050 (Tolerant)	5,94 ^a	6,17 ^a	6,01 ^a
Ortalama	5,71	5,65	5,71

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

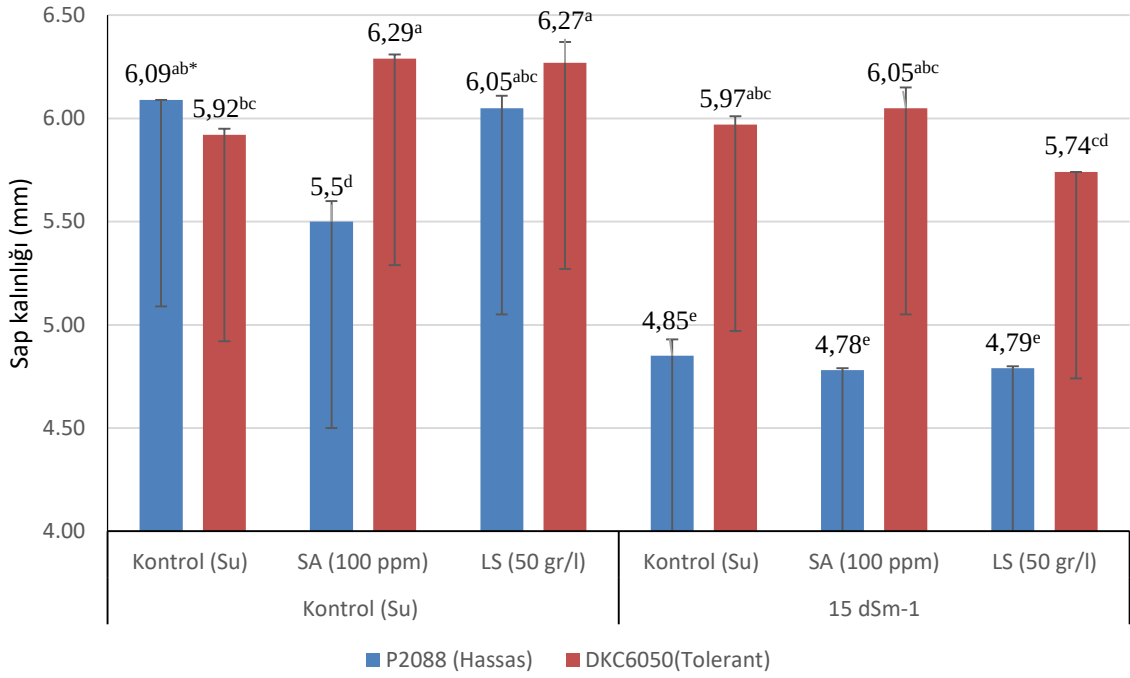
Tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması interaksyonunda en kalın saplar kontrol bitkilerine su veya LS uygulaması yapılması sonucu elde edilmiştir (Çizelge 4.8). Diğer yandan 15 dSm⁻¹ tuz uygulamasında yapılan sitrik asit uygulamaları benzer sap kalınlıkları göstermiştir.

Çizelge 4.8. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama sap kalınlığına etkisi

Tuz dozları	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
Kontrol (Su)	6,0 ^{ab*}	5,89 ^b	6,16 ^a
15 dSm ⁻¹	5,41 ^c	5,42 ^c	5,26 ^c

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.05$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Mısır çeşitleri $\times$ tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması interaksyonuna göre en yüksek sap kalınlığı kontrol uygulamasında, DKC6050 çeşidinde, SA ve LS uygulamalarında elde edilmiştir (Şekil 4.7). Diğer yandan kontrol uygulamasında P2088 çeşidinde yapılan su ve LS uygulamalarıyla, 15 dSm⁻¹ uygulamasında DKC6050 çeşidinde su ve SA uygulamasında benzer ve yüksek değerler göstermiştir.



Şekil 4.7. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde sap kalınlığına etkisi (*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.05$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.)

Kontrol şartlarında her iki çeşitte de sitrik asit uygulamalarıyla sap kalınlığı artarken, tuz stresi koşullarında DKC6050 çeşidi daha yüksek sap kalınlığına sahip olmakla birlikte her çeşit kendi içinde benzer tepkiler göstermiştir. Tuz stresi altında genellikle bodur büyüme, su stresi ve azalan besin bulunabilirliği sonucu gövde çapı azalır (Acosta-Motos vd., 2017). Şeker pancarında (Iqbal vd., 2025) ve Moringada (Hajaji vd., 2024) yapılan çalışmalarda tuz stresi altında sitrik asit uygulamasıyla sap kalınlığı ve büyüme parametrelerinde artış olduğu belirlenmiştir.

4.2.1.3. SPAD Değeri

SPAD değeri üzerine yapılan uygulamaların etkisine ait varyans analiz sonuçları çizelge 4.9.'da verilmiştir. Bu çizelgeye göre ana faktörler ve bunların SPAD değeri üzerine interaksiyon etkileri mısır çeşitleri ve B $\times$ C interaksiyonu haricinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.9. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının SPAD değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F Değeri	Önem seviyesi
Mısır çeşitleri (A)	1	0,58	0,47 ^{bd}	0,4962
Tuz dozları (B)	1	1137,82	918,78*	0,0001
AxB	1	33,0	26,64*	0,0001
Sitrik asit uygulamaları (C)	2	14,39	5,81*	0,0065
AXC	2	42,30	17,08*	0,0001
BXC	2	1,65	0,66 ^{bd}	0,5186
AXBXC	2	141,19	57,0*	0,0001
Hata	36	44,58		
Genel	47	1415,53		
CV (%): 3,94				

*p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

Öd: Önemli değil

❖ **SPAD değeri üzerine mısır çeşitleri, tuz dozları ve mısır çeşitleri × tuz dozlarının etkileri**

SPAD değeri tuz uygulamasıyla artarken çeşitler arasında önemli bir farklılık oluşmamıştır (Çizelge 4.10). Mısır çeşitleri × Tuz dozları interaksyonuna göre ise en yüksek SPAD değeri P2088 çeşidinin 15 dSm⁻¹ uygulamalarından elde edilmiştir.

Çizelge 4.10. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama SPAD değerine etkisi

Mısır Çeşitleri	Tuz dozları		
	Kontrol (Su)	15 dSm ⁻¹	Ortalama
P2088 (Hassas)	22,53 ^{d*}	33,92 ^a	28,23
DKC6050(Tolerant)	23,97 ^c	32,05 ^b	28,01
Ortalama	23,25^b	32,98^a	

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

❖ **SPAD değeri üzerine sitrik asit uygulaması, mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması, tuz dozu × sitrik asit uygulaması ve mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması etkileri**

Sitrik asit uygulamaları bakımından SPAD değeri su ve LS uygulamalarında yüksek değerler göstermiştir (Çizelge 4.11). Mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması interaksyonunda ise en yüksek SPAD değerleri P2088 çeşidinde kontrol uygulamasında ve DKC6050 çeşidinde LS uygulamasında ölçülmüştür.

Çizelge 4.11. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama spad değerine etkisi

Mısır Çeşitleri	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
P2088 (Hassas)	29,53 ^{a*}	26,82 ^d	28,33 ^{bc}
DKC6050 (Tolerant)	26,66 ^d	28,10 ^c	29,26 ^{ab}
Ortalama	28,09^{ab}	27,46^b	28,80^a

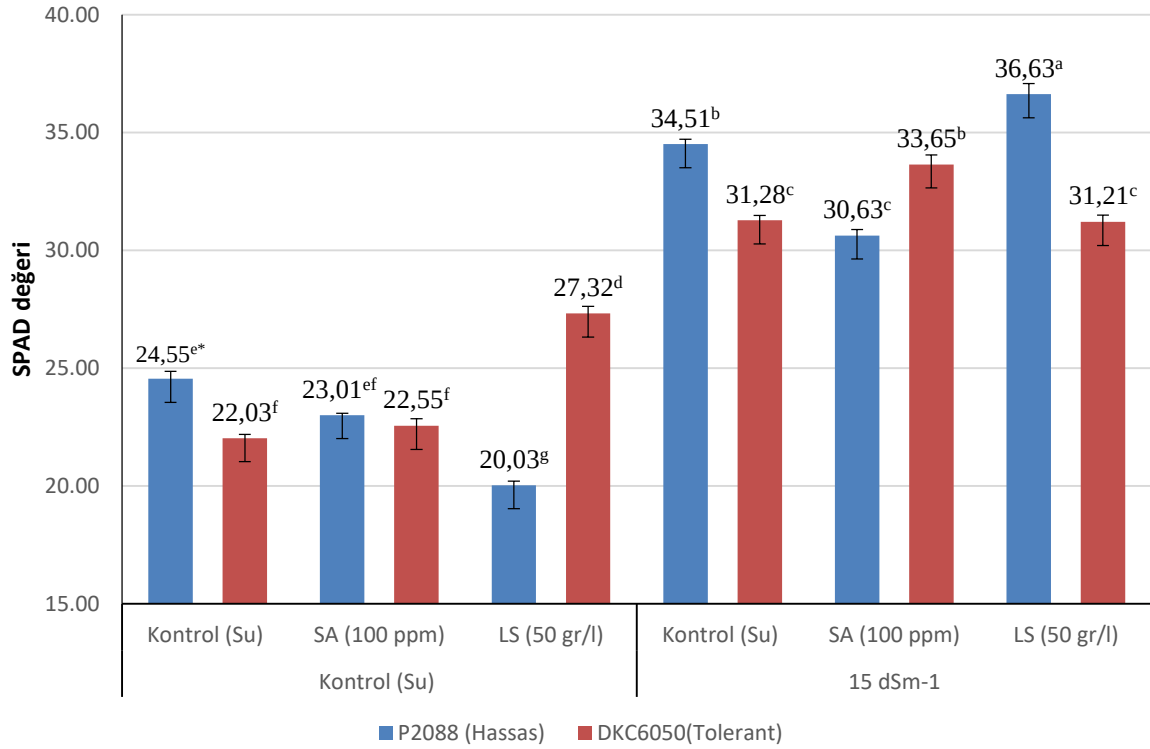
*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması interaksyonunun SPAD değeri üzerine etkisi önemli olmamakla birlikte en yüksek değerler tuzlu ortamda elde edilmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama spad değerine etkisi

Tuz dozları	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
Kontrol (Su)	23,29	22,78	23,68
15 dSm ⁻¹	32,90	32,14	33,92

Mısır çeşitleri $\times$ tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması interaksyonuna göre en yüksek SPAD değeri 15 dSm⁻¹ tuz uygulamasında P2088 çeşidinde ve LS uygulamasında elde edilmiştir (Şekil 4.8). Kontrol uygulamasında P2088 çeşidinde sitrik asit uygulamalarının etkisi olumsuz iken DKC6050 çeşidinde olumlu bulunmuştur.



Şekil 4.8. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde SPAD değerine etkisi (*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.)

Kontrol koşullarında tuzlu koşullara göre daha düşük SPAD değerleri elde edilmiştir. Diğer yandan kontrol koşullarında LS uygulamasıyla P2088 çeşidinde SPAD değeri azalırken, DKC6050’de artış olmuştur. Tuzlu ortamda ise P2088 çeşidinde LS uygulaması ve DKC6050 çeşidinde SA uygulaması daha yüksek SPAD değerleri vermiştir. SPAD değeri, bitki sağlığını, fotosentetik kapasiteyi ve tuz stresi de dahil olmak üzere çevresel streslere verilen tepkileri değerlendirmek için sıklıkla kullanılan bir yaprak klorofil içeriği

ölçüsüdür. Tuz stresi altında, SPAD değerleri, iyon toksisitesi, ozmotik stres ve aşırı tuz seviyelerinin neden olduğu besin dengesizliği nedeniyle klorofil içeriğinin ne ölçüde etkilendiğini gösterebilir (Shah vd., 2017). Kandel(2020)'e göre SPAD değeri yaşla artar ve hasat zamanında azalır. Yaprakların tane verimine daha fazla katkıda bulunduğu için farklı yaş ve yaprakların SPAD değerinin tane verimiyle pozitif ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Bulgularımızın aksine Iqbal vd. (2025)'nin mısırdaki yaptıkları çalışmada klorofil indeksi (SPAD değeri) tuzluluk ve bunların kombinasyonlarına maruz kaldığında önemli ölçüde azalmıştır. Habibi vd. (2023)'nin domates bitkisinde yaptıkları çalışmada ise; PEG6000 ile tohum ön uygulaması tuzlu çevre koşullarında SPAD değerini artırmıştır. Farida vd. (2017)'i ayçiçeğinde sitrik asit uygulamasıyla SPAD değerinin kademeli olarak arttığını bildirmişlerdir.

4.2.1.4. Yaprak bağıl su içeriği (%)

Yaprak bağıl su içeriği üzerine yapılan uygulamaların etkisine ait varyans analiz sonuçları çizelge 4.13.'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre ana faktörler ve bunların yaprak bağıl su içeriği üzerine etkileri tüm interaksionlarda önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.13. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının yaprak bağıl su içeriği(%) üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F Değeri	Önem seviyesi
Mısır çeşitleri (A)	1	29,43	54,34*	0,0001
Tuz dozları (B)	1	444,49	820,66*	0,0001
AxB	1	17,57	32,44*	0,0001
Sitrik asit uygulamaları (C)	2	14,68	13,55*	0,0001
AXC	2	14,66	13,54*	0,0001
BXC	2	12,18	11,24*	0,0002
AXBXC	2	14,20	13,11*	0,0001
Hata	36	19,49		
Genel	47	566,74		

CV (%): 0,81

* $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

❖ **Yaprak bağıl su içeriği (%) üzerine mısır çeşitleri, tuz dozları ve mısır çeşitleri × tuz dozlarının etkileri**

Yaprak bağıl su içeriği mısır çeşitlerine göre farklılık göstermiştir ve DKC6050 çeşidinde daha yüksektir (Çizelge 4.14). Tuz dozları bakımından kontrol uygulamaları daha yüksek değerlere sahiptir. Mısır çeşitleri × Tuz dozları interaksionuna göre yaprak bağıl su içeriği her iki çeşitte de kontrol uygulamasında yüksek ve benzer sonuçlar göstermiştir. Diğer yandan 15 dSm^{-1} uygulamalarında DKC6050 çeşidinin YBSİ daha yüksektir.

