

T.C.
SİİRT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOHUMA PRİMİNG UYGULAMALARININ FARKLI FOSFOR
SEVİYELERİNE BAĞLI OLARAK MERCİMEKTE (*Lens culinaris* L.) BİTKİ
GELİŞİMİ, TANE VERİMİ VE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Mustafa CERİTOĞLU
(203112001)

Tarla Bitkileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat ERMAN
II. Danışman: Doç. Dr. Fatih ÇİĞ

Şubat-2024
SİİRT

TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa CERİTOĞLU tarafından hazırlanan “Tohuma priming uygulamalarının farklı fosfor seviyelerine bağlı olarak mercimekte (*Lens culinaris* L.) bitki gelişimi, tane verimi ve kalitesi üzerine etkilerinin incelenmesi” adlı tez çalışması 09/02/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan/Danışman

Prof. Dr. Murat ERMAN

.....

Üye

Prof. Dr. Çetin KARADEMİR

.....

Üye

Prof. Dr. Süleyman SOYLU

.....

Üye

Doç. Dr. Haluk KULAZ

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Sipan SOYSAL

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Harun BEKTAŞ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması, Siirt Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından 2022-SİÜFEB-026 nolu proje ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 222O210 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖN SÖZ

Kırmızı mercimek, zengin besin kompozisyonu, ülkemizdeki geleneksel beslenme kültürünün önemli bir parçası olması ve marjinal alanlarda yetiştirilmeye uygun bir bitki türü olması dolayısıyla Türkiye’de yetiştirilen tarım ürünleri arasındaki yerini korumakta ve giderek artırmaktadır. Yapılan araştırmalar toprakta fosforun büyük bir kısmının çeşitli iyonlar ile bileşik oluşturarak çökelediğini, böylece fosfor noksanlığının ortaya çıktığını göstermektedir. Araştırmanın yapıldığı Siirt ili çevresindeki tarım arazilerinde genellikle fosfor noksanlığının hâkim olduğu yapılan araştırmalar kapsamında bilinmektedir. Daha yüksek verim ve ürün kalitesi için fosforlu gübrelemeye ihtiyaç duyulması, hem gübre ithalatından kaynaklı olarak dışa bağımlılığı artırmakta hem de bilinçsiz gübre uygulamaları nedeniyle çevre kirliliği tehdidiyle karşı karşıya kalmamıza neden olmaktadır. Bu bakımdan, verim ve kalite kayıpları oluşturmaksızın kimyasal gübre kullanımının sınırlandırılmasına katkı sağlayacak uygulamalar sürdürülebilir ekonominin ve çevrenin temelini oluşturmaktadır. Yürütülen bu araştırma, ekim öncesinde gerçekleştirilen tohum ön uygulamalarının, fosforlu gübre kullanımının azaltılmasına ve daha yüksek ürün verimi ve kalitesinin elde edilmesine imkân sağladığını göstermektedir. Dahası, tohum ön uygulamalarının birim alandan daha yüksek net kazanç elde edilmesine imkân sağladığı görülmektedir. Ayrıca, çalışmada fosforlu gübre ve priming uygulamalarının besin maddesi alımı ve tanede besin elementi kompozisyonu üzerine etkileri incelenerek literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Doktora öğrenimi sürecinde benden maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemeyen, akademik kariyerimin ve kişiliğimin gelişmesinde tüm bilgi birikimi ve tecrübeleriyle arkamda olduğunu hissettiren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Murat ERMAN’a en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmasının yürütülmesi sürecindeki laboratuvar ve saha çalışmalarındaki tecrübeleri ve telkinleriyle sürecin tamamlanmasına verdiği desteklerden dolayı ikinci danışmanım sayın Doç. Dr. Fatih ÇİĞ’a şükranlarımı sunarım. Dr. Öğr. Üyesi Figen CERİTOĞLU’na tez çalışmasından elde edilen verilerin istatistiki analizlerinin gerçekleştirilmesine yapmış olduğu katkılar için teşekkür ederim.

Mustafa CERİTOĞLU
SİİRT-2024

ÖN SÖZ	iii
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xv
ABSTRACT.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	8
2.1. Bitki Gelişimini Teşvik Edici Bakteriler	8
2.2. Silisyum	14
2.3. Fosfor	20
2.4. Sitrik Asit.....	26
2.5. Salisilik Asit.....	29
3. MATERYAL VE METOT.....	33
3.1. Materyal.....	33
3.2. Araştırma Yerinin Coğrafi Konumu	33
3.3. Deneme Alanının İklim ve Toprak Özellikleri	35
3.4. Arazi Hazırlık Aşaması ve Deneme Düzeni	39
3.5. Laboratuvar Ortamında Priming Uygulamalarının Gerçekleştirilmesi.....	40
3.6. Tarla Denemelerinin Kurulması	42
3.7. Tarla Denemelerinin Yürütülmesi ve Gerçekleştirilen Kültürel Faaliyetler	43
3.8. İncelenen Özellikler	49
3.9. Ekonomik Analiz	54
3.10. İstatistik Analiz	55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	56
4.1. Çıkış Süresi	56
4.2. Çiçeklenme Süresi	61
4.3. Bakla Bağlama Süresi	64
4.4. Olgunlaşma Süresi	68
4.5. Metrekarede Bitki Sayısı	74
4.6. Toplam Klorofil Oranı	81
4.7. Bitki Boyu.....	88
4.8. İlk Bakla Yüksekliği	93
4.9. Bitkide Dal Sayısı	97
4.10. Bitkide Bakla Sayısı.....	104
4.11. Baklada Tane Sayısı.....	110
4.12. Biyolojik Verim	114
4.13. Tane Verimi	122
4.14. Hasat İndeksi.....	131
4.15. 1000-Tane Ağırlığı	137

4.16. Bitkide Azot İçeriği	141
4.17. Bitkide Fosfor İçeriği.....	148
4.18. Bitkide Potasyum İçeriği	155
4.19. Bitkide Kalsiyum İçeriği.....	163
4.20. Bitkide Bakır İçeriği	171
4.21. Bitkide Demir İçeriği	179
4.22. Bitkide Magnezyum İçeriği	186
4.23. Bitkide Manganez İçeriği.....	194
4.24. Bitkide Çinko İçeriği	201
2.25. Tanede Protein İçeriği.....	207
4.26. Tanede Fosfor İçeriği.....	216
4.27. Tanede Toplam Antioksidan Madde İçeriği	223
4.28. Tanede Toplam Fenolik Bileşik İçeriği	227
4.29. Ekonomik Analiz	233
4.30. Özellikler Arasındaki İkili İlişkiler (Korelasyon Analizi).....	235
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	240
5.1. Sonuçlar	240
5.2. Öneriler	242
6. KAYNAKLAR	245
ÖZGEÇMİŞ	294

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Türkiye’de tarımsal üretim alanlarında 2019 yılı boyunca kullanılan kimyasal gübre miktarları ve güncel fiyatlara göre ekonomik değeri	4
Tablo 3.1. Tarla denemelerinin kurulduğu araziden ekim öncesinde alınan toprak numunesine ait özellikler.	39
Tablo 4.1. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak çıkış süresine ait varyans analiz sonuçları	56
Tablo 4.2. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının çıkış süresine etkisi (gün)	57
Tablo 4.3. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak çiçeklenme süresine ait varyans analiz sonuçları.....	61
Tablo 4.4. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının çiçeklenme süresine etkisi (gün)	62
Tablo 4.5. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bakla bağlama süresine ait varyans analiz sonuçları.....	65
Tablo 4.6. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bakla bağlama süresine etkisi (gün).....	66
Tablo 4.7. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak olgunlaşma süresine ait varyans analiz sonuçları.	68
Tablo 4.8. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının olgunlaşma süresine etkisi (gün)	70
Tablo 4.9. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak metrekarede bitki sayısına ait varyans analiz sonuçları	74
Tablo 4.10. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının metrekarede bitki sayısına etkisi (adet)	76
Tablo 4.11. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak toplam klorofil oranına ait varyans analiz sonuçları	81
Tablo 4.12. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının toplam klorofil oranına etkisi (%).	83
Tablo 4.13. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak toplam bitki boyuna ait varyans analiz sonuçları	88
Tablo 4.14. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitki boyuna etkisi (cm)	90
Tablo 4.15. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak ilk bakla yüksekliğine ait varyans analiz sonuçları	94
Tablo 4.16. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının ilk bakla yüksekliğine etkisi (cm).....	95
Tablo 4.17. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide dal sayısına ait varyans analiz sonuçları.....	97
Tablo 4.18. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide dal sayısına etkisi (adet)	99
Tablo 4.19. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide bakla sayısına ait varyans analiz sonuçları.....	104
Tablo 4.20. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide bakla sayısına etkisi (adet).....	106
Tablo 4.21. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak baklada tane sayısına ait varyans analiz sonuçları.....	111

Tablo 4.22. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının baklada tane sayısına etkisi (adet).....	112
Tablo 4.23. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak biyolojik verim değerlerine ait varyans analiz sonuçları.....	115
Tablo 4.24. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının biyolojik verime etkisi (kg/da).....	116
Tablo 4.25. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak tane verimi değerlerine ait varyans analiz sonuçları	123
Tablo 4.26. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının tane verimine etkisi (kg/da).....	124
Tablo 4.27. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak hasat indeksine ait varyans analiz sonuçları	131
Tablo 4.28. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının hasat indeksine etkisi.	133
Tablo 4.29. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak 1000-tane ağırlığına ait varyans analiz sonuçları	138
Tablo 4.30. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının 1000-tane ağırlığına etkisi (g).....	139
Tablo 4.31. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide azot (N) içeriğine ait varyans analiz sonuçları	142
Tablo 4.32. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide azot (N) içeriğine etkisi (%)	143
Tablo 4.33. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide fosfor (P) içeriğine ait varyans analiz sonuçları	149
Tablo 4.34. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide fosfor (P) içeriğine etkisi (ppm)	150
Tablo 4.35. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide potasyum (K) içeriğine ait varyans analiz sonuçları ...	156
Tablo 4.36. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide potasyum (K) içeriğine etkisi (ppm).....	157
Tablo 4.37. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide kalsiyum (Ca) içeriğine ait varyans analiz sonuçları...	163
Tablo 4.38. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide kalsiyum (Ca) içeriğine etkisi (ppm).....	165
Tablo 4.39. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide bakır (Cu) içeriğine ait varyans analiz sonuçları.....	172
Tablo 4.40. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide bakır (Cu) içeriğine etkisi (ppm)	173
Tablo 4.41. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide demir (Fe) içeriğine ait varyans analiz sonuçları	179
Tablo 4.42. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide demir (Fe) içeriğine etkisi (ppm).....	181
Tablo 4.43. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide magnezyum (Mg) içeriğine ait varyans analiz sonuçları.....	186
Tablo 4.44. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide magnezyum (Mg) içeriğine etkisi (ppm).....	188
Tablo 4.45. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide manganez (Mn) içeriğine ait varyans analiz sonuçları.....	195

Tablo 4.46. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide mangan (Mn) içeriğine etkisi (ppm).....	196
Tablo 4.47. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide çinko (Zn) içeriğine ait varyans analiz sonuçları	201
Tablo 4.48. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide çinko (Zn) içeriğine etkisi (ppm).....	203
Tablo 4.49. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak tanede protein içeriğine ait varyans analiz sonuçları.....	207
Tablo 4.50. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının tanede protein oranına etkisi (%)	209
Tablo 4.51. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak tanede fosfor içeriğine ait varyans analiz sonuçları.....	216
Tablo 4.52. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının tanede fosfor (P) içeriğine etkisi (ppm)	218
Tablo 4.53. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak tanede toplam antioksidan madde içeriğine ait varyans analiz sonuçları.....	223
Tablo 4.54. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının tanede toplam antioksidan madde içeriğine etkisi (mg TE/g).....	224
Tablo 4.55. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak tanede toplam fenolik bileşik içeriğine ait varyans analiz sonuçları.....	227
Tablo 4.56. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının tanede toplam fenolik bileşik içeriğine etkisi (mg GAE/mL).....	229
Tablo 4.57. Araştırmada kullanılan uygulamaların tane ve saman verimi açısından ekonomik analizi	235

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Priming uygulanan ve uygulanmayan tohumlarda çimlenme süreci.....	5
Şekil 3.1. Denemenin yürütüldüğü lokasyonun kuş bakışı görüntüsü	34
Şekil 3.2. Çiçeklenme öncesi döneme ait genel bir görünüş	34
Şekil 3.3. Hasat olgunluğuna gelen bir parsel için görüntü	35
Şekil 3.4. Siirt iline ait uzun yıllar (1939-2023) ve araştırma yılları (2021-2023) ortalama sıcaklık verileri	36
Şekil 3.5. Siirt iline ait uzun yıllar (1939-2023) ve araştırma yılları (2021-2023) aylık toplam yağış verileri	36
Şekil 3.6. Siirt iline ait uzun yıllar (1939-2023) ve araştırma yılları (2021-2023) aylık ortalama nispi nem değerleri	37
Şekil 3.7. Toprak işleme ve parselizasyon işlemleri	39
Şekil 3.8. Tez çalışmasına ait deneme planı	40
Şekil 3.9. Bakteriyel strainlerin katı besi ortamında çoğaltılması	41
Şekil 3.10. Biyo-priming amacıyla kullanılacak bakteriyel strainlere ait solüsyonların homojenizasyonu	42
Şekil 3.11. Parsel sıralarının açılması ve ekim işlemlerinin gerçekleştirilmesi	43
Şekil 3.12. Ekim sonrası çıkış gösteren bir parsel sırası	44
Şekil 3.13. Çıkışlar sonrası bir parselin genel görüntüsü	44
Şekil 3.14. Kış sezonu sonrası yabancı ot temizliği yapılmadan önce parsel için görsel	45
Şekil 3.15. Kış sezonu sonrası yabancı ot temizliği yapılmadan önce deneme alanına ait görsel	45
Şekil 3.16. Parsel ve blok aralarının çapa motoru ile temizlenmesi	46
Şekil 3.17. Bitki besin elementi içeriklerinin tespit edilmesi için toplanan bitki örneklerinin etüvde kurutulması	47
Şekil 3.18. Öğütücü yardımıyla parçalanmış bitkisel materyallerin paketlenmesi	47
Şekil 3.19. Hasat öncesinde parseli temsil edecek bitkilerin seçimi ve hasat edilmiş bir parselden görüntü	48
Şekil 3.20. Hasat işlemi sonrasında harman edilen ürünlerden tanelerin elde edilmesine dair görseller	49
Şekil 3.21. Mercimek tanelerinde toplam antioksidan madde tayini ve fenolik bileşiklerin tespiti için ekstraksiyonların hazırlanma aşaması	50
Şekil 3.22. Ekstraksiyonların hazırlanma aşamasında orbital çalkalayıcıda bekletilen numunelerin homojenizasyonunun sağlanması	51
Şekil 4.1. Çıkış süresinin yıllara göre değişim grafiği	60
Şekil 4.2. Çıkış süresinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği	60
Şekil 4.3. Çiçeklenme süresinin yıllara göre değişim grafiği	64
Şekil 4.4. Bakla bağlama süresinin yıllara göre değişim grafiği	68
Şekil 4.5. Olgunlaşma süresinin yıllara göre değişim grafiği	73
Şekil 4.6. Çıkış süresinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği	73
Şekil 4.7. Olgunlaşma süresine ait Y x Pr interaksiyon grafiği	74
Şekil 4.8. Metrekarede bitki sayısının yıllara göre değişim grafiği	80
Şekil 4.9. Metrekarede bitki sayısının priming uygulamalarına göre değişim grafiği	80
Şekil 4.10. Metrekarede bitki sayısına ait Y x Pr interaksiyon grafiği	81
Şekil 4.11. Toplam klorofil oranının yıllara göre değişim grafiği	86

Şekil 4.12. Toplam klorofil oranının fosfor dozlarına göre değişim grafiği	86
Şekil 4.13. Toplam klorofil oranının priming uygulamalarına göre değişim grafiği	87
Şekil 4.14. Toplam klorofil oranına ait P x Pr interaksiyon grafiği	88
Şekil 4.15. Bitki boyunun yıllara göre değişim grafiği	93
Şekil 4.16. Bitki boyunun fosfor dozlarına göre değişim grafiği	93
Şekil 4.17. İlk bakla yüksekliğinin fosfor dozlarına göre değişim grafiği	97
Şekil 4.18. Bitkide dal sayısının yıllara göre değişim grafiği	103
Şekil 4.19. Bitkide dal sayısının fosfor dozlarına göre değişim grafiği	103
Şekil 4.20. Bitkide dal sayısının priming uygulamalarına göre değişim grafiği	104
Şekil 4.21. Bitkide bakla sayısının yıllara göre değişim grafiği	109
Şekil 4.22. Bitkide bakla sayısının fosfor dozlarına göre değişim grafiği	110
Şekil 4.23. Bitkide dal sayısının priming uygulamalarına göre değişim grafiği	110
Şekil 4.24. Baklada tane sayısının yıllara göre değişim grafiği	114
Şekil 4.25. Baklada tane sayısına ait Y x F x Pr interaksiyon grafiği	114
Şekil 4.26. Biyolojik verimin yıllara göre değişim grafiği	119
Şekil 4.27. Biyolojik verimin fosfor dozlarına göre değişim grafiği	119
Şekil 4.28. Biyolojik verimin priming uygulamalarına göre değişim grafiği	120
Şekil 4.29. Biyolojik verime ait P x Pr interaksiyon grafiği	121
Şekil 4.30. Biyolojik verime ait Y x P interaksiyon grafiği	121
Şekil 4.31. Biyolojik verime ait Y x Pr interaksiyon grafiği	122
Şekil 4.32. Biyolojik verime ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği	122
Şekil 4.33. Tane veriminin yıllara göre değişim grafiği	128
Şekil 4.34. Tane veriminin fosfor dozlarına göre değişim grafiği	128
Şekil 4.35. Tane veriminin priming uygulamalarına göre değişim grafiği	129
Şekil 4.36. Tane verimine ait Y x Pr interaksiyon grafiği	130
Şekil 4.37. Tane verimine ait Y x P interaksiyon grafiği	130
Şekil 4.38. Tane verimine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği	131
Şekil 4.39. Hasat indeksinin yıllara göre değişim grafiği	136
Şekil 4.40. Hasat indeksinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği	136
Şekil 4.41. Hasat indeksine ait Y x P interaksiyon grafiği	137
Şekil 4.42. 1000-tane ağırlığının yıllara göre değişim grafiği	141
Şekil 4.43. Bitkide azot içeriğinin yıllara göre değişim grafiği	146
Şekil 4.44. Bitkide azot içeriğinin fosfor dozlarına göre değişim grafiği	146
Şekil 4.45. Bitkide azot içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği	147
Şekil 4.46. Bitkide azot içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği	148
Şekil 4.47. Bitkide azot içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği	148
Şekil 4.48. Bitkide fosfor içeriğinin yıllara göre değişim grafiği	153
Şekil 4.49. Bitkide fosfor içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği	153
Şekil 4.50. Bitkide fosfor içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği	154
Şekil 4.51. Bitkide fosfor içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği	155
Şekil 4.52. Bitkide potasyum içeriğinin yıllara göre değişim grafiği	160
Şekil 4.53. Bitkide potasyum içeriğinin fosfor dozlarına göre değişim grafiği	160
Şekil 4.54. Bitkide potasyum içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği	161
Şekil 4.55. Bitkide potasyum içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği	162
Şekil 4.56. Bitkide potasyum içeriğine ait Y x Pr interaksiyon grafiği	162
Şekil 4.57. Bitkide potasyum içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği	163
Şekil 4.58. Bitkide kalsiyum içeriğinin yıllara göre değişim grafiği	168
Şekil 4.59. Bitkide kalsiyum içeriğinin fosfor dozlarına göre değişim grafiği	168

Şekil 4.60. Bitkide kalsiyum içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği.....	169
Şekil 4.61. Bitkide kalsiyum içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği	170
Şekil 4.62. Bitkide kalsiyum içeriğine ait Y x P interaksiyon grafiği	170
Şekil 4.63. Bitkide kalsiyum içeriğine ait Y x Pr interaksiyon grafiği.....	171
Şekil 4.64. Bitkide kalsiyum içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği	171
Şekil 4.65. Bitkide bakır içeriğinin yıllara göre değişim grafiği.....	175
Şekil 4.66. Bitkide bakır içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği..	176
Şekil 4.67. Bitkide bakır içeriğine ait Y x P interaksiyon grafiği	177
Şekil 4.68. Bitkide bakır içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği.....	178
Şekil 4.69. Bitkide bakır içeriğine ait Y x Pr interaksiyon grafiği	178
Şekil 4.70. Bitkide bakır içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği.....	179
Şekil 4.71. Bitkide demir içeriğinin yıllara göre değişim grafiği.....	183
Şekil 4.72. Bitkide demir içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği.	183
Şekil 4.73. Bitkide demir içeriğine ait Y x P interaksiyon grafiği	184
Şekil 4.74. Bitkide demir içeriğine ait Y x Pr interaksiyon grafiği	185
Şekil 4.75. Bitkide demir içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği.....	185
Şekil 4.76. Bitkide demir içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği.....	186
Şekil 4.77. Bitkide magnezyum içeriğinin yıllara göre değişim grafiği.....	191
Şekil 4.78. Bitkide magnezyum içeriğinin fosfor dozlarına göre değişim grafiği ...	191
Şekil 4.79. Bitkide magnezyum içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği.....	192
Şekil 4.80. Bitkide magnezyum içeriğine ait Y x P interaksiyon grafiği	193
Şekil 4.81. Bitkide magnezyum içeriğine ait Y x Pr interaksiyon grafiği.....	193
Şekil 4.82. Bitkide magnezyum içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği.....	194
Şekil 4.83. Bitkide magnezyum içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği.....	194
Şekil 4.84. Bitkide Manganez içeriğinin yıllara göre değişim grafiği.....	198
Şekil 4.85. Bitkide Manganez içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği.....	198
Şekil 4.86. Bitkide Manganez içeriğine ait Y x Pr interaksiyon grafiği.....	200
Şekil 4.87. Bitkide Manganez içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği	200
Şekil 4.88. Bitkide Manganez içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği	200
Şekil 4.89. Bitkide çinko içeriğinin yıllara göre değişim grafiği	205
Şekil 4.90. Bitkide çinko içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği.	205
Şekil 4.91. Bitkide çinko içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği	206
Şekil 4.92. Bitkide çinko içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği	207
Şekil 4.93. Tanede protein içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği.....	212
Şekil 4.94. Tanede protein içeriğinin fosfor dozlarına göre değişim grafiği.....	213
Şekil 4.95. Tanede protein içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği.....	213
Şekil 4.96. Tanede protein içeriğine ait Y x P interaksiyon grafiği	214
Şekil 4.97. Tanede protein içeriğine ait Y x Pr interaksiyon grafiği	215
Şekil 4.98. Tanede protein içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği.....	215
Şekil 4.99. Tanede protein içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği.....	216
Şekil 4.100. Tanede fosfor içeriğinin yıllara göre değişim grafiği.....	221
Şekil 4.101. Tanede fosfor içeriğinin fosfor dozlarına göre değişim grafiği	221
Şekil 4.102. Tanede fosfor içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği.....	222
Şekil 4.103. Tanede fosfor içeriğine ait Y x Pr interaksiyon grafiği.....	222

Şekil 4.104. Tanede toplam antioksidan madde içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği.....	225
Şekil 4.105. Tanede toplam antioksidan madde içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği.....	226
Şekil 4.106. Tanede toplam antioksidan madde içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği.....	227
Şekil 4.107. Tanede toplam fenolik bileşik içeriğinin yıllara göre değişim grafiği.....	231
Şekil 4.108. Tanede toplam fenolik bileşik içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği.....	232
Şekil 4.109. Tanede toplam fenolik bileşik içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği.....	233
Şekil 4.110. Tanede toplam fenolik bileşik içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği.....	233
Şekil 4.111. Araştırma kapsamında incelenen fenolojik ve agronomik özelliklerin birbiri ile ilişkisini ve ilişkilerin önem derecelerini gösteren diyagram	237
Şekil 4.112. Araştırma kapsamında incelenen kimyasal ve moleküler özelliklerin birbiri ile ilişkisini ve ilişkilerin önem derecelerini gösteren diyagram	239

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
M.Ö.	: Milattan önce
PEG	: Polietilen glikol
PGPB	: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri
PGPR	: Bitki gelişimini teşvik edici rizobakteri
SA	: Salisilik asit
S	: Sitrik asit
AMF	: Arbusküler mikorizal fungus
PSB	: Fosfat çözücü bakteri
IAA	: İndol asetik asit
ROS	: Reaktif oksijen türleri
MDA	: Malon dealdehit
SOD	: Süperoksit dismutaz
APX	: Askorbat peroksidaz
CAT	: Katalaz
PPO	: Polifenol oksidaz
POX	: Peroksidaz
GA	: Giberellik asit
GPOX	: Guaiakol peroksidaz
GAPUTAEM	: GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi
UYO	: Uzun yıllar ortalaması
NA	: Nutrient agar
NB	: Nutrient broth
TUKEY	: Tukey's honestly significant difference test
TE	: Troloks (6-hidroksil-, 5, 7, 8, tetrametilikroman-2-karboksilik asit)
Pr	: Priming

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
N₂	: Elementel azot
N	: Azot
P	: Fosfor
K	: Potasyum
ATP	: Adenozin trifosfat
NAD	: Nikotinamid adenin dinükleotit
NADP	: Nikotinamid adenin dinükleotit fosfat
Al	: Alüminyum
Fe	: Demir
Ca	: Kalsiyum
Cr	: Krom
Zn	: Çinko
Cu	: Bakır
Mn	: Mangan
Mg	: Magnezyum
NaCl	: Sodyum klorür
NaOCl	: Sodyum hipoklorit
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
kg	: Kilogram
g	: Gram
mg	: Miligram
dm³	: Desimetre küp
m	: Metre
mm	: Milimetre
ml	: Mililitre
m²	: Metrekare
da	: Dekar
ha	: Hektar
%	: Yüzde
mM	: Milimolar
P₂O₅	: Fosfor pentoksit
°C	: Santigrat derece
'	: Derece
"	: Dakika
mmol	: Milimol
μ	: Mikro
L	: Litre
pH	: Hidrojen konsantrasyonunun (-) logaritması
Na₂SiO₃H₂O	: Sodyum metasilikat

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TOHUMA PRİMING UYGULAMALARININ FARKLI FOSFOR SEVİYELERİNE BAĞLI OLARAK MERCİMEKTE (*Lens culinaris* L.) BİTKİ GELİŞİMİ, TANE VERİMİ VE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Mustafa CERİTOĞLU

Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarla Bitkileri Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Murat ERMAN

II. Danışman : Doç. Dr. Fatih ÇİĞ

2024, 300+XVI Sayfa

Bu çalışma, mercimekte fosforlu gübre dozları ve tohum ön uygulamalarının (priming) bitki gelişimi, besin maddesi alınımı, tane verimi ve kalitesi üzerine etkilerini incelemek üzere Siirt ekolojik koşullarında 2021-22 ve 2022-23 üretim sezonlarında yürütülmüştür. Araştırmada 4 fosforlu gübre dozu ve 6 priming uygulaması kullanılmıştır. Araştırma tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Araştırmada incelenen fenolojik özellikler; çıkış süresi 11,3-14,0 gün, çiçeklenme süresi 124,0-144,8 gün, bakla bağlama süresi 145-153 gün, olgunlaşma süresi 180,5-182 gün aralığında değişmiştir. Fizyolojik ve agronomik gelişim parametreleri açısından; metrekarede bitki sayısı 244-256 adet, yaprakta klorofil oranı %36,0-42,4, bitki boyu 26,3-43,4 cm, ilk bakla yüksekliği 12,8-18,5 cm, bitkide dal sayısı 3,80-7,43 adet aralığında tespit edilmiştir. Verim ve verim komponentleri açısından; bitkide bakla sayısı 36,8-110,6 adet, baklada tane sayısı 1,25-1,60 adet, biyolojik verim 390,8-754,3 kg/da, tane verimi 136,4-265,3 kg/da, hasat indeksi %29,8-38,0 ve 1000-tane ağırlığı 26,1-34,7 aralığında değişmiştir. Uygulamalara bağlı olarak bitkilerde besin elementi alımı ve tane kompozisyonu bakımından; bitkide N %2,09-4,26, bitkide P 2368-3629 ppm, bitkide K 1701-5548 ppm, bitkide Ca 8012-12700 ppm, bitkide Cu 7,78-18,64 ppm, bitkide Fe 521-1546 ppm, bitkide Mg 2033-3216 ppm, bitkide Mn 33,8-61,7 ppm ve bitkide Zn içeriği 19,1-46,7 ppm olarak belirlenmiştir. Tane kalitesini etkileyen karakterler ise; tanede protein oranı %21,2-27,3, tanede P içeriği 2048-3748 ppm, tanede toplam antioksidan içeriği 1,948-2,738 mg TE/g ve tanede toplam fenolik bileşik içeriği 0,409-1,154 mg GAE/mL aralığında değişim göstermiştir. Araştırma sonuçlarına göre, fosforlu gübre uygulamasının tane verimini artırdığı ancak 1,5 kg P₂O₅/da ile 6 kg P₂O₅/da dozları arasında istatistiki açıdan fark olmadığı belirlenmiştir. Priming uygulamaları sinerjistik etkide bulunarak fosforlu gübre ile birlikte daha yüksek tane verimi alınmasına imkân sağlamış, özellikle Si-priming uygulaması düşük fosforlu gübre dozlarında dahi tane verimini artırmıştır. Sonuç olarak, en yüksek tane verimi ve ekonomik kazanç 6 kg P₂O₅/da ile birlikte Si-priming uygulamasından elde edilmiştir. Ayrıca, SA, PGPB ve Si-priming uygulamalarının tane verimi dışında besin maddesi alımı ve tane kalitesini de artırdığı tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları mercimek yetiştiriciliğinde priming uygulamalarının fosforlu gübre kullanımının azaltılması bakımından kolay uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Antioksidan, fenolik, mercimek, ön uygulama, sürdürülebilir tarım

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

INVESTIGATION OF EFFECTS OF SEED PRIMING APPLICATIONS DEPENDING ON DIFFERENT PHOPHORUS LEVELS ON PLANT GROWTH, GRAIN YIELD AND QUALITY IN LENTIL (*Lens culinaris* L.)

Mustafa CERİTOĞLU

The Graduate School of Natural and Applied Science of Siirt University
Doctor of Philosophy in Department of Field Crops

Supervisor : Prof. Dr. Murat ERMAN

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Fatih ÇİĞ

2024, 300+XVI Pages

This study was conducted during the 2021-22 and 2022-23 production seasons in the ecological conditions of Siirt to investigate the effects of phosphorus fertilizer doses and seed pre-treatment (priming) with various materials on plant development, nutrient uptake, grain yield, and quality in lentils. Four phosphorus fertilizer doses and six priming applications were used in the study. The research was laid out in a randomized complete split-plot design with four replications. Phenological features observed during the study included emergence time ranging from 11,3 to 14,0 days, flowering duration from 124,0 to 144,8 days, pod setting time from 145 to 153 days, and maturity time from 180,5 to 182 days. Physiological and agronomic development parameters varied, with plant density ranging from 244 to 256 plants per square meter, leaf chlorophyll content between 36,0% and 42,4%, plant height from 26,3 to 43,4 cm, first pod height from 12,8 to 18,5 cm, and number of branches per plant between 3,80 and 7,43. In terms of yield and yield components, the number of pods per plant ranged from 36,8 to 110,6, seeds per pod from 1,25 to 1,60, biological yield from 390,8 to 754,3 kg/ha, grain yield from 136,4 to 265,3 kg/ha, harvest index from 29,8% to 38,0%, and 1000-seed weight from 26,1 to 34,7. Nutrient uptake and grain composition varied with the applied treatments, with plant N ranging from 2,09% to 4,26%, plant P from 2368 to 3629 ppm, plant K from 1701 to 5548 ppm, plant Ca from 8012 to 12700 ppm, plant Cu from 7,78 to 18,64 ppm, plant Fe from 521 to 1546 ppm, plant Mg from 2033 to 3216 ppm, plant Mn from 33,8 to 61,7 ppm, and plant Zn from 19,1 to 46,7 ppm. Factors influencing grain quality included protein content ranging from 21,2% to 27,3%, phosphorus content from 2048 to 3748 ppm, total antioxidant content from 1,948 to 2,738 mg TE/g, and total phenolic compound content from 0,409 to 1,154 mg GAE/mL. According to the research results, phosphorus fertilizer increased grain yield, but there was no statistical difference between 1,5 and 6 kg P₂O₅/da. Priming applications had a synergistic effect, allowing for higher grain yield when combined with phosphorus fertilizer, especially Si-priming resulting in high grain yield even at low phosphorus fertilizer doses. In conclusion, the highest grain yield and net income were obtained by 6 kg P₂O₅/da with Si-priming treatment. Additionally, it was observed that SA, PGPB, and Si-priming applications not only increased grain yield but also enhanced nutrient uptake and grain quality. The study suggests that priming applications are an easy-to-implement and economical method for reducing phosphorus fertilizer use in lentil cultivation.

Keywords: Antioxidant, phenolic, lentil, pre-treatment, sustainable agriculture

1. GİRİŞ

Yemeklik tane baklagiller, yerleşik hayatın ve tarımın ilk çağlarından (M.Ö. 11.000) beri kültürü yapılan önemli besin maddeleri arasında yer almakla birlikte zengin besin içeriği, uzun süre depolanabilmeleri ve geniş bir coğrafyada yetiştirilebilmeleri gibi çeşitli avantajları sayesinde 21. yüzyılda konumunu korumaya devam etmektedir (Sandhu ve Singh, 2007; Urbano ve ark., 2007; Jarpa-Parra, 2018). Üretim ve tüketim açısından Dünya’da tahıllardan ve yağ bitkilerinden sonra 3. sırada, Türkiye’de ise tahıllardan sonra 2. sırada yer alan yemeklik tane baklagiller, beslenme açısından olduğu kadar ekonomik değeri açısından da önemli tarım ürünleridir. 2000 yılında 28 milyon ton olan baklagil tüketimi artan nüfusla beraber 2017 yılına gelindiğinde %82’lik artışla 51 milyon tona ulaşmıştır. 2017 yılında gerçekleşen toplam baklagil arzı 64 milyon tondur. Günümüzde ise toplanan güncel rakamlar dünya genelinde yemeklik tane baklagil üretiminin yaklaşık 81 milyon ha alanda 92 milyon tonun üzerine çıktığını, giderek üretim ve tüketim değerlerinin arttığını göstermektedir (Dutta ve ark., 2022). Birçok gelişmekte olan ülkede olduğu gibi Türkiye’de de yemeklik baklagiller halkın büyük çoğunluğunun temel protein ihtiyacını karşılamakta ve fazlaca tüketilmektedir.

Mercimek (*Lens culinaris* L.), yapılan arkeolojik kazılarda kullanılan radyokarbon tarihleme yöntemine göre tarımı yapılan en eski yemeklik tane baklagil bitkisi olarak kaydedilmiştir (Sonnante ve ark., 2009). Statpup verilerine göre Dünya genelinde 2022-23 sezonunda 5,5 milyon ha alanda 5,9 milyon ton üretim gerçekleştirilirken 2023-24 yılında bu rakamlar sırasıyla 5,2 milyon ha ve 5,4 milyon ton olarak değişkenlik göstermiştir. Dünya geneli incelendiğinde 2023 verilerine göre mercimek ekili alanların %85,5’ini kırmızı, %14,5’ini ise yeşil mercimek oluşturmaktadır. FAO verilerine göre 2023 yılında dünyada mercimek ekiliş alanı açısından ilk sırayı 1,734 milyon ha ile Hindistan almakta, onu 1,716 milyon ha ile Kanada takip etmektedir. Toplam üretim miktarı açısından ise ilk sırada 1,606 milyon ton ile Kanada, 1,490 milyon ton ile Hindistan gelmektedir. Türkiye ise 2022 TÜİK verilerine göre, 290 bin ha ekiliş alanında 400 bin ton üretim gerçekleştirmiştir. Ayrıca 2022 yılında elde edilen veriler Türkiye’de mercimek üretiminin son 5 yılda %29 oranında arttığını göstermektedir (Anonim, 2023a). 2022 yılında Türkiye’de mercimek tüketim miktarları incelendiğinde, toplamda 343,7 bin ton kırmızı, 58,6 bin ton yeşil mercimek tüketildiği görülmüştür. Kişi başına tüketim açısından ise 4,1 kg kırmızı ve 0,7 kg yeşil mercimek

tüketildiği rapor edilmiştir (Anonim, 2023a). Dünya nüfusunun hızla artması, gelir dengesizliklerinin yükselmesi, açlık ve yoksulluk sınırındaki insan sayısının artmasına bağlı olarak insan beslenmesinde hayvansal ürünlerin payı giderek azalmakta ve bitkisel ürünlere olan talep artmaktadır (Palmer ve ark., 2018; Rampal ve MPhil, 2018). Bu durum, kişi başına düşen yıllık mercimek tüketiminin artmasına, dolayısıyla yıllık üretimin artırılması gerektiğine işaret etmektedir. Ancak, küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği, kuraklık, tuzluluk, ekstrem sıcaklıklar, sanayi atıkları ve egzoz gazı kalıntılarına bağlı ağır metal toksisitesi, hastalık ve zararlı etmenlerinin faaliyetleri ve temel besin maddelerinin noksanlığı gibi çeşitli biyotik ve abiyotik faktörlerin etkisiyle diğer tarım ürünlerinde olduğu gibi mercimekte de önemli verim ve kalite kayıpları meydana gelmektedir (Sarker ve Karmoker, 2011; Sehgal ve ark., 2017; Delahunty ve ark., 2018; Warne ve ark., 2019; Akhtar ve ark., 2020; Pandey ve Sengar, 2020; Ganguly ve ark., 2021).

Bitkisel üretimde yetiştirilen ürünün ihtiyaç duyduğu temel besin maddelerinin optimum düzeyde verilmesi verim ve kalite açısından kilit bir rol oynamaktadır. Bitkisel üretimde en önemli besin elementi azot olmakla birlikte simbiyotik azot fiksasyonu için uygun şartların oluşması durumunda baklagil bitkileri vejetasyon süresi boyunca azot ihtiyacını karşılayabilmektedir. Mercimek yetiştirilen alanlarda etkili *Rhizobium* ırklarının (*Rhizobium leguminosarum*) bulunması veya çeşitli tekniklerle aşılama yapılmasına bağlı olarak havadaki elementel azot (N₂), kök üzerinde oluşturulan nodüller vasıtasıyla bitkiye yararlı formlara dönüştürülmektedir (Erman ve ark., 2012). Mercimek ihtiyaç duyduğu azotun yaklaşık %75'ini bu yolla karşılamaktadır.

Fosfor, azottan sonra en önemli makro besin elementi olmakla birlikte kök ve gövde gelişimi, çiçek ve tohum oluşumu, adenzin trifosfat (ATP) üretimi, azot fiksasyonu, stres faktörlerine karşı tolerans geliştirilmesi, ürün verimi ve kalitesi üzerinde önemli etkilere sahiptir (Schachtman ve ark., 1998; Singh ve ark., 2005; Penn ve Camberato, 2019). Bu nedenle, mercimek tarımında besin noksanlığından kaynaklı gelişme, verim ve kalite sorunlarının temelinde fosfor noksanlığı gelmektedir. Ek olarak, Türkiye'de ve Dünya'da mercimek yetiştirilen alanlar, genelde kıraç ve verimsiz arazilerden oluştuğu için fosfor noksanlığı önemli verim kayıplarına yol açmaktadır. Farklı ekolojik koşullarda yürütülen araştırmalarda fosfor noksanlığına ve kullanılan genotiplerin fosfordan kaynaklı besin elementi noksanlığı toleransına bağlı olarak mercimekte verim kayıplarının %10-82 arasında değiştiği belirtilmiştir (Turk ve ark., 2003; Zeidan, 2007; Togay ve Anlarsal, 2008a; Niri ve ark., 2010; Datta ve ark., 2013;

Ali ve ark., 2017; Ganguly ve ark., 2021). Fosfor, çeşitli metabolik olayların gelişim süreçlerine katılması ve yapı maddesi konumunda bulunması nedeniyle kilit besin elementlerinden birisidir. Baklagil bitkilerinde nodülasyon, azot fiksasyonu ve besin maddesi alımı gibi fizyolojik süreçlerde önemli görevler üstlenir (Singh ve ark., 2005). Fosfor, nükleik asitlerin, fosfolipidlerin, NAD ve NADP gibi taşıyıcı moleküllerin, ATP'nin ve diğer enerji taşıyan moleküllerin yapısına katılarak veya oluşumunda rol oynayarak bitkiler açısından hayati bir önem taşımaktadır. Bunlar dışında enerji transferi, fotosentez, şekerlerin ve nişastanın dönüştürülmesi, bitkide besin maddelerinin taşınımı ve genlerin bir sonraki generasyona aktarılması gibi kritik süreçlerde rol alır. Ancak en temel görevi fosforilasyon ile diğer moleküllere enerji transferini sağlamaktır (Israel, 1987; Malhotra ve ark., 2018; Mitran ve ark., 2018; Dissanayaka ve ark., 2021).

Topraktaki mevcut fosforun büyük çoğunluğu asidik topraklarda alüminyum (Al) ve demir (Fe) ile şelat oluştururken alkalın topraklarda ise kalsiyum (Ca) ile bileşik oluşturarak bitkiler tarafından kullanılamaz bir forma dönüşür. Mercimek, etkili bir kök sistemine sahip olduğu için oldukça zayıf topraktaki su ve besin maddesi kaynaklarından yararlanarak gelişimini sürdürmeyi başarır. Ancak şiddetli kuraklık ve besin noksanlığı verim ve kalite kayıplarına neden olur. Fosfor noksanlığının çok artması durumunda ise köklerden salgılanan çeşitli organik bileşikler sayesinde rizosfer pH'sını düşürür ve fosfataz enzim aktivitesine bağlı olarak alınamaz formdaki fosfatlı bileşikler çözülerek bitkiler tarafından alınması sağlanır (Gahoonia ve Nielsen, 1992).