Çizelge 4.14. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama yaprak bağıl su içeriğine (%) etkisi

Mısır Çeşitleri	Tuz dozları		Ortalama
	Kontrol (Su)	15 dSm ⁻¹	
P2088 (Hassas)	93,35 ^{a*}	86,05 ^c	89,70^b
DKC6050(Tolerant)	93,71 ^a	88,83 ^b	91,27^a
Ortalama	93,53^a	87,44^b	

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

❖ **Yaprak bağıl su içeriği (%) üzerine sitrik asit uygulaması, mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması, tuz dozu × sitrik asit uygulaması ve mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması etkileri**

Yaprak bağıl su içeriği LS uygulamasıyla artmıştır (Çizelge 4.15). Diğer yandan mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması interaksiyonunda DKC6050 çeşidinde SA ve LS uygulamalarında daha yüksek ve benzer YBSİ elde edilmiştir.

Çizelge 4.15. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama yaprak bağıl su içeriğine etkisi

Mısır Çeşitleri	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
P2088 (Hassas)	90,17 ^{b*}	88,37 ^c	90,56 ^b
DKC6050 (Tolerant)	90,53 ^b	91,40 ^a	91,88 ^a
Ortalama	90,35^b	89,88^b	91,22^a

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

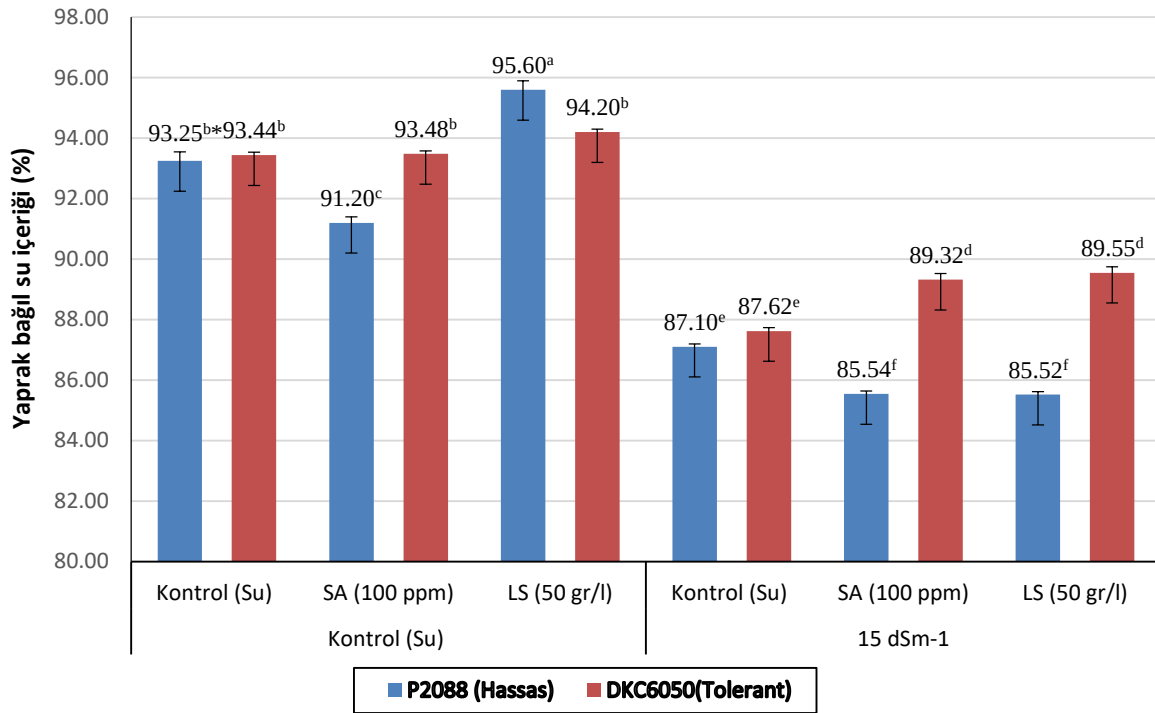
Tuz dozu × sitrik asit uygulaması interaksiyonu bakımından en yüksek YBSİ su ortamında yetişen bitkilere LS uygulayarak elde edilmiştir (Çizelge 4.16). Diğer yandan tuzlu ortamdan sitrik asit uygulamaları benzer sonuçlar vermiştir.

Çizelge 4.16. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama yaprak bağıl su içeriği değerine etkisi

Tuz dozları	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
Kontrol (Su)	93,35 ^{b*}	92,34 ^c	94,90 ^a
15 dSm ⁻¹	87,36 ^d	87,43 ^d	87,54 ^d

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması interaksiyonuna göre en yüksek yaprak bağıl su içeriği kontrol (su) uygulamasında yetişen DKC6050 çeşidine ait bitkilere LS uygulamasında elde edilmiştir (Şekil 4.9). 15 dSm⁻¹ tuz uygulamasında P2088 çeşidinde sitrik asit uygulamalarının etkisi olumsuz iken DKC6050 çeşidinde olumlu bulunmuştur.



Şekil 4.9. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde yaprak bağıl su içeriğine etkisi (*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.)

Kontrol koşullarında tuzlu koşullara göre daha yüksek yaprak bağıl su içeriğideğerleri elde edilmiştir. Diğer yandan kontrol koşullarında her iki çeşitte LS uygulamasıyla YBSİ atmıştır. Tuzlu koşullarda ise sitrik asit uygulamalarıyla P2088 çeşidinde artış ve DKC6050 çeşidinde bir azalış gözlenmiştir. YBSİ, özellikle tuz stresi gibi koşullar altında bitki su durumunu değerlendirmek için sıklıkla kullanılan kritik bir fizyolojik parametredir. Tuz stresi, ozmotik stres ve iyonik dengesizlikler nedeniyle su alımını bozarak bitkinin YBSİ'ni önemli ölçüde etkiler. Gul Jan vd. (2019)'i tuz stresi altındamısır fidelerinin bağıl su içeriğinde önemli bir azalmanın olduğunu bildirmişlerdir. Sun vd. (2011)'nin tuzlu koşullarda *Leymus chinensis* (Trin.) türünün tuza hassas ve dayanıklı 2 genotipi üzerinde sitrik asit uygulaması yaptığı çalışmasında, YBSİ değişkenlik göstermemiştir. Chakroborty vd. (2022)'i ise sitrik asit uygulamasıyla tuzlu koşullarda bamyada YBSİ'nin düzenlendiğini belirlemişlerdir.

4.2.1.5. Elektrolit sızıntısı (%)

Elektrolit sızıntısı üzerine yapılan uygulamaların etkisine ait varyans analiz sonuçları çizelge 4.17.'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre ana faktörler ve bunların elektrolit sızıntısı üzerine interaksiyon etkileri tüm interaksiyonlarda önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.17. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının elektrolit sızıntısı (%) üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F Değeri	Önem seviyesi
Mısır çeşitleri (A)	1	291,31	303,22*	0,0001
Tuz dozları (B)	1	815,07	848,39*	0,0001
AxB	1	162,11	168,73*	0,0001
Sitrik asit uygulamaları (C)	2	509,47	265,15*	0,0001
AXC	2	939,82	489,12*	0,0001
BXC	2	297,39	154,77*	0,0001
AXBXC	2	110,71	57,62*	0,0001
Hata	36	34,58		
Genel	47	3160,5		

CV (%): 3,08

*p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

❖ **Elektrolit sızıntısı (%) üzerine mısır çeşitleri, tuz dozları ve mısır çeşitleri × tuz dozlarının etkileri**

Elektrolit sızıntısı mısır çeşitlerine göre farklılık göstermiştir (Çizelge 4.18). P2088 çeşidinde, DKC6050'den daha fazla elektrolit sızıntısı olmuştur. Diğer yandan tuzlu ortamda elektrolit sızıntısı artmıştır. Mısır çeşitleri × Tuz dozları interaksyonuna göre ise en az elektrolit sızıntısı su ortamında yetiştirilen DKC6050 çeşidine ait bitkilerde ölçülmüştür.

Çizelge 4.18. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama elektrolit sızıntısına (%) etkisi

Mısır Çeşitleri	Tuz dozları		
	Kontrol (Su)	15 dSm ⁻¹	Ortalama
P2088 (Hassas)	28,31 ^{c*}	40,22 ^a	34,26 ^a
DKC6050(Tolerant)	27,05 ^d	31,62 ^b	29,34 ^b
Ortalama	27,68^b	35,92^a	

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

❖ **Elektrolit sızıntısı (%) üzerine sitrik asit uygulaması, mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması, tuz dozu×sitrik asit uygulaması ve mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması etkileri**

Sitrik asit uygulamaları elektrolit sızıntısını azaltmıştır (Çizelge 4.19). Mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması interaksyonuna göre en düşük elektrolit sızıntısı DKC6050 çeşidinin kontrol uygulamasında elde edilmiştir.

Çizelge 4.19. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama elektrolit sızıntısına etkisi

Mısır Çeşitleri	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
P2088 (Hassas)	45,10 ^{a*}	29,32 ^{cd}	28,37 ^{de}
DKC6050 (Tolerant)	27,71 ^e	29,64 ^c	30,66 ^b
Ortalama	36,41^a	29,48^b	29,52^b

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

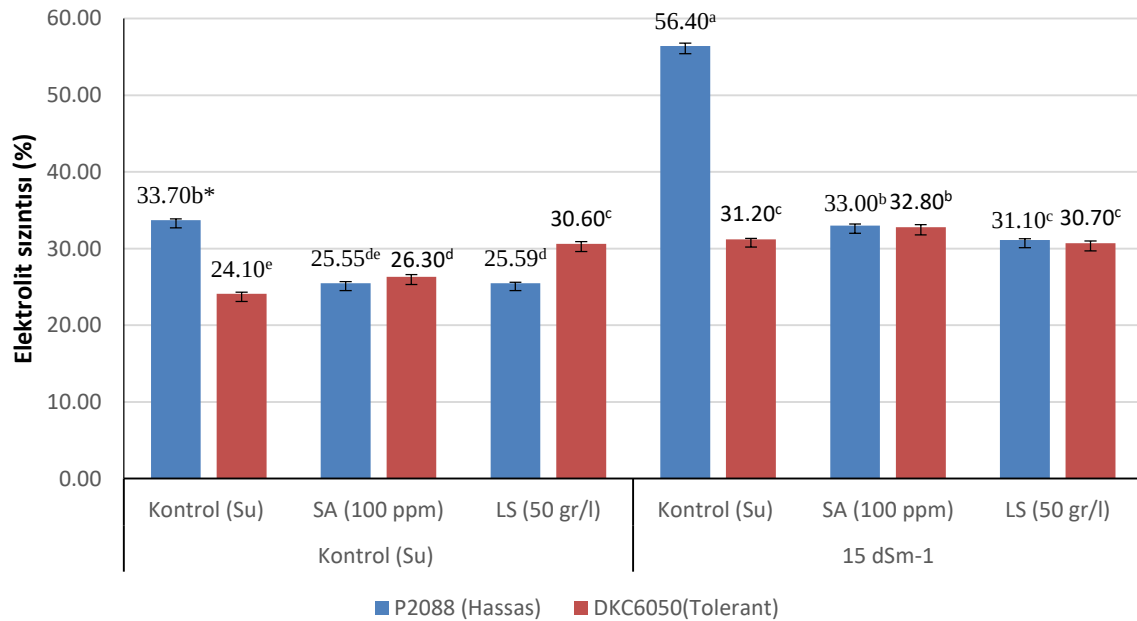
Tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması etkileşimini elektrolit sızıntısı üzerine etkisi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.20). En az elektrolit sızıntısı su ortamında yetişen bitkilerde SA uygulaması sonucu elde edilmiştir. 15 dSm⁻¹ tuz ortamında sitrik asit uygulamalarıyla elektrolit sızıntısı azalmıştır.

Çizelge 4.20. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama elektrolit sızıntısına etkisi

Tuz dozları	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
Kontrol (Su)	28,98 ^{d*}	25,97 ^e	28,09 ^d
15 dSm ⁻¹	43,84 ^a	32,99 ^b	30,94 ^c

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Mısır çeşitleri $\times$ tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması etkileşimine göre en fazla elektrolit sızıntısı 15 dSm⁻¹ uygulamasında P2088 çeşidinde elde edilmiştir (Şekil 4.10). Bu çeşitte sitrik asit uygulamaları önemli ölçüde elektrolit sızıntısını azaltmıştır.



Şekil 4.10. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde elektrolit sızıntısına etkisi (*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.)

Kontrol şartlarında SA ve LS uygulamaları, P2088 çeşidinde elektrolit sızıntısını azaltırken DKC6050 çeşidinde artışa neden olmuştur. Tuzlu koşullarda SA ve LS uygulamaları P2088 çeşidinde elektrolit sızıntısını önemli oranda azaltırken DKC6050 çeşidinde SA uygulamasında kontrole göre artış, LS uygulamasında benzer değerler elde edilmiştir. Elektrolit sızıntısı, hücre zarı hasarının yaygın bir göstergesidir ve genellikle tuz stresi de dahil olmak üzere bitki stres tepkilerini değerlendirmek için kullanılır. Tuz stresi,

bitki dokularında sodyum (Na^+) ve klorür (Cl^-) iyonlarının birikmesine neden olur ve bu da hücrel homeostaziye bozabilir ve oksidatif strese yol açabilir (Balasubramaniam vd., 2023). Bu da hücre zarlarına zarar vererek elektrolitlerin sızmasına neden olur. Gul Jan vd. (2019)'i elektrolit sızıntısının kontrolle karşılaştırıldığında tuz stresi uygulamalarında önemli ölçüde ($P < 0,05$) daha yüksek olduğunu bulmuştur. 100 mM NaCl'nin elektrolit sızıntısını 2,5 kat artırdığı ve mantar ilişkisi tuzlu koşullar altında mısır fidelerindeki elektrolit sızıntısının azaldığı bildirilmiştir. Hu vd. (2016)'i eksojen sitrik asit uygulamasıyla sıcaklık stresi altında geliştirilmiş antioksidan sisteminin hücre zarı hasarını (daha düşük elektrolit sızıntısı (EL) ve malondialdehit (MDA) içeriği), ROS birikimini ve yaprak yaşlanmasını hafiflettiğini bildirmişlerdir. Sallah vd. (2017)'i çalışmasında, sitrik asidin *Lemna minor* L. üzerinde krom alımını artırdığı ve elektrolit sızıntısını, hidrojen peroksit ve malondialdehit içeriklerindeki artırdığını gözlemlemişlerdir. Shareef vd. (2022)'i 1.000 ppm'lik sitrik asit uygulamasının tuz stresi altında palm bitkisinde elektrolit sızıntısını ve malondialdehiti azalttığını belirlemişlerdir.