MacDonald ve ark. (2011), alınabilir fosfor kaynaklarının mevcudiyeti bakımından global ölçekte tarım topraklarının %29'undan daha fazlasının fosfor noksanlığı gösterdiğine işaret etmişlerdir. Tarım topraklarında sık görülen fosfor noksanlığı; çoğunlukla su kaynaklı toprak erozyonu, mineral partiküller tarafından sıkı bir şekilde absorbe edilmesi, organik madde tarafından tutulması ve az çözünür tuzlar olarak çökeltilmesinden kaynaklanmaktadır. Geriye kalan çok az bir kısmı çözünebilir tuz formunda yer altına akar veya bitkiler tarafından alınır (Smil, 2000; Carpenter ve Bennett, 2011; Helfenstein ve ark., 2018). Bu nedenle, yoğun gübreleme yapılmasına rağmen bitkiler uygulanan gübrenin çok az bir kısmından faydalanabilmektedir (Sattari ve ark., 2012). Yapılan çalışmalar, fosfor noksanlığı görülen alanların giderek arttığı ve dünya genelinde yaklaşık 5,7 milyar hektar alanın fosfor noksanlığı gösterdiğine işaret etmektedir (Granada ve ark., 2018). Buna ek olarak, dünya piyasasında artan sentetik gübre fiyatları her geçen gün maliyeti artıran önemli bir etken olmakta ve bitki grubuna, toprak özelliklerine ve ekolojik faktörlere göre değişmekle birlikte gübre masrafları

arasında önemli bir yeri işgal etmektedir. Tarım ve Orman Bakanlığı'nın açıklamış olduğu Anonim (2023b) istatistiklere göre Türkiye genelinde kullanılan kimyasal girdilere ait değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Türkiye'de tarımsal üretim alanlarında 2022 yılı boyunca kullanılan kimyasal gübre miktarları ve güncel fiyatlara göre ekonomik değeri

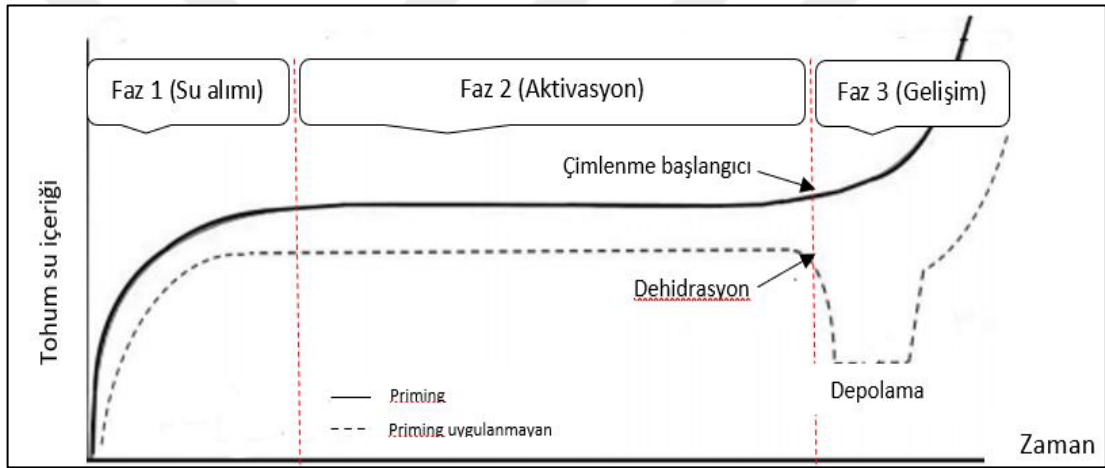
Kimyasal gübre	Toplam gübreye göre oranı (%)	Ton	Ekonomik değeri
Azotlu (%21 N)	66	7.520.871	9.025.045.200 ₺
Fosforlu (%17 P ₂ O ₅)	31	3.550.343	7.100.686.000 ₺
Potashlı (%50 K ₂ O)	3	261.495	470.691.000 ₺
Toplam		11.332.709	16.596.422.200 ₺

Veriler 2023 yılında TÜİK tarafından paylaşılmıştır. Ekonomik değeri hesaplanırken 2024 yılındaki güncel fiyatlar kullanılmıştır

Yoğun kimyasal gübre kullanımının artan maliyetlerinin yanında çevre kirliliği açısından da yıkıcı etkilerinin olduğu ifade edilmektedir. Toprağa uygulanan yoğun kimyasal materyaller nedeniyle yer altı suları kirlenmekte, toprakta faydalı mikroorganizma yoğunluğu ve faaliyeti azalmakta, toprak organik maddesinin giderek azalması neticesinde toprak verimliliği düşmekte, toprak teksel bir yapıya dönüşmek suretiyle su ve besin maddesi tutma özelliğini kaybetmekte, toprak erozyonu riski artmakta neticede toprak verimliliği kaybolmaktadır (Akiyama ve ark., 2000; Tu ve ark., 2000; Li ve Wu, 2008; Savci, 2012). Çeşitli araştırmacılar tarafından yürütülen çalışmalarda, mercimekte fosfor noksanlığına bağlı olarak gelişme geriliğinin yanı sıra önemli verim ve kalite kayıplarının meydana geldiği tespit edilmiştir (Rashid ve Bughio, 1993; Shah ve ark., 2000; Togay ve Anlarsal, 2008b; Sarker ve Karmoker, 2009,2011; Singh ve Singh, 2016). Bu nedenle, tarımsal üretimde maliyetleri düşürmek suretiyle birim alandaki kazancın artmasına katkı sağlayacak, çevre dostu, kolay uygulanabilir ve sürdürülebilir yöntemlerin kullanımı kritik bir öneme sahiptir.

Çeşitli materyaller ve teknikler ile uygulanabilen tohum ön uygulamaları (priming), tohumun çimlenmesi, bitki gelişimi, bitkide fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler tepkilerin düzenlenmesi, stres faktörlerine karşı toleransın geliştirilmesi ve besin maddesi alımı üzerine olumlu sonuçlar ortaya koymaktadır. Uluslararası literatürde "seed priming" olarak isimlendirilen, Türkçe literatürde ise "ekim öncesi tohum ön uygulamaları" olarak kullanılan yöntem, son dönemde "priming" olarak da ifade edilmektedir. Priming tekniği, tohumun ekim öncesinde su veya düşük ozmotik potansiyele sahip çözelti içerisinde belirli bir süre ve sıcaklık altında bekletilerek tekrar

kurutulması esasına dayanır (McDonald, 2000; Hasanuzzaman ve Fotopoulos, 2019). Bu sayede tohumda çeşitli biyokimyasal olaylar başlatılarak çimlenme süreci ile birlikte tohumda antioksidan savunma sistemleri de devreye girmektedir (Mauch-Mani ve ark., 2017). Bu nedenle priming, bitkilerde biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı toleransı artırmanın etkili ve kolay bir yoludur. En ilkel priming tekniği, tohumların ekim öncesinde suda bekletilmesi olup “hidro-priming” olarak tanımlanmaktadır (Khalid ve ark., 2019). Bunun dışında yaygın olarak kullanılan priming teknikleri; ozmo-priming, halo-priming, kimyasal priming, katı matriks priming, hormonal priming, nano-priming ve biyo-priming olarak sıralanabilir. Priming uygulanmış tohumların herhangi bir uygulama yapılmamış olan tohumlara kıyasla çimlenme sürecine ilişkin diyagram Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Priming uygulanan ve uygulanmayan tohumlarda çimlenme süreci (Rajjou ve ark., 2012)

Şekil 1.1 incelendiğinde, normal koşullar altında çimlenen tohumlarda su alımının ve aktivasyon süreçlerinde priming uygulanan tohumlara kıyasla daha yüksek olduğu, faz 3’e geçildiğinde çimlenme faaliyetinin duraklatıldığı görülmektedir. Bu farklılıkların temel nedeni tohumun suya göre daha düşük ozmotik potansiyele sahip veya yoğun bir çözelti ile muamele edilmesi ve çimlenmenin gerçekleşmesinden önce çözeltiden çıkarılarak kurutulmasıdır. Böylece tohumda çimlenme mekanizması aktive edilmesine rağmen kökçük ve sürgün çıkışı gerçekleşmez, bu durum ekim sonrasında priming uygulanan tohumlara avantaj sağlar. Priming uygulamalarının genel olarak amacı; tohumda çimlenme dönemine ait karakterlerin iyileştirilmesi (Ceritoğlu ve Erman, 2020), fide gelişiminin artırılması (Anjum ve ark., 2020), besin maddesi alımının iyileştirilmesi (Sirisuntornlak ve ark., 2021), bitki gelişimin teşvik edilmesi (Rakshit ve Singh, 2018),

stres faktörlerine karşı hassasiyetin azaltılması (Basavaraj ve ark., 2019) ve ürün veriminin artırılmasıdır (Kaur ve ark., 2005). Priming uygulamalarının kullanım amacı göz önünde bulundurulduğunda, uygulanacak teknik ve kullanılacak priming ortamı/materyalinin seçimi hedeflenen başarıya ulaşılması açısından atılması gereken ilk adımdır. Yapılan araştırmalar; yapay kuraklık oluşturmak için polietilen glikol (PEG) kullanılarak kuraklık stresinin (Amini, 2013), çeşitli tuzlarla uygulanan halo-priming ile tuzluluk stresinin (Bajehbaj, 2010), mikro ve makro besin elementleri ile uygulanan nutrient-priming ile besin maddesi noksanlığından kaynaklı stresinin (Muhammad ve ark., 2015; Munir ve ark., 2018; Atar ve ark., 2020), fitohormonlar ile uygulanan hormonal priming sonucunda sistemik dayanıklılığın (Bacelli ve Mauch-Mani, 2016; Rhaman ve ark., 2021), bitki gelişimini teşvik edici bakteri (PGPB)'ler ile biyo-priming uygulamaları ile biyotik ve abiyotik stres toleransının ve besin maddesi alımının (Shirinzadeh ve ark., 2013; Meena ve ark., 2020; Nivetha ve ark., 2021) iyileştirildiği rapor edilmiştir.

Sürdürülebilir bir perspektiften bakıldığında, hızla bitkilerin yararlanamayacağı bir forma dönüşen fosfor kaynaklarının toprağa yoğun bir şekilde uygulanması hem maddi kayıplara hem de çevre kirliliğinin artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, uygulanan fosfor kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak suretiyle fosfor kullanım etkinliğinin artırılması veya toprakta bitkiler tarafından alınamayacak formda bulunan mevcut kaynakların faydalı bir forma dönüştürülmesine imkân tanıyan tekniklerin uygulanması gerekmektedir. Topraktaki mevcut fosfat kaynaklarının alınabilir fosfor iyonlarına (HPO_4^{2-} veya H_2PO_4^-) dönüştürülmesinde etkili bir mekanizmaya sahip, üstün nitelikleri olan PGPB strainlerinin bu amaçla kullanımı son çeyrek asırda artarak devam eden bir fenomen haline gelmiştir. PGPB strainlerinin çeşitli tekniklerle ve bitki türüne göre uygun protokoller dahilinde ekim öncesi tohumla uygulandığı yöntem, biyo-priming olarak tanımlanmaktadır (Reddy, 2012; Glick, 2020). Bitkide çeşitli metabolik değişimlere yol açarak veya rizosfer bölgesindeki pH dengesi, organik asit ve fosfataz enzim aktivitesi ile mikrobiyal aktiviteyi artırarak fosfor alımını kolaylaştıran çeşitli hormonların priming yöntemi ile uygulandığı tekniğe ise hormonal priming denir (Rhaman ve ark., 2020). Benzer şekilde, düşük konsantrasyonlarda çeşitli fosfor kaynakları kullanılarak bitkilerde özellikle erken dönemde fosfor ihtiyacının karşılanması, bu suretle bitki gelişiminin teşvik edilmesi amacıyla kimyasal priming uygulanmaktadır (Ajouri ve ark., 2004).

Bu çalışmada, farklı fosfor seviyeleri altında yetiştirilen mercimekte PGPB strainleri, silisyum (Si), salisilik asit (SA), inorganik fosfor (Pi) ve sitrik asit (S) kullanılarak uygulanacak olan priming tekniklerine bağlı olarak bitki gelişimi, besin maddesi alımı, tane verimi ve tanenin biyokimyasal içeriği incelenmiştir. Çalışmanın öncelikli hedefleri;

- Kırmızı mercimeğin farklı fosfor seviyelerine karşı gösterecekleri morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal reaksiyonların incelenmesi
- Çeşitli priming tekniklerinin mercimek tarımında kullanım olanaklarının ve uygulanabilirliğinin araştırılması
- Fosfatlı bileşikler çözebilen PGPB strainleri, SA, Si, S ve Pi materyalleri ile priming uygulamalarının farklı fosfor mevcudiyeti altında yetiştirilen mercimekte erken dönem besin elementi alımı, bitki gelişimi, fosfor noksanlığına bağlı stres toleransının geliştirilmesi, ürün verimi, tane kalitesi, tanede antioksidan miktarı ve toplam fenolik bileşik içeriği üzerine etkilerin gözlemlenmesi
- Azaltılmış fosfor uygulamalarına bağlı olarak gerçekleştirilecek arazi çalışmaları ile minimum sentetik gübreleme ile optimum sonuçların elde edilebileceği uygulama pratiklerinin tespit edilmesidir.

Bu hedefler doğrultusunda yürütülen çalışmanın amacı, mercimek tarımında fosfor noksanlığına bağlı verim ve kalite kayıplarının sürdürülebilir, düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir yöntemlerle azaltılması veya ortadan kaldırılmasını sağlayarak ülke tarımına ve ekonomisine katkı sağlamaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Bitki Gelişimini Teşvik Edici Bakteriler

Singh ve ark. (2005), farklı fosforlu gübre (0, 30, ve 60 kg P₂O₅/ha), sulama (sulamalı ve sulamasız) ve bakteri inokulasyonuna (inokülasyon yapılan ve yapılmayan) bağlı olarak yetiştirilen mercimekte kök gelişimi, nodülasyon, tane verimi ve fosfor kullanım etkinliğindeki değişimleri incelemişlerdir. Tarla koşullarında yürütülen araştırmada, artan dozlarda P₂O₅ ile birlikte tane verimi, nodül sayısı, kök uzunluğu ve kök kuru ağırlığı, daha yüksek nem tüketimi, tane ve samandaki fosfor içeriği ve alımı önemli ölçüde artmıştır. Kök uzunluğu ve kök kuru ağırlığı dışında nodül sayısı, tane ve saman verimi sulama ile artış göstermiştir. Mercimek tohumunun fosfat çözücü bakteriler ile aşılınması, fosfor kullanım etkinliğini artırmanın yanı sıra tohum ve saman verimini de iyileştirmiştir.

Zarei ve ark. (2006), birlikte uygulanan fosfat çözücü bakteri ve arbusküler mikorizal fungus (AMF)'ye karşı mercimek genotiplerinin reaksiyonunu incelemişlerdir. Farklı PGPB strainleri arasından, P-çözünürlük kabiliyetine sahip strain bitki büyümesi ve besin alımı üzerinde, bu kabiliyeti olmayan straine göre daha faydalı bir etki göstermesine rağmen her iki strainin de N₂-fiksasyonu açısından benzer etkinliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bitki gelişimini teşvik edici bakteri strainleri ile AMF birlikte uygulanması durumunda sinerjistik etki göstererek daha olumlu sonuçların ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır. Ayrıca PGPB ve AMF uygulamalarının ayrı ayrı veya birlikte uygulanmalarının sadece fosforlu gübre uygulamalarına göre bitkilerde fosfor alımını ve kullanım etkinliğini artırdığı kaydedilmiştir.

Kumar ve Chandra (2008), bitki gelişimini teşvik edici rhizobakteri (PGPR) ve fosfat çözücü bakteri (PSB) strainlerinin mercimekte *Rhizobium leguminosarum* Bv. Viciae ile rekabeti ve simbiyotik potansiyel üzerine etkilerini incelemişlerdir. 2002-2003 yetiştirme sezonunda Pantnagar ekolojik koşullarında yürütülen araştırmada, tohumların *Rhizobium*, PGPR ve PSB ile inokulasyonunun herhangi bir muamele yapılmayan kontrol grubu bitkilerine göre nodül sayısını, nodül kuru ağırlığını, tane ve samandaki N konsantrasyonunu önemli ölçüde artırdığı kaydedilmiştir. *Rhizobium*, PGPR ve PSB uygulamalarının birlikte uygulanmalarının ise sinerjistik bir etkiye sahip olduğu ve tek başına uygulanan etkenlere kıyasla bitki gelişimi, nodül oluşumu ve gelişimi, simbiyotik potansiyel ve besin maddesi alımı üzerine daha etkin bir rol oynadığı rapor edilmiştir.

Kumari ve ark. (2009), fosfat çözücü bakterilerin mercimekte morfolojik karakterler üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada fosfat çözücü bakteri straini 2 kg toprağa 10, 20 ve 30 mg karıştırılmak suretiyle uygulanmış ve bakteri uygulaması yapılmayan kontrol grubu ile mukayese edilmiştir. Bakteri inokulasyonuna bağlı olarak mercimekte bitki boyu, dal sayısı, çiçek sayısı, bakla sayısı ve bitki kuru ağırlığının artış gösterdiği kaydedilmiştir.

Singh ve ark. (2011), 3 farklı fosfat çözebilen PGPR straini (RMV1, RMV4 ve RPB3) ile tohum inokulasyonun mercimekte bitki gelişimi, P alımı, nodülasyon ve tane verimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. İki yıllık tarla çalışması olarak yürütülen araştırmada kullanılan strainler arasından RPB3 diğerlerine ve kontrol grubuna göre daha üstün parametrelerin elde edilmesine imkân tanımıştır. PGPR ile tohum inokulasyonuna bağlı olarak yıllar ortalaması göz önüne alınarak kontrol grubu ile kıyaslandığında tarlada bitki çıkış oranı %15,5, kök uzunluğu %41,4, bitki boyu %23,0, dal sayısı %35,3, bitkide nodül sayısı %47,7, bitkide bakla sayısı %23,9, bitkide tane sayısı %5,33, 1000-tane ağırlığı %16,5 ve tane verimi %30,3 artış göstermiştir. Araştırmacılar, fosfat çözücü PGPR strainlerinin fosfor alımını artırdığını da ifade etmişlerdir.

Iqbal ve ark. (2012), *Rhizobium leguminosarum* ve PGPR strainlerinin fosforca zenginleştirilmiş kompost ile birlikte uygulanması durumunda mercimekte bitki gelişimi, nodülasyon ve tane verimini teşvik ettiğini belirlemişlerdir. Çalışmada fosforca zenginleştirilmiş ve organik maddece zengin kompost materyalinin bakteriler için daha uygun bir yaşam alanı oluşturduğu ve aktivitelerinin artmasına imkân tanıdığı belirtilmektedir. Çalışma sonuçlarına göre; uygulamalara bağlı olarak yaş ağırlıkta %73,5, tane veriminde %73,9, saman veriminde %74,4, bitki başına bakla sayısında %67,5, bitki başına nodül sayısında %73,3, nodül kuru ağırlığında %65,8, 1000-tane ağırlığında %40,5 ve tanede protein içeriğinde %52,5 oranında artışa sebep olduğu rapor edilmiştir.

Zafar ve ark. (2012), kontrollü şartlar altında saksı, hidrofonik ve in vitro olarak yürüttükleri deneylerde PGPR-priming uygulamalarının mercimekte bitki gelişimi, nodülasyon ve besin maddesi birikimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kullanılan strainlerin IAA üretimi (0.5-11.0 µg/mL) ve fosfat çözebilme kabiliyetlerinin (3-16 mg/L) olduğu laboratuvar testleri ile belirlenmiştir. Saksı çalışmasında PGPR uygulamalarına bağlı olarak sap uzunluğu %65, sap yaş ağırlığı %43, sap kuru ağırlığı %63, kök uzunluğu %74, kök yaş ağırlığı %54 ve kök kuru ağırlığı %92 oranında artış göstermiştir. Hidrofonik sistemde ise sonuçlar daha efektif bulunmuş ve buna göre bitkide bakla sayısı

%50, 1000-tane ağırlığı %13, kuru madde verimi %28 ve tane verimi %29 oranında artmıştır. Uygulamalara bağlı olarak bitkiler tarafından alınan N ve fosfor miktarının arttığı belirlenmiştir.

Singh ve Prasad (2014), PGPR ile biyo-priming uygulamasının mercimekte (*Lens culinaris* Medik cv. VL125) bitki gelişimi ve tane verimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre en iyi sonuçların elde edilmesini sağlayan RPB3 straini, bitki çıkış oranında %13,17, kök uzunluğunda %19,77, bitki boyunda %10,69, dal sayısında %21,11, nodül oluşumunda %28,34, bitki başına bakla sayısında %24,17, baklada tane sayısında %7,66, bitki başına tane sayısında %21,23, 1000-tane ağırlığında %13,28 ve tane veriminde %26,14 artışa sebep olmuştur. PGPB strainlerinin fosfat çözme kabiliyetine sahip olduğu ve çalışmada elde edilen veriler üzerinde istatistiki açıdan önemli farklılıkların oluşmasına sebep olduğu ifade edilmiştir.

Sandeep ve ark. (2014), alüvyal topraklarda yetiştirilen mercimek (*Lens culinaris*) üzerinde kaya fosfat, molibden ve fosfat çözücü bakteri uygulamalarının etkilerini incelemişlerdir. Gamari (Agra, Uttar Pradesh) koşullarında 2 yıllık (2009-2010 ve 2010-2011) tarla çalışması olarak kış yetiştirme sezonunda yürütülen araştırmada *Preudomonas striata* + 60 kg/ha P₂O₅ + 2 kg/ha Mo uygulamasının kontrol grubuna ve diğer uygulamalara göre daha üstün sonuçlar ortaya koyduğu kaydedilmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre, *Preudomonas striata* + 60 kg/ha P₂O₅ + 2 kg/ha Mo ile tane ve saman verimi sırasıyla %17,2 ve 19,8 oranında artış göstermiştir. PGPR uygulanmayan bitkilerde artan kaya fosfat dozlarının bitki tarafından olumlu sonuçlar ortaya koymadığı, PGPR uygulamalarının kaya fosfatı çözerek bitkiler tarafından alınmasını sağladığı kaydedilmiştir.

Anuj ve ark. (2015), PGPR, sülfür ve bazı mikro elementler ile priming uygulamalarının mercimek (*Lens culinaris*) tanesinde protein, karbonhidrat ve yağ içeriği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, PGPR+S+Mo+Mn+Zn uygulamalarına bağlı olarak kontrol grubu bitkilere göre yağ oranının %2,53 ve karbonhidrat içeriğinin %1,57 oranında arttığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar PGPR, S ve mikro element uygulamalarının mercimeğin diyet besin değerinin iyileştirilmesi açısından etkili olduğunu rapor etmişlerdir.

Singh ve ark. (2018), fosfat çözebilen *Chryseobacterium* sp. PSR 10 straini ile farklı dozlarda N ve P gübrelemesinin mercimekte (*Lens culinaris* var. PL-5) gelişim ve verim parametreleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Tarla çalışması öncesinde yürütülen laboratuvar testleri neticesinde kullanılan strainin NBRI-BPB NB besi

ortamında fosfat çözme kabiliyeti 210,43 µg/ml olarak tespit edilmiştir. Tarla çalışmasında N ve P gübrelerinin %100, %50 ve %30 konsantrasyonlarda teker teker ve bakteri ile birlikte uygulanmış ve hiçbir uygulamanın yapılmadığı kontrol grubu ile kıyaslanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre %50 sentetik gübreleme+PGPR uygulamalarının agronomik özellikler ve verim parametreleri açısından ümitvar sonuçlar ortaya koyduğunu, böylece mercimek tarımında sentetik gübrelemenin yarı yarıya indirilebileceğini ifade etmişlerdir.

Moradi ve Mozafari (2020), Rhizobium ve PGPR strainleri ile biyo-priming uygulamalarının kuru tarım sisteminde yetiştirilen mercimek bitkilerinde klorofil içeriği, besin maddesi konsantrasyonu ve tane verimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen bilgilere göre, özellikle Rhizobium bakterisi ve PGPR strainlerinin (*Azotobacter*+*Azospirillum*+*Pseudomonas*) birlikte kullanıldığı uygulamalarda tane verimi, tanede azot, P ve K içeriği, klorofil-a ve -b konsantrasyonlarının uygulama yapılmayan kontrol grubu bitkileri ile kıyaslandığında arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Rhizobium inokulasyonu ve PGPR strainlerinin ayrı ayrı uygulanmasına kıyasla birlikte uygulanmaları durumunda sinergistik etki göstererek daha etkin sonuçların elde edilmesini sağladığı belirtilmektedir.

Erman ve ark. (2022a), farklı PGPR strainleri ile biyo-priming uygulamalarında optimum priming performansının elde edilebilmesi amacıyla en uygun protokolün geliştirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Laboratuvar şartlarında petri çalışması olarak yürütülen deneyde 2 farklı PGPR straini (KF3B ve KF63C) ile 5 farklı priming süresi (0, 1, 2, 4 ve 6 saat) kullanılmıştır. Kontrol grubundaki tohumlara da bakteri aşılması yapılmış ancak solüsyon içerisinde bekletilmemişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre bakteriyel strainler arasında önemli farklılıkların bulunduğu gözlemlenirken en uygun priming süresinin 4 saat olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada priming materyali hazırlanırken bakteriyel süspansiyon 1:1 oranında saf su ile seyreltilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre 4 saat priming uygulanan tohumlar kontrol grubuna göre çimlenme yüzdesi, fide yaş ağırlığı, fide kuru ağırlığı, fide boyu ve fide gücü indeksi parametreleri açısından üstünlük sağladığı belirlenmiştir.

Hayrenzadeh ve ark. (2021), sulamalı ve sulamasız koşullarda yetiştirilen mercimek bitkilerinin mikorizal fungi ve fosfat çözücü bakteri (PSB) uygulamalarına karşı gösterdikleri fizyolojik reaksiyonları incelemişlerdir. 2018 ve 2019 yıllarında tarla koşullarında yürütülen araştırmada *Funneliformis mosseae* (mycorrhizal fungi), *Pseudomonas putida* P13 (PSB), *F. mosseae* + *P. putida* ve kontrol uygulamaları

kullanılmıştır. Sulamasız koşullarda yetiştirilen bitkilerde sulamalı koşullarda yetiştirilenlere göre hidrojen peroksit (H_2O_2), malondealdehit (MDA) ve glisin betain içerikleri sırasıyla %9,80, %29,36 ve %15,31 oranında artış göstermiştir. *F. mosseae* + *P. putida* uygulamasında ise kontrole ve diğer uygulamalara kıyasla H_2O_2 , MDA ve glisin betain içeriklerinin önemli derecede düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca bu uygulamaya bağlı olarak bitkilerde enzimatik antioksidantların aktivitelerinde artış olduğu kaydedilmiştir. Birlikte inokule edilen PSB ve mikorizal fungi uygulamalarının çözünebilir şeker, yaprakta P oranı, verim ve verim parametreleri üzerine olumlu etkiler gösterdiği rapor edilmiştir.

Kalyani ve Math (2021), farklı börülce genotiplerinin, fosforlu gübre dozlarının ve fosfat çözücü bakteri (PSB) uygulamalarının kalite ve ekonomik kazanım açısından etkinliğini incelemişlerdir. Kuru tarım sisteminde 2019 yılında yürütülen araştırmada 75 kg/ha P_2O_5 + PSB uygulamasına bağlı olarak tanede protein içeriği, protein veriminin uygulanan diğer fosforlu gübre dozlarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Ahmad ve ark. (2022a), Khan (Pakistan) ekolojik koşullarında yürüttükleri araştırmada 5 farklı PGPR straininin organik gübrelerle birlikte uygulanması durumunda nohut bitkisinin gelişimi ve besin maddesi alımı üzerine etkilerini incelemişlerdir. İzolatların çoğu, nohut fidelerinin sürgün ve kök uzunluğu, kuru madde üretimini önemli ölçüde artırmışlardır. Araştırmada PGPR strainleri *Rhizobium* aktivitesini de artırarak kontrol muamelesine kıyasla daha fazla bitki boyu (35 cm), nodül sayısı (38 adet) ve bitki başına bakla sayısı (44.66 adet) ile sonuçlandığını göstermiştir. Çalışmada aşılama uygulanan parsellerin, uygulanmayan parsellere göre önemli ölçüde daha yüksek verim verdiği belirtilmiştir. *Mesorhizobium ciceri* ve kompost ile yapılan uygulamanın kontrole kıyasla daha yüksek tane verimi (%8) ile sonuçlandığı rapor edilmiştir.

Fatima ve ark. (2022), PGPR uygulamalarının *Fusarium oxysporum* f.'nin neden olduğu nohut solgunluğu ve stres altında nohutta çeşitli gelişim parametreleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yürütülen araştırmada daha önce elde edilen bakteriyel koleksiyon içerisinden seçilen 50 PGPR straininin hastalık üzerine etkileri incelenmiş ve 17 tanesinin hastalık etmeni üzerinde antagonistik etki gösterdiği kaydedilmiştir. Bakteriyel inokulasyonun hastalığı önemli ölçüde baskıladığı ve genel kök morfolojisi özelliklerini (kök uzunluğu, kök yüzey alanı, kök hacmi, lateral ve kılcak kökler, kök uçları vs.) iyileştirerek nohut bitkilerinin büyümesini artırdığı rapor edilmiştir. Hastalıklı bitkilerde PGPR aşılmasına bağlı olarak kök uzunluğunda %107, sürgün uzunluğunda %23 ve dallarda %54 artış gözlemlenmiştir. Daha ileri araştırmalar, çeşitli suşları ile

aşıl原因an nohut bitkilerinin, patojenin engellemesine yardımcı olabilecek fenilalanin amonyak liyaz, peroksidaz, polifenol peroksidaz, β -1,3 glukanaz dahil olmak üzere bir dizi temel savunma enziminin ekspresyonunu indüklediği belirtilmiştir.

Kasuhik ve Singh (2022) mercimekte vermikompost ve PGPR uygulamalarının bitki gelişimi ve tane verimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yürütülen araştırmada 3 doz vermikompost (%75, %100 ve %125), *Rhizobium* aşılması, PGPR inokülasyonu ve bunların farklı interaksiyonlarının etkileri gözlemlenmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre %125 vermikompost+*Rhizobium*+PGPR uygulaması herhangi bir uygulama yapılmayan kontrol grubu ve diğer uygulamalara kıyasla bitki kuru ağırlığı, bitkide bakla sayısı, baklada tane sayısı, tane verimi, ot verimi ve hasat indeksi bakımından daha üstün sonuçların elde edilmesine imkân tanımıştır. Ayrıca, uygulamaların ekonomik analizi gerçekleştirildiğinde %125 vermikompost+*Rhizobium*+PGPR uygulamasının en yüksek net gelir indeksine sahip olduğu ve fayda/maliyet oranı (2/5) açısından da kontrol grubuna üstünlük sağladığı vurgulanmıştır.

Laranjeira ve ark. (2022), farklı PGPR strainlerinden oluşan konsorsiyum ile AMF uygulamalarının farklı sulama seviyeleri altında nohut bitkisinin gelişimi ve verimsel üretkenliği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada bakteriyel konsorsiyumda *Pseudomonas*, *Burkholderia*, ve *Mesorhizobium* cinslerine ait PGPR strainleri, AMF konsorsiyumunda ise *Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis geosporum* ve *Claroideoglomus claroideum* türünde yer alan funguslar kullanılmıştır. Kritik gelişme periyodunda uygulanmak üzere 5 farklı sulama rejimi kullanılmıştır. İki yıl üst üste tekrarlanan araştırma sonuçlarına göre, PGPR ve AMF ile birlikte aşıl原因an gruplarda her iki yılda sırasıyla tane veriminin 1,45 ve 1,33 kat arttığı rapor edilmiştir. Ayrıca, PGPR ve AMF inokülasyonunun su stresi altında bitkilerin kuraklığa karşı toleransının iyileşmesine katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

Miljakovic ve ark. (2022), *Bradyrhizobium japonicum* ve *Bacillus megaterium* türüne ait PGPR strainleri ile priming uygulamalarının soya fasulyesinde (*Glycine max*) erken fide dönemi ve çimlenme karakteristiği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneyde priming uygulanan tohumlara standart çimlenme testi, soğuk testi ve hızlı yaşlandırma testi uygulanmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir. *Bacillus megaterium* ile priming uygulanan tohumlar standart çimlendirme testinde ve soğuk koşullar altında incelenen tüm çimlenme özelliklerinin iyileşmesine katkı sağlarken hızlı yaşlandırma uygulanan

tohumlarda ise kontrol grubu ile kıyaslandığında çimlenme enerjisi, sürgün uzunluğu, kök uzunluğu ve fide canlılık indeksini artırdığı belirtilmiştir.

Pramod ve ark. (2022), biyo-priming uygulamalarının soya fasulyesinde tohumun çimlenme özellikleri ve erken fide gelişim parametreleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Saksı çalışması olarak gerçekleştirilen araştırmada uygulama yapılmayan grupta çimlenme yüzdesi %65,66 olarak hesaplanırken biyo-priming uygulanan tohumlarda %93,66'ya kadar yükseldiği belirtilmiştir. Biyo-priming uygulamalarına bağlı olarak kök uzunluğu (11,01 cm), sürgün uzunluğu (7,96 cm), fide yaş ağırlığı (8,00 g), fide kuru ağırlığı (1,31 g) ve fide gücü indeksi (115,56) parametrelerinin kontrol grubunda yer alan fidelere kıyasla daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Araştırmada kullanılan PGPR strainlerinin büyük çoğunluğu incelenen özellikler üzerine pozitif etki göstermiş olmasının yanında özellikle PSB strainlerinin en yüksek faydalı etkide bulundukları belirtilmiştir.

Verma ve ark. (2022), PGPR uygulamalarına bağlı olarak nohutta (*Cicer arietinum* L.) gelişim parametreleri, kök mimarisi ve tane kalitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Uygulamalar arasında *Rhizobium* ve PSB ile tohum aşılamının yanı sıra bunların PGPR strainleri ile farklı interaktif etkileri incelenmiştir. Araştırmacılar *Rhizobium*+PSB+PGPR uygulamalarının birbiri üzerinde sinerjistik etkiye sahip olduğunu ve diğer uygulamalar ve kontrol grubuna kıyasla agronomik özellikler ve kök mimarisi gelişimini teşvik ettiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca, uygulanan üçlü konsorsiyumun tanede protein oranının artmasına da katkı sağladığı belirtilmiştir.

2.2. Silisyum

Owino-Gerroh ve Gascho (2005), düşük pH seviyesine sahip topraklarda P fiksasyonunun artması ve bu nedenle bitkiler tarafından alınamamasına bağlı olarak mısır bitkisinde verim kayıplarını azaltmak amacıyla Si uygulamalarının etkilerini gözlemlemişlerdir. Araştırmada 1,5 kg toprak ihtiva eden saksılara karıştırılmak üzere 0, 1,96, 3,92 ve 5,88 mg CaSiO_3 kullanılmıştır. Yürütülen laboratuvar ve saksı deneyleri sonucunda sodyum silikat olarak uygulanan silisyumun toprakta tutulan fosfor bileşiklerinin azalmasına katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Fosforla birlikte veya tek başına uygulanan silisyum bitki kök ve yapraklarındaki fosfor içeriğinin artmasına katkı sağlamış, tane veriminin teşvik edilmesi üzerinde etkili olmuştur.

Sabaghnia ve Janmohammadi (2014), erken fide döneminde tuzluluk stresine maruz bırakılan mercimek (*Lens culinaris*) tohumlarının Si nano parçacıklarına bağlı olarak gelişimleri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, artan konsantrasyonda tuzluluğun çimlenme karakteristiği üzerine olumsuz etkiler gösterdiği, Si uygulamalarına bağlı olarak ise bitkilerde tuzluluk toleransının arttığı tespit edilmiştir. Bitkilerde tuzluluğa tolerans açısından en üstün çimlenme ve gelişim parametreleri 1 mM Si-nano parçacıkları ile elde edilmiştir. Araştırmacılar, tuzluluk stresi ile mücadelede Si-nano parçacıklarının kullanımının etkili ve sürdürülebilir bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir.

Janmohammadi ve ark. (2015), Silisyumdioksit nano parçacıkları ile priming uygulamalarının mercimek genotiplerinin (*Lens culinaris* Medik.) erken fide gelişimi özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yürütülen çalışmada 4 farklı tuz seviyesi (0, 50, 100 ve 150 mM) altında yetiştirilen genotiplere kontrol dışında 2 farklı Si-priming (1 ve 2 mM) uygulanmıştır. Çalışma sonucundan elde edilen bulgulara göre 1 mM Silisyumdioksit nanoparçacıkları ile uygulanan priming neticesinde bitkilerde çimlenme yüzdesi, kök ve sürgün uzunluğu, fide ağırlığı, ortalama çimlenme süresi, fide gücü indeksi ve kotiledon rezerv mobilitesinin arttığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar, Si-priming uygulamaları tuzlu alanlarda mercimek yetiştiriciliği açısından katkıda bulunabilecek bir yöntem olma potansiyeline sahip olduğunu ve tuzluluk toleransını önemli ölçüde artırdığı ifade edilmiştir.

Mehrabanjoubani ve ark. (2015), silisyumun bitkilerde transmembran ve apoplastik yollarda besin maddesi alımı üzerine birtakım araştırmalar yürütmüşlerdir. Araştırmalarda buğday (*Triticum aestivum* L.), kanola (*Brassica napus* L.) ve pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) bitkilerinin büyümesi, besin içeriği ve besin maddesi alımı, 1.5 mmol Si/L uygulanarak veya uygulanmadan değerlendirilmiştir. Silisyum uygulaması pamuk, kanola ve buğday bitkilerinde sırasıyla kuru ağırlıkları %8, %30 ve %30 ve bağıl büyüme oranını %10, %13 ve %17 artırmıştır. Ca^{2+} alımı ve içeriği Si uygulanan pamuk ve buğday bitkilerinde Si içermeyenlere göre sırasıyla %19 ve %21 daha düşük bulunurken Si uygulaması tüm bitki türlerinde hem K^+ hem de Fe alımını ve içeriğini artırmıştır. Si uygulaması sadece pamukta bor alımını ve içeriğini azaltmış, üç bitki türünde de P ve Zn^{2+} içeriğini artırmıştır. Si uygulaması ile Ca^{2+} alımı, bitki sürgünleri su buharı ile doyurulduğunda veya kökleri düşük sıcaklığa maruz bırakıldığında arttırılmış veya değişmemiştir. Böylece Si uygulaması, K^+ , P, Zn^{2+} ve Fe gibi elementlerin alımını arttırdığına işaret edilmiştir.

Agostinho ve ark. (2017), farklı silisyum kaynaklarının çeşitli fosfor seviyeleri altında yetiştirilen çeltikte bitki gelişimi, verim ve besin maddesi alımı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Silisyum kaynakları olarak volastonit, cüruf ve yapraktan solüsyon olarak uygulanan materyaller kullanılmıştır. Araştırmada P ve Si'un toprakta birlikte bulunmasının Al, Mn ve As konsantrasyonlarının düzenlenmesi üzerine sinerjistik etkide bulunduğu saptanmıştır. Si alımını en çok artıran kaynağının ise silisyumca zengin çeşitli organik materyallerin olduğu ifade edilmiştir.

Biju ve ark. (2017), kuraklık stresine maruz kalan mercimek bitkilerinde Si uygulamalarının ozmolitler, hidrolitik enzimler ve antioksidan savunma sistemlerinin düzenlenmesi sayesinde tohumun çimlenmesi üzerine iyileştirici etkide bulunduğunu belirtmişlerdir. Yapılan araştırmada kuraklık stresi, tohum çimlenme özelliklerini önemli ölçüde azaltmış ve mercimek fidelerinde ozmolit (prolin, glisin, betain ve çözünür şekerler), reaktif oksijen türleri (hidrojen peroksit ve süperoksit anyonu) ve lipid peroksit konsantrasyonunu artırmıştır. Hidrolitik enzimlerin ve antioksidan enzimlerin aktiviteleri ozmotik stres altında önemli ölçüde artmıştır. Si uygulamasına bağlı olarak tohumlarda Si içeriği, antioksidanlar, hidrolitik enzim aktivitesi artarken ozmolit konsantrasyonu ve reaktif oksijen türlerinin azaldığı, buna bağlı olarak bitkilerde kuraklık stres koşullarına dayanma kabiliyetinin önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir.

Kostic ve ark. (2017), düşük P içeriğine sahip arazi koşullarında Si uygulamalarının fosfor alımını artırdığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, buğdayda (*Triticum aestivum* L.) silisyumun fosfor alımı üzerindeki etkilerini fosforlu gübreleme ve kireç uygulamalarına bağlı olarak Pi taşıyıcı genlerin aktivasyonunu gözlemleyerek incelemişlerdir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, Na_2SiO_3 formunda silisyum uygulaması yapraklarda fosfor konsantrasyonunu fosforlu gübreleme yapılan bitkilerde yeterli bir seviyeye yükselttiği, toprakta düşük toprak pH'ını ve yüksek Al^{3+} konsantrasyonunu iyileştirdiği rapor edilmiştir. Araştırmacılara göre silisyum hem malat hem de sitrat eksüdasyon oranını belirgin şekilde artırarak köklerde fosfor alımını doğrudan uyarmıştır.

Rezakhani ve ark. (2019a), çözünmüş ve çözünmemiş fosfor kaynakları ile yapılan fosforlu gübrelemelere bağlı olarak buğdayda (*Triticum aestivum* L.) PSB ve Si uygulamalarının fosfor alımı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular ışığında Si ve PSB uygulamalarının bitkilerde alınan fosfor konsantrasyonunu artırdığı tespit edilmiştir. Si uygulamalarının PSB aktivitesi üzerine sinerjistik etkide bulunduğu ve fosfor alımı açısından daha etkin bir aktivite gösterdiği

ifade edilmiştir. Araştırmacılar PSB ve Si uygulamaları üzerine yapılacak yeni araştırmaların fosforlu gübre yönetimini iyileştirici bilgiler elde edilebileceği işaret etmişlerdir.

Rezakhani ve ark. (2020), Si ve PSB uygulamalarının sorgum (*Sorghum bicolor* L.) bitkilerinde P alımı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada Si ve PSB uygulamalarının etkilerine teker teker ve interaksiyon olarak bakılmış olup P kaynağı olarak çözülmüş P ve kaya fosfat kullanılmıştır. Si ve PSB türlerinin, çözünen P veya çözünmeyen P ortamında yetiştirilen sorgum bitkilerinde kullanılması, P kullanım verimini önemli ölçüde artırmıştır. Çalışmada uygulanan Si yalnızca az çözünen P kaynağından P alımını arttırmakla kalmamış, aynı zamanda suda çözünen P kaynağından P alımını da artırmıştır. 600 ppm Si ve *Pseudomonas* sp. FA1, çözülmüş formdaki P ile gübrelenmiş sorgum bitkisinin P sürgün konsantrasyonunu, gübre verilmemiş olan sorgum bitkilerine göre yeterli bir düzeyde artırmıştır.

Açıkbaş ve Özyazıcı (2021), Si ile priming uygulamalarının yem bezelyesinde [*Pisum sativum* ssp. *arvense* L. (Poir.)] çimlenme gelişimi ve tuzluluk toleransı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yapılan araştırmada 4 farklı NaCl seviyesi (0, 50, 100 ve 200 mM) ve 3 farklı priming konsantrasyonu (2, 4 ve 6 mM Si) kullanılmış ve kontrol olarak hidro-priming uygulanan tohumlar yer almıştır. 6 mM Si ile priming uygulamalarının tuzluluğun gerilettiği etkilerini azalttığı, çimlenme karakteristiğini olumlu olarak etkilediği belirtilmiştir.

Ceritoğlu ve Erman (2021), farklı konsantrasyonlarda Si (2, 4 ve 6 mM Na_2SiO_3) ile priming uygulamalarının mercimek tohumlarının çimlenme ve erken dönem fide özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Si-priming uygulaması dışında hidro-priming (saf su ile priming) ve uygulama yapılmayan bir kontrol grubu kullanılmıştır. Yapılan araştırmada kontrol grubuna göre çimlenme yüzdesi, kök yaş ve kuru ağırlığı, sürgün yaş ve kuru ağırlıkları, fide boyu ve kök uzunluğu parametrelerinin 4 mM Si ile priming uygulanan tohumlarda önemli ölçüde artış gösterdiği kaydedilmiştir.

Kashyap ve Siddiqui (2021), SiO_2 nano parçacıklarının yalnız ve *Rhizobium leguminosarum* ile birlikte uygulanmasının bezelyede bakteriyel yanıklık hastalığına sebep olan *Meloidogyne incognita* ve *Pseudomonas syringae* pv. pisi strainleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. *R. leguminosarum* uygulaması ile Si-priming kullanımı bitki büyümesinde, klorofilde ve karotenoidde kontrol ve diğer uygulamalara kıyasla daha fazla artışa neden olmuştur. *R. leguminosarum*'lu bitkilerde yüksek kök nodülasyonu gözlenmiştir. Buna rağmen Si-priming uygulamasının her iki patojenin gelişimini ve

bitkide oluşturduğu enfeksiyonu baskıladığı ve hastalığın gelişimini yavaşlattığı gözlemlenmiştir.

El-Flaah ve ark. (2021), tuzluluk stresi altında yetiştirilen baklada (*Vicia faba* L.) Rhizobium, nano-silisyum ve askorbik asit uygulamalarının morfo-fizyolojik karakterler ve tuzluluk stresi ile ilişkili gen ifadeleri (POX ve PPO) üzerine etkilerini incelemişlerdir. Saksı çalışması olarak yürütülen araştırma 2018-2019 ve 2019-2020 olmak üzere iki yıllık olarak gerçekleştirilmiştir. Tuzluluk stresi fertigasyon yöntemiyle 0, 2000 ve 4000 ppm olarak uygulanmıştır. Uygulamalar ise iki farklı yetiştirme döneminde (ekimden 30 ve 60 gün sonra) uygulanmış olup Askorbik asit dozları 200 ve 300 mg/L, nano-silisyum dozları ise 2 ve 3 mM olarak belirlenmiştir. Araştırmadan elde edilen bulgular 2 mM nano-silisyum uygulamasının gelişim parametrelerini, fizyolojik karakterleri ve verim komponentlerini uygulama yapılmayan kontrol grubu bitkilerine kıyasla önemli ölçüde iyileştirdiğine işaret etmiştir. Ayrıca, diğer uygulamalarda da görülmekle birlikte nano-silisyum uygulamasının elektrolit sızıntısının azalmasını sağladığı bildirilmiştir. Öte yandan, stres altındaki bitkilerde nano-silisyum uygulamalarının POX ve PPO gen ifadelerinin artmasına yol açtığı ve böylece tuzluluk stresine karşı toleransın geliştirilmesine destek olduğu rapor edilmiştir.

Shabbaj ve ark., (2021), silisyum dioksit (SiO₂) nano parçacıklarının bezelye bitkisinde canavar otu (*Phelipanche aegyptiaca*) enfeksiyonu ile başa çıkma noktasında C ve N metabolizması üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar canavar otunun, bezelye büyümesini sürdürmek için zorunlu olan C ve N metabolizmasını değiştirerek fotosentezi azalttığını bildirmişlerdir. Ayrıca enfeksiyona bağlı olarak bitkilerde lipid peroksidasyonuna bağlı membran hasarının arttığı ifade edilmiştir. Araştırmacılar Si-priming uygulamasının bezelye kök ve sürgünlerinde Si birikimini arttırdığını, bunun da sadece enfeksiyon oranını azaltmakla kalmadığını, aynı zamanda canavar otu enfeksiyonunun zararlı etkisini de önemli ölçüde azalttığını ifade etmişlerdir. Dokularda Si birikimi fotosentezi iyileştirdiği için şeker metabolizmasının aktiviteleri (invertaz, sükras sentaz, nişasta sentaz ve amilaz) de teşvik edilmiştir. Böylece karanlık evredeki solunum sürecinde tüketilen şeker miktarının arttığı ve organik asit üretiminin teşvik edildiği rapor edilmiştir. Araştırmacılar, Si-priming uygulamasının, *Phelipanche* enfeksiyonunun virülansı ile başa çıkmak için bezelye organlarında C ve N metabolizmasını farklı şekilde kullanma potansiyeli oluşturduğunu bildirmişlerdir.

Sirisuntornlak ve ark. (2021), kuraklık stresi uygulanarak yetiştirilen mısır bitkilerinde Si ile priming uygulamalarının bitki gelişimi, tane verimi ve besin maddesi

alımı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Tarla koşullarında yürütülen araştırmada 3 farklı sulama rejimi (tarla kapasitesine göre %100, %75 ve %50) ve 3 farklı Si-priming konsantrasyonu (0, 1 ve 2 mM) kullanılmıştır. Araştırmadan elde edilen verilere göre kuraklık stresi altındaki bitkilerde 1 mM Si ile priming uygulamalarına bağlı olarak tane verimi kontrol grubuna göre %38 oranında artış göstermiştir. Çıkışlardan 75 gün sonra alınan gözlemlere göre 1 mM Si ile priming uygulanan ve %50 tarla kapasitesine göre sulanarak yetiştirilen bitkilerde priming uygulanmayan bitkilere kıyasla fotosistem-II mekanizmasının etkinliğinin %33 ve elektron taşıma sisteminin çalışma kapasitesinin ise %31 oranında arttığı kaydedilmiştir. Ayrıca Si uygulamalarına bağlı olarak bitkilerde prolin birikimi azalırken çözünmüş şeker konsantrasyonu artmıştır. 2 mM Si ile priming uygulamalarında 1 mM dozlarına kıyasla önemli bir fark bulunmamasından dolayı mısır yetiştiriciliğinde kuraklık stresinin etkilerinin azaltılması üzerine Si-priming uygulamaları açısından optimum dozun 1 mM olduğu ifade edilmiştir.

Ayed ve ark. (2022), yapraktan ve ön uygulama olarak kullanılan silisyumun yapay kuraklık oluşturulan kontrolü şartlarda çimlendirilen buğday (*Triticum turgidum* L.) genotiplerinin çimlenme özellikleri ve fide gelişimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada 3 farklı Si seviyesi (0, 15 ve 20 mg/L $\text{Na}_2\text{SiO}_3\text{H}_2\text{O}$) kullanılmış olup yapay kuraklık 150 g/L PEG6000 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyde 25 buğday genotipi kullanılmıştır. Sonuçlar, 15 mg/L Si uygulamasının çimlenme yüzdesini (%23,96 ve %22,37), çimlenme indeksini (%24,67 ve %25,69), sürgün uzunluğunu (%23,58 ve %21,65) ve kök uzunluğunu (22,40 ve %20,81), fide taze ağırlığını (%35,82 ve %27,80) ve fide canlılık indeksini (%41,58 ve %38,95) optimum koşullarda ve stres altında önemli ölçüde artırdığını göstermiştir.

Reges dos Santos ve ark. (2022), dışarıdan uygulanan silisyum ve prolinin kuraklık stresi altında yetiştirilen börtölcede ozmotik düzenleyiciler ve antioksidant aktivitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deney, fide çıkışlarından 25 ve 42 gün sonra prolin ve silikon uygulanmış ve uygulanmamış olmak üzere, bir kontrol grubu ve dört kuraklık seviyesinden oluşan beş doz ile tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür. Hem 25 hem de 42 günlük gelişim periyodunda kuraklık stresine maruz kalan börtölce bitkileri, prolin konsantrasyonunda ve antioksidan enzimlerin aktivitesinde artışlar göstermiş, büyüme göstergelerinde su kısıtlamasını hafifletmemiştir. Bununla birlikte, prolin ve silisyumun ayrı ayrı uygulaması, yaprak su potansiyelini geri kazandırmış ve artan prolin konsantrasyonu ile antioksidan enzimatik aktivite, börtölce büyümesi üzerindeki kuraklık stresini hafifletmiştir. Prolin ile birlikte uygulanan

silikonun börölce üzerindeki kuraklık stresini iki fenolojik aşamada da azalttığı vurgulanmıştır.

Rezakhani ve ark. (2022), silisyum uygulamalarının ve PSB inokölasyonunun buğday yetiştirilen kireçli topraklarda fosfor alımı üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışmada silisik asit kaynağından 0, 150, 300 ve 600 mg Si/kg olmak üzere dört seviyede Si ve üç farklı PSB (kontrol, *Pseudomonas* sp. FA1 ve *Bacillus simpleks* UT1) olmak üzere uygulama yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, Si ve PSB suşlarının birlikte uygulanması, buğday filizi kuru ağırlığını kontrol uygulamalarına kıyasla 3,5 kat artırmıştır. 300 mg/kg Si uygulaması tek başına buğday filizi fosfor içeriğini 2,3 kat artırırken *Pseudomonas* sp. ile birlikte 600 mg/kg Si uygulamasının buğday filizlerindeki P içeriğini kontrol işlemine kıyasla 4 kat artırdığı rapor edilmiştir.

Sarkar ve ark. (2022), farklı tuzluluk seviyeleri altında yetiştirilen mercimekte (*Lens culinaris*) nano-silisyum uygulamalarının bitkide moleköler ve fizyolojik tepkiler üzerine etkilerini incelemiştir. Araştırmada 4 nano-silisyum dozu (0, 1, 5 ve 10 g/L) uygulanmış ve yapay tuzluluk oluşturmak için 4 farklı NaCl seviyesi (0, 100, 200 ve 300 mM) kullanılmıştır. Artan nano-silisyum dozlarına paralel olarak bitki dokularında biriken silisyum miktarının artış gösterdiği ve buna bağılı olarak stres altındaki bitkilerde K^+/Na^+ oranının artış gösterdiği belirlenmiştir. Ek olarak, nano-silisyum uygulamaları çimlenme, fide gelişimi, fotosentetik pigment aktivitesi ve osmotik denge bakımından stres altındaki bitkilerin iyileşmesine sebep olmuştur. Öte yandan, nano-silisyum uygulamaları artan tuzluluk seviyelerine paralel olarak ortaya çıkan ROS moleköllerinin temizlenmesi görevini üstlenen enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidantların aktivitesinin artmasını teşvik etmiştir. Bu nedenle, nano-silisyum uygulamalarının normal gelişme ortamında mercimek büyümesini teşvik etmesinin yanında tuzluluk stresi altında bulunduğu durumlarda da stres toleransını iyileştirici bir rol üstlendiği ifade edilmiştir.

2.3. Fosfor

Arif ve ark. (2005), P ve Zn ile priming uygulamalarının mısır bitkisinin çıkış ve fide gelişimi üzerine etkilerini incelemiştir. Araştırmada priming uygulamaları olarak kontrol (priming uygulanmayan), hidro-priming (distile su), %1 P, %2 P, %1 P+%2 Zn ve %2 P+%2 Zn kullanılmış ve priming süreleri tüm uygulamalar için 12 saat olarak ayarlanmıştır. Priming uygulamalarına bağılı olarak ortalama çimlenme süresi 5 gün

olarak kaydedilirken kontrol bitkilerinde 10 gün olarak tespit edilmiştir. En hızlı fide çıkışları hidro-priming uygulamasından elde edilirken onu %2 P+%2 Zn uygulaması yapılan tohumlar izlemiştir. Fide gelişimi açısından en iyi parametreler ise %2 P+%2 Zn ile priming uygulanan mısır tohumlarında gözlemlenmiştir.

Karanam ve Vadez (2010), düşük toprak pH'sına sahip topraklarda P-priming ve tohum kaplama uygulamasının darı bitkisinin çıkışı ve verimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Ekimden 4 hafta sonra alınan gözlemlerde priming uygulamaları toplam biyokütle üzerine istatistiki açıdan önemli bir farklılığa sebep olmamasına rağmen P ile tohum kaplama uygulaması erken dönemde vejetatif gelişmeyi %400 oranında, çalışma sonucunda salkım verimini ise %50 oranında artırmıştır. Fosfor noksanlığı çeken ve herhangi bir uygulama yapılmayan bitkilerde çiçeklenme süresi 20-24 gün gecikirken P ile tohum kaplama uygulanan bitkilerde gecikme süresi 10-12 güne kadar düşmüştür.

Khalil ve ark. (2010), buğdayda fosforlu gübreleme ve P ile priming uygulamalarının fenolojik özellikler ve kuru madde üretimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Ekim öncesinde priming uygulanan buğday tohumları 0 (kontrol), %0,1, %0,2 ve %0,3 P_2O_5 çözeltilerinde 10 saat bekletildikten sonra tekrar ekilmiştir. Toprak gübrelemesi için ise 4 farklı P dozu (0, 25, 50 ve 75 kg/ha P_2O_5) kullanılmıştır. P-priming uygulamalarının kontrol grubu bitkilerine göre çıkış ve başaklanma süresini kısalttığı, kuru madde birikimini artırdığı kaydedilmiştir. En kısa başaklanma süresi 110 gün ile %0,3 P çözeltisinden elde edilirken maksimum kuru madde birikimi %0,2'lik P solüsyonu ile priming uygulanan tohumlardan elde edilmiştir. Çalışma sonucunda priming uygulamalarının başak uzunluğu, metrekarede başak sayısı ve olgunlaşma süresi üzerinde etkili olmadığı kaydedilmiştir. 50 kg P_2O_5 ha⁻¹ uygulamasının ise diğer uygulamalara göre sapa kalkma, başaklanma ve olgunluk sürelerini kısalttığı, daha yüksek kuru madde üretimi sağladığı rapor edilmiştir.

Miraj (2012), yürüttüğü laboratuvar ve tarla çalışmalarında mısır bitkisinin (*Zea mays*) P-priming uygulamalarına karşı gösterdiği reaksiyonları incelemiştir. Priming materyalleri olarak %1 monopotasyum dihidrojen fosfat (KH_2PO_4), %1 tek süper fosfat (SSP), %1 diamonyum fosfat (DAP), 20 ppm KOH+%1 SSP, 15 ppm NaOH+%1 SSP ve 12,5 ppm Na_2CO_3 +%1 SSP kullanılmıştır. Hidro-priming uygulanan ve herhangi bir priming uygulaması yapılmayan tohumlar kontrol olarak kullanılmıştır. Priming süresi tüm uygulamalar için 16 saat olarak ayarlanmıştır. Laboratuvar testlerinde P-priming uygulanan tohumlar P33 ile etiketlenmiş ve alınan P miktarı ekimden 7, 14 ve 21 gün sonrasında takip edilmiş ve %1 P solüsyonu ile yapılan priming uygulamasının en yüksek

besin maddesi alımına imkân sağladığı tespit edilmiştir. Priming uygulanan tohumlarda kontrol bitkilerine göre koçan verimi %126, tane verimi %85, saman verimi %94, oranında artmış ve 1000-tane ağırlığı ile tanede P konsantrasyonu önemli ölçüde artış göstermiştir.

Shah ve ark. (2012), Peshawar (Pakistan) ekolojik koşullarında yetiştirilen maş fasulyesinden seyreltilmiş P solüsyonlarıyla priming uygulamalarının erken dönem fide gelişimi ve besin maddesi alımı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada %0,01 ve %0,02 konsantrasyonlu KH_2PO_4 solüsyonları kullanılmış ve priming uygulanmayan kontrol grubu bitkileri ile mukayese edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre fidelerdeki P içeriğinin en yüksek olduğu uygulama %0,02'lik KH_2PO_4 ile elde edilirken onu %0,01'lik solüsyon ile priming uygulanan bitkiler takip etmiştir.

Miraj ve ark. (2013), farklı fosfat kaynakları ile priming uygulamalarına bağlı olarak mısırdaki (*Zea mays*) fide gelişimi ve verimi incelemek üzere Pakistan ekolojik koşullarında 2 yıllık (2008 ve 2009) tarla denemesi yürütmüşlerdir. Priming materyalleri olarak %1 monopotasyum dihidrojen fosfat (KH_2PO_4), %1 tek süper fosfat (SSP), %1 diamonyum fosfat (DAP), 20 ppm KOH+%1 SSP, 15 ppm NaOH+%1 SSP ve 12.5 ppm Na_2CO_3 +%1 SSP kullanılmıştır. Bunlar dışında priming uygulanmayan ve hidro-priming uygulanan kontrol grupları oluşturulmuştur. Priming uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla bitki boyu, bitki yaş ve kuru ağırlıkları, yaprak P içeriği bakımından daha üstün özellikler sergilediği kaydedilmiştir. Uygulamalar arasında en etkili sonuçlar %1 KH_2PO_4 ile 16 saat uygulanan priming sonucunda elde edilmiş olup priming uygulanmayan bitkilere göre P alımı 4 kat fazla gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Kumar (2014), Kuzey Hindistan'ın asidik topraklarında yetiştirilen mısırdaki üre, P ve çinko (Zn) ile tohumla priming uygulamalarının bitki gelişimi ve verim üzerine etkilerini incelemiştir. Deneyde P kaynağı olarak %1 KH_2PO_4 , Zn kaynağı olarak $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ve üre kaynağı olarak insan ve hayvan dışkılarından elde edilen steril üre sıvısı kullanılmıştır. Priming uygulanmayan tohumlar kontrol olarak kabul edilmiş ve priming süreleri 16 saat olarak ayarlanmıştır. Kontrol grubuna göre priming uygulamaları verimi artırırken en yüksek verim değeri %1 KH_2PO_4 ile elde edilmiştir. Araştırmacı, düşük pH ve toprak verimliliğine sahip bölge topraklarında besin elementi alımını ve ürün verimini artırmanın kolay ve etkili bir yolu olarak P ile priming uygulamasının bir alternatif olabileceğine işaret etmiştir.

Samad ve ark. (2014), buğdayda Zn ve P ile priming uygulamaları için optimum konsantrasyon ve priming süresini belirlemek amacıyla yürüttükleri deneyde Zn için

%0,05, %0,1, %1, %2 ve %3 ve P için %0,1, %0,5, %1, %3 ve %5 oranında konsantrasyonda solüsyonlar kullanmışlardır. Deneyde priming süreleri olarak 0, 12, 18, 24, 36 ve 48 saatlik periyodlar ayarlanmıştır. Yapılan araştırmada en etkili sonuçların Zn-priming için %0,1 ve P-priming için ise %0,5 konsantrasyonlu solüsyonlardan 18 saatlik priming süresi ile elde edildiği tespit edilmiştir. Deney sonunda tohumlarda Zn ve P konsantrasyonunun kontrol grubu bitkilerine göre artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Seyyedi ve ark. (2015), P-priming uygulamalarının kireçli topraklarda yetiştirilen çörek otu (*Nigella sativa* L.) bitkisinde fide gücü, yağ asidi kompozisyonu ve bitki gelişimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneyde 100, 300 ve 500 mM KH_2PO_4 solüsyonları ile priming uygulanmıştır. Embriyo rezervi tükenme yüzdesi, embriyo rezervi kullanım verimliliği ve çıkış yüzdesi, P-priming uygulamaları ile önemli ölçüde artmıştır. 300 mM KH_2PO_4 ile priming uygulamalarının fide kuru ağırlığını, embriyo rezervi kullanım etkinliği ve yağ asidi kompozisyonu açısından en iyi sonuçların alınmasına imkân sağlarken daha yüksek dozda P ile yapılan priming uygulamalarının etkinliğinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Seyyedi ve ark. (2017), kireçli topraklarda yetiştirilen çörek otu (*Nigella sativa* L.) bitkisinde tanenin P konsantrasyonunu artırarak tohum kalitesinin iyileştirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Ferdowsi Üniversitesi (İran) araştırma seralarında 2012 ve 2013 yıllarında yürütülen çalışmalarda kireçli tarla toprağı vermikompost (V), sülfür (S) ve *Thiobacillus bacteria* (T) ile karıştırıldıktan sonra 0, 30 ve 60 kg/ha P uygulamaları yapılmıştır. Tohumlara 48 saat hidro-priming ve 12 saat 500 mM KH_2PO_4 ile priming uygulanmıştır. Araştırma sonuçları S+T ve V uygulamalarının toprak mevcut P, çıkış süresi, bitki P içeriği, tohum verimi ve tohum gücünü önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir. Ayrıca, P-priming uygulamasının bitkide ve tohumda P içeriğinin artmasına katkı sağlayarak tohum kalitesinin artırılmasına katkı sağladığı belirtilmiştir.

Atar ve ark. (2020), Cu, Zn ve P ile priming uygulamalarının buğday ve arpa bitkilerinde tohum ve bitki kimyasal kompozisyonu üzerine etkilerini incelemişlerdir. Priming solüsyonu olarak %0,03 ve 0,06 CuSO_4 , %0,3 ve 0,5 ZnSO_4 , %1 ve %3 P_2O_5 kullanılmış ve tüm solüsyonlarda priming süresi 10 saat olarak ayarlanmıştır. Kontrol grubu bitkilerine ise hidro-priming uygulanmıştır. Priming uygulamaları tohumdaki Cu, Zn ve P içeriklerini sırasıyla %10,5, %13,4 ve %1,61 oranında artırmıştır. %3 P ile priming uygulaması çimlenme oranını kontrole kıyasla %33 oranında azaltmıştır. Genel olarak priming uygulamalarının ilk büyüme dönemlerinde fide besin içeriklerini artırdığı, böylece fide performansını geliştirmek için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Patel ve ark. (2020), 2019 yılında yürüttükleri araştırmada farklı gübreleme stratejiler ve tohum priming uygulamalarının darı bitkisinde (*Panicum sumatrense*) besin maddesi alımı ve besin içeriği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada gübreleme pratikleri arasında N1 (kontrol), N2 (125 kg Neem ağacı salgısı + 1,25 ton/ha vermikompost), N3 (50 kg N /ha + 50 kg P₂O₅/ha + 50 kg K₂O /ha + %2 Borax), N4 (125 kg Neem salgısı + 1,25 ton vermikompost /ha + 50 kg N /ha : 50 kg P₂O₅/ha : 50 kg K₂O/ha + 2% Boraks) ve N5 (20 kg N/ha + 20 kg P₂O₅/ha + 10 kg K₂O/ha) kullanılırken tohum priming uygulamaları için ise P1 (kontrol), P2 (hidro-priming), P3 (%2 KH₂PO₄) P4 (%20'lik *Pseudomonas fluorescens*) hazırlanmıştır. Araştırmada bitki dokularında biriken N, P ve K oranları herhangi bir uygulamaya bağlı olarak değişmezken kimyasal gübreleme ve kimyasal gübrelerin organik materyaller ile oluşturulan kombinasyonların besin maddesi alımını artırdığı kaydedilmiştir. Araştırmada priming uygulamalarının besin maddesi alımı üzerine istatistiki açıdan bir etkisinin olmadığı rapor edilmiştir.

Sehli ve ark. (2020), monopotasyum dihidrojen fosfat (KH₂PO₄) ve SA ile tohum priming uygulamalarının bakla (*Vicia faba* L.) ve fiğ (*Vicia sativa* L.) bitkileri üzerine etkilerini incelemek ve optimum dozu belirlemek amacıyla yürüttükleri 2 aşamalı çalışmada SA asit için 100 µM, KH₂PO₄ için ise 25 µM, 50 µM ve 100 µM dozlarını kullanmışlardır. İlk aşamada uygulanan priming materyallerinin her iki türde de tohumun çimlenmesini iyileştirdiği kaydedilirken çalışmanın ikinci aşamasında P noksanlığı üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada dışarıdan uygulanan SA ve priming uygulamalarının P noksanlığının şiddetli etkilerini azalttığı kaydedilmiştir. Uygulamalara bağlı olarak toplam biyokütle ve alınan P miktarının arttığı belirtilmiştir.

Abid ve ark. (2021), besin elementleri ile priming uygulamalarının kontrollü şartlarda yürütülen deneylerde mısır çeşitleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. 2011 yılında petri ve saksı çalışmaları olarak yürütülen araştırmalarda EV 7004Q, Islamabad Gold, Rakaposhi ve Sohan-3 mısır çeşitleri kullanılırken %0 (kontrol), %0,6 ve %1,2'lik KH₂PO₄ solüsyonları ile 16 saat priming uygulanmıştır. Tüm priming uygulamaları kontrol grubu bitkilerine göre ortalama çimlenme süresi, kök gelişimi, sürgün uzunlukları ve kuru madde üretiminin artmasını sağlamıştır. En yüksek çimlenme (%94,57) ve canlılık indeksi (431,66) %1,2 P-priming ile Islamabad çeşidinde gözlenmiştir.

Aski ve ark. (2022), Akdeniz ve Hindistan orijinli 110 mercimek genotipinin farklı fosfor seviyeleri altında kök sistem mimarisi arasındaki varyasyonu gözlemlemek amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Yeterli fosfor uygulanan ve fosfor noksanlığı bulunan hidrofonik sistemlerde yürütülen deneyde fide dönemindeki genotiplere ait

çeşitli kök sistemini oluşturan özellikler araştırılmıştır. Mercimek hatları arasındaki kök sistem mimarisi ile genetik çeşitlilik ilişkilerinin anlaşılabilmesi için Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları hem hatlara bağlı olarak hem de fosfor mevcudiyetine göre önemli ölçüde genetik değişkenlik ve çeşitlilik olduğu tespit edilmiştir. Toplam kök uzunluğu, birincil kök uzunluğu, kök ortalama çapı, toplam kök geçişleri, toplam yüzey alanı, toplam kök hacmi, toplam kök çatalları ve toplam kök ipuçları parametreleri incelenmiş ve korelasyon analizine göre toplam kök uzunluğu ile birincil kök uzunluğu özelliklerinin kök ortalama çapı hariç diğer tüm özellikler ile güçlü pozitif korelasyon içerisinde olduğu saptanmıştır.

Unni ve Debbarma (2022), mercimek bitkisinde gelişim ve verime dayalı parametrelerin N ve P gübrelemelerine karşı tepkilerini incelemişlerdir. Araştırma, 2021-22 sezonunda kışlık olarak Hindistan'da gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 4 doz azot (0, 10, 20, 30 kg N/da) ve 4 doz fosfor (0, 30, 40, 50 kg P₂O₅/ha) kullanılmış ve tesadüf bloklarında faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür. Araştırma sonuçlarına göre, birlikte uygulanan 30 kg N/da ile 50 kg P₂O₅/da neticesinde en yüksek bitki boyu (38,02 cm), nodül sayısı (37,44), bitki kuru ağırlığı (13,80 g/bitki), tane verimi (1830 kg/ha) ve ot veriminin (2660 kg/ha) elde edildiği rapor edilmiştir. Ekonomik analiz bakımından incelendiğinde en yüksek net gelir ile fayda-maliyet oranının da birlikte uygulanan 30 kg N /da ile 50 kg P₂O₅/da neticesinde elde edildiği bildirilmiştir.

Kothari ve ark. (2023), *Vigna* cinsinde yer alan çeşitli türlerin fosfor kullanım etkinliği ile ilgili özellikler arasındaki genetik çeşitliliği incelemişlerdir. Araştırmada 18 *Vigna* türüne ait 327 genotip, iki fosfor seviyesinde hidrofonik koşullar altında yetiştirilmiş, fosfor alımı ve fosfor kullanım verimliliği ile ilgili özellikler türler arası ve tür içi varyasyon açısından incelenmiştir. Çalışılan özellikler açısından türe özgü önemli varyasyonlar kaydedildiği bildirilmiştir. İncelenen *Vigna* türleri arasında maş fasulyesinin (*Vigna radiata*) daha yüksek fosfor kullanım etkinliği sergilediği gözlemlenmiştir.

Theologidou ve ark. (2023), alkali özellik taşıyan Akdeniz bölgesi topraklarında yetiştirilen 4 mercimek çeşidinin fosforlu gübrelemeye karşı tepkilerini incelemişlerdir. Optimum fosfor dozunun belirlenmesi ve buna bağlı olarak bazı agronomik ve verim özellikleri ile topraktaki birtakım değişimlerin gözlemlenebilmesi için dört çeşit (Samos, Thessaly, Ikaria ve Flip) iki yetiştirme sezonu boyunca 4 fosfor dozu (0, 13,1, 26,2, 39,3 kg P₂O₅/ha) uygulanarak yetiştirilmiştir. Fosforun, alkalın fosfataz aktivitesini etkilediği, ancak N₂-fiksasyonunu, AMF kolonizasyonunu ve asit fosfataz aktivitesini etkilemediği

gözlemlenmiştir. Araştırmacılar, 26,2 kg P₂O₅/ha ve erken olgunlaşan bir çeşit kullanılması durumunda N₂-fiksasyonu, AMF ve asit fosfataz aktivitesi ile birlikte tane veriminin artırılabilceğini ifade etmişlerdir.

2.4. Sitrik Asit

Vidal-Valverde ve ark. (1992), distile su, sitrik asit (%0,1 w/v) ve sodyum bikarbonat (%0,07) ile ön uygulamaların mercimekte çözünmüş karbonhidrat içeriği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada priming uygulamalarının α -galaktozit içeriğinin önemli ölçüde azalmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Fruktoz ve glukoz içeriklerinin ise sırasıyla %120 ve %280 oranında artış gösterdiği belirtilmiştir. Araştırmacılar 9 saat priming uygulamasının çimlenme sürecindeki mercimekte şekerlerin metabolik mobilizasyona uğramasına yol açtığını rapor etmişlerdir.

Vidal-Valverde ve ark. (1994), sitrik asit (%0,1) ile priming uygulamasının mercimekte anti-besinsel faktörler üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar hidro-priming, sitrik asit (%0,1 w/v) ve sodyum bikarbonat (%0,07) ile priming uygulamalarının tripsin inhibitör aktivitesi, fitik asit, tannin ve kateçin içeriği üzerindeki etkilerini gözlemlemişlerdir. Priming uygulamalarının tripsin inhibitör aktivitesi üzerine bir etkisi olmadığı kaydedilirken fitik asit içeriğinin azalmasına, tannin ve kateçin içeriğinin artmasına yol açtığı rapor edilmiştir.

Gahoonia ve ark. (2000), yürüttükleri laboratuvar ve tarla deneylerinde 2 arpa çeşidinin (Marinka ve Sonate) köklerinden salgılanan organik asitler ve P alımı üzerinde çalışmışlardır. Her iki arpa çeşidinin yetiştirildiği saksı çalışmasında 21 günlük periyodun sonunda yapraklarda biriken kuru madde miktarı ve taşınan P konsantrasyonunun istatistiki olarak farksız olduğu ifade edilirken Marinka çeşidinin köklerindeki P konsantrasyonunun Sonate çeşidine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Köklerden salgılanan organik asitler incelendiğinde Marinka çeşidinden salgılanan S ve asetik asit miktarının diğer çeşide göre sırasıyla 3 ve 2 kat daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Yürütülen tarla çalışmasında da benzer şekilde Marinka çeşidinin toplam biyomas, alınan P ve salgılanan organik asit miktarının fazla olduğu kaydedilmiştir. Araştırmacılar P alımı üzerinde etkili olan temel mekanizmanın özellikle CA salgılanması olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Drouillon ve Merckx (2003), P fiksasyonunun yüksek olduğu topraklarda P mobilizasyonu açısından S mekanizmasının rolü üzerinde çalışmışlardır. Yürütülen

araştırmalar yüksek organik madde, düşük pH ve P içeriğine sahip 5 farklı toprakta gerçekleştirilmiştir. Yürütülen araştırma sonuçlarına göre köklerden S salgılanması düşük P içeriğine sahip topraklarda P alımını etkileyen kilit mekanizma olarak ifade edilmiştir. Sitrik asidin P alımı üzerindeki etkisinin sadece toprak pH'sını düşürerek asidifikasyon ile P alımını sağlaması değil ayrıca Al ve Fe katyonları ile bileşik oluşturması olarak ifade edilmiştir.

Khademi ve ark. (2010), organik asitlerin buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinde organik asitlerin rolü üzerine yürüttükleri araştırmada P33 yöntemiyle işaretlenen KH_2PO_4 molekülleri rizosfer bölgesine enjekte edilmiştir. Işaretlenmiş P injeksiyonundan 2 gün sonra rizosfer bölgesine bu kez sitrat ve oksalat enjekte edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre organik asitler hem kök bölgesindeki fosforun mobilizasyonunu hem de bitkiler tarafından alımını artırdığı kaydedilmiştir.

El-Tohamy ve ark. (2013), S uygulamalarının fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L.) kuraklık toleransı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yürütülen araştırmada S dozları (0, 0,5, 1, 1,5 ve 2 g/L) bitkiler kuraklık stresine maruz kalmadan önce yaprakdan uygulanmıştır. Araştırma sonuçları kuraklık stresi altındaki fasulye bitkilerinin su mevcudiyetinin S uygulamalarına bağlı olarak iyileştirildiğini, yapraklardaki nispi su içeriğini artırdığını ortaya koymuştur. En etkili sonuçların elde edildiği S dozu 1,5 g/L olarak tespit edilmiştir.

Santos ve ark. (2017), sitrik asidin topraktaki P mevcudiyeti üzerine etkilerini araştırmışlardır. Sera koşullarında farklı toprak yapıları üzerinde mısır yetiştirilerek yürütülen araştırmalarda Entisol topraklarda 0, 45, 90 ve 180 mg/dm³ P ve Oksisol topraklarda 0, 100, 200 ve 400 mg/dm³ P uygulanmakla birlikte saksılara kombine olarak 0, 0,5, 1,0 ve 2,0 mg/dm³ S ilave edilmiştir. Çalışma sonucunda en iyi veriler 115 mg/dm³ P ve 0,7 mg/dm³ S uygulamalarından elde edilmiştir. Sitrik asit uygulamalarının topraktaki alınabilir P varlığını ve mısırdan alınan P miktarını artırdığı rapor edilmiştir.

Farid ve ark. (2019), birlikte uygulanan S ve 5-aminolevlnik asit (5-ALA)'ın krom (Cr) toksisitesi altında yetiştirilen ayçiçeğinde toplam biyokütle, fotosentez ve gaz değişim kapasitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Vejetatif gelişme döneminde uygulanan 5-ALA için ayarlanan dozlar 0, 10, 20 ppm ve S için ayarlanan dozlar ise 0, 2,5 ve 5 mM olarak belirtilmiştir. Cr toksisitesine bağlı olarak bitkilerde toplam biyomas, agronomik özellikler, çözünebilir şeker ve proteinler ve fotosentetik pigment konsantrasyonlarının azaldığı tespit edilmiştir. S ve 5-ALA uygulamalarına bağlı olarak bitkilerde Cr toksisitesinin azaldığı, toleransın artmasına katkı sağladığı ROS üretiminin

düştüğü, fizyolojik ve metabolik faaliyetlerin iyileştiği gözlemlenmiştir. Araştırmada en iyi sonuçların 20 ppm 5-ALA ve 5 mM S dozlarının birlikte uygulanması sonucu elde edildiği rapor edilmiştir.

Tuesi (2019), S uygulamalarının buğdayda besin maddesi alımı ve toprak pH'sı üzerine etkilerini incelemiştir. Kontrollü şartlarda saksı çalışması olarak yürütülen deneyde her bir saksıya 6 adet tohum ekilmiş ve 5 farklı dozda (0, 5 mM, 10 mM, 15 mM ve 20 mM) S uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre S uygulamalarına bağlı olarak rizosfer bölgesinde pH değerin düştüğü ve kökler tarafından bitki bünyesine alınan makro ve mikro besin elementi konsantrasyonlarının arttığı tespit edilmiştir.

Nedunchezhiyan ve ark. (2020), yüksek karbon dioksit ile ilişkili sıcaklık stresinin çeltikte çimlenme üzerindeki etkisini azaltmak için tohum priming uygulamalarının etkilerini incelemiştir. Yürütülen araştırmada SA, S ve askorbik asit (AsA) ile hormonal priming uygulamalarına ek olarak distile su ile hidro-priming uygulaması yapılmıştır. Hormonal priming uygulamalarında SA konsantrasyonu 25 ppm, S ve AsA konsantrasyonları ise 100 ppm olarak belirlenmiş ve tüm priming uygulamaları için süre 12 saat olarak ayarlanmıştır. SA ve AsA priming uygulamalarının çimlenme, tohum kalite parametreleri ve α -amilaz aktivitesini geliştirdiği kaydedilmiştir. Ayrıca, enzimatik antioksidanların aktivitesinin hormonal priming uygulamalarına bağlı olarak artış gösterdiği ve stres tolerans eşiğinin geliştiği kaydedilmiştir. Araştırmacılara göre S, SA ve AsA ile hormonal priming uygulamalarının stres etkisi altında bitki gelişimi ve kalitesinin sürdürülebilirliği açısından etkili bir yöntem olabileceği rapor edilmiştir.

Bi ve ark. (2021), su tasarrufu sağlayan ve kurağa dayanıklı çeltik çeşidinin köklerden salgıladığı organik asit bileşikler sayesinde P absorpsiyonunu artırması ve verim stabilitesini iyileştirmesi üzerine çalışmışlardır. Araştırmada yeni (Hanyou73) ve standart bir çeşit (Hyou518) kullanılmakla beraber 3 farklı sulama rejimi (%100, %60 ve %20) uygulanarak 4 yıl boyunca yürütülmüştür. Yüksek sulama rejiminde her iki çeşidin tane verimi birbirine yakın olmasına rağmen sulama seviyelerinin düşmesi ile dayanıklı çeşit önemli ölçüde fazla verim değerleri ortaya koymuştur. Benzer şekilde su seviyesinin azalmasına bağlı olarak dayanıklı çeşidin toplam kütlesi, P alımı, kök salgılarının miktarı diğer çeşide göre artış göstermiştir. Araştırmacılar, köklerden fazla salgılanan S miktarının P ve diğer besin elementi alımını artırdığı, böylece bitki gelişimi ve verim değerlerinin daha yüksek olmasına olanak sağladığını belirtmişlerdir.

Jin ve ark. (2021), S ile tohum priming uygulamalarının P noksanlığı altında yetiştirilen domates fidelerinde büyüme ve fizyolojik karakterler üzerine etkilerini

incelemişlerdir. Ekim öncesinde domates tohumları farklı konsantrasyonlarda S çözeltilerinde bekletilmiş ve en uygun dozun 7,5 mmol/L olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre 7,5 mmol/L S-priming uygulamalarının çimlenme yüzdesi, çimlenme potansiyeli, çimlenme hızı ve çimlenme indeksi üzerine olumlu etkilerde bulunduğu kaydedilmiştir. Ayrıca, P noksanlığına bağlı olarak fidelerde antioksidan enzim faaliyetlerinin azaldığı, ROS üretimi ve MDA içeriğinin artış gösterdiği saptanmıştır. S-priming uygulanan tohumlarda ise toplam kütlenin arttığı, SOD, CAT ve APX gibi antioksidan enzimler faaliyetlerinin artış gösterdiği, dokularda biriken ROS ve MDA içeriğinin azaldığı ve oksidatif stresin gerilediği belirtilmiştir. S-priming uygulamalarının domates fidelerinde P alımını artırarak stres düzeyini düşürdüğü ve stres toleransını artırdığı kaydedilmiştir.

2.5. Salisilik Asit

Misra ve Saxena (2009), tuzluluk stresi altında yetiştirilen mercimekte SA'nın prolin metabolizması üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada 0.5 mM SA uygulamasının bitki gelişim parametreleri, serbest ozmolitler (prolin ve glisin betain) ve prolin metabolizmasında görev alan pirolin-5-karboksilat redüktaz (P-5-CR), prolin oksidaz ve y-glutamil kinaz gibi enzimlerin aktiviteleri üzerine etkileri stres ve normal koşullar altında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Eksojen olarak uygulanan SA hem tuzlu hem de normal koşullarda bitki büyümesini önemli ölçüde arttırmıştır. Çalışmanın onuncu gününde alınan kök ve yaprak örneklerindeki incelemelerden elde edilen sonuçlara göre 100 mM NaCl altında SA uygulamaları yapraktaki prolin içeriğini 5 kat, köklerdekini ise 1,1 kat artırdığı anlaşılmıştır. SA, prolin metabolizmasını etkileyerek NaCl tarafından oluşturulan stresi iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Mohammadi ve ark (2010), SA ve giberellik asit (GA) uygulamalarının mercimekte (*Lens culinaris* L.) çimlenme özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yürütülen araştırmada SA ve GA ayrı ayrı ve farklı kombinasyonlarda uygulanmış ve tohumların çimlenme yüzdesi, çimlenme hızı, fidelerinin kök ve sürgünlerinin büyümesi, polifenol oksidaz (PPO) ve peroksidaz (POX) enzim aktivitesi üzerine etkileri gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 150 µM SA + 100 µM GA kombinasyon halinde işlenmesinde, kontrole kıyasla tohumların çimlenme yüzdesinde önemli bir artış olduğunu göstermiştir. Enzim analizi, tek başına giberellin ile enzim aktivitesinin arttığını ve salisilik asidin antioksidan enzim aktivitesini azalttığını gösterdi.

Kayednezami ve ark. (2012), tuzluluk stresine maruz kalan mercimekte (*Lens culinaris* Medik.) yapraktan SA uygulamalarının mercimekte bitki gelişimi, verim ve verim komponentleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada üç mercimek çeşidi (Kimiya, Ghachsaran ve Kermanshah), 3 NaCl seviyesi (0, 60 ve 120 mM) ve yapraktan uygulanmak üzere 2 SA dozu (0,2 ve 0,5 mM) kullanılmıştır. Varyans analizi sonuçları, dal sayısı, bitki başına bakla sayısı, tohum ağırlığı, tane verimi, biyolojik verim, hasat indeksi, malondealdehit (MDA) ve prolin üzerindeki tüm faktörlerin etkileşimlerinin önemli olduğunu göstermiştir. Çalışmada 0,2 mM SA uygulamasının kontrol ve diğer doza göre daha etkin sonuçların elde edilmesine imkân sağladığı tespit edilmiştir.

Biabani ve ark. (2015), SA ile priming uygulamalarının ve farklı ekim derinliklerinin mercimekte çıkış ve bazı morfo-fizyolojik özellikler üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada 4 farklı SA dozu (0, 50, 100 ve 150 ppm) ve 5 farklı ekim derinliği (2,5, 5, 7,5, 10 ve 12,5 cm) kullanılmıştır. Araştırma sonuçları, yaprak ağırlık oranı dışındaki tüm özelliklerin çeşitli priming teknikleri ve dikim derinliklerinden etkilendiğini göstermiştir. Dikim derinliği 2,5 cm ve 100 ppm SA uygulaması çıkış yüzdesi (98.89), çıkış oranı (günde 1.80 fide), fide kuru ağırlığı (1,13 g), yaprak alanı (70,64 cm²), birincil dallar (4,7), yaprak kuru ağırlığı (0,69 g) ve klorofil indeksi (2,13) gibi özellikleri artırmıştır. 150 ppm SA ile priming işleminin prolin içeriğini ve sürgün uzunluğunu arttırdığı, yaprak alanı ve fide kuru ağırlığını ise ters orantılı olarak azalttığı görülmüştür.

Azarnia ve ark. (2016), GA ve SA ile priming uygulamalarının mercimekte (*Lens culinaris* L.) tohum ve fide fizyolojik kalite kriterleri ve çimlenme karakterleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada 3 farklı priming süresi (4, 8 ve 12 saat) ve GA ve SA solüsyonlarının 50, 100 ve 150 ppm konsantrasyonlu çözeltileri kullanılmıştır. Araştırmada kontrol olarak hidro-priming kullanılmıştır. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre, en kısa çimlenme süresi ve en yüksek fide yaş ağırlığı hidro-priming uygulanan tohumlarda gözlemlenmiştir. Buna karşılık en yüksek çimlenme hızı 12 saat 50 ppm GA uygulamasında, en yüksek kök uzunluğu, sürgün uzunluğu ve kısmi büyüme oranı değerleri 12 saat 100 ppm GA uygulamasında tespit edilmiştir. 100 ppm SA-priming uygulamalarının bazı özellikler üzerinde olumlu etkileri görülmesine rağmen GA-priming uygulamasının daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Bouallegue ve ark. (2019), priming uygulamalarının çimlenme evresindeki mercimekte (*Lens culinaris* L.) fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerini gözlemlemişlerdir. Araştırmada tuzluluk toleransının geliştirilmesi üzerine SA ve hidrojen peroksit (H₂O₂)

kullanılmıştır. Araştırmada SA 0,1, 0,5 ve 1 mM konsantrasyonlarda kullanılırken H₂O₂ 0,05, 0,1 ve 0,120 mM olarak kullanılmıştır. Priming sonrası tuzluluk stresine maruz bırakılan tohumlar 0, 75 ve 150 mM NaCl solüsyonları ile muamele edilmiştir. Katalaz (CAT), guaiakol peroksidaz (GPOX) ve süperoksit dismutaz (SOD) aktiviteleri, tuz stresinin etkisi altında hem embriyonik ekseninde hem de kotiledonlarda değişmemiş veya önemli ölçüde azalmıştır. Tohum priming uygulamaları GPOX ve CAT aktivitelerini tetiklemiş ve özellikle embriyonik ekseninde lipid peroksidasyonunun azalmasına neden olmuştur. SA uygulamalarından sonra toplam lipid içeriği ve özellikle C18:3 yağ asidi artmıştır. 0,1 mM SA ve 0,1 mM H₂O₂ kullanılarak yapılan priming, tuz stresinin olumsuz etkilerinin iyileştirilmesi açısından çimlenme, fide gelişimi ve fizyolojik aktiviteler üzerinde etkili olmuştur.

Azarnia ve ark. (2020), GA ve SA ile tohum priming ve mikoriza inokulasyonunun mecimekte verim ve verim bileşenleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Gonbad Kavous Üniversitesi'nde (İran) 2013-2014 yıllarında yürütülen araştırmada mikorizal inokulasyon için *Glomus intraradices* ve *Glomus mosseage* türleri kullanılmıştır. Priming uygulamaları olarak ise hidro-priming (distile su), 100 ppm GA, 100 ppm SA, 100 ppm GA+SA ve priming uygulanmayan kontrol uygulamaları kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre *Glomous intraradical* ile inokulasyon ve hidro-priming uygulanan tohumlar en erken çiçeklenme gösteren ve verim komponentleri bakımından üstünlük sağlayan grup olmuştur. GA ve SA priming uygulamalarının ise kontrol grubuna göre daha etkin sonuçlar ortaya koyduğu saptanmıştır.

Ceritoğlu ve Erman (2020), nohutta tuzluluk stresi üzerine SA ile priming uygulamalarının çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada 3 tuzluluk seviyesi (kontrol, 50 mM NaCl ve 100 mM NaCl) ve 5 ekim öncesi uygulama (kontrol, hidro-priming, 0,1 mM, 0,2 mM ve 0,3 mM SA) kullanılmıştır. Çimlenme yüzdesi (%80,7-98,3), ortalama çimlenme süresi 1,40-2,67 gün, çimlenme hızı 38,1-75,7, çimlenme indeksi 37,5-72,5 ve çimlenme üniformite katsayısı 0,3-0,7 aralığında değişmiştir. Çalışmadaki tüm uygulamalar önemli pozitif etkilere sebep olmasına rağmen 0,2 mM SA uygulaması çimlenme özelliklerini en çok iyileştiren uygulama olmuştur. Ayrıca, 0,2 mM SA uygulamasının nohutta eşik değer olduğu, daha yüksek konsantrasyonların çimlenme süreci üzerine engelleyici/azaltıcı etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Kaur ve ark. (2022), SA-priming uygulanan nohut (*Cicer arietinum*) çeşitlerinin tuzluluk stresi altında azot fiksasyon aktivitelerini, bitki gelişimini, tane verimini ve

antioksidan savunma mekanizması faaliyetlerini incelemişlerdir. Araştırmada priming uygulanmayan kontrol grubu ve 0,5 mM SA ile ön uygulama yapılan tohumlar stres oluşturulmayan ve 80 mM NaCl uygulanarak tuzluluk stresi oluşturulan saksı ortamlarında yetiştirilmişlerdir. Araştırmacılar SA-priming uygulamalarının biyokütleyi ve fotosentetik etkinliği koruduğunu, nodül yaşlanmasını durdurduğunu ve ROS temizleme mekanizmasının aktive edilmesine bağlı olarak oksidatif stresi azalttığını ve sonuç olarak genotipe bağlı bir şekilde nohut bitkilerinin verim kapasitesini stres altında ve optimum koşullarda artırdığını belirtmişlerdir.