4.2.1.6. Yaprak alanı (cm^2)

Yaprak alanı üzerine yapılan uygulamaların etkisine ait varyans analiz sonuçları çizelge 4.21.'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre ana faktörler ve bunların yaprak alanı üzerine interaksiyon etkileri mısır çeşitleri haricinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.21. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının yaprak alanı üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F Değeri	Önem seviyesi
Mısır çeşitleri (A)	1	2,44	3,0581 ^{öd}	0,0889
Tuz dozları (B)	1	891,65	1113,85*	0,0001
AxB	1	17,9	22,37*	0,0001
Sitrik asit uygulamaları (C)	2	68,18	42,58*	0,0001
AXC	2	78,9	49,28*	0,0001
BXC	2	71,22	44,48*	0,0001
AXBXC	2	80,5	50,28*	0,0001
Hata	36	28,81		
Genel	47	1239,6		
CV (%): 4,96				

* $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

Öd: Önemli değil

❖ **Yaprak alanı üzerine mısır çeşitleri, tuz dozları ve mısır çeşitleri × tuz dozlarının etkileri**

Yaprak alanı mısır çeşitlerine göre benzer olmakla birlikte tuz ortamında azalmıştır (Çizelge 4.22). Mısır çeşitleri × Tuz dozları interaksiyonuna göre en fazla yaprak alanı P2088 çeşidinde kontrol ortamında elde edilmiştir. Kontrol × Tuz dozları interaksiyonuna göre ise en yüksek değer P2088 çeşidinde kontrol ortamında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.22. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama yaprak alanı etkisi

Mısır Çeşitleri	Tuz dozları		
	Kontrol (Su)	15 dSm ⁻¹	Ortalama
P2088 (Hassas)	22,60 ^{a*}	12,76 ^d	17,68
DKC6050(Tolerant)	21,83 ^b	14,44 ^c	18,14
Ortalama	22,22^a	13,60^b	

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

❖ **Yaprak alanı üzerine sitrik asit uygulaması, mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması, tuz dozu × sitrik asit uygulaması ve mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması etkileri**

Sitrik asit uygulamaları bakımından en fazla yaprak alanı LS uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.23). Mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması interaksiyonunda ise en yüksek değerler DKC6050 çeşidinde LS uygulaması sonucu ölçülmüştür.

Çizelge 4.23. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama yaprak alanına etkisi

Mısır Çeşitleri	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
P2088 (Hassas)	19,63 ^{b*}	15,52 ^e	17,90 ^c
DKC6050 (Tolerant)	16,51 ^d	17,23 ^{cd}	20,67 ^a
Ortalama	18,07^b	16,38^c	19,28^a

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Tuz dozu × sitrik asit uygulaması interaksiyonunun yaprak alanı üzerine etkisi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.24).

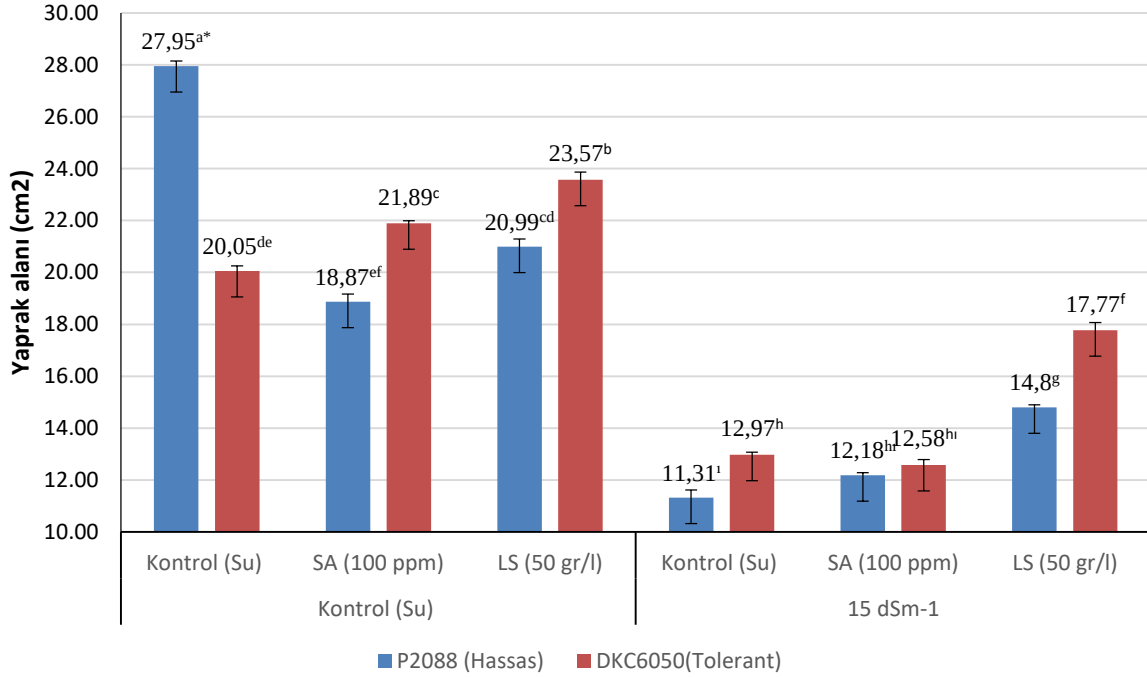
Çizelge 4.24. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama yaprak alanına etkisi

Tuz dozları	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
Kontrol (Su)	24,00 ^{a*}	20,38 ^c	22,28 ^b
15 dSm ⁻¹	12,14 ^e	12,38 ^e	16,29 ^d

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması interaksiyonuna göre en yüksek yaprak alanı kontrol (su) uygulamasında P2088 çeşidinde elde edilmiştir (Şekil 4.11). Diğer yandan DKC6050 çeşidinde yaprak alanı sitrik asit uygulamalarıyla artış göstermiştir. 15

dSm^{-1} tuz ortamında her iki çeşitte de sitrik asit uygulamalarıyla yaprak alanı artış göstermiştir. Özellikle her iki çeşitte LS uygulamasıyla meydana gelen artış oldukça önemlidir.



Şekil 4.11. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde yaprak alanına etkisi (*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.)

Kontrol şartlarında SA ve LS uygulamaları, P2088 çeşidinde yaprak alanını azaltırken DKC6050 çeşidinde artmaya sebep olmuştur. $15 dSm^{-1}$ tuz koşullarında ise LS uygulaması her iki çeşitte de yaprak alanını artırmıştır. Kontrol ve tuz uygulamalarını karşılaştırdığımızda tuz uygulaması çeşitlerdeki yaprak alanını daraltmıştır. Yaprak alanı, fotosentez, terleme ve gaz değişimi için kritik olan bir bitkinin yapraklarının yüzey alanını ifade eder. Bitkinin güneş ışığını yakalama ve enerji üretimi ve büyümesi için gerekli olan fotosentezi gerçekleştirme yeteneğini doğrudan etkiler (Yang vd., 2022). Mısır bitkisinin 100 ve 150 mM NaCl'ye uzun süreli maruz kalmasının yaprak alanı üzerinde olumsuz etkisi olduğu tespit edilmiştir (Ali ve Fatma, 2011). Bulgularımıza benzer şekilde Aslam vd. (2023)'nin yaptığı çalışmada ise tuzlu koşullarda 150 mg/L sitrik asit uygulamasıyla yaprak alanının arttığı vurgulanmıştır. Ali vd. (2024)'nin patlıcanda yaptığı çalışmada; 300 ppm konsantrasyonda verilen sitrik asit, tek başına tuz uygulamasından veya hatta stressiz

koşullarda bile büyüme özellikleri (yaprak sayısı, yaprak alanı, bitki uzunluğu, taze ve kuru biyokütle vb.) üzerinde olumlu etki yaptığı belirlenmiştir.

4.2.1.7. Yaş ağırlık (mg/bitki)

Yaş ağırlık üzerine yapılan uygulamaların etkisine ait varyans analiz sonuçları çizelge 4.25.'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre ana faktörler ve bunların yaş ağırlık üzerine interaksiyon etkileri A × C interaksiyonu haricinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.25. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının yaş ağırlık üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F Değeri	Önem seviyesi
Mısır çeşitleri (A)	1	1360470	67,6*	0,0001
Tuz dozları (B)	1	191252729	9504,11*	0,0001
AxB	1	2102126	104,46*	0,0001
Sitrik asit uygulamaları (C)	2	563141	13,99*	0,0001
AXC	2	28943	0,71 ^{öd}	0,4940
BXC	2	386576	9,6*	0,0005
AXBXC	2	222458	5,52*	0,0081
Hata	36	724434		
Genel	47	196640876		
CV (%): 2,55				

**p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli
Öd: Önemli değil

❖ Yaş ağırlık üzerine mısır çeşitleri, tuz dozları ve mısır çeşitleri × tuz dozlarının etkileri

Yaş ağırlık; DKC6050 çeşidinde ve kontrol ortamındaki bitkilerde daha yüksektir (Çizelge 4.26). Mısır çeşitleri × Tuz dozları interaksiyonuna göre ise yaş ağırlık her iki çeşitte kontrol ortamında daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.26. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama yaş ağırlığına etkisi

Mısır Çeşitleri	Tuz dozları		
	Kontrol (Su)	15 dSm ⁻¹	Ortalama
P2088 (Hassas)	7587,5 ^{a*}	3176,7 ^c	5382,1 ^b
DKC6050(Tolerant)	7505,6 ^a	3932 ^b	5718,8 ^a
Ortalama	7546,5^a	3554,3^b	

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

❖ Yaş ağırlık üzerine sitrik asit uygulaması, mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması, tuz dozu × sitrik asit uygulaması ve mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması etkileri

Sitrik asit uygulamalarıyla yaş ağırlık azalmıştır (Çizelge 4.27). Özellikle SA uygulamasındaki azalma daha yüksektir.

Çizelge 4.27.Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama yaş ağırlığa etkisi

Mısır Çeşitleri	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
P2088 (Hassas)	5492,2	5241,7	5412,3
DKC6050 (Tolerant)	5877,3	5597,3	5681,7
Ortalama	5684,8^{a*}	5419,5^c	5547,0^b

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

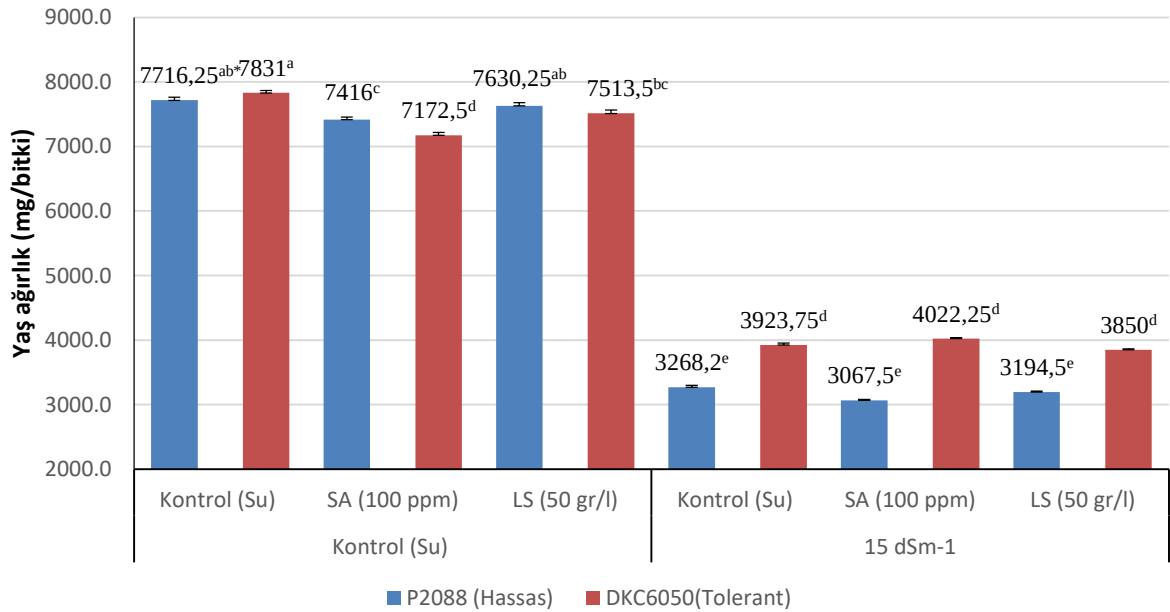
Tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması interaksyonunun yaş ağırlık üzerine etkisi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.28). En fazla yaş ağırlık kontrol (su) uygulamalarından elde edilmiştir. Diğer yandan 15 dSm⁻¹ tuz uygulamalarında yaş ağırlık bakımından benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.28. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama yaş ağırlığa değerine etkisi

Tuz dozları	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
Kontrol (Su)	7773,6 ^{a*}	7294,2 ^c	7571,8 ^b
15 dSm ⁻¹	3596,0 ^d	3544,8 ^d	3522,2 ^d

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Mısır çeşitleri $\times$ tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması interaksyonuna gören yüksek yaş ağırlık değerleri kontrol ortamında P2088 çeşidinde su ve LS uygulamasıyla DKC6050 çeşidinde su uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.12). 15 dSm⁻¹ tuz ortamında ise DKC6050 çeşidi daha yüksek ve benzer değerler göstermiştir. Aynı şekilde P2088 çeşidinde sirke uygulaması yaş ağırlık üzerinde bir değişime yol açmamıştır.



Şekil 4.12. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde yaş ağırlığa etkisi (*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.)

Kontrol şartlarında LS uygulaması su uygulamasına benzer sonuçlar vermiştir. Tuz koşullarında ise DKC6050 çeşidinde yaş ağırlık yüksek olmakla birlikte, çeşitler kendi içinde benzer sonuçlar göstermiştir. Yaş ağırlık özellikle tuzluluk gibi stres koşulları altında bitki büyümesini veya verimini inceleyen çalışmalarda kritik bir parametredir. Tuzluluğa maruz kalan bitkilerde genellikle bozulmuş su alımı ve besin dengesizlikleri nedeniyle yaş ağırlık azalır. Sitrik asit, antioksidan aktiviteyi artırarak veya hücrel işlevleri stabilize ederek tuzluluğun olumsuz etkilerini hafifletme suretiyle yaş ağırlık üzerinde olumlu etkiye sahiptir (Tahjib-Ul-Arif vd., 2021).El-Hawary ve Nashed (2019) tarafından tuz stresi altında mısırdan yapılan çalışmada; sitrik asidin askorbik ve salisilik asitle birlikte dışırdan uygulanmasının büyüme oranı üzerinde olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir. Aslam vd. (2023), mısırdan tuz stresi altında sitrik asit uygulamasıyla yaş ağırlığının olumlu etkilendiğini belirlemişlerdir.