Tamindzic ve ark. (2023), sıcaklık stresi uygulanan bezelye tohumlarında SA ile priming uygulamalarının çimlenme özellikleri, erken dönem fide gelişimi ve fizyolojik özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada 50 mg/L SA ile priming uygulanan bezelye tohumları stres altında ve normal koşullarda priming uygulaması yapılmayan tohumlar ile mukayese edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre hem stres altında hem de optimum koşullarda SA ile priming uygulanan tohumlarda çimlenme enerjisi, son çimlenme, ortalama çimlenme süresi, ortalama çimlenme oranı, fide canlılık indeksi, sürgün uzunluğu, kök uzunluğu, taze fide ağırlığı, kuru fide ağırlığı, sürgün uzama oranı, kök uzama oranı, bağıl su içeriği, klorofil içeriği ve zar stabilitesi parametrelerinin kontrol grubuna kıyasla daha üstün özellikler sergilediği kaydedilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Yürütülen olan tez çalışmasında, GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi (GAPUTAEM) tarafından 2013 yılında tescil edilen Tigris kırmızı mercimek (*Lens culinaris* Medik.) çeşidi kullanılmıştır. Tigris, seleksiyon ıslahı ile geliştirilmiş bir çeşittir. Güneydoğu Anadolu bölgesi ekolojik koşullarına adaptasyonu yüksek, kurağa orta derecede dayanıklı, erkenci bir çeşittir. Tane kabuk rengi koyu pembe, kotiledon rengi kırmızıdır. Büyüme tabiatı kışlıktır. 1000-tane ağırlığı 25,3-37,3 g aralığında değişmektedir. Dik gelişme gösteren habitusa sahiptir. Çeşidin ortalama verimi 159-280 kg/da aralığında değişmektedir (Anonim, 2013). Tohumluk materyal, üretim yetkisine sahip *Bir-Kar Tarım* tohumluk firmasından tedarik edilmiştir.

Farklı fosfor seviyelerinin ayarlanabilmesi için ekimle birlikte tohum yatağının altına uygulanmak üzere triple süper fosfat (TSP-%43) gübresi kullanılmıştır. Araştırmada tohuma priming uygulamalarının gerçekleştirilmesinde Pi, Si, S, SA ve PSB kullanılmıştır. Priming için kullanılacak Pi kaynağı olarak mono potasyum dihidrojen fosfat (KH_2PO_4) ve PSB strainleri olarak da *Brevibacillus choshinensis* (TV53D) ve *Paenibacillus xylanilyticus* (KF63C) karışımı kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal materyaller özel firmalardan tedarik edilmiş olup TV53D straini TOVAG 108O147 numaralı TUBİTAK projesi kapsamında 2008 yılında Van Gölü Havzası'ndan (Çakmakçı ve ark., 2010) ve KF63C 2020 yılında Siirt yöresine ait kırsal alanlardan yürütülen münferit bir araştırma neticesinde izole edilmiştir. Bakteriyel strainlere ait stok kültürler Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri laboratuvarında muhafaza edilmekte olup ekim öncesinde besi ortamında çoğaltılarak kullanılmıştır.

3.2. Araştırma Yerinin Coğrafi Konumu

Araştırma Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi uygulama alanlarında yürütülmüştür. Siirt, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 41° 57'' doğu boylamı ve 37° 55'' kuzey enlemi üzerinde bulunmaktadır. Deneme alanının Google Earth programı üzerinden görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir. Doğudan Şırnak ve Van, kuzeyden Batman ve Bitlis, batıdan Batman, güneyden Mardin ve Şırnak illeri ile çevrilidir. İlin rakımı 880 m olmakla birlikte

denemenin kurulduğu arazinin yükseltisi 582 m'dir. Çalışma süresince farklı zamanlarda elde edilen deneme alanına ait bazı görseller Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.1. Denemenin yürütüldüğü lokasyonun kuş bakışı görüntüsü



Şekil 3.2. Çiçeklenme öncesi döneme ait genel bir görünüş



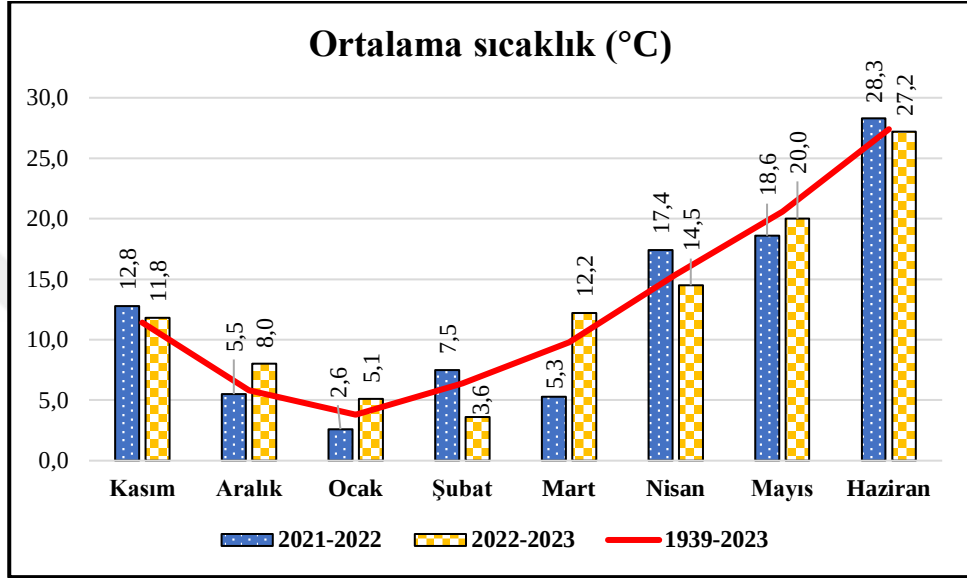
Şekil 3.3 Hasat olgunluğuna gelen bir parsele ait görüntü

3.3. Deneme Alanının İklim ve Toprak Özellikleri

Siirt, yazların sıcak ve kurak olarak yaşandığı ve genelde karasal iklimin hüküm sürdüğü bir bölgedir. Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP)'nin faaliyete geçmesi ve Siirt ilinin etrafına kurulan barajlar ve bunları besleyen zengin akarsular sebebiyle iklimde kısmen değişiklikler meydana gelmiş, ilkbaharda daha fazla yağış almaya başlamış ve nem oranı artmıştır. Rüzgârlar gündüz saatlerinde güney ve güneybatıdan, geceleri doğu ve kuzeydoğudan, kışın ise genellikle kuzey ve kuzeybatıdan esmektedir. Kış ayları ilin kuzey ve doğu bölgelerinde daha sert ve yağışlı geçerken güney ve batı bölgelerinde daha ılık geçer. İl genelinde gece-gündüz sıcaklık farkı fazladır. Siirt bölgesi için 2021-22 ve 2022-23 sezonlarına ait iklim verileri uzun yıllar ortalaması (UYO) ile birlikte verilmiştir. Deneme arazilerinin bulunduğu bölgedeki çalışmanın yürütüldüğü döneme ait ortalama sıcaklık değerleri Şekil 3.4'te, aylık toplam yağış değerleri Şekil 3.5'de ve ortalama nispi nem değerleri Şekil 3.6'da gösterilmiştir (Anonim, 2023c).

Şekil 3.4 incelendiğinde, 2021-22 ve 2022-23 sezonlarında vejetasyon süresi boyunca toplam sıcaklığın sırasıyla 2940 °C ve 3072 °C olduğu görülmektedir. Bu durumda denemelerin birinci yılındaki toplam sıcaklık değeri uzun yıllar ortalamasından (3018 °C) düşük, ikinci yıldaki toplam sıcaklık ise yüksek olmuştur. Çimlenme dönemi bakımından değerlendirildiğinde ekimlerin yapıldığı kasım ayında 2021-22 sezonunda ortalama sıcaklık 12,8 °C olarak belirlenirken 2022-23 sezonundaki kasım ayında 1 °C daha düşük olarak (11,8 °C) gözlemlenmiştir. Özellikle çalışmanın birinci yılında nisan

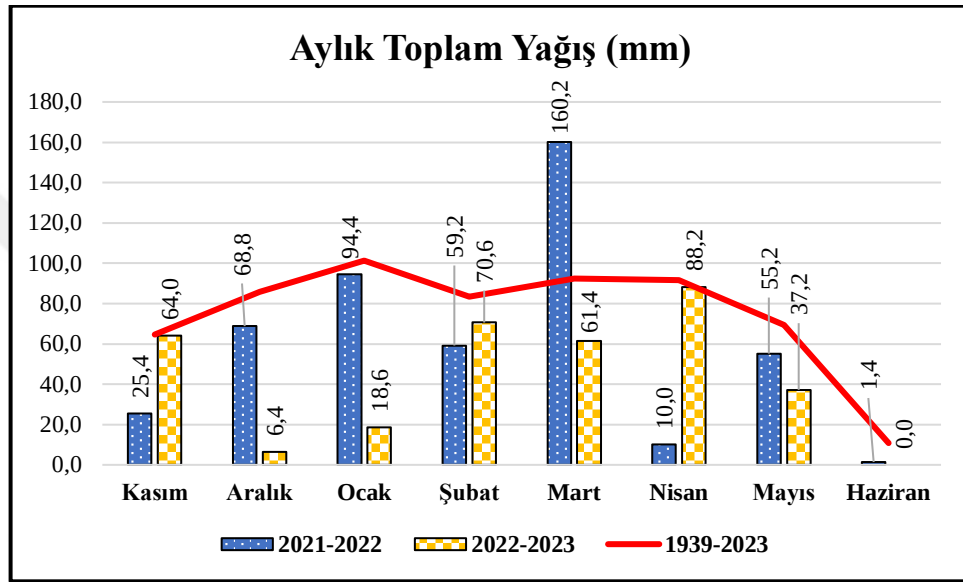
ayına geçişte hızlı bir şekilde ortalama sıcaklık değerlerinin artış gösterdiği göze çarpmaktadır. Ayrıca 2021-22 ve 2022-23 yetiştirme sezonlarının kış dönemindeki en düşük hava sıcaklıkları incelendiğinde; Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat ayları bakımından birinci yılda en düşük sıcaklıklar sırasıyla 6,4 °C, -3,5 °C, -9,0 °C ve -0,8 °C olarak gözlemlenirken, ikinci yılda sırasıyla 5,5 °C, 0,7 °C, -2,2 °C ve -5,4 °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. Siirt iline ait uzun yıllar (1939-2023) ve araştırma yılları (2021-2023) ortalama sıcaklık verileri

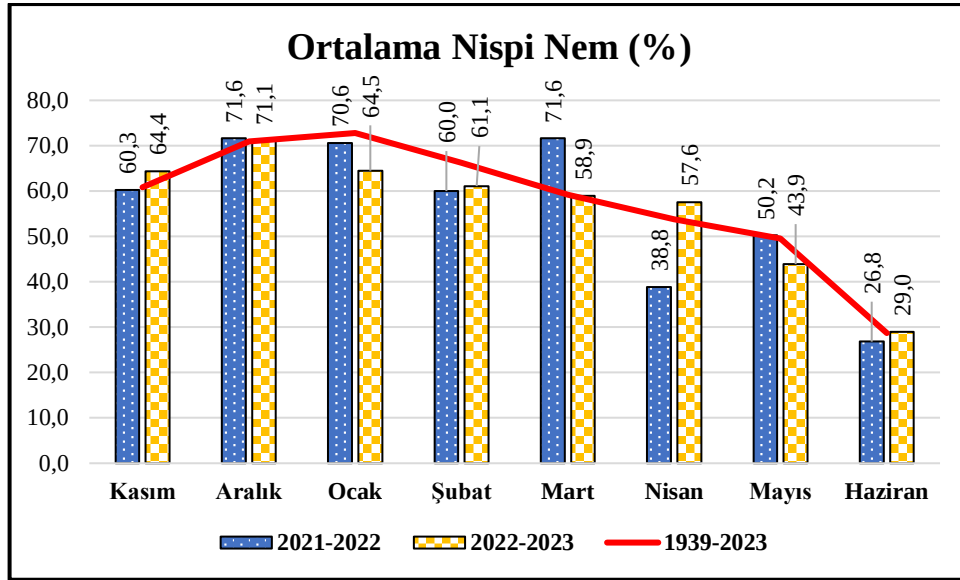
Şekil 3.5 incelendiğinde, ekimlerin yapıldığı kasım ayı içerisinde birinci yılda metrekareye 25,4 mm, ikinci yılda ise 64 mm toplam yağış düştüğü görülmektedir. Yetiştirme sezonlarındaki bu değerler uzun yıllar ortalaması ile kıyaslandığında (64,6 mm) birinci yıl oldukça düşük ikinci yıl ise neredeyse aynı miktarda yağış düştüğü gözlemlenmiştir. Ancak takip eden aralık ve ocak aylarında 2021-22 sezonlarında bölge yeterli düzeyde yağış alırken 2022-23 sezonunda bu periyodun oldukça kurak geçtiği göze çarpmaktadır. Her iki yılda da vejetatif gelişme dönemi boyunca metrekareye düşen yağış miktarının uzun yıllar ortalamasına kıyasla düşük olduğu anlaşılmaktadır. Mart ayında ikinci yılda yine düzenli ve nispeten yeterli yağış düşmesine rağmen birinci yetiştirme sezonunda aşırı ve düzensiz yağışlar bölgede hüküm sürmüştür. Çiçeklenme ve bakla bağlama dönemlerinde (Nisan ve mayıs ayları) ise 2021-22 sezonunda toplam 65,2 mm, 2022-23 sezonunda ise toplam 125,4 mm yağış düştüğü gözlemlenmiştir. Hasatların gerçekleştirildiği haziran ayında ise birinci yılda çok düşük (1,4 mm) yağış görülmüş, ikinci yılda ise hiç görülmemiştir. Generatif dönemdeki toplam yağış

miktarının her iki sezonda da uzun yıllar ortalamasına göre önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Ekstrem hava olayları bakımından incelendiğinde, 2021-22 sezonunda çiçeklenme döneminde ve hasat dönemine denk gelen Haziran ayı içerisinde (henüz hasat yapılmayan bir tarihte) dolu yağışının görüldüğü, 2022-23 sezonunda ise çiçeklenme-bakla bağlama döneminde dolu yağışının gerçekleştiği kaydedilmiştir. Ekimden hasada kadar geçen toplam vejetasyon süresi boyunca bölgeye düşen yağış miktarı ise 2021-22 ve 2022-23 sezonlarında sırasıyla 474,6 mm ve 346,4 mm olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.5. Siirt iline ait uzun yıllar (1939-2023) ve araştırma yılları (2021-2023) aylık toplam yağış verileri

Şekil 3.6 kapsamında ortalama nispi nem değerleri göz önüne alındığında, tüm gelişme dönemindeki ortalama nem bakımından bir farklılık oluşmadığı (%56,2 ve %56,3), ancak uzun yıllar ortalamasına (%57,8) kıyasla daha düşük olduğu ölçülmüştür. Vejetatif gelişme döneminde her iki sezondaki nispi nem değerlerinin birbirine yakın seyrettiği ancak çiçeklenme döneminde ikinci yıldaki nisan ayında (%57,6) birinci yıla kıyasla (%38,8) daha yüksek nispi nem ortaya çıktığı görülmüştür. Çiçeklenmenin devam ettiği ve bakla bağlama dönemine geçildiği mayıs ayında ise birinci yılda ortalama %50,2, ikinci yılda ise ortalama %43,9 nispi nem ölçülmüştür. Hasat döneminde nispi nem değerleri yakın olup birinci ve ikinci yılda sırasıyla %26,8 ve %29 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.6. Siirt iline ait uzun yıllar (1939-2023) ve araştırma yılları (2021-2023) aylık ortalama nispi nem değerleri

Tarla denemelerinin kurulmasından önce arazinin farklı noktalarının 0-20 cm derinliğindeki toprak katmanından tüm alanı temsil edebilecek şekilde toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örneklerine ait tekstür, pH, EC, kireç, organik madde, alınabilir P ve potasyum (K) içerikleri Siirt Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde tespit edilmiştir. Toprak reaksiyonunun (pH) ve tuzluluğunun (EC) belirlenmesinde 1:2.5'lik toprak-su karışımı yöntemi (Müftüoğlu ve ark., 2014), kireç tayininde kalsimetre metodu (TS EN ISO 10693), tekstür tayininde Bouyoucus hidrometre yöntemi (Müftüoğlu ve ark., 2014), organik madde içeriğinin belirlenmesinde Walkley Black yaş yakma metodu (De Vos ve ark., 2007), alınabilir fosfor içeriğinin belirlenmesinde spektrofotometre ile sodyum bikarbonat metodu (Schoenau ve O'Halloran, 2007) ve alınabilir potasyum içeriğinin tespit edilmesinde ise flame fotometre ile amonyum asetat yöntemi (Ferrando ve ark., 2020) kullanılmıştır.

Her iki sezonda alınan tarla toprağı numunelerinde gerçekleştirilen analizler neticesinde toprak tekstürünün killi-tınlı yapıda (kum %20-40 ve kil %27-40) olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2015). Toprak reaksiyonu her iki sezonda da hafif alkali, tuzluluk da her iki sezonda da tuzsuz olarak belirlenmiştir. Kireç içeriği bakımından her iki sezonda orta seviyededir. Organik madde içeriği her iki sezonda da düşüktür. Alınabilir fosfor içeriği 2021-22 sezonunda az, 2022-23 sezonunda çok az seviyesindedir. Alınabilir potasyum içeriği bakımından ise her iki sezonda da yüksek olarak ölçülmüştür (Ülgen ve Yurtseven, 1995).

Tablo 3.1. Tarla denemelerinin kurulduğu araziden ekim öncesinde alınan toprak numunesine ait özellikler

Yıl	Tekstür	EC (dS/m)	pH	Kireç (%)	Org. Madde (%)	Fosfor (kg/da)	Potasyum (kg/da)
2021-22	Killi-tınlı	0,16	8,02	8,44	1,55	3,07	55,09
2022-23	Killi-tınlı	0,13	7,82	7,89	1,12	2,24	82,15

Org: Organik

3.4. Arazi Hazırlık Aşaması ve Deneme Düzeni

Denemelerin yürütüleceği tarla, sonbaharda öncül bitki olan buğday hasadından sonra pullukla derin olarak sürülmüştür. Ekime yakın bir tarihte kültivatörle ikileme yapılmış, keseklerin parçalanması için rotatiller ile yüzeysel bir toprak işleme yapılarak arazi ekime hazır hale getirilmiş ve parselasyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Toprak işleme ve parselizasyon işlemleri

Tarla denemeleri 2021-22 ve 2022-23 yetiştirme sezonlarında Siirt ekolojik koşullarında kışlık olarak ve kuru tarım sisteminde yürütülmüştür. Çalışmada farklı fosfor seviyeleri altında yetiştirilen kırmızı mercimek çeşidinde Pi, Si, S, SA ve PSB ile priming uygulamalarının besin maddesi alımı, bitki gelişimi, verim ve kalite bileşenleri, tanede antioksidan ve fenolik bileşiklerin kompozisyonu üzerine etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Araştırmada priming uygulaması yapılmadan ekilen tohumlar kontrol grubunu oluşturmuştur. Araştırma tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Deneme planında ana parsellere fosfor seviyeleri, alt parsellere ise priming uygulamaları getirilmiştir. Tesadüf bloklarında

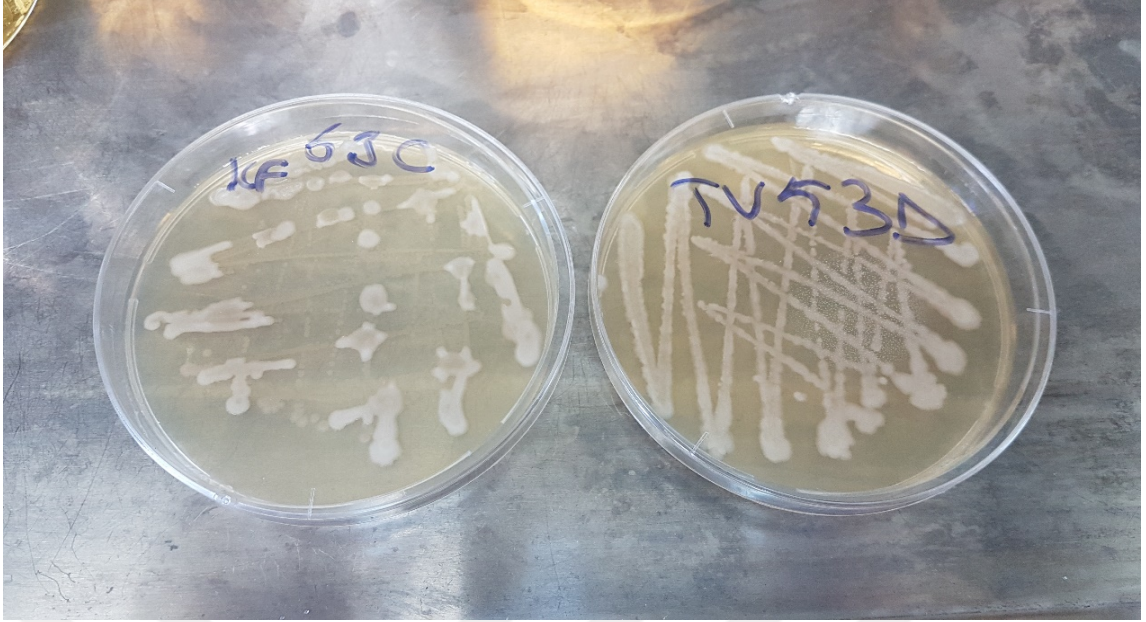
bölünmüş parseller deneme desenine göre hazırlanmış deneme planı Şekil 3.8’de verilmiştir. Çalışmada fosfor seviyeleri P0 (kontrol), P1 (1,5 kg P₂O₅/da), P2 (3 kg P₂O₅/da) ve P3 (6 kg P₂O₅/da) olarak ayarlanmıştır. Fosfor dozları ekimle birlikte tohum yatağının altına TSP (%42) gübresi kullanılarak verilmiştir. İnorganik gübre olarak fosfor dışında tüm parsellere başlangıç azotu olarak 2 kg/da saf azot olacak şekilde üre formunda azotlu gübreleme yapılmıştır (Dona ve ark., 2020).



Şekil 3.8. Tez çalışmasına ait deneme planı

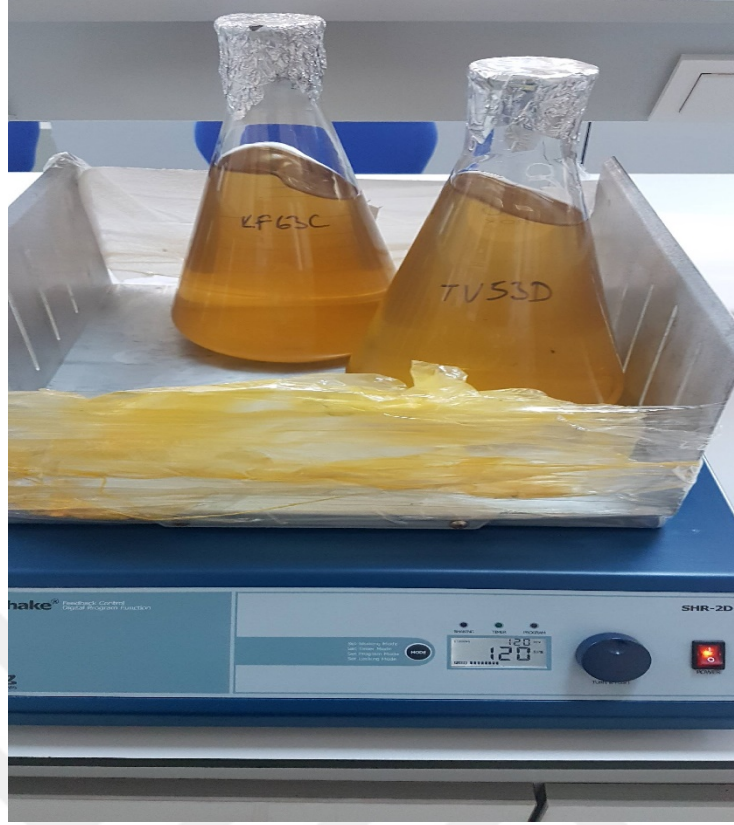
3.5. Laboratuvar Ortamında Priming Uygulamalarının Gerçekleştirilmesi

Araştırmada kullanılan priming uygulamaları ve dozları; %1 KH₂PO₄, 4 mM Na₂SiO₃.5H₂O), 100 ppm S, 0,2 mM SA, 10⁹ cfu TV53D+KF63C solüsyonu olarak ayarlanmıştır. Priming öncesinde yüzey sterilizasyonu için tohumlar %70’lik etil alkol ile 1 dakika ve %10’luk sodyum hipoklorit (NaOCl) ile 5 dk muamele edilmiştir (Ceritoğlu ve Erman, 2021). Sterilizasyon sonrasında tohumlar saf su ile özenle yıkandıktan sonra steril kurutma kağıtları yardımıyla yüzey suyundan arındırılmıştır. Her bir priming tekniğinin uygulanacağı miktarda tohum steril kaplar içerisine yerleştirildikten sonra önceden hazırlanmış uygun konsantrasyondaki Pi, Si, SA ve S solüsyonları tohum:solüsyon oranı 1:1,5 (kg/L) olacak şekilde ilave edilmiştir. Biyo-priming dışındaki teknikler için priming süresi 20 saat, biyo-priming süresi 4 saat olarak ayarlanmıştır. PSB ile biyo-priming uygulamaları için öncelikle stok bakteri kültüründen öze yardımıyla alınan bakterilerin katı besi ortamına ekimi yapılarak koloni oluşturmaları sağlanmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Bakteriyel strainlerin katı besi ortamında çoğaltılması

Katı besi ortamı hazırlanırken, 1 lt saf su ile 28 gr nutrient agar (NA) karıştırıldıktan sonra karışım 121 °C’de 20 dakika otoklavda bekletilmiştir. Hazırlanan NA besi ortamı petri kaplarına dökülmüş ve katılaşması beklenmiştir. Besi ortamına öze yardımıyla ekimi yapılan bakteri strainleri gelişip koloni oluşturabilmeleri için etüv ortamında 28 ± 2 °C’de 48 saat bekletilmiştir. Nutrient broth (NB) hazırlanırken, 1 lt saf su ile 13 gr NB (Scharlau) karıştırılıp otoklavda 121 °C’de 20 dakika bekletilmiştir. Yeterince gelişim gösteren strainlerden alınan örnekler NB sıvı besi ortamına transfer edilmiştir. Katı besi ortamından alınan koloniler NB bulunan erlenmayer içerisine ilave edilerek bakteriyel yoğunluk 10^9 cfu oluncaya kadar 120 rpm’e ayarlanan orbital çalkalayıcıda homojenize edilmiştir (Şekil 3.10). Solüsyonların yoğunluklarının belirlenmesinde türbidimetrik yöntem kullanılmıştır (Sonkurt ve Çığ, 2019).



Şekil 3.10. Biyo-priming amacıyla kullanılacak bakteriyel strainlere ait solüsyonların homojenizasyonu

Elde edilen solüsyonlar tohumların bulunduğu kaba 1:1,5 (kg/L) oranında ilave edilerek 120 rpm hıza ayarlanan orbital çalkalayıcıda 4 saat bekletilmiştir (Ceritoğlu ve ark., 2021). Priming uygulamaları sonrasında Pi, Si, SA ve S ile priming uygulanan tohumlar saf su ile yüzey kimyasalından arındırılmış, sonra kurutma kağıtları yardımıyla kurumaya bırakılmıştır. Biyo-priming uygulanan tohumlar yıkanmadan kurumaya bırakılmıştır. 24 saat boyunca kurutulan tohumlar paketlenerek 4 °C’de ekime kadar bekletilmek suretiyle depolanmış ve ertesi gün ekimi yapılmıştır. Herhangi bir priming uygulaması yapılmayan kontrol grubuna ait tohumların ekimi doğrudan yapılmıştır.

3.6. Tarla Denemelerinin Kurulması

Denemede, parseller ve bloklar arası mesafe 1,5 m olarak ayarlanmıştır. Parsel içerisinde sıra arası mesafe 20 cm olarak ayarlanmış ve her parsel 5 sıradan oluşturulmuştur. Parsel genişliği 1 m ve parsel uzunluğu 5 m olmak kaydıyla her bir parsel 5 m² olarak oluşturulmuştur. Ekim sıraları markör ve çapa yardımıyla açılmış ve ekimler elle yapılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Parsel sıralarının açılması ve ekim işlemlerinin gerçekleştirilmesi

Tarla denemelerinin kurulumu 2021-22 sezonunda 19.11.2021 tarihinde, 2022-23 sezonunda ise 21.11.2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Ekimler hafif nemli toprağa yapılmış ve her iki sezonda da 48 saat içerisinde yağış gerçekleşmiştir. Ekim normu metrekarede 250 adet tohum olacak şekilde ayarlanmıştır (Togay ve Anlarsal, 2008a). Tohumların sıraya atılmasından önce uygun oranlarda TSP ve her bir parselde uygulanması planlanan üre gübrelere ekim yatağının altına denk gelecek şekilde uygulanmıştır. Kimyasal gübre materyalinin üzeri bir miktar toprak ile kapatıldıktan sonra ekim yatağına tohumluk materyalinin homojen bir şekilde atılması sağlanmıştır. Priming uygulamalarından dolayı her bir uygulama parseline ekilecek tohumlar için steril eldiven kullanılmış, böylece tohum yüzeyine bulaştırılan priming materyalinin diğer uygulama tohumlarına bulaşması engellenmiştir. Sıralar özenle kapatılarak tohumun yeterince sıkışması sağlanmıştır.

3.7. Tarla Denemelerinin Yürütülmesi ve Gerçekleştirilen Kültürel Faaliyetler

Her iki yetiştirme sezonunda da tüm parseller eksiksiz olarak homojen bir çıkış göstermiştir (Şekil 3.12 ve Şekil 3.13). Deneme kuru tarım sistemine göre planlanmış olup herhangi bir aşamasında sulama yapılmamıştır.



Şekil 3.12. Ekim sonrası çıkış gösteren bir parsel sırası



Şekil 3.13. Çıkışlar sonrası bir parselin genel görüntüsü

Kış periyodu boyunca yabancı ot popülasyonu açısından tüm parseller denetim altında tutulmuş ve ilkbahar başlangıcına kadar müdahale edilme ihtiyacı duyulmamıştır. Kış mevsimi sonrasında henüz yabancı ot temizliği yapılmadan önce rastgele seçilmiş bir parselde ait görsel Şekil 3.14’te, arazinin genel bir görüntüsü ise Şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.14. Kış sezonu sonrası yabancı ot temizliği yapılmadan önce parsele ait görsel



Şekil 3.15. Kış sezonu sonrası yabancı ot temizliği yapılmadan önce deneme alanına ait görsel

İki yıllık tarla denemeleri süresince yabancı ot popülasyonunun mercimekte zarar oluşturacak kritik eşiğe gelmeden ortadan kaldırılması sağlanmıştır (Erman ve ark., 2008). Çalışmanın birinci yılındaki yetiştirme sezonunda mart ayının ilk haftası çapa ve el ile yabancı ot temizliği gerçekleştirilmiştir. Parsel ve blok aralarının temizlenmesinde çapa motoru kullanılmıştır (Şekil 3.16). Yine çalışmanın birinci yılında bakla bağlama döneminde artan yabancı ot popülasyonu nedeniyle parsel içlerinde el ile yabancı ot temizliği gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci yılında ise kış sezonu mevsim normallerinin dışında gerçekleşmiş olmasından dolayı ilk yabancı ot temizliği parsel içlerinde olmak üzere şubat ayının ilk haftasında el ile gerçekleştirilmiş olup parsel ve blok araları mart ayının ilk haftasında çapa motoru ile temizlenmiştir. Çalışmanın ikinci

yılında da bakla bağlama döneminde yabancı ot temizliği el ile ikinci kez gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.16. Parsel ve blok aralarının çapa motoru ile temizlenmesi

Uygulamalara bağlı olarak besin maddesi alımının incelenebilmesi amacıyla çiçeklenme başlangıcında her parselden rastgele 5 bitki örneği toprak yüzeyinin biraz üzerinden kesilerek etiketlenmiştir. Laboratuvar ortamına taşınan bitki örnekleri önce musluk suyu ile ardından saf su ile iyice yıkanmış ve yüzey suyundan arındırıldıktan sonra 68 °C'ye ayarlı etüvde günlük kontrol edilerek toplamda 72 saat bekletilmiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Bitki besin elementi içeriklerinin tespit edilmesi için toplanan bitki örneklerinin etüvde kurutulması

Kurutulan bitki örnekleri öğütücü yardımıyla parçalanarak toz haline getirilmiş ve kilitli poşetler içerisine yerleştirilerek laboratuvar analizleri gerçekleştirilene kadar muhafaza edilmiştir (Şekil 3.18). Bitki örneklerinin makro ve mikro besin elementi içeriklerinin belirlenmesinde gerekli analizler Siirt Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18. Öğütücü yardımıyla parçalanmış bitkisel materyallerin paketlenmesi

Ürün hasadı her iki yetiştirme sezonunda da haziran ayı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Hasat öncesinde her bir parselden rastgele alınan ve parseli temsil edebilecek 10 bitki seçilmiş, agronomik özellikleri ile bitki başına verim değerlerinin tespit edilmesi için etiketlenerek laboratuvar ortamına taşınmıştır. Hasat işlemi parsellerin sararmaya başladığı ancak tamamen kurumadığı dönemde el ile yapılmıştır. Hasat işlemi, parsel kenarlarından birer sıra ve parsel başlarından 50 cm mesafedeki alanlar kenar tesiri olarak bırakılarak ortada kalan alan üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Hasat öncesinde parseli temsil edecek bitkilerin seçimi ve hasat edilmiş bir parselden görünüş

Hasat sonrasında her bir parselden elde edilen toplam materyal çuvalar yardımıyla depo alanına taşınmıştır. Depo alanında çuvaldan çıkarılan örnekler hava sirkülasyonunun olduğu ve doğrudan güneş almayan ortamda gününbirlik alt-üst edilerek kurutulmuştur. Kurutulan örneklerin biyolojik verim değerleri tespit edildikten sonra harman işlemine geçilmiştir. Örneklerin harman edilmesinde harman makinasından yararlanılmış ve numunelerin daha saf hale getirilmesi için elek kullanılmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Hasat işlemi sonrasında harman edilen ürünlerden tanelerin elde edilmesi

Harman işleminin ardından her bir parselden elde edilen tohumlar tartılarak birim alandan elde edilen tane verimi tespit edilmiştir. Bu aşamadan sonra tanede azot, tanede fosfor, toplam antioksidan madde ve toplam fenolik bileşiklerin tayini için yeterli miktarda numune öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir.

3.8. İncelenen Özellikler

Yürütülen çalışma kapsamında fenolojik gözlemler olarak çıkış, çiçeklenme, bakla bağlama ve olgunlaşma süreleri incelenmiştir. Bununla birlikte, bitki sıklığının tespit edilebilmesi için her parselde metrekarede bitki sayısı hasat öncesinde belirlenmiştir. Araştırmada bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, bitkide dal sayısı, bitkide bakla sayısı, baklada tane sayısı, biyolojik verim, tane verimi 1000-tane ağırlığı ve hasat indeksi gibi verim ve verim öğeleri incelenmiştir. Fenolojik özellikler ile verim ve verim öğelerinin belirlenmesinde Erman (1998)'in kullandığı yöntemlerden yararlanılmıştır. Fizyolojik özelliklerden toplam klorofil (SPAD yöntemi) miktarının tespit edilmesinde Zakeri ve ark. (2015)'nin kullandığı yöntemden yararlanılmıştır. Tohumun teknolojik özellikleri belirlenirken 2001 yılında yayınlanan tarımsal değerleri ölçme denemeleri teknik talimatında mercimek için belirtilen yöntemler kullanılmıştır (Anonim, 2001). Bitkide ve tanede toplam azot içeriği Dumas yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir (Wang ve Daun, 2006). Bitkide potasyum içeriği, flame fotometre kullanılarak amonyum asetat yöntemi ile belirlenmiştir (Ferrando ve ark., 2020). Tanede protein içeriği, tanede toplam

azot içeriğinin 6,25 katsayısı ile çarpılması sonucu elde edilmiştir. Tanede toplam fosfor içeriğinin belirlenmesinde ise spektrofotometrik yöntemden yararlanılmıştır (More, 1992). Bunlar dışında fosforlu gübreleme ve priming uygulamalarına bağlı olarak mercimek tanelerinde toplam fenolik bileşiklerin ve toplam antioksidan içeriği tespit edilmiştir. Toplam fenolik bileşiklerin ve antioksidan madde içeriğinin tespiti yapılabilmesi için öncelikle ekstraksiyonların hazırlanması gerekmektedir. Ekstraksiyonlar hazırlamak amacıyla öncelikle mercimek taneleri un haline getirilerek 1 mm elekten geçirilmiştir. Un haline getirilen her bir mercimek tanesinde 0,5 g alınarak santrifüj tüpüne yerleştirilmiştir. Her bir tüpe 5 ml aseton/su (1:1 v/v) ekstraksiyon çözücüsü ilave edilmiştir. Daha sonra 5 ml aseton/su/asetik asit (70:29.5:0.5 v/v/v) ekstraksiyon çözücüsü ilave edilmiştir (Şekil 3.21). Kapaklı tüpler yatay olarak yerleştirilmiş ve 3 saat boyunca bir orbital çalkalayıcıda oda sıcaklığında 300 rpm'de çalkalanmıştır (Şekil 3.22). Karışımlar, gece boyunca karanlıkta tutularak 12 saat daha ekstre edilmiştir. Ekstraktlar 3000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Kalıntılar, ilgili ekstraksiyon solventlerinden 5 ml ile yeniden ekstrakte edilerek 2 ekstrakt birleştirilmiş ve karanlık ortamda 4 °C'de saklanmıştır. Ekstraksiyonlar, her bir uygulamadan elde edilen mercimek tanesi için 3 kopya halinde gerçekleştirilmiştir (Xu ve ark., 2007). Antioksidan madde tayini için FRAP indirgeme kapasitesi (FRAP yöntemi) kullanılmıştır (Parikh ve Patel, 2018). Toplam fenolik bileşik tayininin tespit edilmesinde ise Folin-Ciocalteu yönteminden yararlanılmıştır (Xu ve ark., 2007).



Şekil 3.21. Mercimek tanelerinde toplam antioksidan madde tayini ve fenolik bileşiklerin tespiti için ekstraksiyonların hazırlanma aşaması



Şekil 3.22. Ekstraksiyonların hazırlanma aşamasında orbital çalkalayıcıda bekletilen numunelerin homojenizasyonunun sağlanması

Araştırma kapsamında incelenen özellikler ve bu özelliklerin belirlenmesinde kullanılan yöntemler:

1) Çıkış süresi (Gün)

Ekim tarihinden itibaren parsellerde %50 çıkışın görüldüğü tarihe kadar geçen gün sayısı hesaplanarak tespit edilmiştir.

2) Çiçeklenme süresi (Gün)

Ekim tarihinden itibaren parsellerde bitkilerin %50'sinin çiçek gösterdiği tarihe kadar geçen gün sayısı hesaplanarak tespit edilmiştir.

3) Bakla bağlama süresi (Gün)

Ekim tarihinden itibaren parsellerde bitkilerin %50'sinin bakla bağladığı tarihe kadar geçen gün sayısı hesaplanarak tespit edilmiştir.

4) Olgunlaşma süresi (Gün)

Ekim tarihinden itibaren bitki ve meyvelerin sarardığı, tanelerin olgunlaştığı tarihe kadar geçen gün sayısı, olgunlaşma süresi olarak kabul edilmiştir.

5) Metrekaredeki bitki sayısı (adet/m²)

Hasat döneminde her parselde rastgele seçilen bir metrekarelik alan içerisinde bulunan bitkiler sayılarak tespit edilmiştir.

6) Bitki boyu (cm)

Hasat döneminde her parselde rastgele seçilen 10 bitki üzerinde toprak yüzeyinden bitkinin uç noktasına kadar olan uzunluk ölçülerek tespit edilmiştir.

7) İlk bakla yüksekliği (cm)

Hasat döneminde her parselde rastgele seçilen 10 bitki üzerinde toprak yüzeyinde ilk baklanın görüldüğü boğum arasına kadar olan mesafe ölçülmüş ve ortalaması alınarak belirlenmiştir.

8) Bitkide dal sayısı (adet/bitki)

Hasat döneminde her parselde rastgele seçilen 10 bitki üzerindeki birincil ve ikincil dalların toplamı sayılmış ve ortalaması alınarak belirlenmiştir.

9) Bitkide bakla sayısı (adet/bitki)

Hasat döneminde her parselden rastgele alınan 10 bitki üzerindeki dolu baklalar sayılmış ve ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

10) Baklada tane sayısı (adet/bakla)

Hasat döneminde her parselden rastgele alınan 10 bitki üzerindeki dolu baklalara ait taneler sayılmış ve bitkide bakla sayısına bölünerek hesaplanmıştır.

11) Biyolojik verim (kg/da)

Hasat döneminde her parselden hasat edilen bitkiler havadar ve gölge bir alanda kurutulduktan sonra tartılmış ve elde edilen değer bir dekarlık alana göre dönüştürülerek tespit edilmiştir.

12) Tane verimi (kg/da)

Harman işlemi gerçekleştirildikten sonra elde edilen taneler tartılmış ve elde edilen değer bir dekarlık alana göre dönüştürülerek tespit edilmiştir.

13) 1000 tane ağırlığı (g)

Her bir parselden rastgele 4 grup halinde sayılan 100'er adetlik taneler hassas terazide tartılmıştır. Elde edilen değerlerin ortalaması 10 ile çarpılmak suretiyle 1000 tane ağırlığı belirlenmiştir.

14) Hasat indeksi (%)

Her bir parsel için hesaplanan tane verimi değerinin biyolojik verim değerine bölünmesinden sonra elde edilen sonucun 100 ile çarpılmasıyla belirlenmiştir.

15) Toplam klorofil içeriği (%)

Yaprakta toplam klorofil içeriği SPAD klorofil ölçer (SPAD-502 Konica Minolta Sensing, Inc., Japan) yardımıyla tespit edilmiştir. SPAD okuması yapılırken çiçeklenme başlangıcında her bir parselden rastgele seçilen 5 bitki örneğinin en üstteki 3 yaprağında okuma yapılmış ve toplam 15 değerlerin ortalaması alınmıştır. SPAD okumaları saat 10:00-12:00 aralığında gerçekleştirilmiştir (Zakeri ve ark., 2015).

16) Bitkide azot içeriği (%)

Bitkide azot içeriğini belirlemek için Dumas yöntemi kullanılmıştır (Wang ve Daun, 2006). Çiçeklenme başlangıcında her parselden rastgele seçilen 5 bitki örneklerinin toprak üstü aksamı makas yardımıyla kesilerek 80 °C sıcaklıktaki etüvde 48 saat kurutulduktan sonra öğütülmüş, 0,42 mm elekten geçirilerek Dumas yöntemine göre azot içeriği tespit edilmiştir.

17) Bitkide fosfor, demir, manganez, çinko, bakır, kalsiyum ve magnezyum, içeriği (ppm)

Bitkide makro ve mikro besin elementi içeriğini belirlemek için çiçeklenme başlangıcında her parselde bitki örnekleri toplanmış, önce laboratuvar ortamında kurutulduktan sonra 72 saat boyunca 68 °C'ye ayarlı etüv içerisinde bekletilmiştir. Tamamen nemden arındırılan numuneler öğütücü yardımıyla toz haline getirilerek analize hazırlanmıştır. Besin elementi içeriklerinin belirlenmesinde ICP-OES Spektrofotometre yöntemi kullanılmıştır.

18) Bitkide potasyum içeriği (ppm)

Bitkide potasyum içeriğini belirlemek için çiçeklenme başlangıcında her parselde bitki örnekleri toplanmış önce laboratuvar ortamında kurutulduktan sonra 72 saat boyunca 68 °C'ye ayarlı etüv içerisinde bekletilmiştir. Tamamen nemden arındırılan numuneler öğütücü yardımıyla toz haline getirilerek analize hazırlanmıştır. Potasyum içeriğinin belirlenmesinde flame fotometre yardımıyla amonyum asetat yöntemi kullanılmıştır.

19) Tanede protein içeriği (%)

Tanede protein içeriğinin belirlenmesi için hasat sonrasında yeterli miktarda tane örneği alınarak öğütülerek analize hazır hale getirilmiş ve 0,5 g numune kullanılmıştır. Tanede protein içeriğini belirlemek için Dumas yöntemi kullanılmış ve elde edilen değer 6,25 ile çarpılarak tanedeki protein içeriği belirlenmiştir (Wang ve Daun, 2006).

20) Tanede fosfor içeriği (ppm)

Tanede fosfor içeriğinin belirlenmesi için hasat sonrasında yeterli miktarda tane örneği alınarak öğütülmüş ve analize hazır hale getirilmiştir. Tanede fosfor içeriğinin belirlenmesinde spektrofotometrik yöntem kullanılmıştır (More, 1992).

21) Tanede toplam antioksidan madde içeriği (mg TE/g)

Tanede antioksidan içeriği tayin edilirken, FRAP metodu olarak bilinen Ferrik iyonlarını (Fe^{3+}), Fe^{2+} iyonlarına indirgeme kuvvetine dayanan yöntem kullanılmıştır (Parikh ve Patel, 2018).