4.2.1.8. Kuru madde oranı (%)

Kuru madde oranı üzerine yapılan uygulamaların etkisine ait varyans analiz sonuçları çizelge 4.29.'da verilmiştir. Bu çizelgeye göre kuru madde oranı üzerine sadece mısır çeşitleri, tuz dozları, A x C interaksiyonunun etkileri önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.29.Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının kuru madde oranı üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F Değeri	Önem seviyesi
Mısır çeşitleri (A)	1	29,27	112,52**	0,0001
Tuz dozları (B)	1	15,25	58,65**	0,0001
AxB	1	0,54	2,1 ^{öd}	0,1554
Sitrik asit uygulamaları (C)	2	0,77	1,49 ^{öd}	0,2383
AXC	2	2,06	3,97*	0,0276
BXC	2	0,99	1,91 ^{öd}	0,1624
AXBXC	2	0,55	1,07 ^{öd}	0,3535
Hata	36	9,36		
Genel	47	58,84		
CV (%): 5,06				

*p≤0.05 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

**p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

Öd: Önemli değil

❖ **Kuru madde oranı üzerine mısır çeşitleri, tuz dozları ve mısır çeşitleri × tuz dozlarının etkileri**

Kuru madde oranı; P2088 çeşidinde ve 15 dSm⁻¹ tuz ortamında daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.30).

Çizelge 4.30. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama kuru madde oranı üzerine etkisi

Mısır Çeşitleri	Tuz dozları		
	Kontrol (Su)	15 dSm ⁻¹	Ortalama
P2088 (Hassas)	10,4	11,31	10,85^a
DKC6050(Tolerant)	8,62	9,96	9,29^b
Ortalama	9,51^{b*}	10,64^a	

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

❖ **Kuru madde oranı üzerine sitrik asit uygulaması, mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması, tuz dozu × sitrik asit uygulaması ve mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması etkileri**

Mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması interaksiyonu bakımından en yüksek kuru madde oranları P2088 çeşidinde SA ve LS uygulamasıyla elde edilmiştir (Çizelge 4.31).

Çizelge 4.31. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama kuru madde oranına etkisi

Mısır Çeşitleri	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
P2088 (Hassas)	10,39 ^{b*}	11,05 ^a	11,12 ^a
DKC6050 (Tolerant)	9,4 ^c	9,32 ^c	9,16 ^c
Ortalama	9,89	10,18	10,14

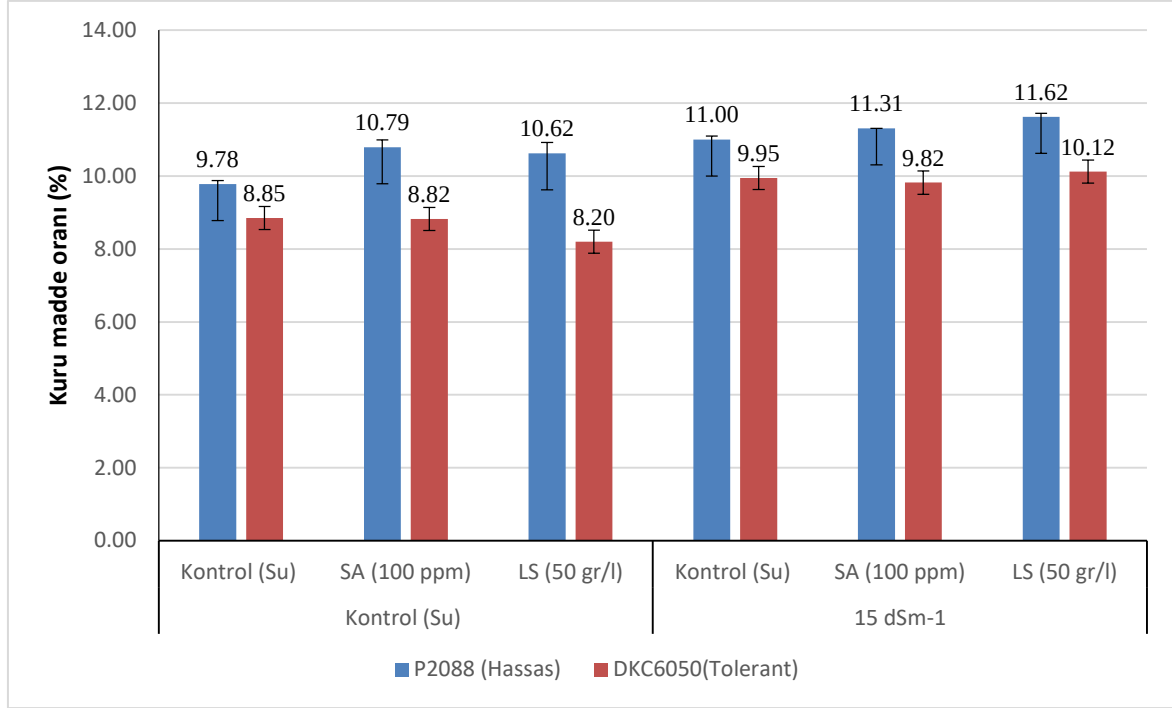
*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Tuz dozu × sitrik asit uygulaması interaksiyonu bakımından kuru madde oranı arasında önemli bir farklılık oluşmamıştır (Çizelge 4.32). Diğer yandan her iki ortamdada sitrik asit uygulamalarıyla birlikte kuru madde oranı bir miktar artmıştır.

Çizelge 4.32. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama kuru madde oranına etkisi

Tuz dozları	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
Kontrol (Su)	9,32	9,8	9,41
15 dSm ⁻¹	10,47	10,56	10,87

Mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması interaksiyonuna göre uygulamalar arasında kuru madde oranı farkı bulunmamaktadır (Şekil 4.13). Diğer yandan hem kontrol hem de tuz ortamında P2088 çeşidinin kuru madde oranı sitrik asit uygulamalarıyla artış göstermiştir.



Şekil4.13. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde kuru madde oranına etkisi

Kuru madde oranı için yapılan uygulamaların interaksyon etkisi önemsiz bulunmuştur. Öte yandan P2088 çeşidinde ve tuzlu koşullarda daha yüksek kuru madde oranı belirlenmiştir. Yüksek tuzluluk genellikle ozmotik strese neden olur, su alımını azaltır ve potansiyel olarak bitkinin kuru madde verimini düşürür (Puvanitha ve Mahendran, 2017). Kuru madde oranı, engellenmiş büyüme ve fizyolojik stres nedeniyle tuzlu koşullarda azalabilir. Chakroborty vd. (2022)'nin bamyada ve Ali vd. (2024)'nin patlıcanda tuz stresinin etkilerini inceledikleri çalışmalarda; sitrik asit uygulamasıyla yaş ve kuru biyomassın arttığı bildirilmiştir.

4.2.1.9. Stoma sayısı (mm²)

Stoma sayısı üzerine yapılan uygulamaların etkisine ait varyans analiz sonuçları çizelge 4.33.'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre ana faktörler ve bunların stoma sayısı üzerine interaksyon etkileri A × B interaksyonu ve sitrik asit uygulamaları (C) haricinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.33. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının stoma sayısı üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F Değeri	Önem seviyesi
Mısır çeşitleri (A)	1	76,52	6,81**	0,0131
Tuz dozları (B)	1	991,73	88,36**	0,0001
AxB	1	6,88	0,61 ^{öd}	0,4385
Sitrik asit uygulamaları (C)	2	69,25	3,08 ^{öd}	0,0580
AXC	2	278,16	12,39**	0,0001
BXC	2	127,41	5,67**	0,0072
AXBXC	2	83,79	3,73*	0,0336
Hata	36	404,04		
Genel	47	2037,8		

CV (%): 7,87

*p≤0.05 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

**p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

Öd: Önemli değil

❖ **Stoma sayısı üzerine mısır çeşitleri, tuz dozları ve mısır çeşitleri × tuz dozlarının etkileri**

Stoma sayısı mısır çeşitlerine göre farklılık göstermiştir (Çizelge 4.34). P2088 çeşidinde daha fazla stoma bulunmaktadır. Öte yandan bitkilerin tuzlu ortamda yetişmeside stoma sayısında artışa neden olmuştur.

Çizelge 4.34. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama stoma sayısı üzerine etkisi

Mısır Çeşitleri	Tuz dozları		
	Kontrol (Su)	15 dSm ⁻¹	Ortalama
P2088 (Hassas)	40	48	44^a
DKC6050(Tolerant)	36	46	41^b
Ortalama	38^{b*}	47^a	

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

❖ **Stoma sayısı üzerine sitrik asit uygulaması, mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması, tuz dozu × sitrik asit uygulaması ve mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması etkileri**

Sitrik asit uygulamalarının etkisi, stoma sayısı bakımından önemsizdir (Çizelge 4.35). En yüksek stoma sayıları P2088 çeşidinde su ve LS uygulamalarıyla elde edilmiştir.

Çizelge 4.35. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında stoma sayısına etkisi

Mısır Çeşitleri	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
P2088 (Hassas)	45 ^{ab*}	39 ^d	47 ^a
DKC6050 (Tolerant)	43 ^b	42 ^{bc}	39 ^d
Ortalama	44^a	41^b	43^{ab}

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

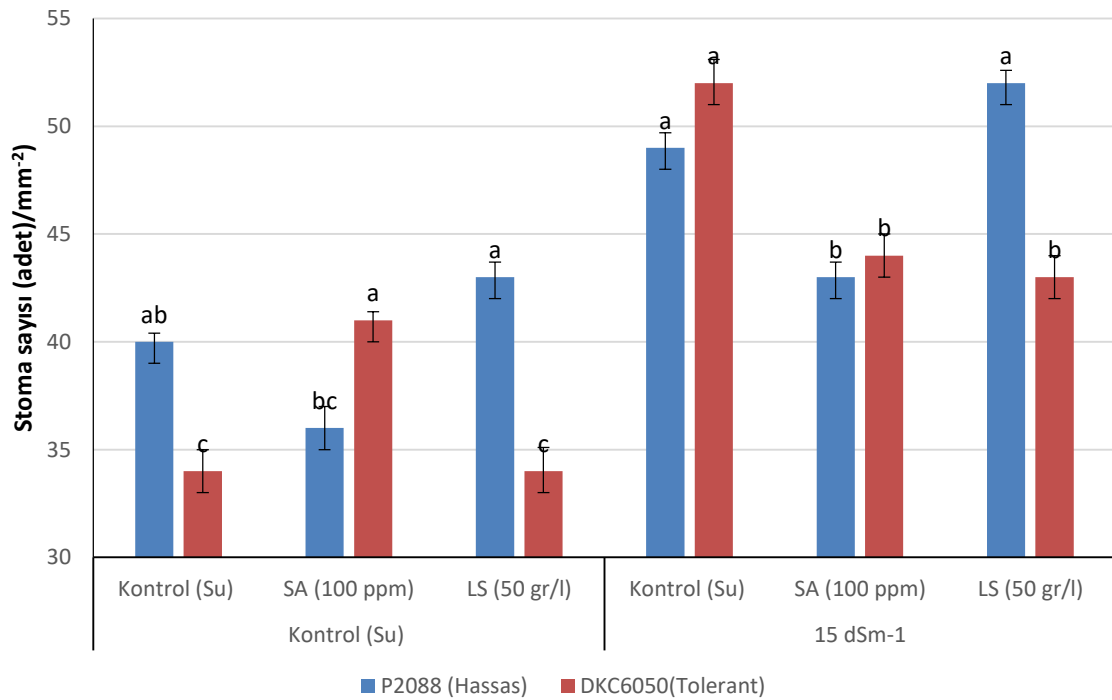
Tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması interaksyonu bakımından en yüksek stoma sayısı su ve LS uygulamalarından elde edilmiştir (Çizelge 4.36).

Çizelge 4.36. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama stoma sayısına etkisi

Tuz dozları	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
Kontrol (Su)	37 ^{c*}	38 ^c	39 ^c
15 dSm ⁻¹	50 ^a	44 ^b	47 ^a

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Mısır çeşitleri $\times$ tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması interaksyonuna göre uygulamalar arasında stoma sayısında fark bulunmaktadır (Şekil 4.14). Diğer yandan en fazla stoma sayısı 15 dSm⁻¹ tuz ortamında DKC6050 çeşidinde su uygulaması ve P2088 çeşidinde LS uygulamasıyla elde edilmiştir. DKC6050 çeşidinde sitrik asit uygulamaları stoma sayısını azaltırken P2088 çeşidinde artırmıştır.



Şekil 4.14. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde stoma sayısına etkisi (*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.05$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.)

Kontrol koşullarında P2088 çeşidinde LS ve DKC6050 çeşidinde SA uygulaması stoma sayısında artışa neden olmuştur. Diğer yandan tuzlu koşullarda P2088’de LS uygulamasıyla stoma sayısı artarken DKC6050’de SA ve LS uygulamaları stoma sayısını düşürmüştür. Son çalışmalar, stres altında stoma yoğunluğunun azaltılmasının, ürün verimi

üzerinde olumsuz etkilere neden olmadan su kullanım verimliliğini artırabileceğini göstermiştir (Hughes vd., 2017; Wang ve Chen, 2020). Mısırdaki tuz stresiyle ilgili yapılan bazı çalışmalarda bulgularımızın aksine stoma sayısı ve yoğunluğunun azaldığı bildirilmiştir (de Azevedo Neto vd., 2004; Dikobe vd., 2021; Sinthumule vd. 2022). Öte yandan, de Azevedo Neto vd. (2004)'ne göre tuza dayanıklı genotipteki stoma tepkisi tuzluluktan etkilenmemiştir.

4.2.1.10. Stoma boyu (μm)

Stoma boyu üzerine yapılan uygulamaların etkisine ait varyans analiz sonuçları çizelge 4.37.'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre ana faktörler ve bunların stoma boyu üzerine etkisi önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.37. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının stoma boyu üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F Değeri	Önem seviyesi
Mısır çeşitleri (A)	1	16,77	7,55*	0,0093
Tuz dozları (B)	1	122,97	55,43*	0,0001
AxB	1	38,23	17,2*	0,0002
Sitrik asit uygulamaları (C)	2	31,42	7,08*	0,0025
AXC	2	78,38	17,66*	0,0001
BXC	2	30,32	6,8*	0,0030
AXBXC	2	36,97	8,33*	0,0011
Hata	36	79,86		
Genel	47	434,94		

CV (%): 4,11

* $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

❖ Stoma boyu üzerine mısır çeşitleri, tuz dozları ve mısır çeşitleri $\times$ tuz dozlarının etkileri

Stoma boyu P2088 çeşidinde ve kontrol ortamında daha yüksektir (Çizelge 4.38). Mısır çeşitleri $\times$ Tuz dozları etkileşimine göre ise stoma her iki çeşitte de kontrol ortamında benzer ve yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.38. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama stoma boyuna etkisi

Mısır Çeşitleri	Tuz dozları		Ortalama
	Kontrol (Su)	15 dSm ⁻¹	
P2088 (Hassas)	37,27 ^a *	35,85 ^b	36,56 ^a
DKC6050(Tolerant)	37,87 ^a	32,89 ^c	35,38 ^b
Ortalama	37,57^a	34,37^b	

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

❖ **Stoma boyu üzerine sitrik asit uygulaması, mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması, tuz dozu × sitrik asit uygulaması ve mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması etkileri**

Sitrik asit uygulamaları bakımından en yüksek stoma boyuna sahip bitkiler kontrol ve SA uygulamalarından elde edilmiştir (Çizelge 4.39). Mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması interaksiyonunda ise en yüksek stoma boyuna sahip bitkiler P2088 çeşidinde LS ve SA ile DKC6050 çeşidinde ise su ve SA uygulamalarında ölçülmüştür.

Çizelge 4.39. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama stoma boyuna etkisi

Mısır Çeşitleri	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
P2088 (Hassas)	35,04 ^{b*}	37,43 ^a	47,22 ^a
DKC6050 (Tolerant)	36,84 ^a	36,52 ^{ab}	38,63 ^d
Ortalama	35,94^{ab}	36,98^a	34,99^b

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

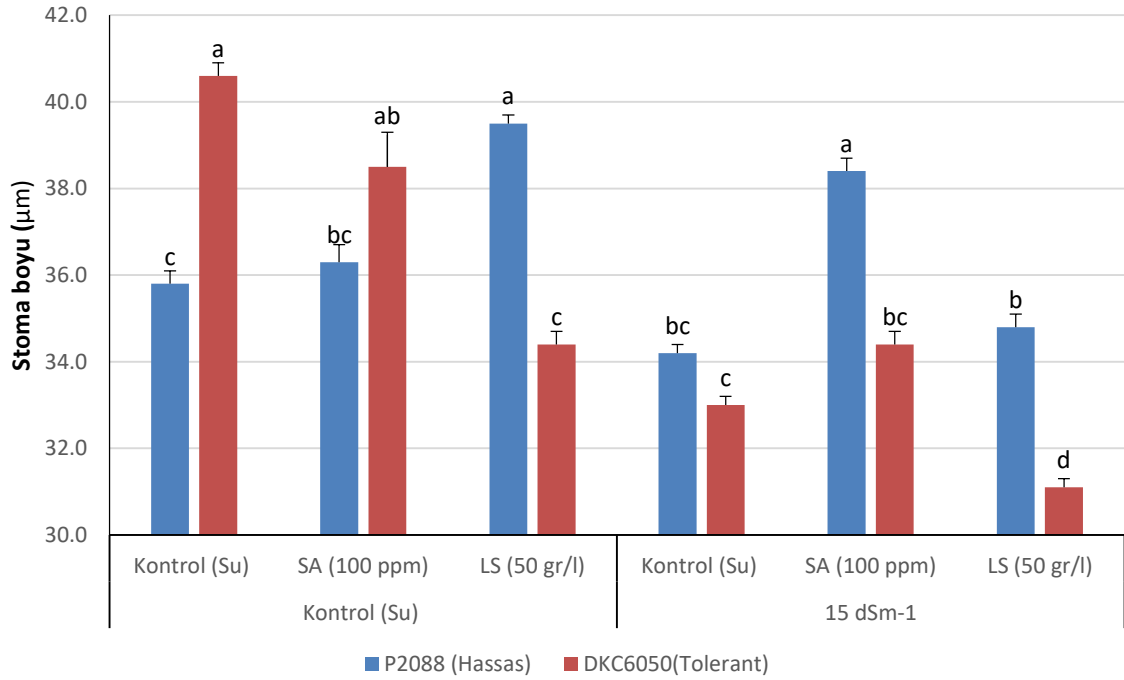
Tuz dozu × sitrik asit uygulaması interaksiyonunun stoma boyu üzerine etkisi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.40). Kontrol ortamında gelişen bitkilere yapılan sitrik asit uygulamaları yüksek ve benzer sonuçlar göstermiştir.

Çizelge 4.40. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama stoma boyuna etkisi

Tuz dozları	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
Kontrol (Su)	38,27 ^{a*}	37,47 ^{ab}	36,97 ^{ab}
15 dSm ⁻¹	33,61 ^c	36,48 ^b	33,02 ^c

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması interaksiyonuna göre uygulamalar arasında stoma boyunda fark bulunmaktadır (Şekil 4.15). Kontrol ortamında stoma boyu DKC6050 çeşidinde sitrik asit uygulamalarıyla düşerken P2088 çeşidinde artmıştır. Tuzlu ortamda SA uygulaması özellikle P2088 çeşidinde stoma boyunu oldukça fazla artırmıştır. Diğer yandan DKC6050 çeşidinde LS uygulaması önemli oranda düşüşe neden olmuştur.



Şekil 4.15. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde stoma boyuna etkisi (*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.05$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.)

Kontrol şartlarında LS uygulaması P2088 çeşidinde stoma boyunda artışa neden olurken, DKC6050 çeşidinde azalmaya sebep olmuştur. Tuzlu koşullarda ise SA uygulaması P2088 çeşidinde stoma boyunu artırırken DKC6050 çeşidinde LS uygulaması azaltmıştır. Yüksek tuzlulukta, bitki su kaybını en aza indirmek için uyum sağlarken stoma uzunluğu da dahil olmak üzere stoma boyutunu genellikle azaltır (Chen vd., 2022). Tuzluluk stresi altında stoma uzunluğu türlere ve yapılan uygulamalara göre değişkenlik gösterir. He vd. (2024), tuz stresi altında mısır fidelerine melatonin uygulanması sonucu stoma boyutlarının % 11.60 oranında arttığını ve bu iyileşmenin fotosentetik pigmentlerin birikimiyle yapraklardaki fotosentezi artırmada daha elverişli olduğunu belirlemişlerdir. Rhaman vd. (2024)'nin yaptığı çalışmada; tuz stresiyle mısırdaki stoma boyutlarının azaldığı, prolin ve glisin betain uygulamalarıyla stoma boyutlarını arttığı tespit edilmiştir.

4.2.2. Sitrik Asit Uygulamalarının Bitkide Element İçeriğine Etkileri

Bitkide sodyum içeriği üzerine yapılan uygulamaların etkisine ait varyans analiz sonuçları çizelge 4.41'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre sodyum içeriği üzerine ana faktörler ve bunların interaksiyon etkileri önemli bulunmuştur.

4.2.2.1. Sodyum (Na, mg/kg)

Çizelge 4.41. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının sodyum (Na) üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F Değeri	Önem seviyesi
Mısır çeşitleri (A)	1	37243029	911,7507*	0,0001
Tuz dozları (B)	1	314920753	7709,610*	0,0001
AxB	1	33311674	815,5068*	0,0001
Sitrik asit uygulamaları (C)	2	1253551	15,3442*	0,0001
AXC	2	2190321	26,8107*	0,0001
BXC	2	1258446	15,4041*	0,0001
AXBXC	2	2407017	29,4632*	0,0001
Hata	24	108565400		
Genel	35	393565138		
CV (%): 6,53				

* $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

❖ Sodyum (Na) içeriği üzerine mısır çeşitleri, tuz dozları ve mısır çeşitleri × tuz dozlarının etkileri

Sodyum içeriği DKC6050 çeşidinde ve tuzlu ortamda daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.42). Mısır çeşitleri × Tuz dozları interaksyonuna göre sodyum içeriği DKC6050 çeşidinde tuzlu ortamda yetiştirilen bitkilerde daha fazladır. Kontrol ortamında her iki türde benzer sonuçlar alınmıştır.

Çizelge 4.42. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama sodyum (Na) içeriğine etkisi

Mısır Çeşitleri	Tuz dozları		
	Kontrol (Su)	15 dSm ⁻¹	Ortalama
P2088 (Hassas)	80,5 ^c	4072 ^b	2076 ^b
DKC6050(Tolerant)	190,9 ^c	8030 ^a	4110 ^a
Ortalama	135,7^b	6051^a	

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

❖ Sodyum (Na) içeriği (%) üzerine sitrik asit uygulaması, mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması, tuz dozu × sitrik asit uygulaması ve mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması etkileri

Sitrik asit uygulamaları Na içeriğini düşürmüştür (Çizelge 4.43). Mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması interaksyonunda en düşük ve en yüksek Na sırasıyla P2088 ve DKC6050 çeşitlerinde SA uygulamasında elde edilmiştir.

Çizelge 4.43. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama sodyum (Na) içeriğine etkisi

Mısır Çeşitleri	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
P2088 (Hassas)	2616 ^c	1611 ^e	2000 ^d
DKC6050 (Tolerant)	4097 ^{ab}	4291 ^a	3942 ^b
Ortalama	3357^a	2951^b	2971^b

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

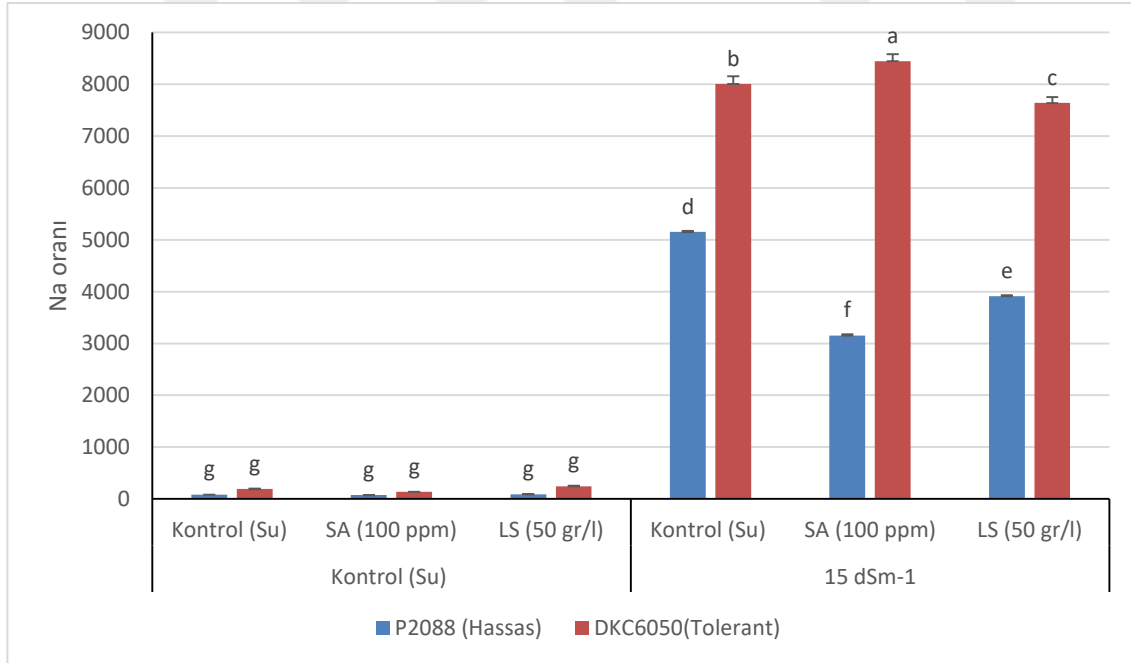
Tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması interaksyonu bakımından kontrol uygulaması benzer sonuçlar verirken, tuzlu ortamda sitrik asit uygulaması Na içeriğini düşürmüştür (Çizelge 4.44).

Çizelge 4.44. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama sodyum (Na) içeriğine etkisi

Tuz dozları	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
Kontrol (Su)	136 ^c	104 ^c	166 ^c
15 dSm ⁻¹	6578 ^a	5798 ^b	5776 ^b

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Mısır çeşitleri $\times$ tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması interaksyonuna göre kontrol uygulamasında her iki çeşitte sitrik asit uygulamalarına göre benzer Na içeriği göstermiştir (Şekil 4.16). Diğer yandan tuzlu ortamda LS uygulaması her iki çeşitte de kontrole göre sodyum içeriğini düşürmüştür.



Şekil 4.16. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde sodyum içeriği (*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.)

Kontrol şatlarında beklendiği gibi Na seviyesi düşük ve uygulamalar arasında benzer bulunmuştur. Tuzlu koşullarda ise P2088 çeşidinde DKC6050'ye göre Na⁺ seviyesi düşük olmakla birlikte DKC6050 çeşidinde LS uygulamasıyla Na⁺ seviyesi azalmıştır. Diğer yandan P2088 çeşidinde kontrole göre SA ve LS uygulamalarında Na⁺ seviyesi daha düşüktür.

Topraktaki yüksek tuzluluk ve yüksek sodyum seviyeleri bitki büyümesi ve gelişimi üzerinde zararlı etkilere sahiptir (Safdar vd., 2019). Yüksek tuz konsantrasyonları toprağın su potansiyelini azaltarak bitkilerin suyu emmesini zorlaştırır (Yadav vd., 2011). Sodyum (Na⁺) ve klorür (Cl⁻) iyonları bitki dokularında birikerek metabolik süreçleri bozarak toksisiteye neden olur ve bitki büyümesini engelleyebilir (Tester ve Davenport, 2003; Tavakkoli vd., 2010). Gao vd. (2016)'ne göre tuza dayanıklı mısır saf hatları yaşlı yapraklarda Na⁺ biriktirerek ve aşırı Na⁺'yı dışlayarak düşük Na⁺ konsantrasyonunu koruyabilmektedir. Sun vd. (2018) ve Ali vd. (2021)'nin yaptıkları çalışmalarda; sırasıyla fosfat (H₂PO₄⁻) ve silikon uygulamalarının K⁺ tutulumunu artırdığı ve Na⁺ dışlanmasını teşvik ederek mısırdaki tuz toleransını iyileştirdiği bildirilmiştir.

4.2.2.2. Potasyum (K, mg/kg)

Bitkide potasyum (K) içeriği üzerine yapılan uygulamaların etkisine ait varyans analiz sonuçları çizelge 4.45'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre bitkide K içeriği üzerine sadece mısır çeşitleri, tuz dozları ve A × B interaksiyon etkileri önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.45. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının potasyum (K) üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F Değeri	Önem seviyesi
Mısır çeşitleri (A)	1	19462802,8	4,3025*	0,0489
Tuz dozları (B)	1	1446407669	319,75**	0,0001
AxB	1	114882669	25,3965**	0,0001
Sitrik asit uygulamaları (C)	2	4159205,56	0,4597 ^{öd}	0,6369
AXC	2	8330538,89	0,9208 ^{öd}	0,4118
BXC	2	6968372,22	0,7702 ^{öd}	0,4740
AXBXC	2	28497705,6	3,1499 ^{öd}	0,0610
Hata	24	108565400		
Genel	35	1737274364		
CV (%): 7,2				

*p≤0.05 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

**p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

Öd: Önemli değil

❖ **Potasyum (K) içeriği üzerine mısır çeşitleri, tuz dozları ve mısır çeşitleri × tuz dozlarının etkileri**

P2088 çeşidinde ve tuzlu ortamda daha yüksek oranda K olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.46). Mısır çeşitleri × Tuz dozları interaksyonuna göre en yüksek K içeriği P2088 çeşidinde tuzlu ortamda tespit edilmiştir.