22) Tanede toplam fenolik bileşik içeriği (mg GAE/mL)

Hasat edilen mercimek tanesinin toplam fenolik bileşik içeriği tespit edilirken Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılmıştır (Xu ve ark., 2007).

3.9. Ekonomik Analiz

Uygulamalara bağlı olarak ekonomik analizi hesaplamak için değişken girdi maliyeti ve toplam gelir parametreleri dikkate alınmıştır. Her bir uygulamanın bireysel ve interaktif etkileri neticesinde kontrol grubuna göre tane veriminde oluşan farklılıklar hesaplanmıştır. Fosforlu gübreleme (TSP) ve priming materyallerinin (kimyasal malzemeler Merck marka fiyatlarına göre hesaplanmıştır) bir dekar alan için getireceği

maaliyetler tespit edilmiştir. Kontrole göre verim artışının Türk lirası (₺) olarak karşılığı hesaplanırken Haziran 2023 için Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO)'nin mercimek alımı için belirlediği ücret (15,00 ₺/kg) baz alınmıştır (Anonim, 2023d). Saman kaynaklı kazanç hesaplanırken Haziran 2023 dönemine ait piyasa araştırması yapılmış ve ton fiyatı 2.500 ₺ olarak belirlenmiştir. Net kazanç Anonymous (1988)'in formülleri kullanılarak hesaplanmıştır.

3.10. İstatistik Analiz

İki yıllık tarla çalışmaları neticesinde elde edilen veriler Levene homojenlik testine tabi tutulmuştur. Homojen oldukları tespit edilen veriler tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre birleştirilmiş varyans analizine tabi tutulmuştur. İncelenen özelliklere ait ortalamaların gruplandırılmasında Tukey HSD (Tukey's honestly significant difference test) çoklu karşılaştırma testinden yararlanılmış ve istatistiksel analizlerde JMP (5.0.1) paket programı kullanılmıştır (Kalaycı, 2005). Uygulamalara bağlı olarak incelenen özelliklere ait ortalamalar arasındaki ilişkilerin incelenmesi için elde edilen veri setine Pearson korelasyon analizi uygulanmış ve R istatistik programından yararlanılmıştır (R Core Team, 2018).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çıkış Süresi

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait çıkış süresine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.1’de, çıkış süresine ait ortalama değerler ise Tablo 4.2’de verilmiştir. Çıkış süresine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar ve farklı priming uygulamaları arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p<0.01$) farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, fosforlu gübre dozlarının ve faktörlerin birbiri ile olan interaksiyonlarının çıkış süresi üzerinde herhangi bir önemli farklılığa yol açmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.1. Farklı fosfor seviyeleri ve tohumla priming uygulamalarına bağlı olarak çıkış süresine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	63,021	63,021	99,180**
Blok	6	16,146	2,691	4,235
Fosfor (P)	3	0,750	0,250	0,393
Y x P	3	0,563	0,188	0,295
Hata ₁	18	11,438	0,635	
Priming (Pr)	5	18,042	3,608	9,640**
Y x Pr	5	2,229	0,446	1,191
P x Pr	15	6,375	0,425	1,135
Y x P x Pr	15	6,438	0,429	1,147
Hata ₂	120	44,917	0,374	
Genel	191			

** $p<0.01$

Çıkış süresi bakımından yıllara ait ortalama değerler 12,2-13,3 gün aralığında değişim göstermiş olup denemenin birinci yılında kaydedilen çıkış süresinin ikinci yıla kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Priming uygulamalarının çıkış süresine etkisi göz önünde bulundurulduğunda en uzun çıkış süresi herhangi bir uygulama yapılmayan kontrol grubunda (13,3 gün), en kısa çıkış süresi ise Si uygulamasında (12,4 gün) kaydedilmiştir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının çıkış süresine etkisi (gün)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	12,8	12,5	13,0	12,8	14,0	13,5	13,8	14,0	12,8	13,8	13,4	13,0	13,4	13,4	13,3 A
Pi	12,3	11,8	12,0	12,0	13,3	12,5	13,0	13,3	12,0	13,0	12,8	12,1	12,5	12,6	12,5 C
SA	11,8	12,0	12,3	12,5	12,5	13,5	13,8	13,0	12,1	13,2	12,1	12,8	13,0	12,8	12,7 BC
S	11,8	12,0	12,3	12,3	13,3	13,3	13,0	13,0	12,1	13,1	12,5	12,6	12,6	12,6	12,6 BC
PGPB	12,8	12,5	12,3	12,3	13,3	13,5	13,3	14,0	12,4	13,5	13,0	13,0	12,8	13,1	13,0 AB
Si	11,5	11,3	11,8	11,8	13,0	13,8	13,3	12,8	11,6	13,2	12,3	12,5	12,5	12,3	12,4 C
Yıl x Fosfor dozu															
Yıl															
Fosfor dozları															
Ortalama	12,1	12,0	12,3	12,3	13,2	13,3	13,3	13,3	12,2 B	13,3 A	12,7	12,7	12,8	12,8	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

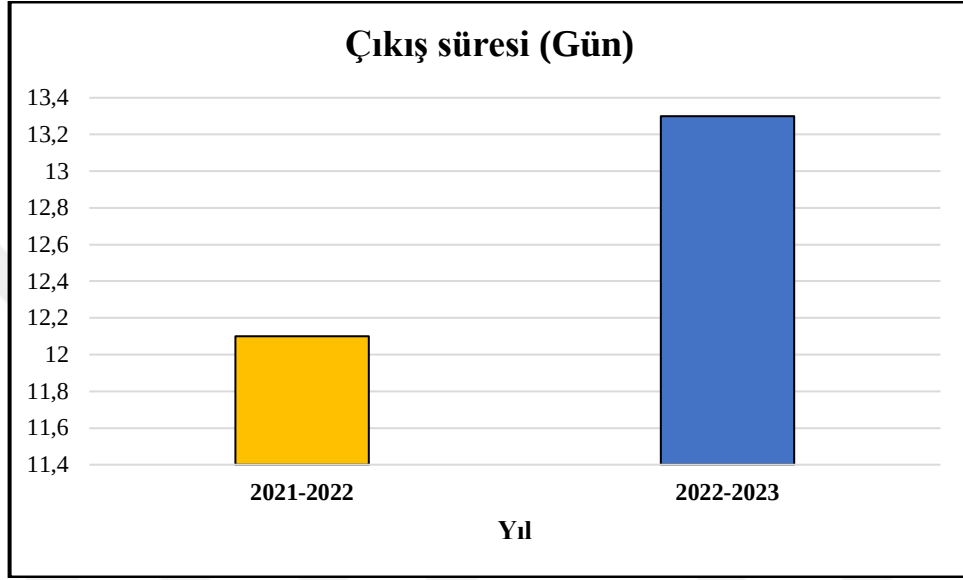
Çıkış süresinin yıllara göre değişim grafiği incelendiğinde çalışmanın ikinci yılında çıkış süresinin birinci yıla kıyasla %9 oranında daha uzun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.1). Bununla birlikte en uzun çıkış süresinin kaydedildiği kontrol grubunu sırasıyla PGPB (13,0 gün), SA (12,7 gün) ve S (12,6 gün) uygulamalarının takip ettiği belirlenmiştir (Şekil 4.2).

Araştırmanın birinci yılındaki çıkış süresinin ikinci yıla kıyasla yaklaşık 1 gün daha kısa sürdüğü ve istatistiki açıdan değerlendirildiğinde önemli olduğu görülmektedir. Çalışmanın iki yılı açısından iklim verileri incelendiğinde, ekimin gerçekleştirildiği Kasım ayı içerisinde birinci ve ikinci yılda ortalama sıcaklık değerlerinin sırasıyla 12,8 ve 11,8 °C olduğu görülmektedir (Şekil 3.4). Yine benzer şekilde Kasım ayı için birinci ve ikinci yıldaki aylık ortalama yağış değerlerinin 25,4 ve 64,0 mm olduğu göze çarpmaktadır. Çalışmanın birinci yılında ortalama sıcaklık değerinin çıkış süresini kapsayan dönem içerisinde daha yüksek olmasının çimlenme açısından ilgili karakterleri olumlu yönde etkileyerek daha erken bir çıkış süresine imkân sağladığı düşünülmektedir. Şehirli (1988), toprak sıcaklığında negatif yönde bir ilerleyişin tohumda çimlenme sürecini yavaşlattığını ve dolayısıyla tarla koşullarında çıkışı geciktirebileceğini bildirmiştir. Saxena (2009), hava sıcaklıklarının tohumun çimlenmesi ve çıkış sürelerine ilişkin yürüttüğü bir araştırmada, ortalama sıcaklıkların 20 °C olduğu yaz döneminde gerçekleştirilen ekimlerde çıkış süresinin 7-8 gün olduğuna işaret ederken hava sıcaklıklarının 10 °C'nin altına indiği kışık ekimlerde çıkış süresinin 25-30 güne kadar uzayabildiğini rapor etmiştir. Chahtane ve ark. (2017), sıcaklığın tohumun dormansi durumu ve çimlenme süreci üzerindeki en önemli çevresel etken olduğunu ifade etmişlerdir. Roberts (1988), ortam sıcaklığının tohumun çimlenme gücünü ve hızını önemli ölçüde etkilediğini ifade etmiştir. Ayrıca, tohumun çimlenmesi bir dizi enzimin (amilazlar, ksilanazlar, proteazlar, β -glukanazlar vs.) yoğun şekilde faaliyet gösterdiği bir süreç olmasından dolayı bu sürecin ortam sıcaklığı ile doğrudan ilişki içerisinde olduğu ve genellikle belirli bir seviyeye kadar artan sıcaklıkların enzim aktivitesini artırdığı, dolayısıyla çimlenme sürecini hızlandırdığı belirtilmektedir (Gimbi ve Kitabatake, 2002; Guzmán-Ortiz ve ark., 2019). Nihayetinde, çalışma yılları arasında çimlenme dönemine denk gelen zaman periyodundaki ortalama sıcaklıklar arasındaki fark düşük olmasına rağmen yaklaşık 1 günlük bir çıkış süresi farklılığı oluşturabileceği öngörülebilir bir sonuçtur. Bunun dışında, çalışmanın yürütüldüğü ikinci sezonda aylık toplam yağış miktarının birinci yıla göre yaklaşık 2,5 kat daha fazla olmasına rağmen çimlenme süreci üzerinde ortamda yeterli nem bulunması koşuluyla sıcaklığın daha etkin olduğu göze

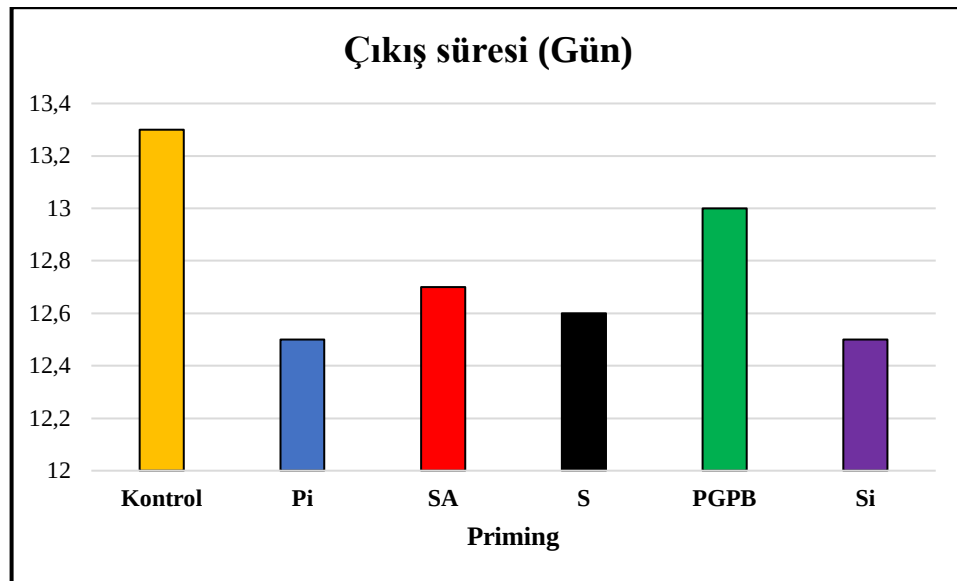
çarpmaktadır. Ağsakallı ve Olgun (1999), Hakkoymaz (2018), Keşli (2009) ve Çokkızgın (2007) yürüttükleri iki yıllık tarla denemeleri neticesinde her iki sezondaki mercimek çıkış sürelerini sırasıyla 30,3-19,5 gün, 33,4-45,8 gün, 31,6-21,9 gün ve 31,6-20,4 gün olarak bulmuşlar ve yetiştirme sezonlarının çıkış süreleri üzerine istatistiki açıdan önemli farklılıklara yol açtığını belirtmişlerdir. Bahsi geçen araştırma sonuçları göz önünde bulundurulduğunda tamamında çıkış süresinin araştırmamızın her iki yılından elde edilen bulgulara kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni çalışmaların farklı lokasyonlarda, farklı ekim dönemlerinde ve farklı çeşitler kullanılarak gerçekleştirilmiş olmasıdır. Bunun dışında, Ceritoğlu (2019) ve Yıldırım (2022) mercimek ile yürüttükleri tarla denemesinde çıkış süresini 11,0-25,3 gün ve 23,3-31,8 gün aralığında belirlemişlerdir. Çıkış süresine dair elde edilen bulgular Ceritoğlu (2019) ile uyum gösterirken Yıldırım (2022)'nin elde ettiği değerlerden düşük bulunmuş olup, bu farklılığın sebebinin yetiştirme sezonundaki farklılıklardan ve ekim zamanlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Priming uygulamalarına bağlı olarak her iki yıl ortalaması göz önüne alındığında çıkış süresinin önemli ölçüde farklılık gösterdiği görülmektedir. Priming uygulanan tohumlar, suya göre farklı ozmotik potansiyele sahip bir çözelti ile muamele edilir ve çimlenme gerçekleşmeksizin çözeltiden çıkarılarak kurutulur. Böylece tohumda çimlenme mekanizması aktive edilmesine rağmen kökçük ve sürgün çıkışı gerçekleşmez (Hasanuzzaman ve Fotopoulos, 2019). Böylece, aktive edilmiş olan kökçük toprak ile buluştuğunda mevcut durumlar optimum olmasa dahi (düşük sıcaklık, yetersiz nem vs.) priming uygulaması yapılmayan tohumlar ile kıyaslandığında daha hızlı bir şekilde tohum kabuğundan dışarısına çıkmaktadır. Bu nedenle, aralarında istatistiki anlamda önemli farklılıklar bulunmasına rağmen tüm priming uygulamaları kontrol uygulamasına göre çimlenme süresinin kısılmasını sağlamıştır. Bradford ve ark. (1990), potasyum nitrat (KNO_3) materyali ile priming uygulamasının biber bitkilerinde çıkış süresinin kısaltılmasına yol açtığını belirtmişlerdir. Lee ve Kim (2000), osmo-priming uygulamasının yaşlı ve normal çeltik tohumlarında çimlenme sürecinde tohumlardaki toplam şeker ve α -amilaz içeriğinin artmasına yol açarak sürecin olumlu yönde etkilenmesine sebep olduğunu belirtmişlerdir. Erman ve ark. (2022a), PGPB-priming uygulamalarının mercimekte çimlenme ile ilgili karakterlerin iyileşmesine katkı sağlayarak ortalama çimlenme süresinin kısılmasında rol oynadığını belirtmişlerdir. Uçar ve ark. (2023), mercimekte Si-priming uygulamalarının çimlenme yüzdesi ve hızının iyileşmesine ve ortalama çimlenme süresinin azalmasına yol açtığını bildirmişlerdir.

Erman ve ark. (2023), mercimekte Si-priming uygulamasının erken dönemde kadmiyum toksisitesini iyileştirmenin yanında çimlenme sürecini olumlu yönde etkilediğini ve ortalama çimlenme süresinin kısaltılmasına yol açtığını rapor etmişlerdir. Priming uygulamalarının çimlenme karakteristiği ve dolayısıyla çıkış süreleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen bulgular araştırmamızın sonuçları ile uyum göstermektedir.



Şekil 4.1. Çıkış süresinin yıllara göre değişim grafiği



Şekil 4.2. Çıkış süresinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

4.2. Çiçeklenme Süresi

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait çiçeklenme süresine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.3'te, çiçeklenme süresine ait ortalama değerler ise Tablo 4.4'te verilmiştir. Çiçeklenme süresine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p<0.01$) farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Ancak, fosforlu gübre dozlarının, priming uygulamalarının ve faktörlerin birbiri ile olan interaksiyonlarının çiçeklenme süresi üzerinde herhangi bir önemli farklılığa yol açmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.3. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak çiçeklenme süresine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	7714,01	7714,01	311,291**
Blok	6	243,99	40,66	1,641
Fosfor (P)	3	24,56	8,19	0,330
Y x P	3	74,93	24,98	1,008
Hata ₁	18	446,05	24,78	
Priming (Pr)	5	46,55	9,31	1,179
Y x Pr	5	18,59	3,72	0,471
P x Pr	15	85,47	5,70	0,722
Y x P x Pr	15	129,35	8,62	1,092
Hata ₂	120	947,21	7,89	
Genel	191			

**: $p<0.01$

Çiçeklenme süresi bakımından uygulamalara bağlı olarak elde edilen değerlerin 124,0-144,8 gün aralığında değişim gösterdiği kaydedilmiştir. Ancak, yetiştirme sezonu dışındaki faktörlerin istatistiksel açıdan önemli bir farklılığa sebep olmamasından dolayı herhangi bir gruplandırmaya tabi tutulmamıştır. Şekil 4.3'te görüldüğü üzere, denemenin birinci yılında çiçeklenme süresi 143,2 gün, ikinci yılında ise 130,6 gün olarak hesaplanmıştır.

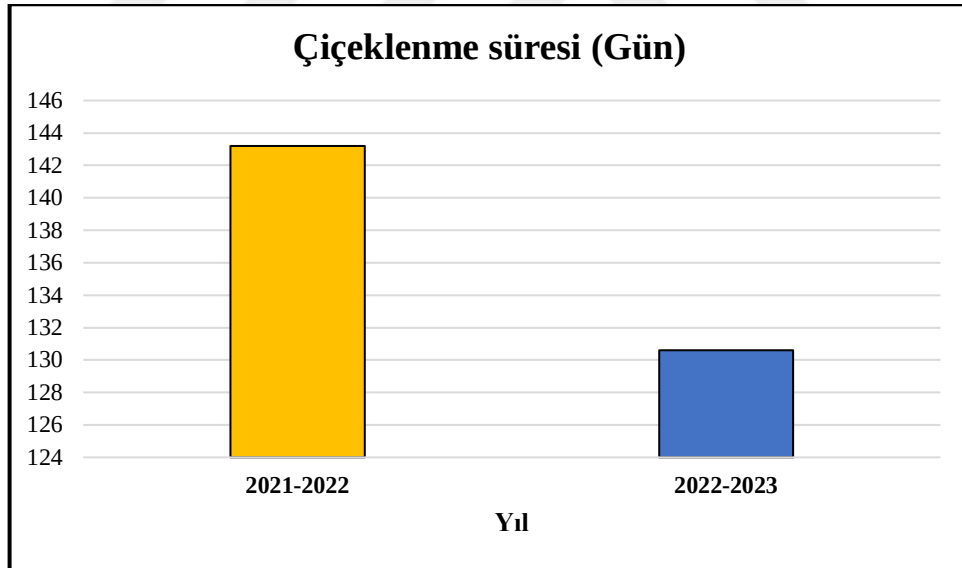
Tablo 4.4. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının çiçeklenme süresine etkisi (gün)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	144,0	143,8	142,0	141,8	128,8	124,0	131,5	131,3	142,9	128,9	136,4	133,9	136,8	136,5	135,9
Pi	144,0	142,5	143,3	142,3	129,8	130,5	133,0	130,0	143,0	130,8	136,9	136,5	138,1	136,1	136,9
SA	143,3	144,0	143,0	142,5	130,3	129,0	131,3	131,0	143,2	130,4	137,8	136,5	137,1	136,8	136,8
S	144,8	144,0	142,3	142,8	130,0	131,5	131,8	131,0	143,4	131,1	137,4	137,8	137,0	136,9	137,3
PGPB	144,0	143,8	143,3	142,8	131,0	132,5	132,0	128,8	143,4	131,1	137,5	138,1	137,6	135,8	137,3
Si	143,8	143,8	142,8	143,5	130,3	132,8	132,5	129,0	143,4	131,1	137,0	138,3	137,6	136,3	137,3
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	144,0	143,6	142,8	142,6	130,0	130,0	132,0	130,2	143,2 A	130,6 B	137,0	36,8	137,4	136,4	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

Çiçeklenme süresinin çalışma sezonlarına göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda birinci yılda ikinci yıla göre %9,7 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.3). Yıllar arasında çiçeklenme süresi bakımından meydana gelen farklılığın temel sebebi çevresel faktörlerden kaynaklanan değişimlerdir. Bitkilerde çiçeklenme, çevresel ve içsel etkenler sonucu birçok farklı mekanizmanın aktivasyonuna bağlı olarak vejetatif dönemden generatif döneme geçilmesini ifade etmektedir (Kaçar, 2015). Mercimekte çiçeklenme döneminin başlaması genetik özelliklere, fotoperiyodizm isteğine ve çevresel faktörlere bağlı olarak gerçekleşmektedir (Summerfield ve ark., 1985). Erskine ve ark. (1990), mercimekte çiçeklenme dönemine geçebilmek için ihtiyaç duyulan toplam sıcaklık ve soğuklama (vernalizasyon) ihtiyacının genetik özelliklerle ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. Ek olarak, çiçeklenme süresinin bazı genlerin etkisi altında gerçekleştiği ve gen aktivitesinin çevresel özelliklere göre değişim gösterdiği gözlemlenmiştir (Sarker ve ark., 1999). Birinci ve ikinci deneme yıllarında çiçeklenme dönemlerinin sırasıyla 5-15 Nisan 2022 ve 28 Mart-7 Nisan 2023 tarihlerinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Her iki yıl için, Nisan ayı içerisinde gerçekleşen ortalama sıcaklıklar ve toplam yağış miktarları sırasıyla 17,4 °C / 10 mm ve 14,5 °C / 88,2 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5). Gerek ortalama sıcaklığın yüksek olması gerekse toplam yağış miktarının azalmış olması nedeniyle birinci yıla kıyasla ikinci yılda bitkiler daha erken generatif döneme geçiş yapmışlardır. Burada etkili olan temel faktör bitkilerin aldığı toplam sıcaklık miktarıdır. Her iki sezonda çiçeklenme başlangıcına kadar (Nisan ayı olarak kabul edilmiştir) birinci yılda toplam sıcaklık miktarı 1011 °C olarak belirlenirken, ikinci yılda 1221 °C olarak tespit edilmiştir. Bu durumda toplam sıcaklık ihtiyacını karşılayan ve zaten uzun günlere de geçiş yapmış olan bitkilerin ikinci deneme sezonunda daha erken çiçeklenme sürecine geçiş yaptığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, birinci yetiştirme sezonunda çiçeklenme öncesindeki Mart ayı içerisinde hava sıcaklıklarının düşmesi ve artan yağışlar nedeniyle de çiçeklenme süresinin uzadığı düşünülmektedir. Yapılan araştırmalar bitkilerin generatif döneme geçişinde toprakta ve havadaki nem yoğunluğunun, hava sıcaklıklarının belirleyici faktörler olduğunu ortaya koymaktadır (Erskine ve ark., 1993; Materne ve Siddique, 2009). Koç (2015), mercimekte çiçeklenme süresini 2011-12 ve 2012-13 yetiştirme sezonlarında sırasıyla Diyarbakır lokasyonunda 131,2 ve 121,9 gün, Adıyaman lokasyonunda 116,8 ve 111,8 gün, Şanlıurfa lokasyonunda ise 112,2 ve 109,5 gün olarak bildirmiştir. Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar Diyarbakır lokasyonu ile kısmen uyumlu olmakla birlikte Adıyaman ve Şanlıurfa lokasyonlarına göre daha yüksek çıkmıştır. Öyle ki, coğrafik ve iklimsel

farklılıklardan kaynaklanan değişimler Koç (2015)'un araştırmasında da göze çarpmaktadır. Buna ek olarak, mercimekte çiçeklenme süresini Erman (1992) Van ekolojik koşullarında 1991 sezonunda 62-71 gün, Canbolat (2014) Kahramanmaraş koşullarında 2012-13 yetiştirme sezonunda 141-147 gün, Hakkoymaz (2018) Konya koşullarında 2013-2014 sezonlarında 187,2-184,3 gün, Ceritoğlu (2019) Siirt koşullarında 2018-19 sezonunda 128,7-181,7 gün, Alabay (2019) Konya koşullarında 2012-13 yetiştirme sezonunda 175,7 gün, Yıldırım (2022) Siirt koşullarında 2020-21 yetiştirme sezonunda 165,5-156,8 gün ve Yorğun (2022) Van ekolojik koşullarında 2020-21 yetiştirme sezonunda 43,0-44,7 gün olarak tespit etmişlerdir. Araştırmamızdan elde edilen bulgulara göre 130,6-143,2 gün olarak tespit edilen çiçeklenme süresi Canbolat (2014) ve Ceritoğlu (2019)'nun sonuçları ile uyum gösterirken Hakkoymaz (2018), Alabay (2019) ve Yıldırım (2022)'nin sonuçlarına kıyasla daha düşük, Erman (1992), ve Yorğun (2022)'un sonuçlarına kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Çiçeklenme süreleri arasındaki farklılıkların sebebi araştırma yapılan bölgelerin farklı ekolojik özelliklere sahip olması, genotiplerden kaynaklanan değişimler ve farklı ekim zamanlarıdır.



Şekil 4.3. Çiçeklenme süresinin yıllara göre değişim grafiği

4.3. Bakla Bağlama Süresi

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait bakla bağlama süresine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.5'te, bakla bağlama süresine ait ortalama değerler ise Tablo 4.6'da verilmiştir. Bakla bağlama süresine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları

incelendiğinde, yıllar arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p<0.01$) farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Ancak, fosforlu gübre dozlarının, priming uygulamalarının ve faktörler arasındaki etkileşimlerin bakla bağlama süresi üzerinde herhangi bir önemli farklılığa yol açmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.5. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bakla bağlama süresine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	1106,88	89,558	84,1958**
Blok	6	125,74	1,696	1,6428
Fosfor (P)	3	4,56	0,123	0,0025
Y x P	3	20,35	0,549	0,5056
Hata ₁	18	222,47	9,787	
Priming (Pr)	5	15,30	2,423	2,5192
Y x Pr	5	8,46	1,340	1,2863
P x Pr	15	21,35	1,127	1,8287
Y x P x Pr	15	21,18	1,118	1,3484
Hata ₂	120	151,54	1,263	
Genel	191			

** $p<0.01$

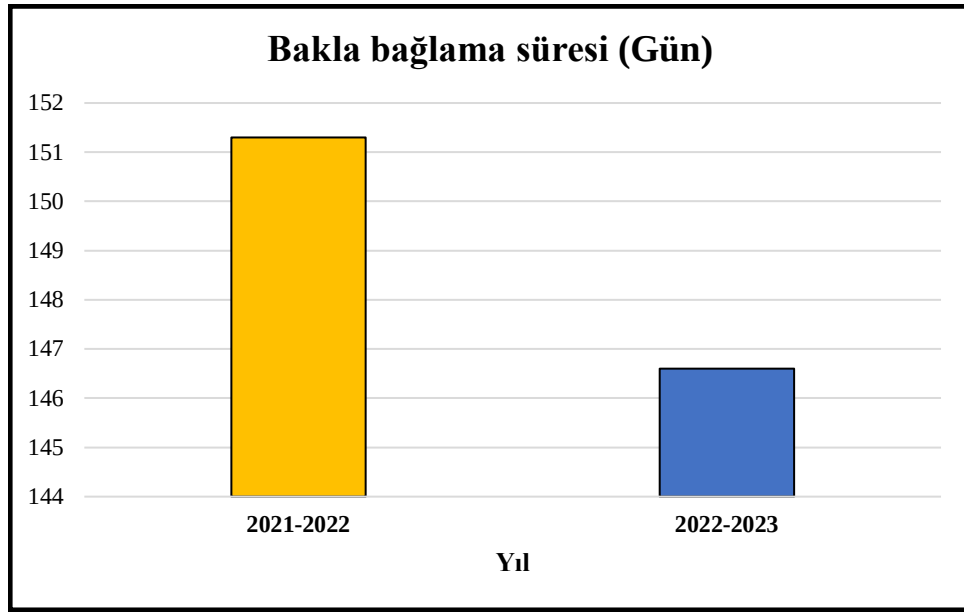
Bakla bağlama süresi bakımından uygulamalara bağlı olarak elde edilen değerlerin 145,0-153,0 gün aralığında değişim gösterdiği kaydedilmiştir. Ancak, yetiştirme sezonu dışındaki faktörlerin istatistiksel açıdan önemli bir farklılığa sebep olmamasından dolayı herhangi bir gruptan ayrışmaya tabi tutulmamıştır. Şekil 4.4'te görüldüğü üzere, denemenin birinci yılında bakla bağlama süresi 151,3 gün, ikinci yılında ise 146,6 gün olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.6. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bakla bağlama süresine etkisi (gün)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	151,3	151,0	150,5	150,8	145,0	146,8	146,3	147,0	150,9	146,3	148,1	148,9	148,4	148,9	148,6
Pi	152,3	151,0	150,8	150,8	146,8	146,8	148,8	146,0	151,2	147,1	149,5	148,9	149,8	148,4	149,1
SA	152,0	150,8	150,3	150,5	145,8	146,0	146,5	146,3	150,9	146,1	148,9	148,4	148,4	148,4	148,5
S	153,0	151,8	151,0	151,0	146,5	146,5	146,5	146,5	151,7	146,5	149,8	149,1	148,8	148,8	149,1
PGPB	151,8	151,8	151,5	152,0	146,5	147,0	146,8	145,0	151,8	146,3	149,1	149,4	149,1	148,5	149,0
Si	151,8	150,8	152,0	151,8	146,8	146,8	147,3	146,8	151,6	146,9	149,3	148,8	149,6	149,3	149,2
Yıl x Fosfor dozu															
Yıl								Fosfor dozları							
Ortalama	152,0	151,2	151,0	151,1	146,2	146,6	147,0	146,3	151,3 A	146,6 B	149,1	148,9	149,0	148,7	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

İki yıllık çalışma periyodu göz önünde bulundurulduğunda, yılların bakla bağlama süresi üzerinde önemli etkilerinin olduğu, ancak diğer uygulama faktörlerinin etkili olmadığı görülmektedir (Tablo 4.5). Yıllar arasındaki mevsimsel farklılıkların bakla bağlama süresi üzerinde etkili olması beklenen bir sonuçtur. Çünkü her iki sezonun bakla bağlama dönemleri göz önünde bulundurulduğunda sırasıyla birinci ve ikinci yılda 16-24 Nisan ve 14-23 Nisan tarihleri arasında gerçekleştiği görülmektedir. Dönem olarak aynı zamana denk gelmiş olmasına rağmen iki yıl arasında ortalama sıcaklık (Şekil 3.4), aylık toplam yağış (Şekil 3.5) ve nispi nem (Şekil 3.6) açısından önemli farklılıklar göze çarpmaktadır. Sepetoğlu (1988) mercimekte bitki gelişimi için en uygun sıcaklık aralığının 15-25 °C olduğunu ifade etmiştir. Yıllar incelendiğinde ortalama sıcaklıkların birinci yılda 15-20 °C arasında, ikinci yılda ise 15 °C'nin altında kaldığı görülmektedir (Şekil 3.5). Yağışların kesilmesi ile birlikte toprakta nem seviyesi düşmekte, ayrıca hava sıcaklıklarının yükselmesi de bitkileri hızla olgunlaşmaya zorlamaktadır (Summerfield ve ark., 1985). Bu durum bakla bağlama süreleri arasında istatistiki açıdan önemli farklılıklar ortaya çıkmasının temel sebebidir. Bu çalışmada bakla bağlama süresinin birinci yılda daha yüksek çıkmasının sebebi çiçeklenme süresinin uzun olmasından kaynaklanmıştır. Farklı araştırmacıların mercimekte bakla bağlama süresi üzerine sonuçları incelendiğinde; Erman (1998) Van ekolojik koşullarında 224,5-232,5 gün, Demirhan (2006), Ceritoğlu (2019) ve Yıldırım (2022) Siirt ekolojik koşullarında sırasıyla 167-177 gün, 149,8-209,3 gün ve 156,0-165,3 gün, Sözen ve Karadavut (2017) Kırşehir ekolojik koşullarında 76-79 gün olarak rapor etmişlerdir. Mercimekte bakla bağlama süresi üzerine araştırmamızdan elde edilen sonuçlar (145,0-153,0 gün) Ceritoğlu (2019) ve Yıldırım (2022)'ın elde ettiği bulgular ile uyum sağlarken, Sözen ve Karadavut (2017)'un sonuçlarına göre daha yüksek diğer araştırmacıların sonuçlarına göre ise daha düşük bulunmuştur. Buradaki farklılıkların sebebi Sözen ve Karadavut (2017)'un yürüttükleri araştırmada yazlık olarak yeşil mercimek yetiştirmesi, daha yüksek bulan araştırmacıların ise daha farklı ekolojiye sahip bölgede (Van) veya aynı lokasyonda farklı çeşit kullanımından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.4. Bakla bağlama süresinin yıllara göre değişim grafiği

4.4. Olgunlaşma Süresi

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait olgunlaşma süresine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.7’de, olgunlaşma süresine ait ortalama değerler ise Tablo 4.8’de verilmiştir. Olgunlaşma süresine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar, priming uygulamaları ve Y x Pr interaksyonu arasında istatistiki açıdan önemli ($p < 0.05$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Ancak, fosforlu gübre dozlarının ve diğer interaksyonların olgunlaşma süresi üzerinde herhangi bir önemli farklılığa yol açmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.7. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak olgunlaşma süresine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	25,521	25,521	6,818*
Blok	6	2,542	0,424	0,113
Fosfor (P)	3	0,354	0,118	0,032
Y x P	3	0,354	0,118	0,032
Hata ₁	18	67,375	3,743	
Priming (Pr)	5	2,542	0,508	2,533*
Y x Pr	5	2,542	0,508	2,533*
P x Pr	15	2,583	0,172	0,858
Y x P x Pr	15	2,583	0,172	0,858
Hata ₂	120	24,083	0,201	
Genel	191			

*: $p < 0.05$

Denemenin birinci yılında olgunlaşma süresi 181,3 gün, ikinci yılında ise 182,0 gün olarak hesaplanmıştır. Priming uygulamalarına bağlı olarak olgunlaşma süresi incelendiğinde 181,5-181,8 gün aralığında değişim gösterdiği ve en düşük olgunlaşma süresinin kontrol grubunda, en uzun olanın ise Si-priming uygulanan bitkilerde gerçekleştiği görülmüştür. Yıl x priming interaksyonu bakımından sonuçlar tablosu incelendiğinde ise çalışmanın ikinci yılında priming uygulamaları arasında hiç değişiklik olmadığı ancak birinci yılda priming uygulamalarının olgunlaşma süresinin uzamasına sebep olduğu görülmektedir (Tablo 4.8).



Tablo 4.8. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının olgunlaşma süresine etkisi (gün)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	180,8	181,0	181,0	181,0	182,0	182,0	182,0	182,0	180,9 c	182,0 a	181,4	181,5	181,5	181,5	181,5 B
Pi	180,8	181,3	181,3	181,3	182,0	182,0	182,0	182,0	181,1 bc	182,0 a	181,4	181,6	181,6	181,6	181,6 AB
SA	181,5	180,5	181,0	181,5	182,0	182,0	182,0	182,0	181,1 bc	182,0 a	181,8	181,3	181,5	181,8	181,6 AB
S	181,3	181,0	181,8	181,5	182,0	182,0	182,0	182,0	181,4 bc	182,0 a	181,6	181,5	181,9	181,8	181,7 AB
PGPB	181,3	181,5	181,5	181,5	182,0	182,0	182,0	182,0	181,4 bc	182,0 a	181,6	181,8	181,8	181,8	181,7 AB
Si	181,5	182,0	181,5	181,5	182,0	182,0	182,0	182,0	181,6 ab	182,0 a	181,8	182,0	181,8	181,8	181,8 A
Yıl x Fosfor dozu															
Yıl								Fosfor dozları							
Ortalama	181,2	181,2	181,3	181,4	182,0	182,0	182,0	182,0	181,3 B	182,0 A	181,6	181,6	181,7	181,7	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

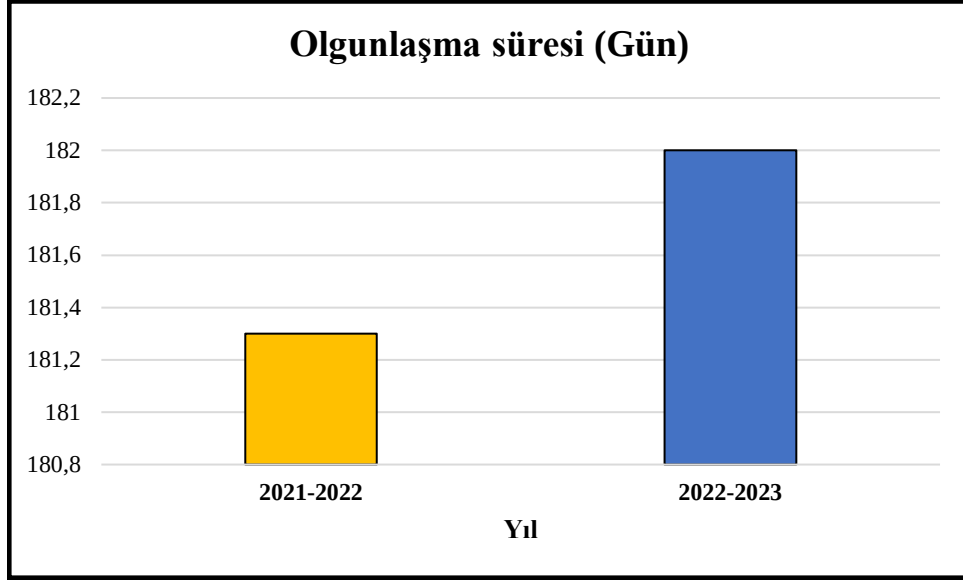
Olgunlaşma süresinin çalışma sezonlarına göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda birinci yıla göre ikinci yılda %0,4 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.5). Priming uygulamalarında ise Pi, SA, S, PGPB ve Si materyallerinin kontrol grubuna göre olgunlaşma süresini sırasıyla %0,06, %0,06, %0,11, %0,11 ve %0,17 oranında kısalttığı sonucuna varılmıştır (Şekil 4.6).

Olgunlaşma süresi kullanılan tohumun genetik özelliklerine bağlı olarak değişmekle birlikte çevresel faktörlerle de doğrudan ilişki içerisinde (Shelar ve ark., 2008; Çiftçi ve Adak, 2009). Çalışmamızda tek çeşit (Tigris) kullanılmış olmasından dolayı genetik bir farklılık söz konusu olmadığı için olgunlaşma süreleri arasındaki farklılığın sebebi bitkinin yetiştirildiği sezonun çevresel özelliklerindeki farklılıklar ve gerçekleştirilen uygulamalardır. Çalışma sezonları arasındaki farklılıklar göz önüne alındığında birinci sezonda ikinci sezona kıyasla yaklaşık 1 günlük farklılık oluşmuş olmakla birlikte istatistiki açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir. Bitkilerde hem generatif döneme geçiş sürecinde hem de olgunlaşma periyodunda günlük sıcaklık ve yağış durumu en önemli etkenlerdir. Çalışmamızda birinci yıldaki daha erken olgunlaşmanın sebebi Haziran ayının başında ortalama sıcaklık değerlerinin (yaklaşık 10 °C) hızlı bir şekilde yükselmiş olmasıdır. İkinci yılda da sıcaklık değerleri Mayıs ayına göre artış sağlamış olmakla birlikte birinci yıldaki artış daha sert bir şekilde gerçekleşmiştir (Şekil 3.4). Çevresel faktörlerin mercimekte olgunlaşma süresi üzerinde belirleyici olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir (Alıcı, 1997; Biçer ve Şakar, 2011; Koç, 2015). Mercimekle ilgili gerçekleştirilen benzer araştırmalar göz önünde bulundurulduğunda, mercimekte olgunlaşma süresini Erman (1992) Van koşullarında 86-92 gün, Biçer ve Şakar (2003) Diyarbakır koşullarında 135,0-144,3 gün, Canbolat (2014) Kahramanmaraş koşullarında 141-147 gün, Yıldırım (2022) Siirt ekolojisinde 176,5-182,0 gün, Yorgun (2022) Van ekolojik koşullarında 58,27-59,67 gün olarak tespit etmişlerdir. Araştırmamızdan elde edilen sonuçlar Yıldırım (2022) ile uyum gösterirken diğer sonuçlara göre yüksek bulunmuştur. Bu durumun sebebi ekim yapılan bölgeler arasındaki ekolojik farklılıklar, kullanılan çeşitlerden kaynaklı değişiklikler ve ekim zamanlarındaki düzensizliklerdir.

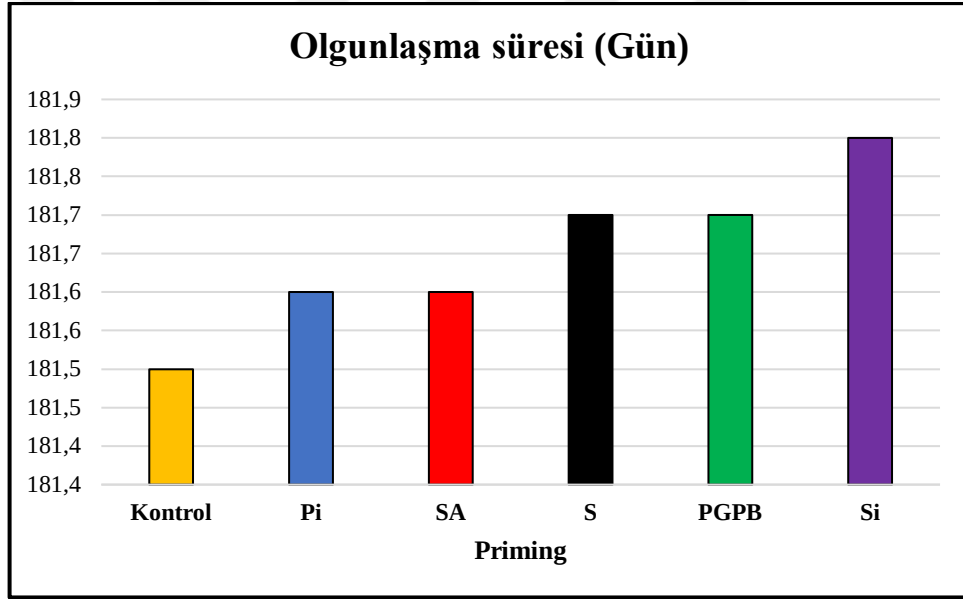
Priming uygulamaları göz önünde bulundurulduğunda Si-priming uygulamasının en uzun olgunlaşma süresine sebep olduğu, kontrol grubunun ise en erken hasat olgunluğuna ulaştığı görülmüştür (Tablo 4.8). Burada uygulamaya bağlı olarak bir gecikmenin yaşanması olumsuz bir durum gibi görünse de ortalama göz önünde bulundurulduğunda aradaki farkın bir günden daha az olduğu görülmektedir. Priming uygulamalarının

olgunlaşma süresi üzerinde gerçekleştirdiği bu küçük ancak istatistiki açıdan önemli olan farklılığın sebebi bitkinin ihtiyacı olan su ve besin elementi ihtiyacını mikro ölçekte de olsa daha iyi karşılaması ve buna bağlı olarak gelişimini bir süre daha devam ettirme eğiliminde olması ile açıklanabilir. Kant ve ark. (2004) priming uygulamalarının tarla koşullarında yetiştirilen buğdayda olgunlaşma süresini uzatarak bitki gelişimi için daha uzun bir süre sağlamaya yardımcı olduğunu ifade etmişlerdir. Ancak bazı araştırmacılar ise priming uygulamalarının bitki gelişimini teşvik etmenin yanında fenolojik gelişim süreçlerini kısalttığını bildirmişlerdir (Harris ve ark., 2001; Rehman ve ark., 2014). Priming uygulamalarının olgunlaşma süresini uzattığı veya kısalttığını belirten araştırmacılar dışında olgunlaşma süresi üzerinde herhangi bir önemli etki göstermediğini belirten araştırmacılar da olmuştur. Khalil ve ark. (2010) hidro- veya Pi-priming uygulamalarının buğdayda olgunlaşmaya kadar geçen gün süresi üzerinde bir etkisinin olmadığını rapor etmişlerdir. Benzer şekilde tarla denemelerinde mısır tohumlarına hidro-priming uygulayan araştırmacılar olgunlaşma süresi üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir (Murungu ve ark., 2004).

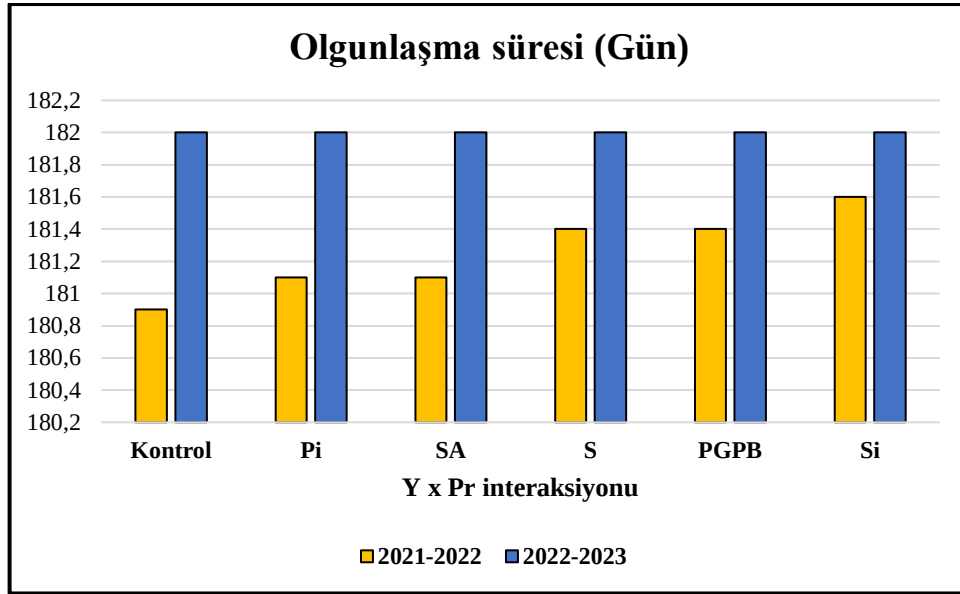
Araştırmamızdan elde edilen diğer bulgular ise Y x Pr interaksyonunun olgunlaşma süresi üzerinde önemli olduğu yönündeydi. Y x Pr interaksyonunun olgunlaşma süresi üzerinde önemli çıkmasının nedeni, ikinci yılda herhangi bir etki göstermeksizin tüm bitkilerin aynı gün hasat edilmesi, birinci yılda ise priming uygulamalarına bağlı olarak olgunlaşma süresinin gecikmesidir (Şekil 4.7). İkinci yılda hava sıcaklıklarının bir günde 7-8 °C artış göstermesi ve rüzgâr sebebiyle bitkilerin hızla su kaybetmesi hasat olgunluğuna yaklaşan tüm bitkilerin aynı gün sararmasına ve hasat tarihinin tüm parseller için aynı olmasına sebep olmuştur. Bu durum, belki de priming uygulamalarının mikro ölçekteki etkilerini engellemiş olabilir. Mahboob ve ark. (2015), iki yıllık tarla koşullarında gerçekleştirdiği araştırmada mısır bitkisi üzerine çeşitli priming teknikleri uygulamış ve elde ettiği sonuçlara göre priming uygulamalarının yetiştirme sezonuna göre olgunlaşma süresi üzerinde önemli etkilerinin olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmada hidro-priming uygulaması olgunlaşma süresini kısaltırken kalsiyum klorür ile priming (CaCl₂-priming) uygulamasının bu süreyi uzattığı belirtilmiştir.



Şekil 4.5. Olgunlaşma süresinin yıllara göre değişim grafiği



Şekil 4.6. Çıkış süresinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği



Şekil 4.7. Olgunlaşma süresine ait Y x Pr interaksiyon grafiği

4.5. Metrekarede Bitki Sayısı

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait metrekarede bitki sayısına ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.9’da, metrekarede bitki sayısına ait ortalama değerler ise Tablo 4.10’da verilmiştir. Metrekarede bitki sayısına ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar ve priming uygulamaları arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p<0.01$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Bunun dışında, Y x Pr interaksiyonunun metrekarede bitki sayısı bakımından önemli ($p<0.05$) farklılıkların oluşmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.9. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak metrekarede bitki sayısına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	107021,30	107021,30	172,482**
Blok	6	6181,07	1030,18	1,660
Fosfor (P)	3	3823,60	1274,53	2,054
Y x P	3	1696,64	565,55	0,911
Hata ₁	18	11168,64	620,48	
Priming (Pr)	5	31471,42	6294,28	10,583**
Y x Pr	5	8285,80	1657,16	2,786*
P x Pr	15	3703,43	246,90	0,415
Y x P x Pr	15	5984,14	398,94	0,671
Hata ₂	120	71371,04	594,76	
Genel	191			

**: $p<0.01$, *: $p<0.05$

İki yıllık tarla denemeleri neticesinde metrekarede bitki sayısı ortalamaları 2021-22 ve 2022-23 yetiştirme sezonlarında sırasıyla 173 ve 220 adet olarak belirlenmiştir. Priming uygulamaları bakımından incelendiğinde ise metrekaare başına düşen en yüksek bitki sayısı 216 adet ile SA uygulamasında, en düşük ise 179 adet ile ön uygulama yapılmayan kontrol grubunda tespit edilmiş olmakla birlikte Pi ve Si materyalleri ile priming uygulamasının kontrol grubu ile aynı istatistiki grup içerisinde yer aldığı belirlenmiştir. Y x Pr interaksiyonu açısından değerlendirildiğinde, metrekarede bitki sayısının 156-247 adet aralığında dağılım gösterdiği, en yüksek değerin ikinci yılda SA uygulamasından, en düşük değerin ise birinci yılda kontrol grubundan elde edildiği belirlenmiştir (Tablo 4.10).



Tablo 4.10. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulanan

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	139	157	157	170	205	206	199	199	156 f	202 cd	172	182	178	185	179 C
Pi	171	157	171	182	198	207	202	220	170 ef	207 cd	184	182	186	201	188 C
SA	186	174	196	186	237	243	251	256	186 de	247 a	211	209	224	221	216 A
S	176	175	170	193	244	243	243	244	178 d-f	243 ab	210	209	206	218	211 AB
PGPB	172	174	185	191	199	202	216	211	180 d-f	207 cd	185	188	200	201	194 BC
Si	145	183	162	186	221	221	225	200	169 ef	217 bc	183	202	194	193	193 C
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	164	170	174	185	217	220	223	222	173 B	220 A	191	195	198	203	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

Metrekarede bitki sayısının çalışma sezonlarına göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda birinci yıla göre ikinci yılda %27,2 oranında daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.8). Priming uygulamaları açısından ise metrekarede en fazla bitki sayısının SA-priming uygulamasında olduğu ve priming uygulanmayan bitkiler ile kıyaslandığında %20,8 oranında bitki sayısını artırdığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.9).

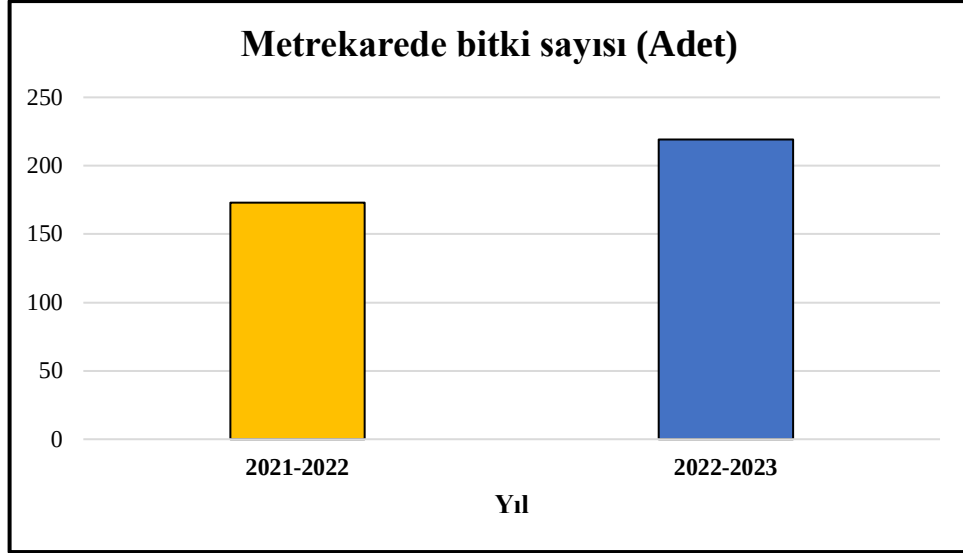
Tüm parsellere atılan tohum miktarının aynı olması ve çalışmada tek bir çeşit kullanılmış olması nedeniyle metrekarede bitki sayısındaki değişimlerin çevresel faktörlere ve uygulamalardaki farklılıklara göre şekillendiği açıkça anlaşılabilmektedir. Metrekarede bitki sayısı hasat tarihine yakın bir zamanda tespit edilmiş olmasına rağmen büyük ölçüde çimlenen ve sağlıklı bir şekilde çıkış yapabilen fide sayısı ile doğrudan ilişki içerisinde (Baird ve ark., 2010). Buradaki farklılığın sebebi ekimlerin gerçekleştirildiği her iki sezon içerisinde Kasım ayının ekolojik koşulları ile açıklanabilir. 2021-22 ve 2022-23 yılları içerisinde Kasım ayının ortalama sıcaklık değerlerinin neredeyse aynı olduğu (12,8 °C ve 11,8 °C), ancak aylık toplam yağış değerlerinin sırasıyla 25,4 mm ve 64,0 mm olduğu görülmektedir (Şekil 3.4 ve 3.5). Bu durumda, zaten yaz sezonundan çıkan ve tamamen kuru bir toprağa yetersiz miktarda yağışın düşmesi bir takım çimlenme zorluklarını meydana getirmiştir. Ekimi takip eden dönemlerde arazide yapılan gözlemler neticesinde alata durumuna her iki sezonda da rastlanmamıştır. Ancak, kaymak tabakadan kaynaklı sert toprak yüzeyinin çimlenen bazı tohumların çıkışlarını zorlaştırdığı veya engellediği gözlemlenmiştir. Nitekim, her iki deneme sezonunda da toprak organik maddesinin düşük, kil içeriğinin ise yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 3.1). Bilindiği üzere düşük organik madde ve yüksek kil içeriğine sahip topraklarda düşük nem durumunda derin çatlaklar meydana gelmekte, artan nem durumunda ise toprağın sıkı bir yapı kazanmasına karşın kaymak tabakası sorunları ortaya çıkmaktadır. Çimlenmeye yetecek kadar yağış gerçekleşmesine rağmen akabinde yağışların durması ve rüzgârın da etkisiyle sert bir toprak yüzeyinin bir miktar fidenin toprak yüzeyine çıkışını engellemesi olası bir durumdur. Toprak neminin yıllar arasında farklılık göstermesine ek olarak çimlenme gücü ve hızı açısından ortam sıcaklığının hayati bir öneme sahip olduğu belirtilmektedir (Ellis ve Barrett, 1994). Tohum çimlenmesinin gerçekleşerek toprak yüzeyine çıktığı ve gelişmeye başladığı erken dönemde en düşük hava sıcaklıkları incelendiğinde 2021-22 sezonunda Aralık ve Ocak aylarında en düşük değerlerin sırasıyla -3,5 °C ve -9 °C olduğu, ikinci yılda aynı dönem için ölçülen en düşük sıcaklık değerlerinin 0,7 °C ve -2,2 °C olarak ölçüldüğü görülmüştür. Bu durumda, birinci yılda metrekarede bitki sayısının daha düşük çıkması

üzerinde çimlenen fakat toprak yüzeyine çıkamayan fidelere ek olarak bir miktar kış zararının da ortaya çıktığı görülmüştür. Denemelerin birinci ve ikinci yılında ortalama çıkış tarihleri bakımından (Aralık ayının ilk haftası) aylık ortalama sıcaklık değerleri göz önünde bulundurulduğunda, birinci yılda sıcaklıkların 5 °C'nin altına düştüğü, bu durumun da hem çimlenme sürecindeki tohumları hem de çimlenmiş ancak gelişerek toprak yüzeyine çıkmaya çalışan fideleri olumsuz yönde etkilemiş olabileceği düşünülmektedir. Metrekarede bitki sayısındaki farklılığın sebebinin doğru yorumlanması için çıkışlardan sonra, çiçeklenme döneminde ve hasat sonrasında sayım yapılmış olup tüm gözlemlerde verilerin birbirini desteklediği sonucuna varılmıştır. Ekimde metrekareye 250 tohum olarak ekim normunun ayarlandığı göz önünde bulundurulursa birinci yılda %30,8 ve ikinci yılda %12 oranında kayıp söz konusu demektir. Bu durumda, her iki deneme yılında da metrekaredeki bitki kayıplarının yukarıda bahsedildiği üzere olumsuz çevresel faktörlerinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Nitekim araştırmanın birinci yılında çıkış sonrasında gerçekleştirilen gözlemlere kıyasla hasat öncesi metrekarede bitki sayısının yaklaşık %14-17 oranında azaldığı göze çarpmaktadır. Bu nedenle, toprak yüzeyine çıkış esnasında iklim kaynaklı karşılaşılan zorluklar ve erken gelişme dönemindeki düşük sıcaklıklar nedeniyle oluşan kış zararı, 2021-22 yetiştirme sezonunda metrekarede bitki sayısının daha düşük çıkmasına yol açmıştır. Metrekarede bitki sayısını Çokkızgın (2007) 2004-05 ve 2005-06 yıllarında Kahramanmaraş koşullarında 130-290 adet, Canbolat (2014) Kahramanmaraş koşullarında 133,6-286,9 adet, Koç (2015) Güneydoğu Anadolu Bölgesi koşullarında 242,9-257,2 adet, Hakkoymaz (2018) Konya koşullarında 153,3-176,8 adet, Ceritoğlu (2019) Siirt koşullarında 152,3-235,3 adet ve Yıldırım (2022) Siirt ekolojik koşullarında 236,3-285,5 adet aralığında belirlemiştir. Araştırmamızdan elde edilen metrekarede bitki sayısı değerleri (139-256 adet), Çokkızgın (2007), Canbolat (2014), Hakkoymaz (2018) ve Ceritoğlu (2019)'nun rapor ettiği bulgular ile uyum gösterirken Koç (2015) ve Yıldırım (2022)'in elde ettiği sonuçlara kıyasla düşük çıkmıştır. Buradaki farklılıkların sebebi Koç (2015)'un ekim yaptığı bölgelerin farklı coğrafik ve ekolojik özellikler barındırması ve Yıldırım (2022)'in farklı çeşitler kullanmış olmasıdır.

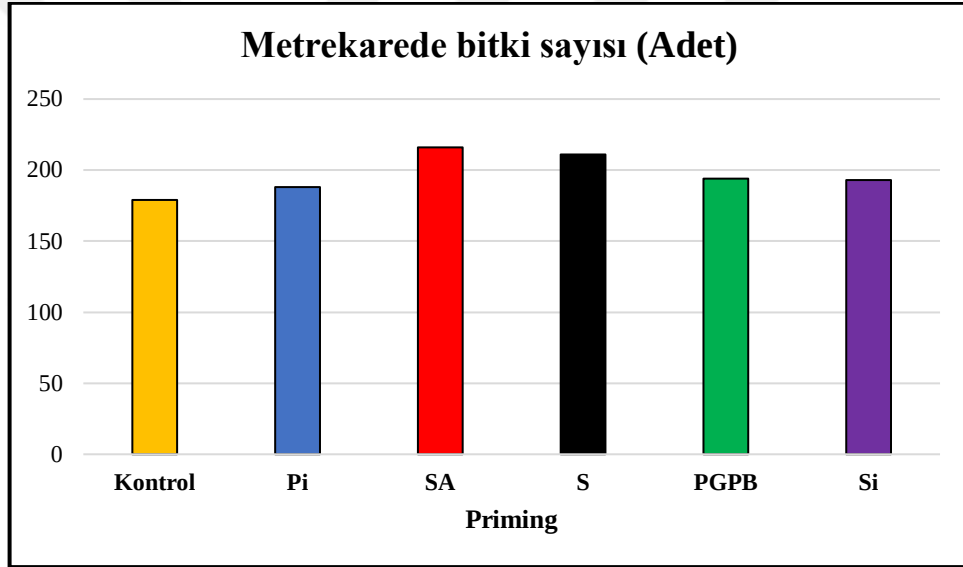
Metrekarede bitki sayısı açısından priming uygulamalarının etkisi incelendiğinde Pi- ve Si-priming uygulamalarının kontrol bitkileri ile aynı grupta yer aldığı ve en düşük değerleri ortaya koyduğu görülmektedir. En yüksek metrekarede bitki sayısının ise SA-priming uygulaması ile elde edildiği ve onu S-priming uygulamasının takip ettiği kaydedilmiştir. Priming uygulamalarının metrekarede bitki sayısı üzerine ortaya koyduğu

farklılıkların öncelikli nedeni çimlenme süreci ile ilişkili olmasıdır. Priming uygulanan tohumlarda tohum içerisine belirli bir oranda su alınarak çimlenme mekanizmasının aktive edilmesi ve kurutma işlemine bağlı olarak henüz kökçük çıkışı gerçekleşmeyen ancak çimlenme mekanizması uyarılmış tohumların elde edildiği bilinmektedir (Paparella ve ark., 2015). Bu nedenle, priming uygulaması gerçekleştirilen tohumların hem optimum koşullar altında hem de çeşitli stres faktörlerinin (tuzluluk, kuraklık, sıcaklık vs.) etkisi altında daha hızlı ve sağlıklı bir çimlenme süreci gerçekleştirdiği ve fide gelişimini olumlu yönde etkilediği çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur (Giri ve Schillinger, 2003; Nascimento, 2003; Johnson ve ark., 2005; Ghassemi-Golezani ve ark., 2008; Ibrahim, 2016; Azarnia ve ark., 2016, Erman ve ark., 2023). Toklu (2015), priming uygulamalarına bağlı olarak metrekarede bitki sayısının önemli ölçüde farklılık gösterdiğini, en yüksek metrekarede bitki sayısının Pi-priming uygulamasından en düşük ise hidro-priming uygulanan parsellerden elde edildiğini bildirmiştir. Pi-priming uygulamasının Toklu (2015)'nin sonuçlarına göre olumlu etki gösterdiği ancak bizim sonuçlarımıza göre kontrol grubu ile aynı harf grubunda yer aldığı görülmektedir. Pi-priming uygulamasının çimlenme üzerine olumlu etkileri olmuşsa da yeterli suyun bulunmadığı ve sıcaklıkların nispeten düşük olduğu araştırma koşullarında etkili olamadığı, belki ilerleyen gelişim döneminde bitki gelişimi açısından farklılıklar ortaya koyabileceği düşünülmektedir. Araştırmada en yüksek metrekarede bitki sayısının alınmasına yol açan SA-priming uygulamasının ise çeşitli stres faktörleri altında bitkilerde çimlenme ve fide gelişimi üzerine olumlu etkiler gösterdiği farklı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Afzal ve ark., 2006; Farooq ve ark., 2008; Azooz, 2009; Li ve ark., 2017; Hongna ve ark., 2021). Cutt ve Klessig, 1992). Söz konusu araştırmacılar salisilik asidin bitkiler tarafından sentezlenen ve bitkilerde çimlenme gibi bir dizi süreci etkileyen önemli bir hormon olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, salisilik asidin bitkilerde çeşitli stres faktörlerine karşı gösterilen bir sinyal molekülü olduğu belirtilmektedir (Senaratna ve ark., 2000).

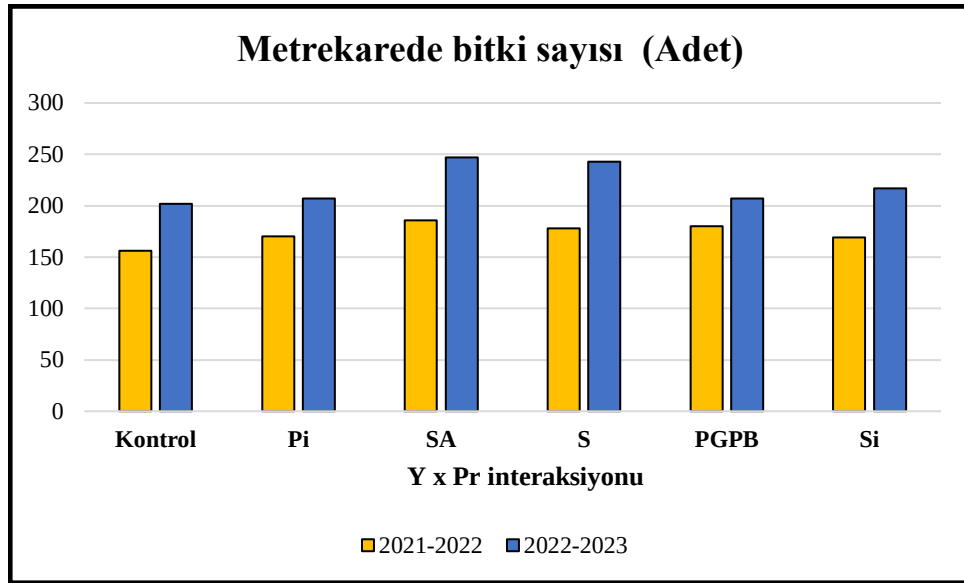
Y x Pr interaksiyonunun metrekarede bitki sayısı bakımından önemli çıkmasının sebebi yıllara göre priming uygulamalarının farklı performans göstermesidir. Şekil 4.10 incelendiğinde; tüm priming uygulamalarının ikinci yılda birinci yıla göre daha yüksek metrekarede bitki sayısına ulaştığı görülmekte, ancak yıllara göre artışlarda dalgalanmalar meydana gelmektedir.



Şekil 4.8. Metrekarede bitki sayısının yıllara göre değişim grafiği



Şekil 4.9. Metrekarede bitki sayısının priming uygulamalarına göre değişim grafiği



Şekil 4.10. Metrekarede bitki sayısına ait Y x Pr interaksiyon grafiği

4.6. Toplam Klorofil Oranı

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait toplam klorofil oranına ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.11’de, toplam klorofil oranına ait ortalama değerler ise Tablo 4.12’de verilmiştir. Toplam klorofil oranına ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar, fosfor dozları ve priming uygulamaları arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p < 0.01$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, P x Pr interaksiyonu bakımından da çok önemli ($p < 0.01$) farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.11. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak toplam klorofil oranına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	30,72	30,72	28,737**
Blok	6	43,53	7,25	6,786
Fosfor (P)	3	239,92	79,97	74,810**
Y x P	3	1,9038e ⁻²⁸	6,3459e ⁻²⁹	5,936e ⁻³⁰
Hata ₁	18	19,24	1,07	
Priming (Pr)	5	75,99	15,20	9,301**
Y x Pr	5	1,37e ⁻²⁸	2,74e ⁻²⁹	1,677e ⁻³⁰
P x Pr	15	64,63	4,31	2,637**
Y x P x Pr	15	7,1103e ⁻²⁸	4,7402e ⁻²⁹	2,901e ⁻²⁹
Hata ₂	120	196,08	1,634	
Genel	191			

** : $p < 0.01$, e- : 10^{-}

Toplam klorofil oranı bakımından yıllara ait ortalama değerler incelendiğinde, birinci yılda %39,4, ikinci yılda ise %38,6 olarak tespit edildiği görülmektedir. Priming uygulamalarının toplam klorofil oranı üzerine gerçekleştirilen gruplandırmada ise en yüksek değer %39,4 ile Pi ve PGPB uygulamalarında görülmekle birlikte bu uygulamaların %39,3, %39,0 ve %39,2 değerlerinin elde edilmesini sağlayan SA, S ve Si uygulamaları ile istatistiki olarak aynı grupta yer aldığı görülmektedir. En düşük toplam klorofil oranı %37,6 ile kontrol grubunda gözlemlenmiştir. Fosfor dozlarının toplam klorofil oranı üzerine etkisi ise artan dozlara paralel olarak klorofil içeriğinin de artış göstermesi şeklinde gerçekleşmiş olup %37,5-40,7 aralığında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. P x Pr interaksiyonunun toplam klorofil içeriği üzerine etkileri incelendiğinde en düşük toplam klorofil oranı (%36,4) fosforlu gübre ve priming uygulanmayan kontrol bitkilerinde, en yüksek klorofil içeriği (%42,0) ise 6 kg P₂O₅/da ve PGPB-priming uygulanan grupta tespit edilmiştir (Tablo 4.12).

Tablo 4.12. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının toplam klorofil oranına etkisi (%)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	36,8	37,5	38,3	39,5	36,0	36,7	37,5	38,7	37,2	37,2	36,4 h	37,1 gh	37,9 e-h	39,1 c-g	37,6 B
Pi	39,3	39,5	39,6	40,9	38,5	38,7	38,8	40,1	39,0	39,0	38,9 c-g	39,1 b-g	39,2 b-g	40,5 a-d	39,4 A
SA	37,7	38,9	40,9	41,3	36,9	38,1	40,1	40,5	38,9	38,9	37,3 f-h	38,5 d-h	40,5 a-d	40,9 a-c	39,3 A
S	38,2	39,3	40,1	40,1	37,4	38,5	39,3	39,3	38,6	38,6	37,8 e-h	38,9 c-g	39,7 a-f	39,7 a-e	39,0 A
PGPB	37,7	38,6	40,5	42,4	36,9	37,8	39,7	41,6	39,0	39,0	37,3 gh	38,2 d-h	40,1 a-e	42,0 a	39,4 A
Si	38,3	39,4	38,8	41,9	37,5	38,6	38,0	41,1	39,6	38,8	37,9 e-h	39,0 c-g	38,4 d-h	41,5 ab	39,2 A
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	38,0	38,9	39,7	41,0	37,2	38,1	38,9	40,2	39,4 A	38,6 B	37,5 C	38,6B	39,3 B	40,6 A	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

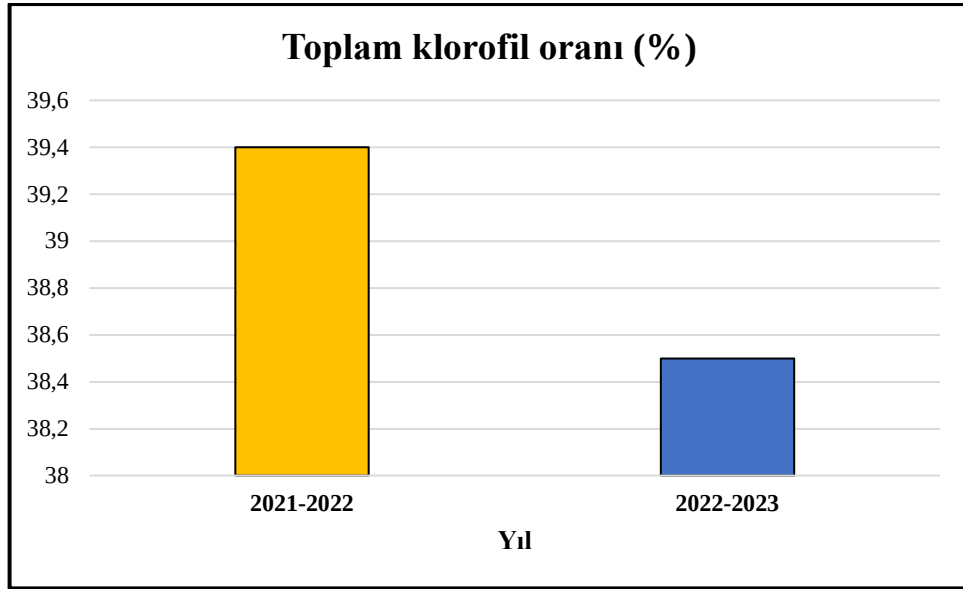
Toplam klorofil oranının çalışma sezonlarına göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda ikinci yıla göre birinci yılda %2,1 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.11). Priming uygulamaları açısından ise tüm priming uygulamalarının aynı istatistiki grup içerisinde yer aldığı ve kontrol grubuna kıyasla %4,8'e kadar klorofil oranında artışa yol açtığı belirlenmiştir (Şekil 4.12). Fosforlu gübre dozlarının toplam klorofil oranı üzerine etkisi değerlendirildiğinde ise artan fosfora bağlı olarak klorofil içeriğinin arttığı, 6 kg P₂O₅/da uygulanan bitkilerdeki klorofil içeriğinin kontrol grubuna kıyasla %8,3 artış sağladığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.13).

Yıllar bakımından yaprakta tespit edilen toplam klorofil oranları arasında oluşan farklılığın çevresel faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Her iki sezonda da yaprakta klorofil oranı SPAD metre aracılığıyla çiçeklenme başlangıcında (mart ayının sonu nisan ayının ilk haftası arasında) tespit edilmiştir. Bu döneme kadar aylık toplam yağış miktarının 1. ve 2. yıllarda sırasıyla 408 ve 220,8 mm olduğu görülmektedir (Şekil 3.5) Bu nedenle, çiçeklenme dönemine kadar su kaynaklarından daha etkin bir şekilde yararlanan bitkilerde klorofil içeriğinin daha yüksek olduğu tahmin edilmektedir. Yağışlar bitkilerin fotosentez yapmasını destekler çünkü fotosentez için su gereklidir. Fotosentez, bitkilerin güneş enerjisini kullanarak karbon dioksit ve suyu şeker ve oksijene dönüştürdüğü bir süreçtir (Kaçar, 2015). Klorofil, bu süreçte önemli bir bileşendir ve su, klorofil üretiminde temel bir bileşen olduğu için yağışlara bağlı olarak klorofil üretiminin değişim göstermesi beklenebilecek bir sonuçtur. Khaleghi ve ark. (2012), zeytin ağaçlarının yapraklarındaki toplam klorofil içeriğinin topraktaki su mevcudiyetine göre değişimini incelemiş ve azalan su mevcudiyetine göre klorofil içeriğini azaldığını tespit etmişlerdir. Nyachiro ve ark. (2001), farklı sulama seviyelerinde ve kontrollü şartlarda gerçekleştirdiği araştırmada su mevcudiyetinin buğdayda klorofil içeriği üzerine etkilerini incelemiş ve azalan su miktarına bağlı olarak buğday yaprağında hem klorofil-a içeriğinin hem de toplam klorofil içeriğinin azaldığını rapor etmişlerdir. Toplam klorofil miktarındaki azalma, Anjum ve ark. (2003) tarafından bildirildiği üzere nispeten daha düşük nem koşulları altında klorofil-a biyosentezinin inhibisyonundan kaynaklanmış olabilir. Mercimekte toplam klorofil içeriği SPAD metre yöntemi kullanılarak Kumar ve ark. (2012) tarafından %32,3-41,5, Jorge ve ark. (2019) tarafından %20-40, Erman ve ark. (2021) tarafından %28,4-38,2 ve Zafar-ul-Hye ve ark. (2021) tarafından %17,4-28,2 aralığında tespit edilmiştir. Yaprakta toplam klorofil içeriği bakımından çalışmamızdan elde edilen sonuçlar (%36,0-41,6) Kumar ve ark. (2012), Jorge ve ark. (2019) ve Erman

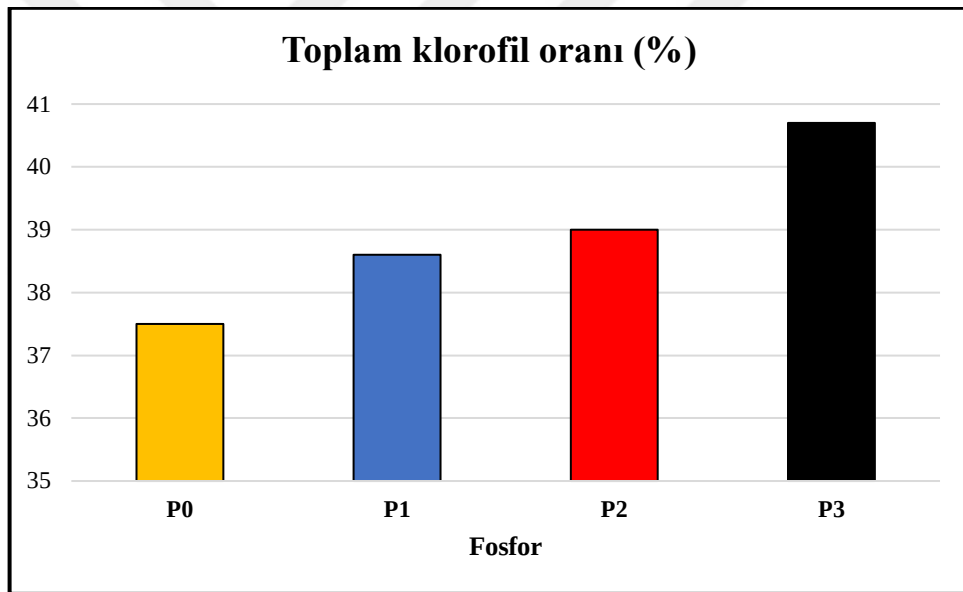
ve ark. (2021)'nın elde ettiği sonuçlar ile uyum gösterirken Zafar-ul-Hye ve ark. (2021)'nin bulgularına göre yüksek çıkmıştır.

Toplam klorofil içeriğinin artan fosforlu gübre miktarına bağılı olarak artış gösterdiği görölmektedir. Mairura ve ark. (2007), fosforlu gübre uygulamasının daha canlı bitkilerin oluşmasına ve daha yoğun yeşil bir renk elde edilmesine neden olduğunu, bu durumun da daha yüksek klorofil içeriğini ve daha büyük bir fotosentetik aktiviteye işaret ettiğini belirtmiştir. Fosforlu gübrelemeye bağılı olarak artan klorofil içeriğinin sebebi, bitki büyümesi sırasında şeker ve nişasta kullanımı, hücre bölünmesi ve düzenlenmesi, fotosentez verimliliği ve bitkide yeşil pigment oluşumu gibi süreçler açısından fosforun işlevsel fonksiyonları ile ilişkilendirilebilir (Mfilinge ve ark., 2014). Artan fosforlu gübre dozlarına bağılı olarak ayçiçeğinde (Plesniar ve ark., 1994), mısırdaki (Cai ve ark., 2012), soyada (Tairo ve Ndakidemi, 2013), fasulyede (Nyoki ve Ndakidemi, 2014), soğanda (Cetner ve ark., 2020) ve buğdayda (Moenirad ve ark., 2021) toplam klorofil içeriğinin arttığına işaret eden birçok araştırma yürütölmüştür.

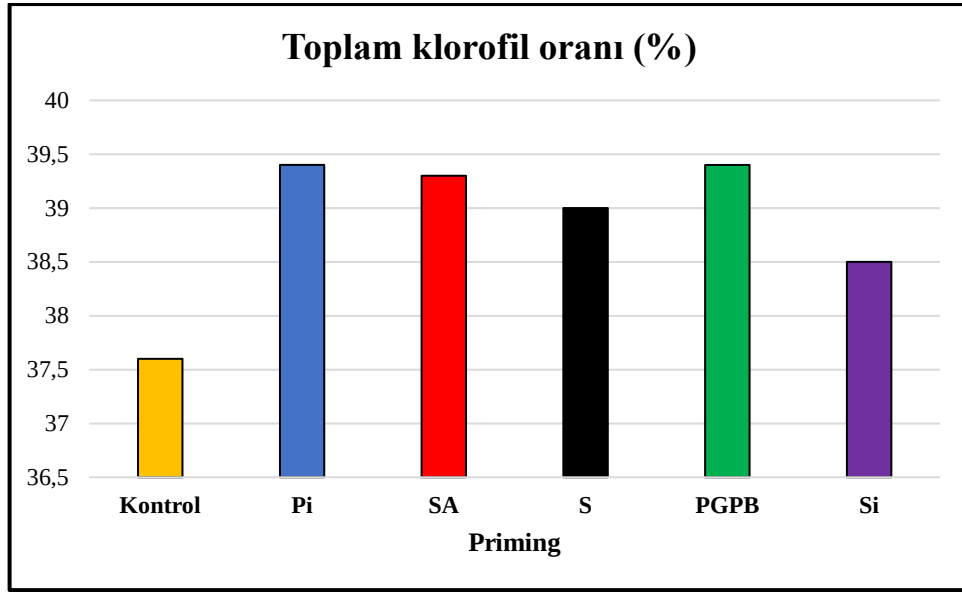
İstatistiksel olarak tüm priming uygulamalarının aynı grupta yer aldığı ve kontrol grubuna göre önemli düzeyde klorofil içeriğini etkilediğı görölmektedir. Anwar ve ark. (2020), giberellik asit ve potasyum nitrat ile priming uygulamalarının biberde toplam klorofil içeriğini ve fotosentetik aktiviteyi artırdığını tespit etmişlerdir. Jiajin ve ark. (2010), soyada PGPB-priming uygulamalarının klorofil içeriğini iyileştirdiğini rapor etmişlerdir. Moradi ve Mozafari (2020), PGPB-priming uygulamalarının mercimekte klorofil-a ve klorofil-b konsantrasyonlarını artırdığını rapor etmişlerdir. Kashyap ve Siddiqui (2021), Si-priming uygulamasının bezelye bitkisinde klorofil ve karotenoid içeriğinde artışa neden olduğunu gözlemlenmişlerdir. Biabani ve ark. (2015), SA-priming uygulamalarının mercimekte klorofil indeksini artırdığını belirtmişlerdir. Tamindzic ve ark. (2023), SA-priming uygulamasının bezelye tohumlarında klorofil içeriğini kontrol grubuna kıyasla artırdığını tespit etmişlerdir. Priming uygulamalarının klorofil içeriğinin artmasına sebep olması uygulanan priming materyaline de bağılı olmakla birlikte erken fide döneminde daha hızlı ve etkin bir kök sistemi oluşturması, su ve besin maddelerinden daha iyi yararlanması ve buna bağılı olarak yapraklarda klorofil üretiminin daha üst düzeyde gerçekleşmesi ile alakalı olduğu düşünölmektedir (Baziramakenga ve ark., 1994; Zhang ve ark., 2013).



Şekil 4.11. Toplam klorofil oranının yıllara göre değişim grafiği

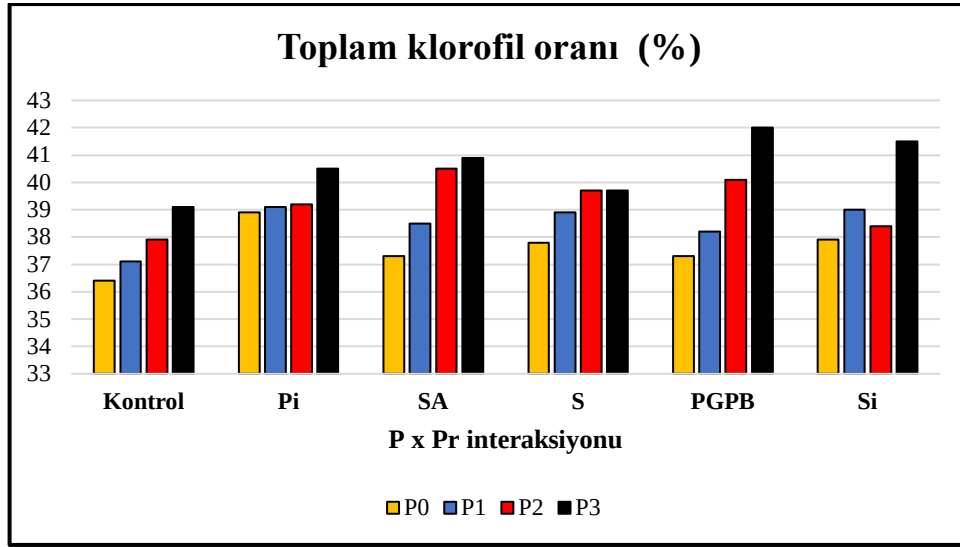


Şekil 4.12. Toplam klorofil oranının fosfor dozlarına göre değişim grafiği



Şekil 4.13. Toplam klorofil oranının priming uygulamalarına göre değişim grafiği

Uygulanan fosfor dozlarının priming uygulamaları ile interaksyonu açısından değerlendirildiğinde ise toplam klorofil oranının %36,4-42,0 aralığında değişim gösterdiği belirlenmiş olup en düşük toplam klorofil oranı fosforlu gübre ve priming uygulaması yapılmayan kontrol uygulamasından elde edilirken, en yüksek değer 6 kg/da P_2O_5 uygulaması ile birlikte PGPB ile inoküle edilen tohumlardan elde edilmiştir. Artan fosfor dozlarının bazı priming uygulamalarında toplam klorofil oranını artırırken diğer bazılarında (Si-priming uygulamasında 3 kg P_2O_5 /da) azaltması, P x Pr interaksyonunun önemli çıkmasına neden olmuştur. Ancak, bu istisna dışında yaprakta klorofil içeriğinin artan fosforlu gübre dozlarına ve priming uygulamalarına bağlı olarak düzenli bir artış gösterdiği açıkça görülmektedir (Şekil 4.14). Buradaki istisnai durumun tarla koşullarında kontrol edilemeyen pek çok dış faktörün etkileşiminden ortaya çıktığı öngörülmektedir. Çünkü, Si uygulamalarının kök gelişimini iyileştirdiği, besin maddesi alımını teşvik ettiği ve yaprakta klorofil içeriğini artırdığını ortaya koyan araştırmalar bulunmaktadır (Keller ve ark., 2015; Maghsoudi ve ark., 2016; Pati ve ark., 2016; Etesami ve ark., 2021).



Şekil 4.14. Toplam klorofil oranına ait P x Pr interaksiyon grafiği

4.7. Bitki Boyu

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-2022 ve 2022-2023 yılları ile yıllar ortalamasına ait bitki boyuna ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.13'te, bitki boyuna ait ortalama değerler ise Tablo 4.14'te verilmiştir. Bitki boyuna ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde; yıllar ve fosfor dozlarının bitki boyu üzerine etkisinin istatistiksel olarak çok önemli ($p < 0.01$) olduğu, priming uygulamalarının ve faktörlerin interaksiyonlarının etkisinin ise önemli olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 4.13. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak toplam bitki boyuna ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	5486,96	5486,96	593,072**
Blok	6	429,96	71,66	7,745
Fosfor (P)	3	190,86	63,62	6,876**
Y x P	3	30,04	10,01	1,082
Hata ₁	18	166,53	9,25	
Priming (Pr)	5	31,53	6,31	0,601
Y x Pr	5	56,87	11,37	1,084
P x Pr	15	108,29	7,22	0,688
Y x P x Pr	15	114,24	7,62	0,726
Hata ₂	120	1258,75	10,49	
Genel	191			

** : $p < 0.01$

Yıllara göre mercimekte bitki boyuna ilişkin veriler göz önünde bulundurulduğunda en uzun bitki boyu (39,5 cm) ikinci yılda, en kısa bitki boyu (28,8 cm) ise birinci yılda elde edilmiştir. Artan fosfor dozlarına bağlı olarak bitki boyunun da arttığı gözlemlenmiştir. Fosfor uygulanmayan bitkiler için bitki uzunluğu 32,9 cm olarak tespit edilirken 6 kg/da uygulanan grupta 35,6 cm olarak belirlenmiştir (Tablo 4.14). Bitki boyunun çalışma sezonlarına göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda birinci yıla göre ikinci yılda %37,2 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.15). Fosforlu gübre dozlarının bitki boyu üzerine etkisi değerlendirildiğinde ise artan fosfora bağlı olarak bitki boyunun arttığı, 6 kg P_2O_5 /da uygulanan bitkilerde kontrol grubuna kıyasla %8,2 artış sağladığı belirlenmiştir (Şekil 4.16).