Çizelge 4.46. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama potasyum (K) oranına etkisi

Mısır Çeşitleri	Tuz dozları		
	Kontrol (Su)	15 dSm ⁻¹	Ortalama
P2088 (Hassas)	21962 ^d	38212 ^a	30087^a
DKC6050(Tolerant)	24064 ^c	33168 ^b	28616^b
Ortalama	23013^b	35690^a	

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.05$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Potasyum (K⁺) için ana faktörlerin 3'lü interaksyonu önemli olmamakla birlikte tuzlu ortamda ve P2088 çeşidinde K⁺ iyonu daha yüksek bulunmuştur. A × B interaksyonu için en yüksek değer tuzlu ortamda P2088 çeşidinde elde edilmiştir. Sodyum (Na⁺), benzer iyonik özellikler nedeniyle potasyum alımını engelleyebilir ve tuzlu koşullar altında bitkilerde potasyum eksikliğine yol açabilir (Assaha vd., 2017a). Abbasi vd. (2014)'nin yaptıkları çalışmada; tuz stresi altında mısırdaki potasyum uygulamasıyla tuzluluk kaynaklı oksidatif strese karşı fotosentetik kapasitesini geliştiği, iyon homeostazının korunduğu ve tuzluluğun mısır büyümesi üzerindeki olumsuz etkilerinin ortadan kaldırıldığı, ancak bu hafifletici etkilerin çeşide özgü olduğu gösterilmiştir.

4.2.2.3. Na/K oranı

Bitkide Na/K oranı üzerine yapılan uygulamaların etkisine ait varyans analiz sonuçları çizelge 4.47'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre bitkide Na/K oranı üzerine ana faktörler ve bunların interaksyon etkileri önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.47. Tuz stresi ve kontrol koşulları altında farklı mısır çeşitlerinde sitrik asit uygulamalarının Na/K oranı üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F Değeri	Önem seviyesi
Mısır çeşitleri (A)	1	0,04406265	650,5*	0,0001*
Tuz dozları (B)	1	0,25569443	3775,0*	0,0001*
AxB	1	0,03890330	574,3*	0,0001*
Sitrik asit uygulamaları (C)	2	0,00088061	6,50*	0,0055*
AXC	2	0,00075231	5,55*	0,0104*
BXC	2	0,00079423	5,86*	0,0084*
AXBXC	2	0,00085961	6,34*	0,0061*
Hata	24	0,00162559		
Genel	35	0,34357273		
CV (%): 8,8				

* $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

❖ **Na/K oranı üzerine mısır çeşitleri, tuz dozları ve mısır çeşitleri × tuz dozlarının etkileri**

Na/K oranı P2088 çeşidinde ve kontrol koşullarında daha düşük seviyelerdedir (Çizelge 4.48). Mısır çeşitleri × Tuz dozları interaksiyonuna göre ise kontrol koşullarında her iki çeşitte benzer değerler bulunurken, tuzlu ortamda P2088 çeşidinde daha düşük seviyelerdedir.

Çizelge 4.48. Farklı mısır çeşitlerinin farklı tuz dozlarında ortalama Na/K oranı üzerine etkisi

Mısır Çeşitleri	Tuz dozları		
	Kontrol (Su)	15 dSm ⁻¹	Ortalama
P2088 (Hassas)	0,003 ^c	0,106 ^b	0,05^a
DKC6050(Tolerant)	0,007 ^c	0,242 ^a	0,12^b
Ortalama	0,005^b	0,170^a	

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

❖ **Na/K oranı üzerine sitrik asit uygulaması, mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması, tuz dozu × sitrik asit uygulaması ve mısır çeşitleri × tuz dozu × sitrik asit uygulaması etkileri**

Sitrik asit uygulamaları Na/K oranında bir düşüş sağlamıştır (Çizelge 4.49). Mısır çeşidi × sitrik asit uygulaması interaksiyonunda ise en düşük değer P2088 çeşidinde SA uygulamasıyla elde edilmiştir. DKC6050 çeşidinde sitrik asit uygulamaları arasında bir fark oluşmamıştır.

Çizelge 4.49. Farklı mısır çeşitlerinin farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama Na/K oranı üzerine etkisi

Mısır Çeşitleri	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
P2088 (Hassas)	0,067 ^b	0,040 ^d	0,054 ^c
DKC6050 (Tolerant)	0,125 ^a	0,124 ^a	0,124 ^a
Ortalama	0,096^a	0,084^b	0,089^b

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

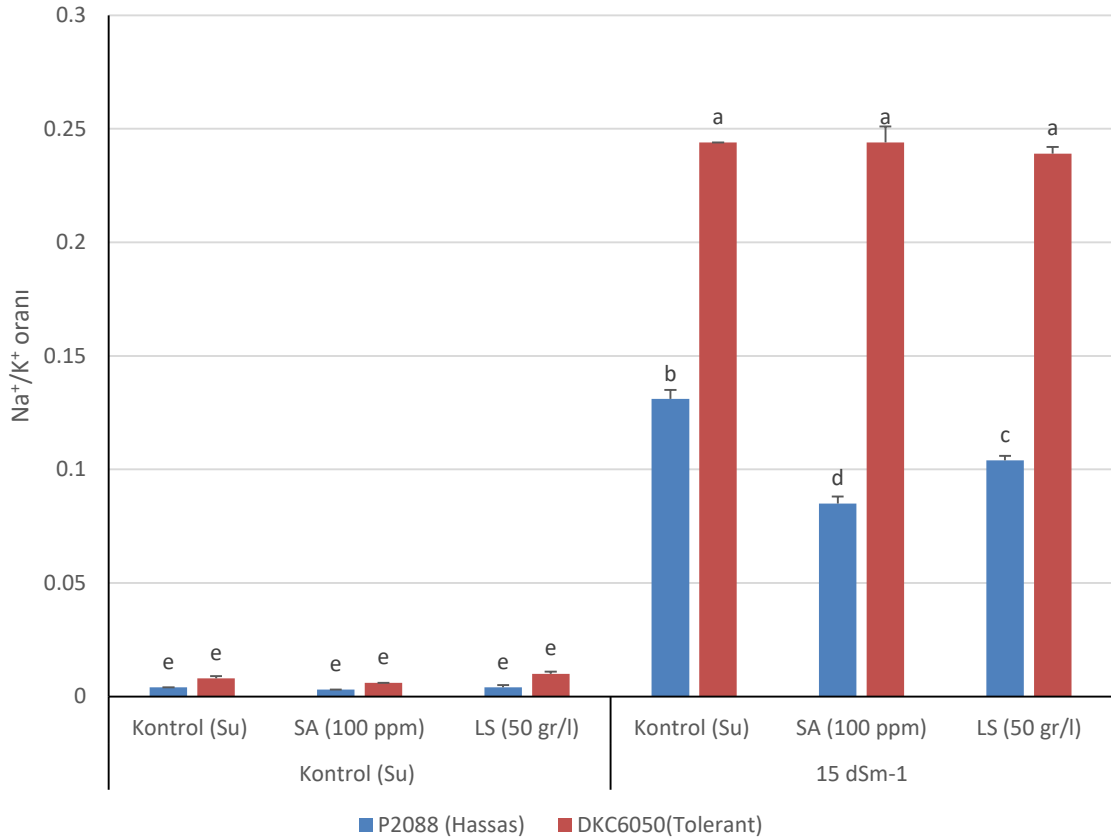
Tuz dozu × sitrik asit uygulaması interaksiyonu bakımından en düşük değerler kontrol ortamında elde edilmekle birlikte uygulamaları arası fark oluşmamıştır (Çizelge 4.50). Tuzlu ortamda ise sitrik asit uygulamaları Na/K oranında azalma sağlamıştır.

Çizelge 4.50. Farklı tuz dozlarının farklı sitrik asit uygulamalarında ortalama Na/K oranı üzerine etkisi

Tuz dozları	Sitrik asit uygulamaları		
	Kontrol (Su)	SA (100 ppm)	LS (50 gr/l)
Kontrol (Su)	0,005 ^c	0,004 ^c	0,006 ^c
15 dSm ⁻¹	0,187 ^a	0,164 ^b	0,171 ^b

*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Mısır çeşitleri $\times$ tuz dozu $\times$ sitrik asit uygulaması interaksiyonuna göre kontrol ortamında her iki çeşitte de sitrik asit uygulamaları Na/K oranında bir farklılığa neden olmamıştır (Şekil 4.17). Diğer yandan tuzlu ortamda DKC6050 çeşidi yüksek ve benzer sonuçlar gösterirken P2088 çeşidinde sitrik asit uygulamasıyla Na/K oranında bir azalma sağlanmıştır.



Şekil 4.17. Farklı tuz dozları ve sitrik asit uygulamalarının farklı mısır çeşitlerinde Na/K oranı (*Benzer harfle gösterilen ortalamalar LSD testine göre $p \leq 0.01$ hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.)

Kontrol uygulamalarında her iki çeşitte de sitrik asit uygulamalarıyla Na⁺/K⁺ oranında bir farklılık oluşmamıştır. Tuzlu ortamda DKC6050 çeşidinde P2088 çeşidine göre yüksek Na⁺/K⁺ oranları görülmekle birlikte sitrik asit uygulamalarıyla benzer sonuçlar elde edilmiştir. P2088 çeşidinde ise sitrik asit uygulamaları Na⁺/K⁺ oranlarını düşürmüştür. Na⁺ genellikle K⁺ tarafından düzenlenen süreçlere müdahale ederek hücresel işlevleri bozduğundan Na ve K arasındaki denge, tuz stresi altında bitkilerin büyümesi ve gelişimi için çok önemlidir (Rizk vd., 2024). Bu nedenle stabil bir sitozolik Na⁺/K⁺ oranını korumak tuz stresine dayanıklı bir özellik haline gelmiştir (Assaha vd., 2017b). Sun vd. (2018), mısırdaki tuz stresi altında fosfat uygulamasıyla düşük Na⁺/K⁺

oranları elde edildiğini bildirmişlerdir. Gao vd. (2016), tuza toleranslı mısır saf hattı TL1317'nin, tuza duyarlı mısır saf hattı SL1303'e göre toksik Na^+ iyonlarını uzaklaştırmak ve tuz stresi altında K^+ 'yı korumak için daha hızlı ve etkili tepkilere sahip olduğunu öne sürmüşlerdir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İç Anadolu bölgesine uyum sağlamış tanelik ve silajlık 21 mısır çeşidi tuzlu koşullarda çimlenme ve çıkış denemeleriyle ön seleksiyon yapılmıştır. Sonrasında bu iki mısır çeşiti üzerinde erken fide döneminde yapraktan sitrik asit uygulamaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda kontrol (Su) ve tuzlu koşullarda (15 dSm^{-1}) kontrol (Saf su), 100 ppm sitrik asit ve % 5 limon suyu kullanılmıştır.

21 mısır çeşidinde çimlenme ve çıkış verilerinde bitki boyu ve yaş ağırlık azalma oranları üzerinden yapılan kümeleme analizinde, en hassas (P2088) ve en toleranslı (DKC6050) çeşitler olarak belirlenmiştir.

Tuz uygulamaları ile birlikte bitki boyunun kısaldığı belirlenmiştir. En yüksek bitki boyu ise kontrol uygulamasında P2088 çeşidinde ölçülmüştür.

P2088 çeşidi DKC6050 çeşidine göre daha kalın sapa sahiptir. Sap kalınlığı tuzlu ortamda beklenildiği gibi azalmıştır. Fakat, 15 dSm^{-1} tuz uygulamalarında DKC6050 çeşidinde sap kalınlığı P2088 çeşidinde göre daha fazla ölçülmüştür.

SPAD değeri bitkinin klorofil içeriğiyle ilişkili olup fotosentez gücünü belirleyen önemli bir parametredir. Tuz dozu interaksiyonuna göre en yüksek SPAD değeri beklenildiğinin aksine P2088 çeşidinin 15 dSm^{-1} uygulamalarından elde edilmiştir. Kontrol şartlarında ise sitrik asit uygulamalarının etkisi P2088 çeşidinde olumsuz iken DKC6050 çeşidinde olumludur.

Yaprak bağıl su içeriğinin kurak koşullarda yüksek olması bitkinin daha fazla su alarak daha dayanıklı olduğunu gösterir. Tuz dozları bakımından yapılan incelemede kontrol uygulamaları daha yüksek YBSİ sahip bulunmuştur. Tuzlu koşullarda sitrik asit uygulamalarıyla P2088 çeşidinde azalış ve DKC6050 çeşidinde bir artış gözlenmiştir.

Elektrolit sızıntısı yaprak yapısını ifade eder. Kaliteli yaprakta elektrolit sızıntısı daha az olur. En az elektrolit sızıntısı su ortamında yetişen bitkilere SA uygulaması sonucu elde edilmiştir. 15 dSm^{-1} tuz ortamında sitrik asit uygulamalarıyla elektrolit sızıntısı azalmıştır. Elektrolit sızıntısı mısır çeşitlerine göre farklılık göstererek 15 dSm^{-1} tuz ortamında P2088 çeşidinde daha fazla görülmüştür.

Yaprak alanı, bir bitkinin güneş ışığını yakalama, enerji üretimi ve büyümesi için gerekli olan fotosentezi gerçekleştirme yeteneğini doğrudan etkiler. Kontrol şartlarında en

yüksek yaprak alanına sahip çeşit P2088'dir. Fakat, kontrol şartlarında SA ve LS uygulamaları, P2088 çeşidinde yaprak alanını azaltırken DKC6050 çeşidinde artırmıştır. 15 dSm⁻¹ tuz ortamı genel olarak iki çeşitte de yaprak alanını daraltmıştır. Aynı zamanda 15 dSm⁻¹ tuz ortamında uygulanan limon suyu her iki çeşitte de yaprak alanını artırmıştır.

En fazla yaş ağırlık kontrol (su) uygulamalarından elde edilmiştir. Sitrik asit uygulamalarıyla yaş ağırlık azalmış olup en yüksek yaş ağırlık DKC6050 çeşidinde bulunmuştur.

Uygulamalar arasında kuru madde oranı çeşitler arasında farklılık göstermemiştir. Diğer yandan hem kontrol hem de tuz ortamında P2088 çeşidinin kuru madde oranı sitrik asit uygulamalarıyla artış göstermiştir.