Tablo 4.14. Farklı fosfor seviyeleri ve tohuma priming uygulamalarının bitki boyuna etkisi (cm)

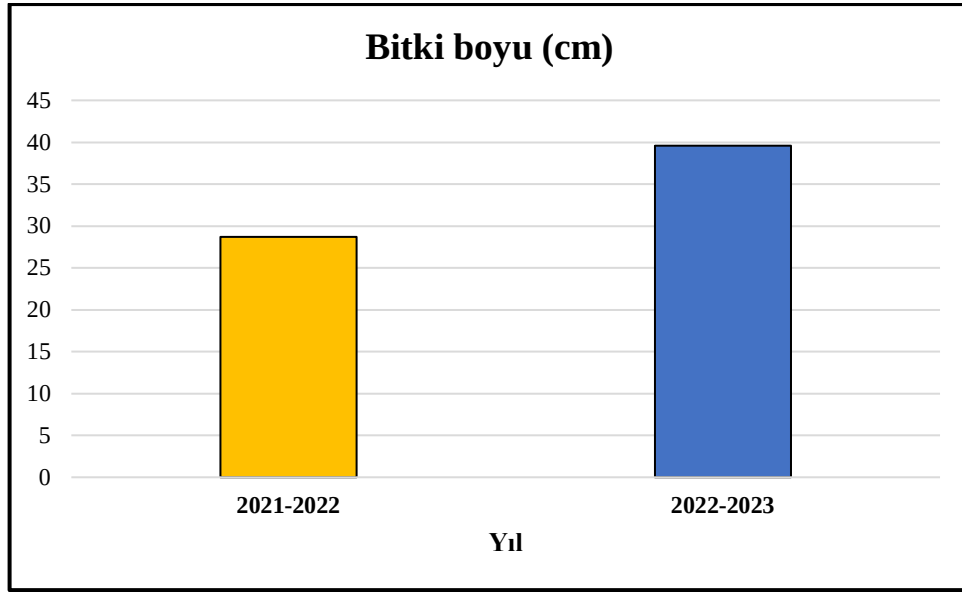
Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	29,4	28,8	28,7	28,0	38,4	39,0	37,6	38,9	28,7	38,4	33,9	33,9	33,1	33,4	33,6
Pi	27,8	29,5	30,7	31,2	37,6	40,9	37,3	40,1	29,8	39,0	32,7	35,2	34,0	35,6	34,4
SA	28,7	28,1	28,6	30,8	39,8	39,4	41,8	40,3	29,0	40,3	34,3	33,7	35,2	35,5	34,7
S	26,9	26,9	27,8	33,0	37,7	42,0	40,5	41,0	28,6	40,3	32,3	34,4	34,1	37,0	34,4
PGPB	28,2	29,4	29,5	30,3	37,1	39,5	37,8	43,4	39,3	39,5	32,7	34,4	33,6	36,8	34,4
Si	26,3	27,2	27,9	28,9	36,4	41,2	39,5	42,0	27,6	39,8	31,4	34,2	33,7	35,5	34,7
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	27,9	28,3	28,9	30,3	37,8	40,3	39,1	40,9	28,8 B	39,5 A	32,9 B	34,3 AB	33,9 AB	35,6 A	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

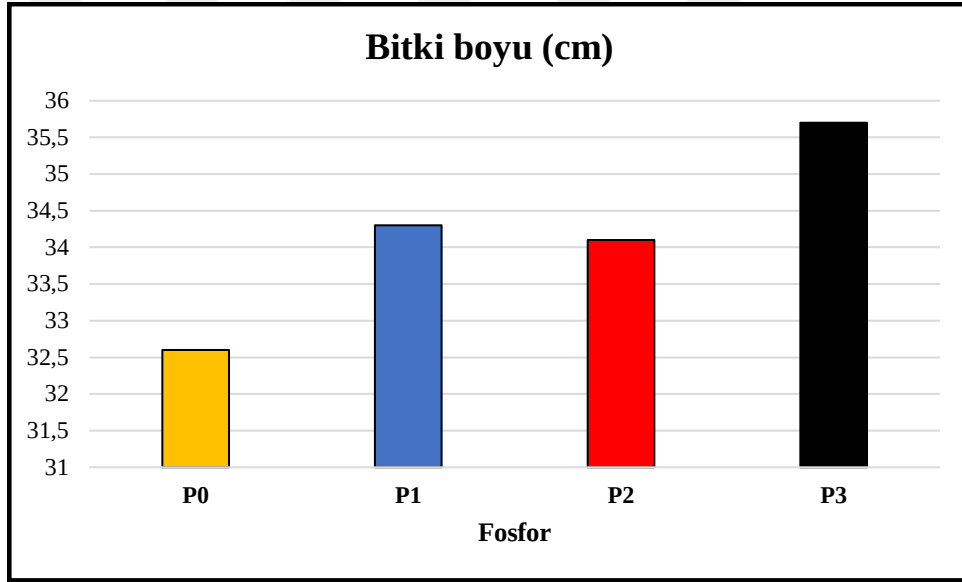
Tarla denemelerinin birinci yılında ekimlerin gerçekleştirilmesinden çıkışların sağlandığı zamana kadar geçen sürede toprağa düşen yağış miktarının kısıtlı ve çıkışları takip eden günlerde ortalama sıcaklıkların düşük olması nedeniyle erken dönemde mercimek fidelerinin strese maruz kaldığı, bu nedenle erken dönem fide gelişiminin zayıfladığı görülmüştür. Aylık ortalama yağış verileri incelendiğinde, ortalama sıcaklıkların düşük olduğu Mart ayında metrekareye düşen yağış miktarının birinci yılda çok fazla olduğu (ikinci yıla göre 3 katından daha fazla), bu sebeple zaten zayıf gelişim göstermiş ve henüz boylanmamış bitkilerin kök bölgesinde aşırı su birikmesinden dolayı köklerin havasız kaldığı, bu durumun ise gelişme geriliğine yol açtığı belirli aralıklarla yapılan arazi kontrollerinde gözlemlenmiştir. Akabinde, azalan yağışlar ve hızla artan hava sıcaklıklarının (Şekil 3.4) bitkileri ani bir şekilde generatif döneme geçişe zorlamasından dolayı bitkide vejetatif gelişimin kısıtlanmasına yol açmıştır. Ekolojik faktörlerin dışında, her iki sezonda metrekarede bitki sayısı verileri incelendiğinde birinci yılda 173 ve ikinci yılda 220 bitki olarak tespit edildiği görülmektedir (Şekil 4.10). Bu durumda iki yıl arasında yaklaşık %21 oranında bitki sıklığı farkının olduğu, bu durumda ışık rekabetinin de 2022-23 sezonunda bitki boyunun artması üzerinde etkisinin olduğu açıktır. Çokkızgın (2007), farklı mercimek genotiplerinin bitkisel özelliklerinin incelendiği iki yıllık tarla denemeleri neticesinde bitki boyu verileri arasında istatistiki açıdan önemli farklılıkların olduğunu, ikinci yılda artan yağışların bitki boyunun daha yüksek çıkmasına yol açtığını belirtmiştir. Ayrıca, çeşitli araştırmacılar da vejetatif dönemde gelen yağışların belirli bir seviyeye kadar artmasının bitki boyunda artışa sebep olduğunu rapor etmişlerdir (Erman, 1992; Alıcı, 1997; Çiftçi ve Ülker, 2001; Khan ve ark., 2020). Araştırma sezonları arasında bitki boyuna ait verilerin farklı olmasının diğer bir nedeni, 2022-23 sezonunun Mart ayında düzenli ve nispeten yeterli yağış düşmesine rağmen 2021-22 sezonunda yüksek ve düzensiz yağışlar bölgede hüküm sürmüş olmasıdır (Şekil 3.5). İslam ve ark. (2009) farklı mercimek çeşitlerine kontrollü şartlar altında 5 gün boyunca su baskını uygulayarak strese girmesine yol açmış ve bu durumun çeşitli bitkisel özellikler üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu araştırma kapsamında, 5 gün boyunca su baskınına maruz kalan bitkilerin strese uğramayan bitkilere kıyasla bitki boylarının %6-35 oranında azaldığını rapor etmişlerdir. Bharadwaj ve ark. (2023) belirli bir süre su baskını veya suya doymuş toprağa maruz kalan mercimek bitkilerinde karboksiltransferaz beta alt birimi (accD), aldolaz, petD-sitokrom (PetD) ve PBA (PsbA) gibi birtakım genlerin aktivasyona uğrayarak bitkide ozmotik stresin ortaya çıktığını ve böylece bitki gelişiminin inhibe edildiğini ifade etmişlerdir. Bitkinin gelişme periyodu

içerisinde belirli bir süre fazla yağışa maruz kalması veya su baskınlarının görülmesi durumunda mercimek bitkisinin zarar gördüğünü çeşitli araştırmacılar ortaya koymuştur (Solaiman ve ark., 2007; Malik ve ark., 2015; Wiraguna ve ark., 2017). Mercimekte çeşitli çalışmalar kapsamında bitki boyuna ait değerler Van ekolojik koşullarında 26,6-31,0 cm (Togay, 2002), Kahramanmaraş ekolojik koşullarında 31,3-44,0 cm (Çokkızgın, 2007), Ankara ekolojik koşullarında 30,8-31,4 cm (Keşli, 2009), Diyarbakır ekolojik koşullarında 31,2-32,8 cm (Karacıl, 2015), Konya ekolojik koşullarında 22,3-30,3 cm (Hakkoymaz, 2018), Kırşehir ekolojik koşullarında 28,3-35,8 cm (Kardeş, 2019), Isparta ekolojik koşullarında 27,5-32,8 cm (Küçükay ve ark., 2019) ve Siirt ekolojik koşullarında 32,9-41,9 cm (Yıldırım, 2022) aralığında rapor edilmiştir. Araştırmamızdan elde edilen bitki boyuna ilişki veriler (26,3-43,4 cm) daha önce yapılan araştırmacıların elde ettiği sonuçlar ile uyum göstermektedir.

Araştırma neticesinde fosforlu gübre dozlarının artışına bağlı olarak bitki boyunun arttığı gözlemlenmiştir. Fosfor bitkilerin kök gelişimini teşvik ederken, yetersiz fosfor kök gelişimini engelleyebilir. Etkili bir kök gelişimi sağlayan bitkiler topraktaki su ve besin maddelerinden daha iyi yararlanmanın yanında çeşitli stres faktörlerine karşı da daha dayanıklı olmaktadır. Fosfor aynı zamanda fotosentez sırasında bitkilerin güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürme süreçlerinde yer alan, ayrıca hücre bölünmesi ve büyüme süreçlerinde rol oynayan önemli bir elementtir (Kaçar, 2015). Kumar ve ark. (1993), mercimekte dekara 5 kg'a kadar fosforlu gübre uygulamasının bitki boyunu artırdığı, daha yüksek uygulamaların ise olumsuz etki yaptığını belirtmişlerdir. Togay ve Anlarsal (2008b), mercimekte fosforlu gübre uygulamalarının bitki boyunda artışa neden olduğunu ancak yıllara göre uygulanacak gübre miktarında farklılıkların oluşabileceğini ifade etmişlerdir. Çiftçi (1998), Van ekolojik koşullarında iki yıllık tekrarlamalı denemeler neticesinde artan fosforlu gübre dozlarının bitki boyunun artmasına katkı sağladığını ve bu artışın anlamlı olduğunu ifade etmiştir. Datta ve ark. (2013) farklı dozlarda fosforlu gübre uygulamalarının mercimekteki etkilerini incelemişler ve artan P seviyelerine bağlı olarak bitki boyunun arttığını rapor etmişlerdir. Mercimekte fosforlu gübrelemeye bağlı olarak bitki boyunda gerçekleşen değişimlere göre elde edilen sonuçlar araştırmamızdan elde edilen bulguları desteklemektedir.



Şekil 4.15. Bitki boyunun yıllara göre değişim grafiği



Şekil 4.16. Bitki boyunun fosfor dozlarına göre değişim grafiği

4.8. İlk Bakla Yüksekliği

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait ilk bakla yüksekliğine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.15'te, ilk bakla yüksekliğine ait ortalama değerler ise Tablo 4.16'da verilmiştir. İlk bakla yüksekliğine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, fosfor dozları arasında istatistiki açıdan önemli ($p < 0.05$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Ancak, yılların, priming uygulamalarının ve faktörlerin birbiri

ile olan interaksiyonlarının ilk bakla yüksekliği üzerinde herhangi bir önemli farklılığa yol açmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.15. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak ilk bakla yüksekliğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	55,69	55,69	4,054
Blok	6	101,32	16,89	1,229
Fosfor (P)	3	147,91	49,30	3,590*
Y x P	3	20,59	6,86	0,500
Hata ₁	18	247,22	13,73	
Priming (Pr)	5	31,16	6,23	1,620
Y x Pr	5	4,65	0,93	0,242
P x Pr	15	57,61	3,84	0,998
Y x P x Pr	15	60,00	4,00	1,040
Hata ₂	120	461,75	3,85	
Genel	191			

*: p<0.05

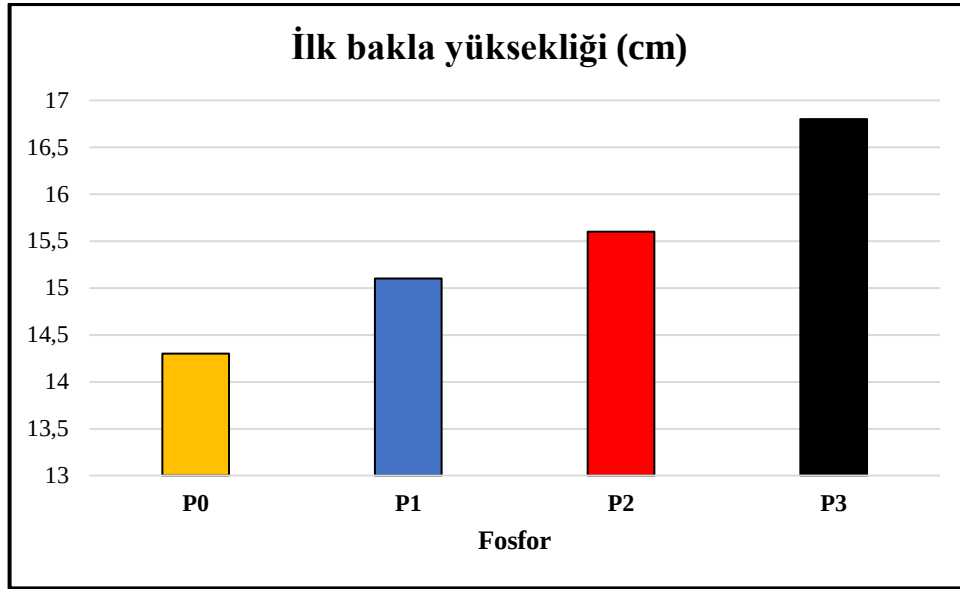
Tüm faktörlere bağlı olarak ilk bakla yüksekliğinin 14,1-18,5 cm aralığında değişim gösterdiği tespit edilmiş olmakla birlikte istatistiki açıdan aralarında anlamlı bir farklılık oluşmadığı görülmektedir (Tablo 4.16). Fosfor dozları göz önünde bulundurulduğunda ise en düşük ilk bakla yüksekliğinin (14,3 cm) fosforlu gübre uygulanmayan kontrol uygulamasından, en yüksek değer (16,8 cm) ise 6 kg P₂O₅/da uygulamasından elde edildiği belirlenmiştir (Şekil 4.17).

Tablo 4.16. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının ilk bakla yüksekliğine etkisi (cm)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	14,1	14,8	14,1	15,0	13,8	15,3	16,0	18,2	14,5	15,8	13,9	15,0	15,1	16,6	15,2
Pi	15,4	15,2	15,7	15,6	14,1	18,5	14,7	18,2	15,5	16,4	14,7	18,9	15,2	16,9	15,9
SA	14,7	13,9	15,7	16,3	15,5	14,8	18,4	16,3	15,1	16,2	15,1	14,4	17,0	16,3	15,7
S	14,1	14,8	14,0	14,9	14,0	15,2	16,5	18,5	14,4	16,0	14,0	15,0	15,3	16,7	15,2
PGPB	14,6	15,0	15,7	16,6	14,6	15,3	17,6	17,1	15,4	16,1	14,6	15,1	16,6	16,8	15,8
Si	12,8	14,0	14,0	16,8	13,8	14,5	15,6	16,8	14,4	15,2	13,3	14,2	14,8	16,8	14,8
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	14,2	14,6	14,8	15,9	14,3	15,6	16,5	17,5	14,9	16,0	14,3 B	15,1 AB	15,6 AB	16,8 A	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

Araştırmamızda uygulanan faktörler arasında yalnızca fosforlu gübre uygulamalarının ilk bakla yüksekliğini anlamlı bir şekilde değiştirdiği görülmektedir. İlk bakla yüksekliği genel olarak genetik karakterler tarafından kontrol edilmektedir (Biçer ve Şakar, 2011; Karadavut ve Kavurmacı, 2013; Çölkeşen ve ark., 2014). Bununla beraber çevre koşullarına bağlı olarak da değişim gösterebilmektedir (Togay ve Engin, 2000; Kolay ve ark., 2020; Tek, 2022). Doğan ve ark. (2014), mercimekte artan fosforlu gübre uygulamalarının etkilerini incelemiş ve fosfor artışına paralel olarak ilk bakla yüksekliğinin arttığını rapor etmişlerdir. Togay ve ark. (2008a), fosforlu gübre uygulamalarının nohut bitkisinde bazı bitki besin maddelerinin alımını artırarak bitki gelişimini teşvik ettiğini, böylece ilk bakla yüksekliğinin de artmasına yol açtığını ifade etmişlerdir. Yeşilbaş (2015), farklı gübre uygulamalarının mercimekte gelişim ve verim parametreleri üzerine etkilerini incelemiş, bu kaynaklar arasında bulunan fosforlu gübre (DAP) uygulamasının da kontrole göre ilk bakla yüksekliğini artırdığını rapor etmiştir. Fosforlu gübre uygulamalarına dayanan benzer araştırmalardan elde edilen bu sonuçlar yürüttüğümüz denemeler neticesinde elde edilen bulguları desteklemektedir. Mercimekte ilk bakla yüksekliğini inceleyen çeşitli araştırmacılar; Adana ekolojik koşullarında 21,7-41,6 cm (Toklu ve ark., 2009), Kahramanmaraş ekolojik koşullarında 9,1-26,9 cm (Çokkızgın ve ark., 2005; Zulkadir ve ark., 2015), Kırşehir ekolojik koşullarında 12,5-15,1 cm (Sözen ve Karadut, 2017), Şanlıurfa ekolojik koşullarında (Çokkızgın ve ark., 2005; Zulkadir ve ark., 2015), Kırşehir ekolojik koşullarında 12,5-15,1 cm (Sözen ve Karadut, 2017), Şanlıurfa ekolojik koşullarında 12,5-30,8 cm (Öktem ve ark., 2017), Ceylanpınar ekolojik koşullarında 10,0-24,0 cm (Koç ve Akdeniz, 2019), Isparta ekolojik koşullarında 9,2-20,2 cm (Küçükay ve ark., 2019), Diyarbakır ekolojik koşullarında 16,0-20,0 cm (Kolay ve ark., 2020) ve Siirt ekolojik koşullarında 17,8-28,6 cm (Yıldırım, 2022) aralığında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Farklı araştırmacıların elde ettiği bulgular incelendiğinde, mercimekte ilk bakla yüksekliğine dair elde ettiğimiz sonuçların yukarıda belirtilen bazı araştırmacıların bulguları ile uyum gösterdiği, diğer bazılarının sonuçları bakımından ise farklılıkların olduğu görülmektedir. Elde edilen farklı sonuçlar çoğunlukla genetik nedenlerden kaynaklanmış olmakla beraber, farklı ekolojik koşulların da bitkide ilk bakla yüksekliğini etkilediği görülmektedir.



Şekil 4.17. İlk bakla yüksekliğinin fosfor dozlarına göre değişim grafiği

4.9. Bitkide Dal Sayısı

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait bitkide dal sayısına ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.17’de, bitkide dal sayısına ait ortalama değerler ise Tablo 4.18’de verilmiştir. Bitkide dal sayısına ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar, fosfor dozları ve priming uygulamaları arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p < 0.01$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Ancak, faktörlerin birbiri ile olan etkileşimlerinin bitkide dal sayısı üzerinde herhangi bir önemli farklılığa yol açmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.17. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide dal sayısına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	114,546	114,546	274,343**
Blok	6	2,854	0,476	1,139
Fosfor (P)	3	14,508	4,836	11,582**
Y x P	3	0,385	0,128	0,307
Hata ₁	18	7,516	0,418	
Priming (Pr)	5	14,981	2,996	10,096**
Y x Pr	5	3,148	0,630	2,122
P x Pr	15	6,630	0,442	1,489
Y x P x Pr	15	7,426	0,495	1,668
Hata ₂	120	35,613	0,297	
Genel	191			

** $p < 0.01$

Yetiştirme sezonları göz önünde bulundurulduğunda, bitki başına dal sayısı birinci yılda 4,77 adet, ikinci yılda ise 6,31 adet olarak tespit edilmiştir. Priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide dal sayısı 5,04-5,83 adet aralığında değişim göstermiştir. Bu durumda, priming uygulamalarına bağlı olarak dal sayısının %15,7 oranında artış sağlayabileceği kaydedilmiştir. Bitkide dal sayısı ile ilgili en düşük değerler priming uygulaması yapılmayan kontrol uygulamasında elde edilmiştir. En yüksek değer SA-priming uygulamasından elde edilmiş olmakla birlikte PGPB-priming uygulaması ile aynı grupta yer almıştır. Fosfor dozlarına göre bitkide dal sayısı ise 5,15-5,93 adet arasında değişmiştir. En düşük değer gübresiz kontrol uygulanmasından elde edilmiş, artan dozlara bağlı olarak dal sayısının da artış gösterdiği kaydedilmiştir (Tablo 4.18).



Tablo 4.18. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide dal sayısına etkisi (adet)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	3,98	4,43	4,25	4,35	4,93	6,00	5,95	6,45	4,25	5,83	4,45	5,21	5,10	5,40	5,04 C
Pi	3,80	4,90	4,35	5,05	5,85	6,15	6,15	6,25	4,53	6,10	4,83	5,53	5,25	5,65	5,31 BC
SA	5,00	5,30	5,10	5,70	5,75	6,25	6,10	7,43	5,28	6,38	5,38	5,78	5,60	6,56	5,83 A
S	4,65	4,28	4,75	5,00	5,90	6,60	6,90	7,23	4,67	6,66	5,28	5,44	5,83	6,11	5,66 AB
PGPB	4,83	5,03	5,15	5,15	7,00	6,30	6,20	6,75	5,04	6,56	5,91	5,66	5,68	5,95	5,80 A
Si	4,23	4,90	4,80	5,40	5,90	6,15	6,88	6,38	4,83	6,33	5,06	5,53	5,84	5,89	5,79 AB
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	4,41	4,80	4,73	5,11	5,89	6,24	6,36	6,75	4,77 B	6,31 A	5,15 C	5,52 B	5,55 B	5,93 A	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

Bitkide dal sayısının yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda birinci yıla göre ikinci yılda %32,3 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.18). Fosforlu gübre dozlarının dal sayısı üzerine etkisi değerlendirildiğinde artan fosfora bağlı olarak bitki başına dal sayısının arttığı, 6 kg P₂O₅/da uygulanan bitkilerde kontrol uygulamasına kıyasla %15,2 artış sağladığı belirlenmiştir (Şekil 4.19). Priming uygulamalarına bağlı olarak değerlendirildiğinde ise en yüksek dal sayısının elde edildiği SA (5,83 adet) ve PGPB (5,80 adet) uygulamalarında kontrole göre sırasıyla %15,1 ve %15,7 oranında artış olduğu kaydedilmiştir (Şekil 4.20).

Bitkide dal sayısının yıllara bağlı olarak değişimi incelendiğinde ikinci sezonda daha fazla artış gösterdiği görülmektedir. Mercimekte dal sayısını etkileyen başlıca faktörler kullanılan tohumluk materyalin genetik özellikleri, ekolojik faktörler ve bitki sıklığı olarak sıralanabilir. Araştırma kapsamında tek çeşit kullanılması nedeniyle bitki sıklığı ve iklimik özellikler dal sayısını yıllara bağlı olarak etkileyen en önemli faktörler olarak öne çıkmaktadır. Öncelikle, yıllar arasında metrekarede bitki sayısı incelendiğinde birinci yıla nazaran ikinci yılda yaklaşık %27 oranında daha fazla bitkinin yer aldığı, ancak buna karşılık bitkide dal sayısının ikinci yılda yaklaşık %41 oranında artış gösterdiği görülmektedir. Oysa, Eser (1970) ve Aydın (1991) metrekarede bitki sayısının artması ışığa ulaşmak bakımından rekabet oluşturarak bitki boyunun artmasına ancak dal sayısının azalmasına yol açtığını bildirmişlerdir. Çalışmamızda ikinci yıl daha yüksek dal sayısı elde edilmesinin temel nedeni, metrekarede bitki sayısının her iki yılda da bitkilerin ışık rekabetine girmesini gerektirecek kadar yüksek olmamasıdır. Ezzat ve ark. (2004) metrekarede 500 bitkiye kadar ortaya çıkan bitki sıklığının mercimekte çeşitli gelişim özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yürüttükleri araştırmada metrekarede bitki sayısının 200 adetten 300 adede çıkması durumunda bitkide dal sayısının %6,5 oranında azalış gösterdiğini rapor etmişlerdir. Zaten metrekarede 200 bitkinin altında bir sıklık bitkilerin hayli geniş bir alan bulduklarına işaret eder. Bu bilgiler ışığında birinci yılda metrekarede 173, ikinci yılda da 220 adet bitki bulunmasının bitkide dal sayısının azalmasına yol açacak kadar etkili olmadığını göstermektedir. Bu nedenle, yıllar arasında bitkide dal sayısının değerlendirilmesinde ekolojik etkilerin incelenmesi daha yerinde ve tutarlı sonuçlar ortaya koymaktadır.

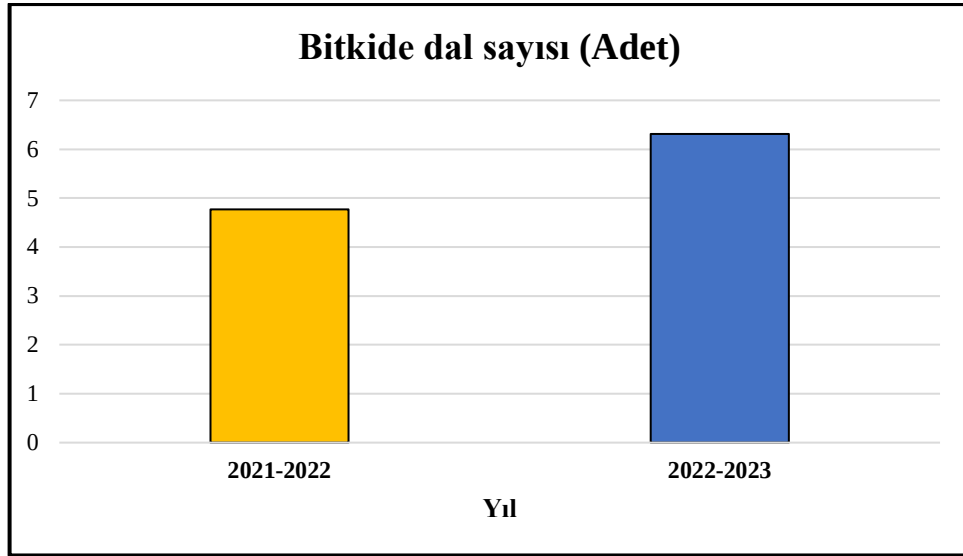
Bitkilerde vejetatif gelişmenin ekolojik koşullardan (özellikle yağış ve sıcaklık) önemli ölçüde etkilendiği bilinmektedir. Şekil Şekil 3.4 ve 3.5 incelendiğinde, ortalama sıcaklıkların yükselmesi nedeniyle erken fide döneminin geride bırakılarak vejetatif gelişimin ivme kazandığı Nisan ve Mayıs ayları boyunca 2021-22 sezonunda toplam 65,2

mm, 2022-23 sezonunda ise toplam 125,4 mm yağış düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durumun bitkilerde vejetatif gelişimi tetiklediği ve bitkide dal sayısının artmasını teşvik ettiği açıktır. Biçer ve Şakar (2011), yürüttükleri 2 yıllık tarla denemeleri neticesinde yetiştirme sezonlarının bitkide dal sayısını önemli ölçüde etkilediğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Zulkadir ve ark. (2015), farklı sezonlarda yetiştirilen mercimek çeşitlerinin bitkide dal sayısı değerlerinde farklılıkların olduğunu rapor etmişlerdir. Farklı lokasyonlarda gerçekleştirilen araştırmalar neticesinde mercimekte dal sayısının İzmir ekolojik koşullarında 7,4-12,4 adet (Çadırcı, 1986), Kahramanmaraş ekolojik koşullarında 1-5 adet (Çokkızgın, 2007), Diyarbakır koşullarında 2,1-3,3 adet (Biçer ve Şakar, 2011), Gaziantep ekolojik koşullarında 3,5-3,9 adet (Temel ve ark., 2012), Güneydoğu Anadolu bölgesinin farklı lokasyonlarında 2,03-2,39 adet (Koç, 2015), Van ekolojik koşullarında 1,76-2,30 adet (Kaplan, 2015), Konya ekolojik koşullarında 3,93-5,23 adet (Hakkoymaz, 2018) ve Van ekolojik koşullarında 2,6-6,0 adet (Erman ve ark., 2022b) aralığında değişim gösterdiği kaydedilmiştir. Araştırmamızda bitkide dal sayısı bakımından elde edilen bulgular (3,80-7,43 adet), daha önce yürütülen araştırmalardaki sonuçlara kıyasla nispeten daha yüksek bulunmuştur. Bu durumun başlıca nedenleri, farklı çeşitlerin kullanılması ve daha da önemlisi araştırmaların yürütüldüğü bölgeler arasındaki ekolojik değişikliklerdir.

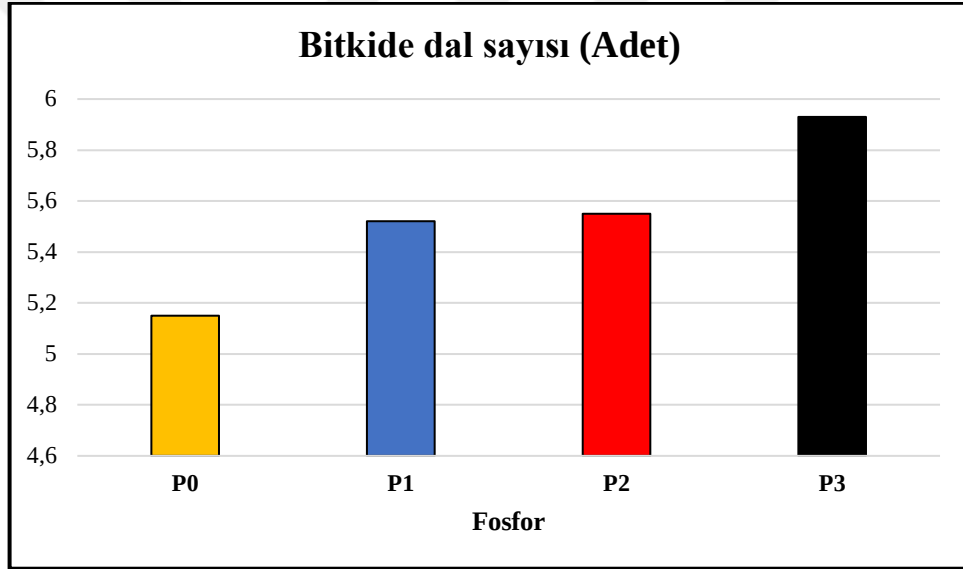
Araştırmamızda artan fosforlu gübre dozlarına bağlı olarak bitkide dal sayısının artış gösterdiği tespit edilmiştir. Fosfor, kök ve gövde gelişimi, çiçek ve tohum oluşumu, azot fiksasyonu, ürün kalitesi ve hastalıklarına karşı direncin artırılmasında fizyolojik işlevleri geliştirmesi nedeniyle baklagil bitkileri için önemli bir elementtir. Fosfor, nodülasyon, azot fiksasyonu ve besin alımını teşvik etme gibi biyolojik aktiviteleri uyarıcı bir rol oynar ve baklagil ürünlerin daha yüksek verime ulaşmasına yol açar (Singh ve ark., 2005; Singh ve Singh, 2016; Nare ve ark., 2022). Çiftçi (1998), fosforlu gübre uygulamalarının mercimekte yan dal oluşumunu teşvik ettiğini ifade etmiştir. Sonet ve ark. (2020), artan fosforlu gübre uygulamalarının mercimekte dal sayısı üzerine etkilerini incelemiş, 4 kg P_2O_5 /da seviyesine kadar dal sayısının artış gösterdiği, daha yüksek dozlarda ise düşüşe geçtiğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Hussain ve ark. (2002), 5 kg P_2O_5 /da uygulamasına kadar mercimekte dal sayısının artış gösterdiğini ancak 7,5 kg/da seviyesinde düşüşe geçtiğini rapor etmişlerdir. Rasheed ve ark. (2010) 4, 6 ve 8 kg P_2O_5 /da uygulamasının mercimekte dal sayısını periyodik olarak artırdığını, bu artışın ise fosforun hücre bölünmesi ve dengeli beslenme süreçleri üzerinde kümülatif etkisinin olabileceğini rapor etmişlerdir. Araştırmamızda fosforlu gübre uygulamalarının bitkide

dal sayısı üzerine etkilerini gösteren sonuçlar daha önce elde edilen bulgular ile benzerlik göstermektedir.

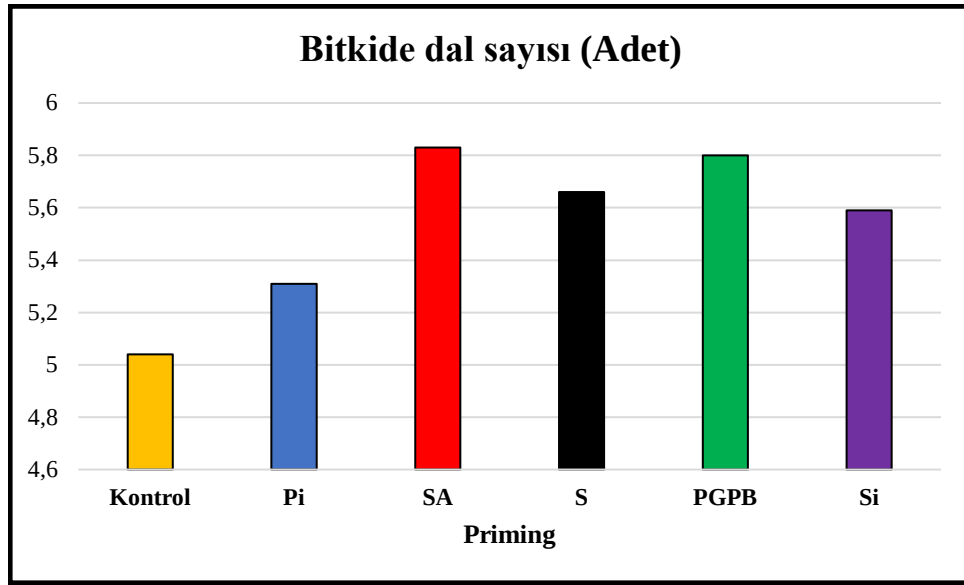
Priming uygulamalarının kontrole göre dal sayısını artırmış, SA ve PGPB-priming uygulamaları en yüksek dal sayısına imkân sağlamıştır. Podile ve Kishore (2006), PGPB'lerin kök tüylerinin artırılması, tohumların çimlenmesinin iyileştirilmesi, nodül performansının artırılması ve hızlandırılması, bitki başına yaprak alanının artırılması, belirli fitohormonların salınımı, bitkiler tarafından besin maddeleri ve suyun daha fazla alınması, bitkilerin daha fazla canlılıkla daha fazla biyokütle oluşturmaları ve bitki türlerinin büyümesini artırarak bitki büyümesini teşvik etme gibi birçok mekanizmasının bulunduğu işaret etmiştir. Öte yandan, Glick (2003), bakteri destekli bitki büyümesini üç farklı şekilde sınıflandırmaktadır. Bu sınıflandırmalar; bitkisel hormon üretimi gerçekleştiren bakteriler (Dobbelaere ve ark., 2003), bitkilerin besin maddelerini daha iyi almasına yardımcı olan bakteriler (Çakmakçı ve ark., 2006) ve bitkilerde biyolojik kontrol yoluyla hastalıkların önlenmesine yardımcı olan bakterilerdir (Saravanakumar ve ark., 2008). Bu nedenle, PGPB-priming uygulamasının bitki büyümesini destekleyen çeşitli mekanizmalar sayesinde bitkide dal sayısının artmasına katkı sağladığı düşünülmektedir. Son araştırmalar salisilik asidin fotosentezin önemli bir düzenleyicisi olduğunu göstermektedir. Araştırma sonuçlarına göre SA yaprak ve kloroplast yapısını (Uzunova ve Popova, 2000), stomaların kapanmasını (Mateo ve ark., 2004; Melotto ve ark., 2006), klorofil ve karotenoid içeriğini (Chandra ve Bhatt, 1998; Fariduddin ve ark., 2003), ve RuBisCO (ribuloz-1,5-bisfosfat karboksilaz/oxygenaz) gibi enzimlerin aktivitesini (Pancheva ve Popova, 1998; Slaymaker ve ark., 2002) etkilemektedir. Toklu (2015), KNO₃, potasyum klorür (KCL), Pi, çinko sülfat (ZnSO₄), polietilen glikol (PEG)-6000, indol bütirik asit (IBA), mannitol, giberellik asit (GA₃) ve saf su ile priming uygulamalarının mercimekte agronomik gelişim parametreleri üzerine etkilerini incelemiş, Pi-priming uygulamasının en yüksek dal sayısı oluşumuna yol açtığını ifade etmiştir. Darabi ve ark. (2016), PGPB-priming uygulamalarının kontrol grubundaki bitkilere göre daha yüksek dal sayısı ürettiğini belirlemişlerdir. Pakbaz ve ark. (2015), KNO₃-priming uygulamasının mercimekte dal oluşumunu teşvik ettiğini gözlemlemişlerdir. Lhungdim ve ark. (2014), Pi-priming uygulamasının mercimekte dal sayısını kontrole göre %88 oranında artırdığını bildirmişlerdir. Araştırmamızdan elde edilen sonuçlar daha önce yürütülen çalışmalardan elde edilen bulgularla benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.18. Bitkide dal sayısının yıllara göre değişim grafiği



Şekil 4.19. Bitkide dal sayısının fosfor dozlarına göre değişim grafiği



Şekil 4.20. Bitkide dal sayısının priming uygulamalarına göre değişim grafiği

4.10. Bitkide Bakla Sayısı

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait bitkide bakla sayısına ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.19’da, bitkide bakla sayısına ait ortalama değerler ise Tablo 4.20’de verilmiştir. Bitkide bakla sayısına ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar ve priming uygulamalarının etkilerinin istatistiki açıdan çok önemli ($p < 0.01$) olduğu, fosfor dozlarının etkisinin ise önemli ($p < 0.05$) olduğu tespit edilmiştir. Ancak, faktörlerin birbiri ile olan interaksiyonlarının bitkide bakla sayısı üzerinde herhangi bir önemli farklılığa yol açmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.19. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide bakla sayısına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	42450,28	42450,28	58,855**
Blok	6	6628,05	1104,68	1,532
Fosfor (P)	3	9674,73	3224,91	4,471*
Y x P	3	907,25	302,42	0,419
Hata ₁	18	12982,82	721,27	
Priming (Pr)	5	6522,76	1304,55	5,350**
Y x Pr	5	2545,87	509,17	2,088
P x Pr	15	2294,80	152,99	0,627
Y x P x Pr	15	1538,78	102,59	0,421
Hata ₂	120	29258,68	243,82	
Genel	191			

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

Bitkide bakla sayısı bakımından yıllar arasındaki değişim incelendiğinde, denemelerin birinci ve ikinci yılında sırasıyla 51,9 adet ve 81,7 adet olarak tespit edilmiştir. Fosfor dozları bakımından değerlendirildiğinde en düşük bitkide bakla sayısı (57,1 adet) fosforlu gübreleme yapılmayan kontrol uygulamasında, en yüksek (76,5 adet) ise 6 kg P₂O₅/da uygulamasından elde edilmiştir. Priming uygulamalarına bağlı olarak ise en düşük ortalama (55,1 adet) kontrol uygulamasından, en yüksek ortalama (72,2 adet) ise SA-priming uygulamasında elde edilmiştir. Ancak, S, PGPB ve Si-priming uygulanan bitkiler istatistiki açıdan SA ile aynı grupta yer almıştır (Tablo 4.20).



Tablo 4.20. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide bakla sayısına etkisi (adet)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)	
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3		
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3								
Kontrol	36,8	43,8	48,7	49,8	56,8	57,3	72,5	75,2	44,8	65,4	46,8	50,5	60,6	62,5	55,1 B	
Pi	42,3	55,1	56,1	63,2	66,7	71,7	74,7	81,1	54,1	73,5	54,5	63,4	65,4	72,1	63,8 AB	
SA	46,4	53,6	58,1	57,8	76,7	91,5	94,6	98,7	54,0	90,3	61,5	72,5	74,3	78,2	72,2 A	
S	45,3	45,8	52,3	57,3	69,8	82,3	91,3	110,6	50,1	88,5	57,5	64,0	71,8	83,9	69,3 A	
PGPB	50,1	51,3	54,5	64,8	79,4	75,8	77,8	109,9	55,2	85,7	64,7	63,5	66,1	87,4	70,4 A	
Si	48,3	49,8	59,5	56,2	66,7	92,6	93,7	93,1	53,4	86,5	57,5	71,2	76,6	74,6	70,0 A	
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları					
Ortalama	44,8	49,9	54,9	58,2	69,3	78,5	84,1	94,7	51,9 B	81,7 A	57,1 B	64,2 AB	69,5 AB	76,5 A		

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

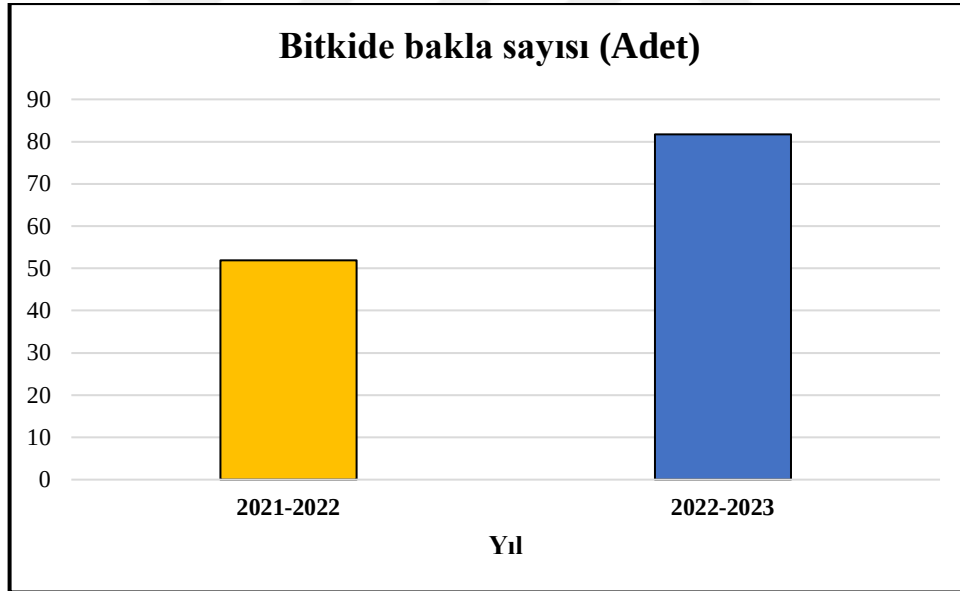
Bitkide bakla sayısının yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda birinci yıla göre ikinci yılda %57,1 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.21). Araştırma sonuçları 6 kg P₂O₅/da uygulamasının fosforlu gübreleme yapılmayan kontrol uygulamasına göre bitkide bakla sayısında %34 oranında artış sağlandığını göstermektedir (Şekil 4.22). Priming uygulamalarında ise Pi, SA, S, PGPB ve Si materyallerinin kontrol uygulamasına göre bitkide bakla sayısını sırasıyla %15,8, %31,0, %25,8, %27,8 ve %27,0 oranında artırdığı sonucuna varılmıştır (Şekil 4.23).

Bitkide bakla sayısı bakımından yıllar arasındaki farklılıklar incelendiğinde ikinci yıldaki önemli farklılık göze çarpmaktadır. Bitkide oluşturulan dolu bakla sayısı çevresel koşullara (ortamdaki su miktarı, nem, sıcaklık, rüzgâr, topraktaki besin maddesi, hastalık ve zararlı durumu vs.) ve tohumun genetik özelliklerine bağlı olarak değişim gösterir (Tambal ve ark., 2000; Shrestha ve ark., 2005; Sarwar ve ark., 2010). Bunun dışında, bitkinin gelişimine bağlı olan birtakım özelliklerin de birbiri üzerinde etkili olduğu, pozitif veya negatif bir ilişkiye sahip oldukları gerçekleştirilen korelasyon analizleri neticesinde ortaya konulmuştur. Çiftçi ve ark. (1998), Van ekolojik koşullarında gerçekleştirdikleri 3 yıllık tarla çalışması neticesinde elde edilen gözlemlere dayanarak bitkide bakla sayısının bitki boyu ve dal sayısı ile pozitif ve güçlü bir ilişki içerisinde olduğunu ortaya koymuşlardır. Crippa ve ark. (2009), Arjantin'de yer alan Rosario Üniversitesinde 30 farklı mercimek genotipi ile yürüttükleri araştırmadan elde edilen agronomik parametreleri korelasyon ve Path analizine tabi tutmuşlar, sonucunda ise bitki boyu ve dal oluşumunun bitkide bakla oluşumunu teşvik ettiğini bildirmişlerdir. Sharma ve ark. (2014), Hindistan'ın Faysalabad bölgesinde 80 mercimek genotipinin kullanıldığı araştırma neticesinde diğer araştırmacıları destekleyecek şekilde bitkide bakla sayısının bitki boyu ve dal sayısı ile güçlü ve pozitif bir korelasyona sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Bu nedenle, bitkide bakla sayısının ikinci yılda birinci yıla kıyasla daha yüksek çıkması bitki boyu ve bitkide dal sayısı gibi karakterlere bağlı olarak doğrudan değişim göstermiştir. Özellikle bitkide dal sayısının ikinci yılda yaklaşık %41 oranında daha yüksek olması bitki üzerinde oluşturulan bakla sayısının ve dolayısıyla dolu bakla oranının artmasına yol açmıştır. Buna ek olarak, meteorolojik veriler incelendiğinde, Mayıs ayı içerisinde (bakla bağlama dönemi) denemelerin birinci yılında yoğun bir yağış rejimi göze çarpmaktadır. Ayrıca, 2021-22 sezonunda hasada yakın bir tarihte bölgede meydana gelen şiddetli dolu yağışı, bir miktar bakla kaybının ortaya çıkmasına neden olmuştur.