Bitkiler buharlaşmayı azaltmak için stomalarını kapatır. Çeşitlerin tuzlu ortamda stoma sayısında artış olmuştur. Sitrik asit uygulamaları stoma sayısını etkilememiştir. 15 dSm⁻¹ tuz ortamında DKC6050 çeşidinde su uygulaması ve P2088 çeşidinde LS uygulamasıyla en fazla stoma sayısı elde edilmiştir.

Stoma boyu kontrol ortamında 15 dSm⁻¹ tuz ortamından daha yüksek bulunmuştur. Sitrik asit uygulamaları DKC6050 çeşidinde düşüşe neden olurken P2088 çeşidinde stoma boyunu uzatmıştır.

Na⁺/K⁺ oranlarının düşük olması çeşitlerin Na⁺ iyonlarını dışladığı ve K⁺ iyonlarını tuttuğu anlamına geldiği için tuz toleransını ifade etmektedir. Tuzlu ortamda P2088 çeşidinde sitrik asit uygulamalarıyla Na⁺/K⁺ oranları düşmüştür.

Sonuç olarak; her iki çeşitte sitrik asit uygulamaları özellikle tuzlu ortamda bitki boyu, sap kalınlığı ve yaş ağırlık bakımından kesin bir ayrım oluşmamıştır. Bununla birlikte, tuzlu ortamda P2088 çeşidinde SPAD değeri, YBSİ, yaprak alanı, stoma sayısı limon suyu uygulamasıyla artarken, elektrolit sızıntısı ve Na⁺/K⁺ oranları düşmüştür. P2088 çeşidi her ne kadar başta yapılan çimlenme ve çıkış gözlemleri ve kümeleme analizine göre hassas olarak tespit edilse de tolerant olarak belirlenen DKC6050 çeşidine göre yukarıda incelenen morfo-fizyolojik özelliklere daha iyi tepki göstermiştir. Bu da başta yapılan çimlenme ve çıkış gözlemlerinde bitki boyu ve yaş ağırlıktaki azalma oranlarının ve bunlara dayalı kümeleme analizleriyle çeşitlerin hassas ya da tolerant olarak gruplamasının yetersiz olduğu fikrini doğurmuştur. Bu noktada her mısır çeşidinin tuz stresine verdiği tepkileri kesin olarak

ortaya koymak için yukarıda incelenen morfo-fizyolojik özelliklerin yanı sıra osmalit birikimi, antioksidan enzim analizleri ve iyon birikimlerinin belirlenmesi gerekmektedir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abbasi, G. H., Akhtar, J., Anwar-ul-Haq, M., Ali, S., Chen, Z., & Malik, W., 2014, Exogenous potassium differentially mitigates salt stress in tolerant and sensitive maize hybrids, *Pakistan Journal of Botany*, 46(1), 135–146.
- AbdElgawad, H., Zinta, G., Hegab, M. M., Pandey, R., Asard, H., & Abuelsoud, W., 2016, High salinity induces different oxidative stress and antioxidant responses in maize seedlings organs. *Frontiers in Plant Science*, 7, 276. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00276>.
- Abdellatif, Y., Ibrahim, M., 2018, Non-enzymatic anti-oxidants potential in enhancing *Hibiscus sabdariffa* L. tolerance to oxidative stress, *International Journal of Botany*, 14(1), 43–58. <https://doi.org/10.3923/ijb.2018.43.58>.
- Abraham, B., Yohannes, G., 2013, The role of seed priming in improving seedling growth of maize (*Zea mays* L.) under salt stress at field conditions, *African Journal of Biotechnology*, 12(46), 6484–6490. <https://doi.org/10.4236/as.2013.412089>.
- Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A., 2017, Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms, *Agronomy*, 7(1), 18. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>.
- Ahmad, K., Saqib, M., Akhtar, J., & Ahmad, R., 2012, Evaluation and characterization of genetic variation in maize (*Zea mays* L.) for salinity tolerance, *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 49(4), 521–526.
- Ahmed, A., Talaat, I., & Khalid, K., 2017, Citric acid affects *Melissa officinalis* L. essential oil under saline soil, *Asian Journal of Crop Science*, 9, 40–49. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2017.40.49>.
- Ahmed, S., Abdel-Razek, M., Hafez, W., & Aziz, A. E., 2017, Environmental impacts of some organic extracts on sugar beet yield under saline-sodic soil conditions, *Journal of Soil Science and Agricultural Engineering*, 8, 821–827. <https://doi.org/10.21608/JSSAE.2017.38398>.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akram, M., Ashraf, M. Y., Ahmad, R., Waraich, E. A., Iqbal, J., & Mohsan, M., 2010, Screening for salt tolerance in maize (*Zea mays L.*) hybrids at an early seedling stage, *Pakistan Journal of Botany*, 42(1), 141–154.
- Ali, Z. M., & Fatma, F., 2011, The determinants of salinity tolerance in maize (*Zea mays L.*), *University of Groningen*.
- Ali, M., Afzal, S., Parveen, A., Kamran M., Javed, M.R., Abbasi, G.H., Malik, Z., Riaz, M., Ahmad, S., Chattha, M.S., Ali, M., Ali, Q., Uddin, M.Z., Rizwan, M., Ali, S., 2021, Silicon mediated improvement in the growth and ion homeostasis by decreasing Na⁺ uptake in maize (*Zea mays L.*) cultivars exposed to salinity stress, *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 208–218. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.10.040>.
- Ali, N., Rafiq, R., Zaib-un-Nisa, Wijaya, L., Ahmad, A., & Kaushik, P., 2024, Exogenous citric acid improves growth and yield by concerted modulation of antioxidant defense system in brinjal (*Solanum melongena L.*) under salt-stress, *Journal of King Saud University - Science*, 36(1), 103012. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.103012>.
- Alotaibi, M., 2023, Climate change, its impact on crop production, challenges, and possible solutions, *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(1), 13020–13020. <https://doi.org/10.15835/nbha51113020>.
- Anonim, 2021, Topraklardaki tuzluluk. <https://www.agrowy.com/yazilar/topraklarimizdaki-tuzluluk>.
- Aslam, A., Nawaz, H., Khan, A., Ghaffar, R., & Abbas, G., 2023, Effect of exogenous application of citric acid on growth of maize (*Zea mays L.*) under sodium fluoride stress. *Fluoride*, 56(4 Pt 1), 329–350.
- Assaha, D. V., Ueda, A., Saneoka, H., Al-Yahyai, R., & Yaish, M. W., 2017b, The role of Na⁺ and K⁺ transporters in salt stress adaptation in glycophytes, *Frontiers in physiology*, 8, 509. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00509>.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Bakht, J., Shafi, M., Jamal, Y. and Sher, H., 2011, Responce of maize to seed priming with NaCl and salinity stress. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(1),252-261. <https://doi.org/10.5424/sjar/20110901-113-10>.
- Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmaeili, N., & Zhang, H., 2023, Plants' Response Mechanisms to Salinity Stress, *Plants* (Basel, Switzerland), 12(12), 2253. <https://doi.org/10.3390/plants12122253>.
- Carpýcý, E. B., Celýk, N., & Bayram, G., 2009, Effects of salt stress on germination of some maize (*Zea mays* L.) cultivars, *African Journal of Biotechnology*, 8(19).
- Chakroborty, J., Imran, S., Mahamud, M. A., Sarker, P., & Paul, N. C., 2022, Effect of citric acid (CA) priming and exogenous application on germination and early seedling growth of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) plants under salinity stress condition, *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 7(3), 318–326. <https://doi.org/10.26832/24566632.2022.070303>.
- Chanukya, B.S., Prakash, M., Rastogi, N.K., 2017, Extraction of citric acid from fruit juices using support edliquid membrane. *J. Food Process. Preserv.*, 41,1–10. doi:10.1111/jfpp.12790.
- Chen, G., Amoanimaa-Dede, H., Zeng, F., Deng, F., Xu, S., & Chen, Z. H., 2022, Stomatal regulation and adaptation to salinity in glycophytes and halophytes. In *Advances in Botanical Research* (Vol. 103, pp. 1-42), Academic Press. doi: 10.1016/bs.abr.2022.02.008.
- Czech, A., Zarycka, E., Yanovych, D., Zasadna, Z., Grzegorzczuk, I., & Sylwia, K., 2020, Mineral content of the pulp and peel of various citrus fruit cultivars, *Biological Trace Element Research*, 193(3), 555–563. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01727-1>.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- de Azevedo Neto, A. D., Prisco, J. T., Enéas-Filho, J., de Lacerda, C. F., Silva, J. V., da Costa, P. H. A., & Gomes-Filho, E., 2004, Effects of salt stress on plant growth, stomatal response, and solute accumulation of different maize genotypes. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 16, 31–38. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202004000100005>.
- Dikobe, T. , Mashile, B. , Sinthumule, R. and Ruzvidzo, O., 2021, Distinct Morpho-Physiological Responses of Maize to Salinity Stress, *American Journal of Plant Sciences*, 12, 946-959. doi: 10.4236/ajps.2021.126064.
- Doğan, O., 2011. Toprak ve Su Kaynaklarımız ve Geleceği, II. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, Ankara.
- Eker, S., Cömertpay, G., Konuşkan, Ö., Ülger, A. C., Öztürk, L., & Çakmak, İ., 2006, Effect of salinity stress on dry matter production and ion accumulation in hybrid maize varieties, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(5), Article 7. Available at: <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol30/iss5/7>.
- El-Beltagi, H.S., Ahmed, S.H., Namich, A.A.M., Abdel-Sattar, R.R., 2017. Effect of Salicylic Acid and Potassium Citrate on Cotton Plant under Salt Stress. *Fresen. Environ. Bull.*, 26: 1091–1100.
- El-Hawary, M., Nashed, M.E., 2019. Effect of Foliar Application by Some Antioxidants on Growth and Productivity of Maize under Saline Soil Conditions. *J. Plant Prod.*, 10: 93–99. doi:10.21608/jpp.2019.36238.
- FAOSat, 2022, Food and Agriculture Statistics, <https://www.fao.org/food-agriculture-statistics/en/>.
- Farida, M., Ali, S., Rizwan, M., Ali, Q., Abbas, F., Bukharie, S. A. H., Saeed, R., & Wu, L., 2017, Citric acid assisted phytoextraction of chromium by sunflower: Morphophysiological and biochemical alterations in plants, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 145, 90–100. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.07.016.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Gao, Y., Lu, Y., Wu, M., Liang, E., Li, Y., Zhang, D., Yin, Z., Ren, X., Dai, Yi., Deng, D., Chen, J., 2016, Ability to remove Na^+ and retain K^+ correlates with salt tolerance in two maize inbred lines seedlings. *Frontiers in plant science*, 7, 1716. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01716>.
- Gul Jan, F., Hamayun, M., Hussain, A., Gul Jan, G., Iqbal, A., Khan, A., & Lee, I.-J., 2019, An endophytic isolate of the fungus *Yarrowia lipolytica* produces metabolites that ameliorate the negative impact of salt stress on the physiology of maize. *BMC Microbiology*, 19(3). <https://doi.org/10.1186/s12866-018-1374-6>.
- Gunes, A., Inal, A., Alpaslam, M., Erslan, F., Bagsi, E.G., Cicek, N., 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *J. Plant Physiol.*, 164: 728–736. doi:10.1016/j.jplph.2005.12.009.
- Guo, R., Shi, L., Yan, C., Zhong, X., Gu, F., Liu, Q., Xia, X., Li, H., 2017, Ionomic and metabolic responses to neutral salt or alkaline salt stresses in maize (*Zea mays* L.) seedlings, *BMC Plant Biology*, 17, 1-13. doi: 10.1186/s12870-017-0994-6.
- Habibi, N., Aryan, S., Amin, M. W., Sanada, A., Terada, N., & Koshio, K., 2023, Potential benefits of seed priming under salt stress conditions on physiological, and biochemical attributes of micro-tom tomato plants, *Plants*, 12(11), 2187. doi: 10.3390/plants12112187.
- Hajaji, A. N., Maaroufi-Dguimi, H., & Ammari, Y., 2024, Exogenous application of citric acid mitigates salt-induced oxidative stress in *Moringa oleifera* seedlings, *Journal of Umm Al-Qura University - Applied Sciences*, <https://doi.org/10.1007/s43994-024-00169-3>.
- Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A., da Silva, J. A. T., & Fujita, M., 2012, Plant response and tolerance to abiotic oxidative stress: antioxidant defense is a key factor, *Crop stress and its management: perspectives and strategies*, 261-315. doi: 10.1007/978-94-007-2220-0_8.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Fujita, M., Ahmad, P., Chandna, R., Prasad, M. N. V., & Ozturk, M., 2013, Enhancing plant productivity under salt stress: relevance of poly-omics, Salt stress in plants: signalling, omics and adaptations, 113-156. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6108-1_6.
- He, F., Zhao, X., Qi, G., Sun, S., Shi, Z., Niu, Y., Wu, Z., & Zhou, W., 2024, Exogenous Melatonin Alleviates NaCl Injury by Influencing Stomatal Morphology, Photosynthetic Performance, and Antioxidant Balance in Maize, International Journal of Molecular Sciences, 25(18), 10077. <https://doi.org/10.3390/ijms251810077>.
- Hossain, M. A., Khatun, M. S., Hosen, M., Sayed, Z. I., Islam, M. R., Chowdhury, M. K., Iqbal, M. A., Al-Ashkar, I., Erden, Z., Toprak, C. C., El Sabagh, A., & Islam, M. S., 2024, Citric acid alleviated salt stress by modulating photosynthetic pigments, plant water status, yield and nutritional quality of black gram [*Vigna mungo* (L.) Hepper]. *Legume Research*. <https://doi.org/10.18805/LRF-820>.
- Hu, L., Zhang, Z., Xiang, Z., & Yang, Z., 2016, Exogenous application of citric acid ameliorates the adverse effect of heat stress in Tall Fescue (*Lolium arundinaceum*), *Frontiers in Plant Science*, 7, 179. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00179>.
- Hughes, J., Hepworth, C., Dutton, C., Dunn, J. A., Hunt, L., Stephens, J., Waugh, R., Cameron, D., Gray, J. E., 2017, Reducing stomatal density in barley improves drought tolerance without impacting on yield. *Plant physiology*, 174(2), 776-787. <https://doi.org/10.1104/pp.16.01844>. Hughes, Jon
- Huqe, M. A. S., Haque, M. S., Sagar, A., Uddin, M. N., Hossain, M. A., Hossain, A. Z., Rahman, M. M., Wang, X., Al-Ashkar, I., Ueda, A., & EL Sabagh, A., 2021, haracterization of Maize Hybrids (*Zea mays* L.) for Detecting Salt Tolerance Based on Morpho-Physiological Characteristics, Ion Accumulation and Genetic Variability at Early Vegetative Stage. *Plants*, 10(11), 2549. <https://doi.org/10.3390/plants10112549>.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Hussein, M., Balbaa, L. K., & Gaballah, M. S., 2007, Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants, *Research Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 3, 321–328.
- Iqbal, M. A., Tarikuzzaman, M., Atique, M. S., Tulona, Z. F., Lynam, J. G., 2025, Foliar feeding of citric acid mitigates artificial urine and NaCl-induced saline stress in hydroponic sugar beets, *Journal of Ecological Engineering*, 26(2), 221-230. <https://doi.org/10.12911/22998993/196931>.
- Irshad, M., Yamamoto, S., Eneji, A. E., Endo, T., & Hona, T., 2002, Urea and manure effect on growth and mineral contents of maize under saline conditions, *Journal of Plant Nutrition*, 25(1), 189–200. <https://doi.org/10.1081/PLN-100108790>.
- Janmohammadi M, Dezfuli PM, Sharifzadeh F., 2012, Seed invigoration techniques to improve germination and early growth of inbred line of maize under salinity and drought stres, *Gen Appl Plant Physiol* 34:215–226.
- Javed, S. A., Shahzad, S. M., Ashraf, M., Kausar, R., Arif, M. S., Albasher, G., Rizwana, H., & Shakoor, A., 2022, Interactive effect of different salinity sources and their formulations on plant growth, ionic homeostasis, and seed quality of maize, *Chemosphere*, 291(Part 1), 132678. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132678.
- Jones, M.M, Turner, N.C., 1978, Osmotic Adjustment in Leaves of Sorghum in Response to Water Deficits. *Plant Physiology*, (1): 122-126. <https://doi.org/10.1104/pp.61.1.122>.
- Kandel, B. P., 2020, SPAD value varies with age and leaf of maize plant and its relationship with grain yield. *BMC Research Notes*, 13, 475. doi: 10.1186/s13104-020-05324-7.
- Kaya, C., Tuna, A. L., & Okant, A. M., 2010, Effect of foliar applied kinetin and indole acetic acid on maize plants grown under saline conditions, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34, 529–538. <https://doi.org/10.3906/tar-0906-173>.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Kendirli, B., Çakmak, B., Uçar, Y., 2005, Salinity in the Southeastern Anatolia Project (GAP), Turkey: Issues and Options, *Irrigation and Drainage*, 54: 115-122. doi:10.1002/ird.157.
- Khodarahmpour, Z., Ifar, M., & Motamedi, M., 2012, Effects of NaCl salinity on maize (*Zea mays L.*) at germination and early seedling stage. *African Journal of Biotechnology*, 11(2), 298-304. doi: 10.5897/AJB11.2624.
- Kholova, J., Sairam, R. K., & Meena, R. C., 2010, Osmolytes and metal ions accumulation, oxidative stress and antioxidant enzymes activity as determinants of salinity stress tolerance in maize genotypes, *Acta Physiologiae Plantarum*, 32, 477-486. doi: 10.1007/s11738-009-0424-y.
- Klimek-szczykutowicz, M., Szopa, A., Ekiert, H., 2020, Citrus limon (Lemon) phenomenon—A review of the chemistry, pharmacological properties, applications in the modern pharmaceutical, food, and cosmetics industries, and biotechnological studies. *Plants*, 9 (1): 119. <https://doi.org/10.3390/plants9010119>.
- Köse, H., 2015, Tuz Stresinin Farklı Mısır ve Sorgum Bitkilerinin Gelişimi Üzerine Etkisi. (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Lashari, M. S., Ye, Y., Ji, H., Li, L., Kibue, G. W., Lu, H., Zheng, J., & Pan, G., 2015, Biochar–manure compost in conjunction with pyroligneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: A 2-year field experiment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1127–1138. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6825>.
- Li, B., Li, N., Duan, X., Wei, A., Yang, A., Zhang, J., 2010. Generation of marker-free transgenic maize with improved salt tolerance using the FLP/FRT recombination system. *J. Biotechnol.*, 145: 206–213. doi:10.1016/j.jbiotec.2009.11.010.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Loy, D. D., & Lundy, E. L., 2019, Nutritional properties and feeding value of corn and its coproducts. In Corn (pp. 633-659). AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00023-1>.
- Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J., 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Ann. Bot.*, 78: 389-398. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134>.
- Maas, E.V., Poss, J.A. and Hoffman, G.J., 1986, Salt Tolerance of Plants, *Applied Agricultural Research*, 1, 12-26.
- Maiti, R. K., Maiti, L. E., Maiti, S., Maiti, A. M., Maiti, M., & Maiti, H., 1996, Genotypic variability in maize Cultivars (*Zea mays* L.) for resistance to drought and salinity at the seedling stage. *Journal of Plant Physiology*, 148(6), 741-744. [https://doi.org/10.1016/s0176-1617\(96\)80377-4](https://doi.org/10.1016/s0176-1617(96)80377-4).
- Mubushar, M., El-Hendawy, S., Tahir, M. U., Alotaibi, M., Mohammed, N., Refay, Y., & Tola, E., 2022, Assessing the Suitability of Multivariate Analysis for Stress Tolerance Indices, Biomass, and Grain Yield for Detecting Salt Tolerance in Advanced Spring Wheat Lines Irrigated with Saline Water under Field Conditions. *Agronomy*, 12(12), 3084. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123084>.
- Mukami, A., Ng'etich, A., Syombua, E., Oduor, R., & Mbinda, W., 2020, Varietal differences in physiological and biochemical responses to salinity stress in six finger millet plants. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26, 1569-1582. DOI:10.1007/s12298-020-00853-8
- Munns, R., & Tester, M., 2008, Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681. <https://doi.org/10.1146/annrev.arplant.59.032607.092911>.
- Nachshon, U., 2018, Cropland Soil Salinization and Associated Hydrology: Trends, Processes and Examples. *Water*, 10(8), 1030. <https://doi.org/10.3390/w10081030>.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Nawaz, K., & Ashraf, M., 2010, Exogenous application of glycinebetaine modulates activities of antioxidants in maize plants subjected to salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 196(1), 28-37. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00385.x>.
- Neves-Piestun, B. G., & Bernstein, N., 2001, Salinity-induced inhibition of leaf elongation in maize is not mediated by changes in cell wall acidification capacity, *Plant Physiology*, 125(3), 1419–1428. <https://doi.org/10.1104/pp.125.3.1419>.
- Nuss, E. T., & Tanumihardjo, S. A., 2010, Maize: a paramount staple crop in the context of global nutrition. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9(4), 417-436. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00117.x>.
- Oo, A. N., Iwai, C. B., & Saenjan, P., 2015, Soil properties and maize growth in saline and non-saline soils using cassava industrial waste compost and vermicompost with or without earthworms. *Land Degradation & Development*, 26, 300–310. doi: 10.1002/ldr.2208.
- Pandit, K., Kaur, S., Kumar, M., Bhardwaj, R., & Kaur, S., 2024, Salinity stress: Impact on plant growth. <https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2024.07.002>.
- Popp, J., Harangi-Rákos, M., Gabnai, Z., Balogh, P., Antal, G., & Bai, A., 2016, Biofuels and Their Co-Products as Livestock Feed: Global Economic and Environmental Implications. *Molecules*, 21(3), 285. <https://doi.org/10.3390/molecules21030285>.
- Pour-Aboughadareh, A., Sanjani, S., Nikkhah-Chamanabad, H., Mehrvar, M. R., Asadi, A., & Amini, A., 2021, Identification of salt-tolerant barley genotypes using multiple-traits index and yield performance at the early growth and maturity stages. *Bulletin of the National Research Centre*, 45(1), 117. doi: 10.1186/s42269-021-00576-0.
- Puvanitha, S., & Mahendran, S., 2017, Effect of salinity on plant height, shoot and root dry weight of selected rice cultivars, *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 4(4), 126-131. DOI: 10.13140/RG.2.2.10540.72322.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Rady, M.M., Alharby, H.F., Desoky, El-S.M., Maray, A.R.M., Mohamed, I.A.A., Howladar, S.M., Abd Elmohsen, Y.H., Faraz, A., Shafaqat Ali, S., AbdelKhalik, A., 2023. Citrate-containing lemon juice, as an organic substitute for chemical citric acid, proactively improves photosynthesis, antioxidant capacity, and enzyme gene expression in cadmium-exposed *Phaseolus vulgaris*. *South African Journal of Botany*, 160: 88-101. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.07.004>.
- Rhaman, M. S., Rauf, F., Tania, S. S., Bayazid, N., Tahjib-ul-Arif, M., Robin, A. H. K., Hoque, A., Yang, X., Murata, Y., Brestic, M., 2024, Proline and glycine betaine: A dynamic duo for enhancing salt stress resilience in maize by regulating growth, Stomatal size, and Oxidative stress responses. *Plant Stress*, 14, 100563. doi: 10.1016/j.stress.2024.100563.
- Rizk, M. S., Assaha, D. V., Mekawy, A. M. M., Shalaby, N. E., Ramadan, E. A., El-Tahan, A. M., Ibrahim, O.M., Metwelly, H. I. F., Okla, M.K., Maridueña-Zavala, M.G., AbdElgawad, H., Ueda, A., 2024, Comparative analysis of salinity tolerance mechanisms in two maize genotypes: growth performance, ion regulation, and antioxidant responses. *BMC Plant Biology*, 24(1), 818. doi: 10.1186/s12870-024-05533-3.
- Saboora, A., Kiarostami, K., Behroozbayati, F., & Hajhashemi, S., 2006, Salinity (NaCl) tolerance of wheat genotypes at germination and early seedling growth. *Pak. J. Biol. Sci*, 9(11), 2009-2021. doi: 10.3923/pjbs.2006.2009.2021.
- Safdar, H., Amin, A., Shafiq, Y., Ali, A., Yasin, R., Shoukat, A., Ul Hussan, M., Sarwar, M. I., 2019, A review: Impact of salinity on plant growth. *Nat. Sci*, 17(1), 34-40. doi: 10.7537/marsnsj170119.06.
- Sallah-Ud-Din, R., Farid, M., Saeed, R., Ali, S., Rizwan, M., Tauqeer, H. M., & Bukhari, S. A. H., 2017, Citric acid enhanced the antioxidant defense system and chromium uptake by *Lemna minor* L. grown in hydroponics under Cr stress, *Environmental Science and Pollution Research*, 24(17), 17669–17678. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9290-0>.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Shah, S. H., Houborg, R., & McCabe, M. F., 2017, Response of Chlorophyll, Carotenoid and SPAD-502 Measurement to Salinity and Nutrient Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.), *Agronomy*, 7(3), 61. <https://doi.org/10.3390/agronomy7030061>
- Shahzad, M., Witzel, K., Zorb, C., & Muhling, K. H., 2012, Growth-related changes in subcellular ion patterns in maize leaves (*Zea mays* L.) under salt stress, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198, 46–56. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00487.x>.
- Shareef, H. J., Abbas, M. F., & Jasim, A. M., 2022, Response of date *palm offshoots* (L.) to the foliar spray of salicylic acid and citric acid under salinity conditions, *Folia Oecologica*, 49(2), 130-136. <https://doi.org/10.2478/foecol-2022-0015>.
- Singh, A., 2022, Soil salinity: A global threat to sustainable development, *Soil Use and Management*, 38(1), 39-67. <https://doi.org/10.1111/sum.12772>.
- Sinthumule, R. R., Ruzvidzo, O., & Dikobe, T. B., 2022, Elucidation of the morpho-physiological traits of maize (*Zea mays* L.) under salt stress. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 10(6), 1441–1452. [https://doi.org/10.18006/2022.10\(6\).1441.1452](https://doi.org/10.18006/2022.10(6).1441.1452).
- Sun, Y., Mu, C., Zheng, H., Lu, S., Zhang, H., Zhang, X., & Liu, X., 2018, Exogenous Pi supplementation improved the salt tolerance of maize (*Zea mays* L.) by promoting Na⁺ exclusion. *Scientific reports*, 8(1), 16203. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34320-y>.
- Sun, Y.-L., Hong, S.-K., 2011. Effects of Citric Acid as an Important Component of the Responses to Saline and Alkaline Stress in the Halophyte *Leymus Chinensis* (Trin.). *Plant Growth Regul.*, 64: 129–139. doi:10.1007/s10725-010-9547-9.
- Taheri, S., Ronaghi, A., Fasaei, R. G., & Shirazi, S. S., 2020, Co-ordination of root salinity and shoot zinc level with rhizosphere organic acid secretion in maize, *Rhizosphere*, 14, 100197. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100197>.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Tahjib-Ul-Arif, M., Zahan, M. I., Karim, M. M., Imran, S., Hunter, C. T., Islam, M. S., Mia, M. A., Hannan, M. A., Rhaman, M. S., Hossain, M. A., Brestic, M., Skalicky, M., & Murata, Y., 2021, Citric Acid-Mediated Abiotic Stress Tolerance in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13), 7235. <https://doi.org/10.3390/ijms22137235>.
- Tavakkoli, E., Rengasamy, P., & McDonald, G. K., 2010, High concentrations of Na⁺ and Cl⁻ ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress, *Journal of experimental botany*, 61(15), 4449-4459. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq251>.
- Tester, M., & Davenport, R., 2003, Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of botany*, 91(5), 503-527. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg058>.
- Tigabu, E., Andargie, M., & Tesfaye, K., 2012, Response of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes to NaCl levels at early growth stages, *African Journal of Agricultural Research*, 7(43), 5711-5718. doi: 10.5897/AJAR12.045.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.06.007>.
- Vennam, R. R., Bheemanahalli, R., Reddy, K. R., Dhillon, J., Zhang, X., & Adeli, A., 2024, Early-season maize responses to salt stress: Morpho-physiological, leaf reflectance, and mineral composition, *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 100994. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.100994>.
- Wang, Y., & Chen, Z. H., 2020, Does molecular and structural evolution shape the speedy grass stomata?. *Frontiers in Plant Science*, 11, 333. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00333>.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Yadav, N., Monika, A., Kumar, N., Mamta Heena, K., Arya, S. S., 2022, Impacts on plant growth and development under stress. In *Plant Stress Mitigators: Action and Application* (pp. 61-100), Singapore: Springer Nature Singapore. doi: 10.1007/978-981-16-7759-5_4.
- Yadav, S., Irfan, M., Ahmad, A., & Hayat, S., 2011, Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: a review. *Journal of environmental biology*, 32(5), 667.
- Yang, J., Song, J., & Jeong, B. R., 2022, Lighting from Top and Side Enhances Photosynthesis and Plant Performance by Improving Light Usage Efficiency. *International journal of molecular sciences*, 23(5), 2448. <https://doi.org/10.3390/ijms23052448>.
- Zandalinas, S. I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A., 2018, Plant adaptations to the combination of drought and high temperature, *Plant Physiology*, 162. <https://doi.org/10.1111/tpj.16612>.