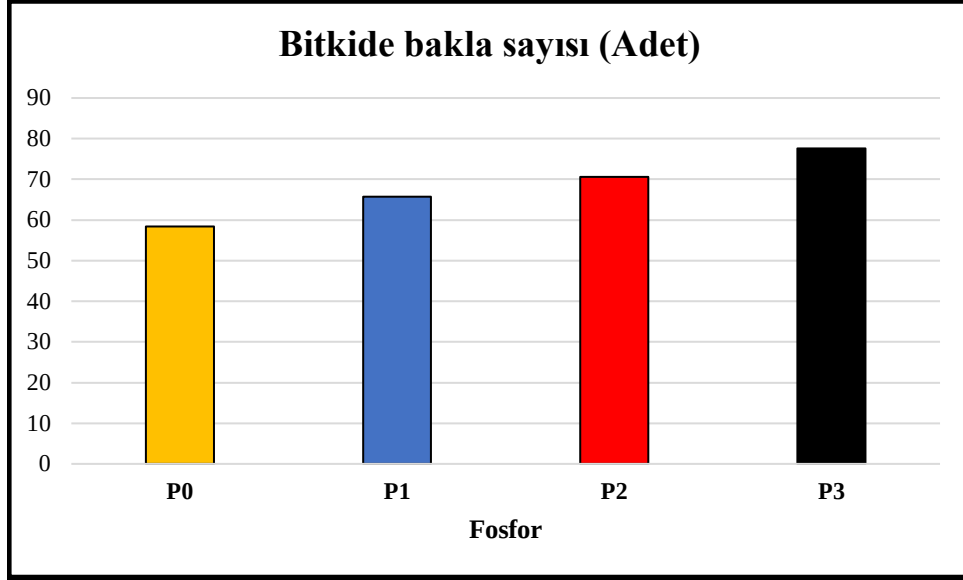
Fosforlu gübre dozlarının iki yıllık ortalamaları göz önünde bulundurulduğunda 1,5 ve 3 kg P₂O₅/da seviyelerinin kontrole göre kısmen benzer oranda artış sağlayarak aynı istatistiksel grup içerisinde yer aldığı, 6 kg P₂O₅/da uygulamasının ise en yüksek bitkide bakla sayısının oluşmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Fosfor, toprak ve rizosfer ortamında nodülasyon, azot bağlama ve besin alımı gibi biyolojik faaliyetleri uyarma konusunda önemli bir rol oynar ve baklagillerin daha yüksek verim elde etmesine neden olur (Kayoumu ve ark., 2023). Fosfor uygulaması, fizyolojik parametreler üzerindeki kuraklığın negatif etkilerini iyileştirir ve su stresi koşullarında verimi artırma yeteneğine sahiptir (Singh ve Singh, 2016). Singh ve ark. (2005) artan fosfor seviyelerine bağlı olarak bitkide bakla sayısı ve üretkenliğin artmasının daha etkin bir kök gelişiminin sonucu olabileceğini ileri srmştir. Togay ve ark. (2008b), 6 kg P₂O₅/da uygulamasının mercimek bitkisinde bakla sayısını artırdığını, bu durumun fotosentez sonucu ortaya çıkan asimilantların miktarındaki farklılaşmadan kaynaklanmış olabileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca, fosforlu gübrelemenin bitkiyi çiçeklenmeye ve meyve oluşumuna teşvik ettiği, bu durumun da daha fazla bakla üretimine yol açmasının beklenen bir sonuç olduğu ifade edilmiştir (Maqsood ve ark., 2000). Barua ve ark. (2011), artırılan fosforlu gübre uygulamasının belirli bir seviyeye kadar bitkide bakla sayısını artırdığını, daha fazla fosforlu gübrenin bitkide vejetatif gelişimin artmasına katkı sağlamasına rağmen verim üzerinde bir etki göstermediğini rapor etmişlerdir. Datta ve ark. (2013), farklı genotipler üzerinde artan fosforlu gübre seviyelerini (1, 4 ve 5 kg P₂O₅/da) inceledikleri bir araştırmada 5 kg P₂O₅/da uygulamasının en yüksek bitkide bakla sayısına imkân sağladığını tespit etmişlerdir. Toprağa fosfor eklenmesinin mikrobiyal popülasyonu, biyokütleyi ve topraktaki belirli enzimlerin aktivitesini arttırdığı, toprak havalanmasına katkıda bulunduğu ve bunun da genel toprak verimliliğini artırmak için arzu edilen bir toprak özelliği olduğu ifade edilmektedir (Adnan ve ark., 2019). Theologidou ve ark. (2023), fosforlu gübre ilavesinin alkalın topraklarda yetiştirilen mercimek bitkilerinde bitki başına düşen dolu bakla sayısını artırdığını belirlemişlerdir. Araştırmamızdan elde edilen sonuçlar daha önce yürütülen bilimsel çalışmaların sonuçları ile uyum göstermektedir.

Priming uygulamalarının bitkide bakla sayısı üzerine etkileri incelendiğinde tüm materyallerin kontrol uygulamasına kıyasla daha üstün performans ortaya koyduğu, ancak SA, S, PGPB ve Si-priming uygulamalarının en fazla bakla sayısının alınmasını sağladığı grlmştir (Tablo 4.20). Tohuma priming uygulamalarının bitki gelişimi üzerinde olumlu sonuçlar ortaya koyduğu mercimek (Farooq ve ark., 2020), buğday

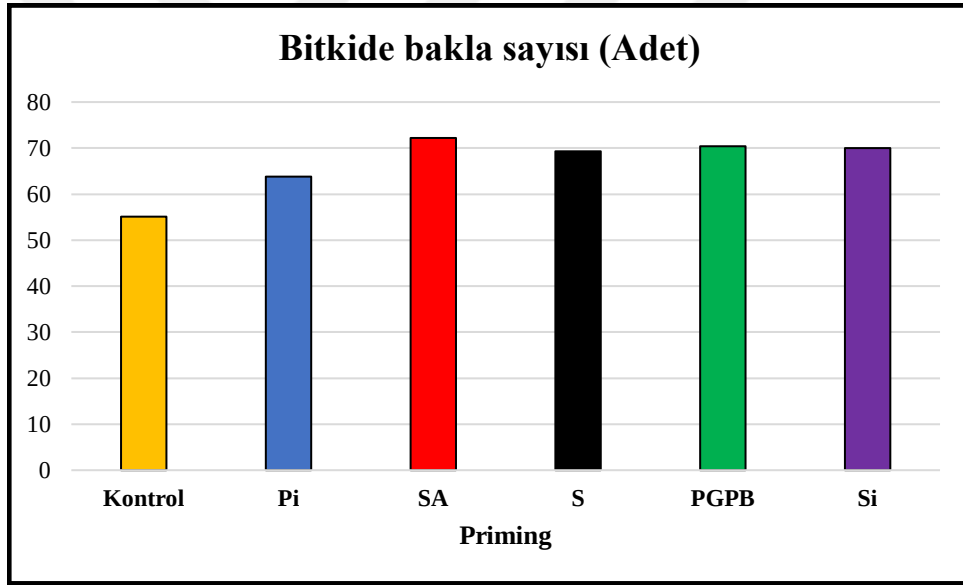
(Mickky, 2022), soya (Shine ve ark., 2011), ayçiçeğin (Vashisth ve Nagarajan, 2010), maş fasulyesi (Reddy ve ark., 2012), mısır (Anand ve ark., 2012), bakla (Nasrallah ve ark., 2022), çeltik (Adhikary ve ark., 2022) ve yer fıstığı (Siddiqui ve ark., 2011) gibi birçok tarla bitkisinde tespit edilmiştir. Toklu (2015), çeşitli materyaller ile priming uygulanan mercimek tohumlarında özellikle KCL ve $ZnSO_4$ -priming uygulamalarının kontrol ve diğer materyallere kıyasla bitkide daha fazla bakla sayısının elde edilmesine sebep olduğunu bildirmişlerdir. Pakbaz ve ark. (2014), KNO_3 -priming uygulamasının mercimekte bakla sayısını kontrol grubuna göre teşvik ettiği belirtilmektedir. Azarnia ve ark. (2020), SA ve GA-priming uygulamalarının mercimekte verim ve verim öğeleri üzerine etkilerini incelemiş ve kontrole göre bitkide bakla sayısının artmasına yol açtıklarını, ancak hidro-priming uygulamasının daha etkili sonuçlar ortaya koyduğunu bildirmişlerdir. Sharma ve ark. (2017), PGPB-priming uygulamalarının bitkide bakla sayısını önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir. Çalışmamızdan elde edilen veriler önceki araştırmacıların sonuçları ile uyum göstermektedir.



Şekil 4.21. Bitkide bakla sayısının yıllara göre değişim grafiği



Şekil 4.22. Bitkide bakla sayısının fosfor dozlarına göre değişim grafiği



Şekil 4.23. Bitkide dal sayısının priming uygulamalarına göre değişim grafiği

4.11. Baklada Tane Sayısı

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait baklada tane sayısına ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.21’de, baklada tane sayısına ait ortalama değerler ise Tablo 4.22’de verilmiştir. Baklada tane sayısına ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar arasında istatistiki açıdan önemli ($p < 0.05$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Y x P x Pr interaksiyonunun da baklada tane sayısı açısından önemli düzeyde ($p < 0.05$) farklılıkların oluşmasına yol açtığı gözlemlenmiştir. Ancak,

fosfor dozlarının, priming uygulamalarının ve faktörlerin birbiri ile olan ikili interaksiyonlarının baklada tane sayısı üzerinde herhangi bir önemli farklılığa yol açmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.21. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak baklada tane sayısına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	0,16333	0,16333	5,92692*
Blok	6	0,20563	0,03427	1,24360
Fosfor (P)	3	0,21354	0,07118	2,58295
Y x P	3	0,09792	0,03264	1,18438
Hata ₁	18	0,49604	0,02756	
Priming (Pr)	5	0,04354	0,00871	0,66209
Y x Pr	5	0,09292	0,01858	1,41288
P x Pr	15	0,34021	0,02268	1,72439
Y x P x Pr	15	0,37833	0,02522	1,91763*
Hata ₂	120	1,57833	0,01315	
Genel	191			

*: p<0.05

Yıllar açısından incelendiğinde çalışmanın birinci ve ikinci yılında baklada tane sayısı sırasıyla 1,35 ve 1,41 adet olarak belirlenmiştir. Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde baklada tane sayısının 1,25-1,60 adet aralığında değişim gösterdiği, baklada en az tane sayısının denemenin birinci yılındaki farklı uygulamalardan (Fosforlu gübre verilmeyen ve PGPB-priming uygulanan, 1,5 kg P₂O₅/da verilen ve ön uygulama yapılmayan, 3 kg P₂O₅ /da verilen ve S-priming uygulanan, Fosforlu gübre verilmeyen ve ön uygulama yapılmayan bitkiler), baklada en fazla tane sayısı ise denemenin birinci yılında 6 kg P₂O₅/da uygulaması ile PGPB-priming uygulanan bitkilerde kaydedilmiştir (Tablo 4.22).

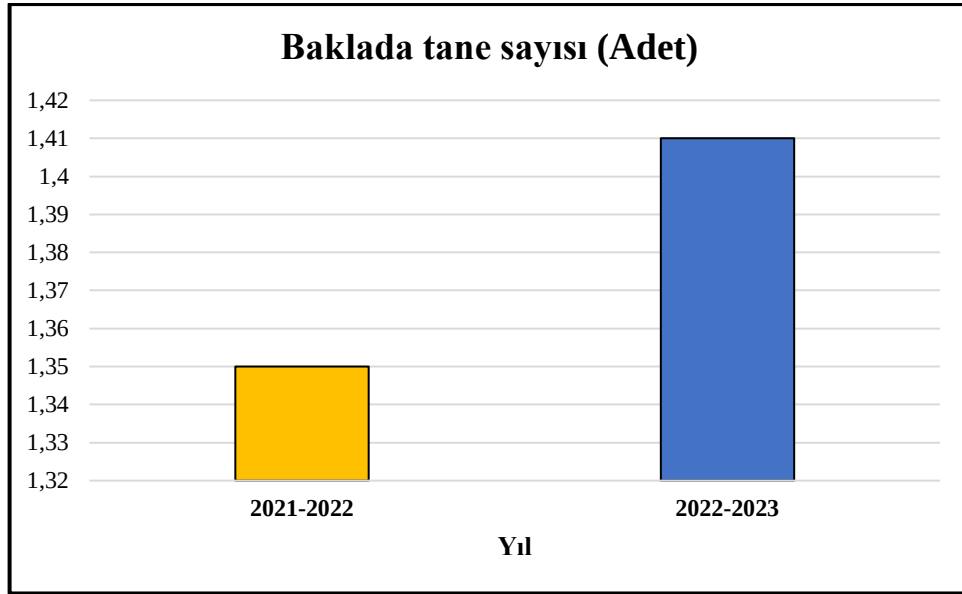
Tablo 4.22. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının baklada tane sayısına etkisi (adet)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	1,33 ab	1,25 b	1,38 ab	1,38 ab	1,25 b	1,40 ab	1,38 ab	1,48 ab	1,33	1,38	1,29	1,33	1,38	1,43	1,35
Pi	1,35 ab	1,28 ab	1,45 ab	1,45 ab	1,45 ab	1,45 ab	1,43 ab	1,28 ab	1,38	1,40	1,40	1,36	1,44	1,36	1,39
SA	1,33 ab	1,33 ab	1,38 ab	1,48 ab	1,38 ab	1,33 ab	1,35 ab	1,50 ab	1,38	1,39	1,35	1,33	1,36	1,49	1,38
S	1,33 ab	1,30 ab	1,25 b	1,40 ab	1,55 ab	1,43 ab	1,28 ab	1,40 ab	1,32	1,41	1,44	1,36	1,26	1,40	1,37
PGPB	1,25 b	1,35 ab	1,30 ab	1,60 a	1,48 ab	1,27 ab	1,40 ab	1,42 ab	1,38	1,42	1,36	1,36	1,35	1,51	1,40
Si	1,30 ab	1,28 ab	1,33 ab	1,30 ab	1,35 ab	1,45 ab	1,43 ab	1,53 ab	1,30	1,44	1,33	1,36	1,38	1,41	1,37
Yıl x Fosfor dozu															
Yıl								Fosfor dozları							
Ortalama	1,31	1,30	1,35	1,43	1,41	1,40	1,38	1,43	1,35 B	1,41 A	1,36	1,35	1,36	1,43	

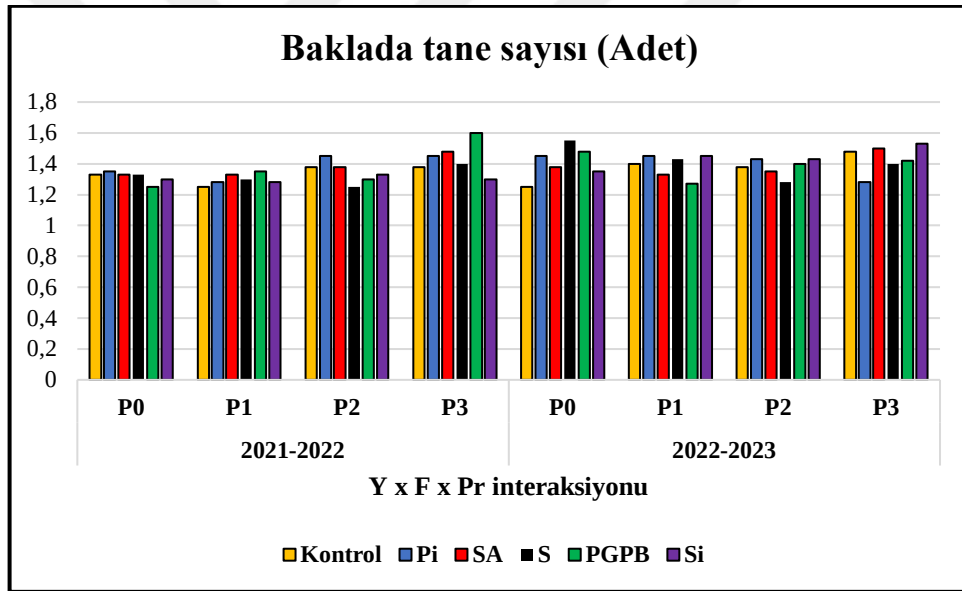
Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistik açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

Baklada tane sayısının yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda birinci yıla göre ikinci yılda %4,4 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.24). Bazı araştırmacılar baklada tane sayısının genetik özelliklerden kaynaklandığını ve çevresel koşulların önemli ölçüde farklılıklara yol açmadığını belirtmişler (Karadavut ve Kavurmacı, 2013; Çölkeşen ve ark., 2014; Chowdhury ve ark., 2019), diğer bazı araştırmacılar ise üretim sezonundaki meteorolojik koşullara veya bitki beslenmesindeki farklılıklara göre önemli değişikliklerin oluştuğunu rapor etmişlerdir (Yeşilbaş, 2015; Ceritoğlu, 2019; Yorğun, 2022). Eser (1970), genellikle iri taneli çeşitlerin baklalarının içinde bir adet, küçük danelere sahip çeşitlerin baklalarının içinde ise iki dane bulunduğunu ifade etmiştir. Araştırmanın ikinci yılında bitki boyu, bitkide dal sayısı ve bitkide bakla sayısı özelliklerinin de daha yüksek olduğu önceki bölümlerde belirtilmiş olup, bitkinin vejetatif dönem gelişiminin ve tane üretiminin daha yüksek olmasına yol açmıştır. Bu nedenle, daha iyi beslenen ve gelişim gösteren ikinci yıldaki mercimek bitkilerinin birinci yıla göre baklada %4,4 oranında daha fazla taneye sahip olması beklenen bir sonuçtur. Mercimek bitkisinde baklada tane sayısını Erman (1998) Van ekolojik koşullarında 1,06-1,69 adet, Canbolat (2014) Van ekolojik koşullarında 1,20-1,45 adet, Kaplan (2015) ve Yeşilbaş (2015) Van ekolojik koşullarında sırasıyla 1,09-1,49 adet ve 1,26-1,60 adet, Ceritoğlu (2019) ve Yıldırım (2022) Siirt ekolojik koşullarında sırasıyla 1,13-1,51 adet ve 1,06-1,16 adet, Kardeş (2019) Kırşehir ekolojik koşullarında 0,85-1,23 adet ve Yorğun (2022) Van ekolojik koşullarında 1,13-1,47 adet aralığında tespit etmişlerdir. Araştırmamızda baklada tane sayısı üzerine elde ettiğimiz bulgular daha önce yürütülen araştırmaların sonuçları ile uyum göstermektedir.

Y x P x Pr interaksiyonunun baklada tane sayısı bakımından önemli çıkmasının nedeni, priming uygulanmayan bitkilerin denemenin birinci yılında P1 gübrelemesine bağlı olarak baklada tane sayısının azalmasına artan dozlarda ise artmasına sebep olduğu, ikinci yılda da benzer şekilde P2 fosfor dozunda azaltıcı etki göstererek P3 dozunda tekrar artış sağlamasıdır. Ayrıca, çalışmanın birinci yılında 6 kg P₂O₅/da uygulanan parsellerde priming uygulamalarının pozitif etkisi artarken Si-priming uygulaması olumsuz etkide bulunmuş, ikinci yılında ise P3 dozunda en yüksek baklada tane sayısının elde edilmesine imkân sağlamıştır (Şekil 4.25). Çalışmanın birinci yılında artan yağış miktarları 6 kg P₂O₅/da ilave edilen ve PGPB-priming uygulanan parsellerde bakterilerin performanslarının artmasını, baklaya taşının kuru madde miktarının teşvik edilmesine ve böylece baklada daha fazla tane oluşumunu yol açmış olabilir.



Şekil 4.24. Baklada tane sayısının yıllara göre değişim grafiği



Şekil 4.25. Baklada tane sayısına ait Y x F x Pr interaksyon grafiği

4.12. Biyolojik Verim

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait biyolojik verime ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.23'te, biyolojik verime ait ortalama değerler ise Tablo 4.24'te verilmiştir. Biyolojik verime ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar, fosforlu gübre dozları, priming uygulamaları ve bunlar arasındaki tüm ikili interaksyonlar arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p < 0.01$) farklılıkların olduğu tespit

edilmiştir. Ayrıca, Y x P x Pr interaksiyonu da biyolojik verim üzerine istatistiki açıdan önemli farklılıkların ($p<0.05$) oluşmasına sebep olmuştur.

Tablo 4.23. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak biyolojik verim değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	1570537,6	1570537,6	383,89**
Blok	6	43247,7	7207,9	1,76
Fosfor (P)	3	311231,1	103743,7	25,36**
Y x P	3	133880,0	44626,7	10,91**
Hata ₁	18	73639,7	4091,1	
Priming (Pr)	5	104558,3	20911,7	10,41**
Y x Pr	5	84232,3	16846,5	8,39**
P x Pr	15	67913,6	4527,6	2,25**
Y x P x Pr	15	61533,7	4102,2	2,04*
Hata ₂	120	240952,9	2007,9	
Genel	191			

** : $p<0.01$, * : $p<0.05$

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde biyolojik verim birinci yılda 462,6 kg/da ve ikinci yılda 643,5 kg/da olarak tespit edilmiştir. Fosfor dozları bakımından biyolojik verim değeri 483,4-586,7 kg/da aralığında değişim göstermiş olup en düşük değer fosfor gübresi verilmeyen kontrol uygulamasında belirlenirken artan dozlara bağlı olarak biyolojik verimin arttığı görülmüştür. Priming uygulamalarına bağlı olarak en düşük biyolojik verim 509,8 kg/da olarak kontrol grubunda, en yüksek ise 580,9 kg/da ile Si-priming uygulanan parsellerden elde edilmiştir. Y x P interaksiyonuna bağlı olarak biyolojik verim değerlerinin 435,0-693,3 kg/da aralığında değişim gösterdiği saptanırken ikinci yılda daha yüksek biyolojik verim elde edildiği ve fosforlu gübre kullanımına bağlı olarak artış gösterdiği saptanmıştır. Y x Pr interaksiyonu incelendiğinde en düşük biyolojik verim birinci yıldaki kontrol uygulamasından (448,0 kg/da), en yüksek (693,3 kg/da) ise ikinci yıldaki Si-priming uygulamasından elde edilmiştir. P x Pr interaksiyonunda ise en düşük biyolojik verim (420,9 kg/da) fosforlu gübre veya priming uygulaması yapılmayan bitkilerde, en yüksek biyolojik verim (617,4 kg/da) ise S-priming uygulanan ve 6 kg P₂O₅/da ilave edilen parsellerden elde edilmiştir. Tüm faktörlerin üçlü interaksiyonu (Y x P x Pr) bakımından incelendiğinde, en düşük biyolojik verim (390,8 kg/da) denemelerin birinci yılında fosfor uygulaması yapılmayan ve Pi-priming uygulanan parsellerde belirlenirken en yüksek değer (762,8 kg/da) denemenin ikinci yılında 1,5 kg P₂O₅/da ve S-priming uygulanan parsellerden elde edilmiştir (Tablo 4.24).

Tablo 4.24. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının biyolojik verime etkisi (kg/da)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	404,0 k	441,0 jk	470,0 i-k	477,0 i-k	437,8 jk	644,5 a-e	608,5 c-h	595,5 d-i	448,0 e	571,6 d	420,9 d	542,8 a-c	539,3 a-c	536,3 a-c	509,8 C
Pi	390,8 k	484,0 h-k	476,0 i-k	480,0 h-k	557,5 e-j	659,0 a-e	652,5 a-e	664,0 a-e	457,7 e	633,3 bc	474,1 cd	571,5 ab	564,3 ab	572,0 ab	545,5 B
SA	442,0 jk	470,0 i-k	495,0 g-k	514,0 f-k	503,3 g-k	669,0 a-e	670,0 a-e	617,8 b-g	480,3 e	615,0 cd	472,6 cd	569,5 ab	582,5 ab	565,9 ab	547,6 B
S	464,0 j-k	448,0 jk	455,5 jk	553,0 e-j	562,3 e-j	762,8 a	675,3 a-e	681,8 a-e	480,1 e	670,5 ab	513,1 bc	605,4 a	565,4 ab	617,4 a	575,3 AB
PGPB	416,0 k	412,5 k	443,0 jk	491,8 g-k	503,8 g-k	724,0 a-d	744,3 ab	736,5 a-c	440,8 e	677,1 ab	459,9 cd	568,3 ab	593,6 ab	614,1 a	559,0 AB
Si	493,0 g-k	470,0 j-k	453,0 jk	474,3 i-k	636,8 a-f	700,8 a-d	681,5 a-e	754,3 ab	468,6 e	693,3 a	564,9 ab	577,4 ab	567,3 ab	614,3 a	580,9 A
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	435,0 D	451,6 CD	465,4 CD	498,3 BC	533,5 B	693,3 A	672,0 A	675,0 A	462,6 B	643,5 A	484,3 B	572,5 A	568,7 A	586,7 A	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

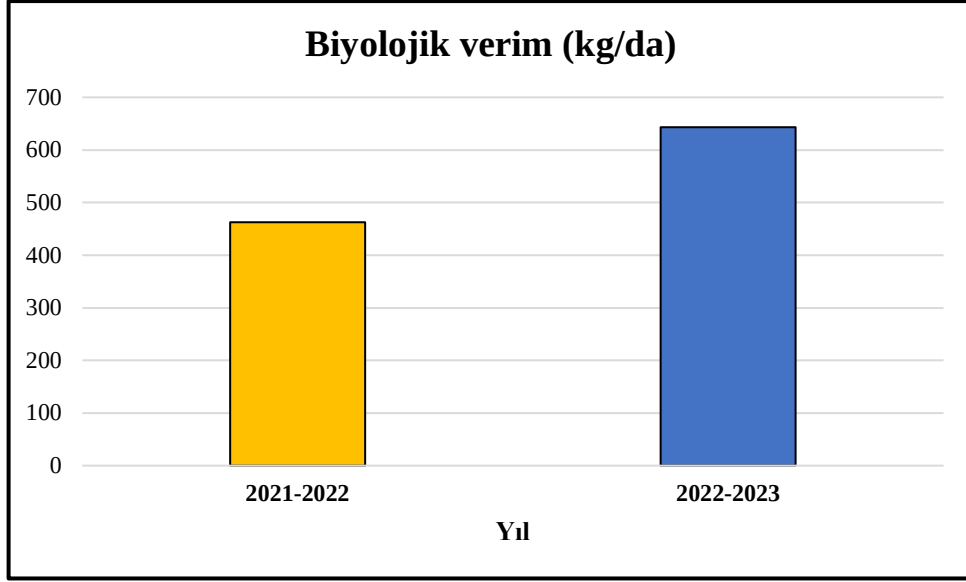
Yıllara göre biyolojik verim ortalamaları dikkate alındığında birinci yıla göre ikinci yılda %39,1 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.26). Araştırma sonuçlarına göre 6 kg P_2O_5 /da uygulamasına bağlı olarak fosforlu gübre ilavesi yapılmayan kontrol uygulamasına göre biyolojik verim %21,1 oranında artış göstermiştir (Şekil 4.27). Priming uygulamalarında ise P_i , SA, S, PGPB ve Si materyallerinin kontrol grubuna göre biyolojik verimi sırasıyla %6,9, %6,5, %1,1, %4,3 ve %14 oranında artırdığı sonucuna varılmıştır (Şekil 4.28).

Biyolojik verim değerleri bakımından incelendiğinde çalışmanın birinci yılına göre daha fazla toplam biyo-kütle üretildiği görülmektedir. Yapılan birçok araştırmada biyolojik verim değerlerinin vejetatif gelişme dönemindeki bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, dal sayısı gibi karakterlerle önemli pozitif ilişki içerisinde olduğunu ortaya koymuştur (Crippa ve ark., 2009; Sharma ve ark., 2014; Ceritoğlu, 2019). Aydın (1991), Diyarbakır koşullarında iki yıllık tarla denemesi olarak yürüttüğü araştırmada yıllara göre biyolojik verim değerlerini sırasıyla 502,6 kg/da ve 535,9 kg/da olarak tespit etmiştir. Koç (2015), farklı lokasyonlarda mercimekte iki yıllık tarla denemeleri şeklinde yürüttüğü araştırmasında; Diyarbakır koşullarında biyolojik verim değerlerini yıllara göre sırasıyla 814,7-701,7 kg/da, Adıyaman koşullarında 518,8-573,9 kg/da ve Şanlıurfa koşullarında 393,4-581,8 kg/da olarak tespit etmiştir. Hakkoymaz (2018) Konya ekolojik koşullarında 2013 ve 2014 yıllarında biyolojik verim değerlerini sırasıyla 592,53 kg/da ve 335,73 kg/da olarak belirlemiştir. Daha önce yürütülen araştırmalar da yetiştirme sezonlarındaki çevresel faktörlere bağlı olarak mercimekte biyolojik verimin önemli ölçüde değiştiği sonucunu açıkça desteklemektedir

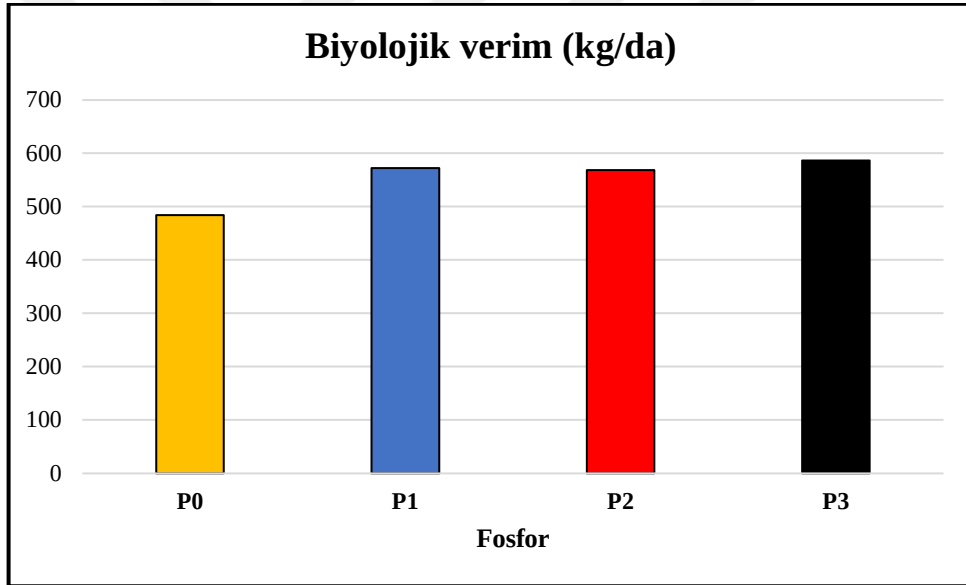
Fosforlu gübre uygulamalarına bağlı olarak mercimekte biyolojik verimin artış sağladığı görülmektedir. Kontrol dışındaki tüm fosfor dozlarından elde edilen biyolojik verim değerleri istatistiki olarak aynı grupta yer almasına rağmen en yüksek değer 6 kg P_2O_5 /da uygulamasında tespit edilmiştir. Fosforlu gübre uygulamasının bitkide özellikle kök gelişimi başta olmak üzere agronomik özelliklerin iyileştirilmesi, generatif döneme geçişte çiçeklenmenin teşvik edilmesi, hücrelere enerji kaynağı olan ATP'nin yapısına katılması, fotosentezde rol alması gibi birçok kritik aşamada etkili olduğu yapılan bilimsel araştırmalar ile kanıtlanmıştır (Schachtman ve ark., 1998; Raghothama, 2005; Baker ve ark., 2015; Lambers, 2022; Loudari ve ark., 2022; Khan ve ark., 2023; Wang ve ark., 2023; Xing ve ark., 2023). Bitki metabolizmasına dahil olduğu bu özellikler sebebiyle gerek vejetatif dönemde gerekse generatif dönemde bitki gelişimi ve verimliliği açısından olumlu sonuçlar ortaya koymaktadır. Azottan sonra en çok ihtiyaç duyulan

makro besin elementi olmasından dolayı P uygulamasının özellikle fosforca noksan topraklarda önemli ölçüde etki göstermektedir. Reddy ve ark. (2022), 5 kg P_2O_5 /da uygulamasının mercimekte biyolojik verim değerini önemli ölçüde artırdığını rapor etmişlerdir. Anchra ve ark. (2023), mercimek yetiştiriciliğinde 3, 4 ve 5 kg P_2O_5 /da uygulamasının etkilerini incelemiş ve kademeli olarak biyolojik verim değerinin arttığını tespit etmişlerdir. Geçmiş araştırmaların sonuçları incelendiğinde fosforlu gübre uygulamalarının gübre verilmeyen kontrol grubuna kıyasla biyolojik verim değerinin artmasına imkân sağladığı, bu nedenle araştırmamızdan elde edilen bulgular ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

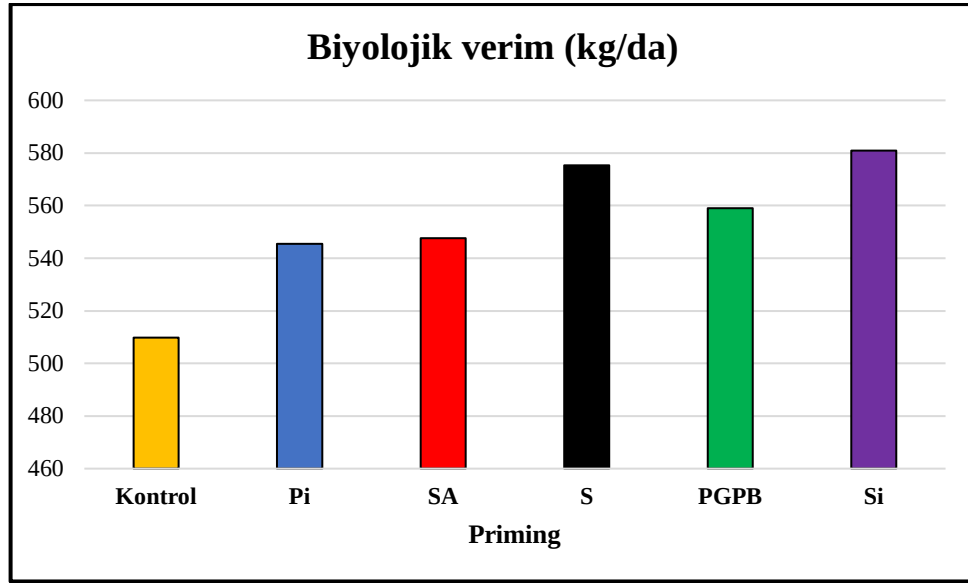
Priming uygulamaları dikkate alındığında en yüksek biyolojik verimin Si-priming uygulamasından, en düşük biyolojik verim değerinin ise priming uygulaması yapılmayan kontrol parsellerinden alındığı görülmektedir (Tablo 4.24). Priming uygulamalarının metrekarede bitki sayısı, bitkide dal sayısı ve bakla sayısı üzerinde olumlu etkilerinin olduğu önceki bölümlerde belirtilmiştir. Priming uygulamalarının bitkide dal sayısı ve bakla sayısını artırması bitki başına toplam biyokütlenin artmasına, metrekarede bitki sayısının artması ise birim alandaki bitki sayısının dolayısıyla toplam vejetatif aksamın artmasını sağladığından biyolojik verim değeri artış eğilimi göstermiştir. Darabi ve ark. (2014), PGPB-priming uygulamasının mercimekte biyolojik verimi %9,4 oranında artırdığını kaydetmişlerdir. Singh ve ark. (2017a), mercimekte 500 ppm GA ile priming uygulaması ile birim alanda biyolojik verimin %22 oranında artış gösterdiğini rapor etmişlerdir. Atchyut ve ark. (2021), mercimekte PGPB-priming uygulaması ile biyolojik verimde kontrole göre %41,3 oranında artış oluştuğunu tespit etmişlerdir. Söz konusu araştırmacıların bulguları araştırmamızdan çıkan sonuçları desteklemektedir.



Şekil 4.26. Biyolojik verimin yıllara göre değişim grafiği



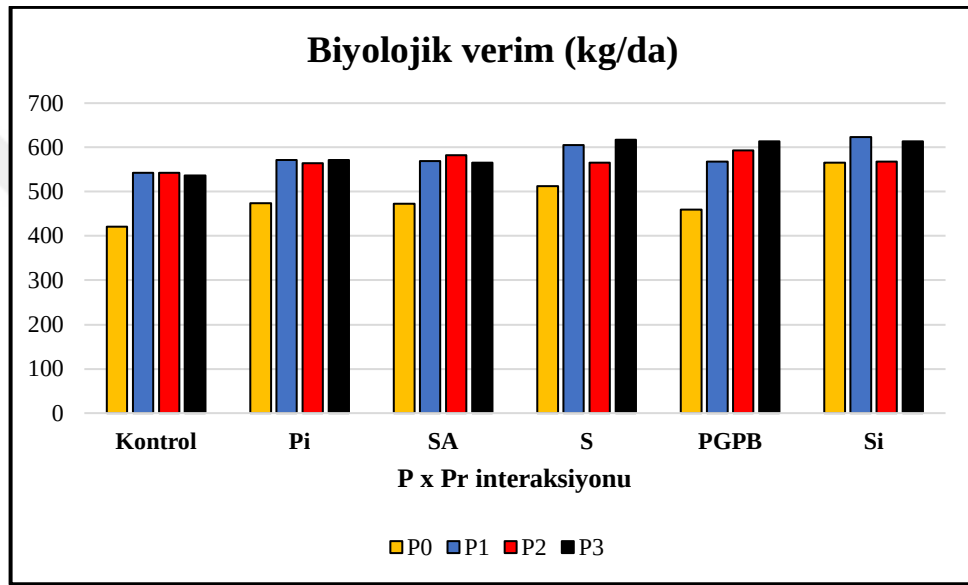
Şekil 4.27. Biyolojik verimin fosfor dozlarına göre değişim grafiği



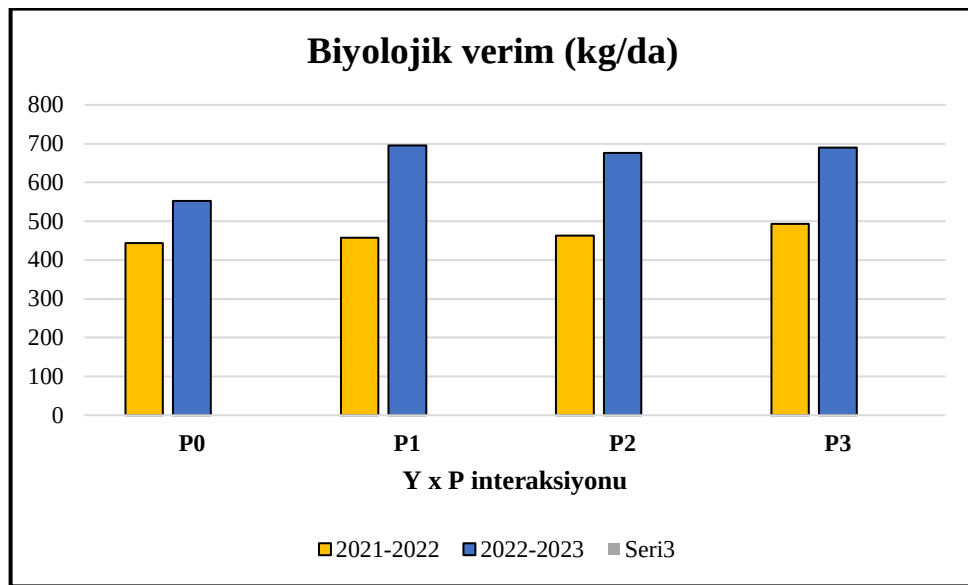
Şekil 4.28. Biyolojik verimin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

P x Pr interaksiyonunun biyolojik verim üzerinde istatistiki açıdan önemli farklılıklara yol açmasının nedeni, fosforlu gübre dozlarının kontrole ve birbirine kıyasla priming uygulamaları ile farklı reaksiyonlar göstermesidir. Şekil 4.29 incelendiğinde, 6 P₂O₅/da dozunun Pi, S ve PGPB-priming uygulamalarında en yüksek biyolojik verim elde edilmesine sebep olurken diğer uygulamalarda daha düşük sonuçlara sebep olduğu görülmektedir. Y x P interaksiyonu incelendiğinde, P1 dozunun her iki yılda da kontrol uygulamasına göre daha yüksek biyolojik verim alınmasına yol açtığı ancak P2 dozunun birinci yılda daha düşük biyolojik verim alınmasına yol açarken ikinci yılda artış sağladığı tespit edilmiş olup önemli çıkan interaksiyonun buradan kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 4.30). Y x Pr uygulamasının biyolojik verim açısından önemli farklılıklara yol açmasının sebebi, ikinci yılda tüm uygulamaların kontrol bitkilerine kıyasla daha yüksek biyolojik verim elde edilmesine sebep olurken birinci yılda istatistiki olarak kontrol uygulaması ile aynı grupta yer almasıdır (Şekil 4.31). Denemede kullanılan 3 faktör arasındaki interaksiyonun (Y x P x Pr) önemli çıkmasında; priming uygulamalarının farklı veya aynı üretim yılı içerisinde fosfor dozlarına bağlı olarak düzenli bir artış göstermemesinden, yani bazı dozlarda artışa rağmen biyolojik verim değerinin istatistiki olarak önemli olacak şekilde düşük göstermesinden kaynaklanmıştır (Şekil 4.32). Priming uygulamaları ekim öncesinde başlayan bir süreç olup öncelikle daha etkin bir kök sistemi oluşturulmasına yardımcı olmakta, bu vesileyle daha kuvvetli fide gelişimi, daha fazla besin maddesi alımı gibi süreçleri beraberinde getirmektedir. Bazı araştırmalar tohumu priming uygulamalarının biyolojik verim, tane verimi vs. gibi hasat sonrasında

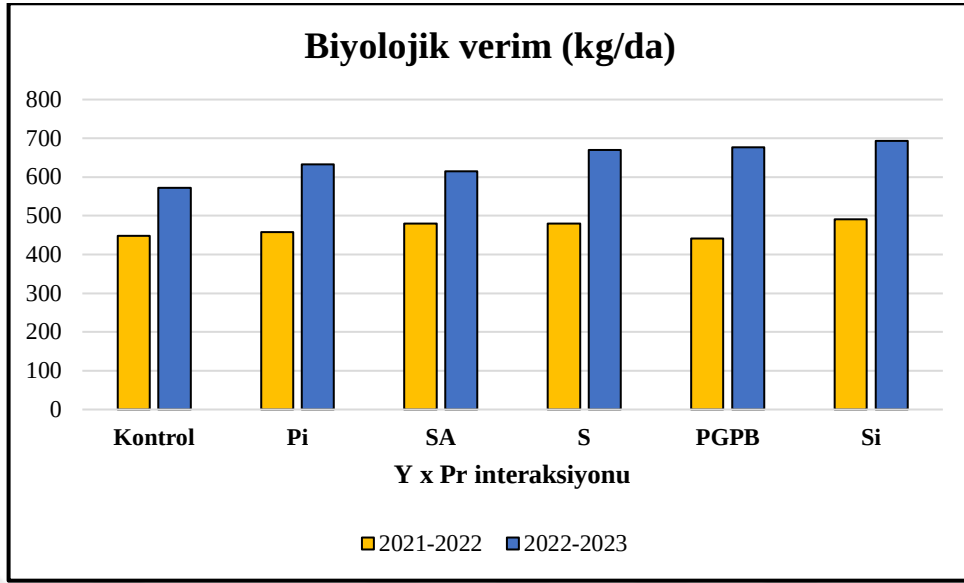
tespit edilen ileri süreçler üzerinde de etkili olduğunu (Subedi ve Ma, 2005), birtakım araştırmalar ise istatistiki açıdan önemsiz olduğunu rapor etmişlerdir (Amin ve ark., 2016; White ve ark., 2017; Hussain ve ark., 2021). Bitki köklerinin toprak parçacıkları içerisindeki cansız ve canlı varlıklarla etkileşimi kontrol edilemeyen birçok mekanizmayı barındırmasından dolayı bazen antagonistik bazen ise sinerjistik etkilerin gözlemlenmesi kaçınılmaz durumdadır. Bu nedenle, Yıllar ve fosforlu gübre dozlarının priming uygulamalarına farklı reaksiyonların ortaya çıkmış olması bahsedilen bu nedenlerden dolayı ortaya çıkmış olabilir.



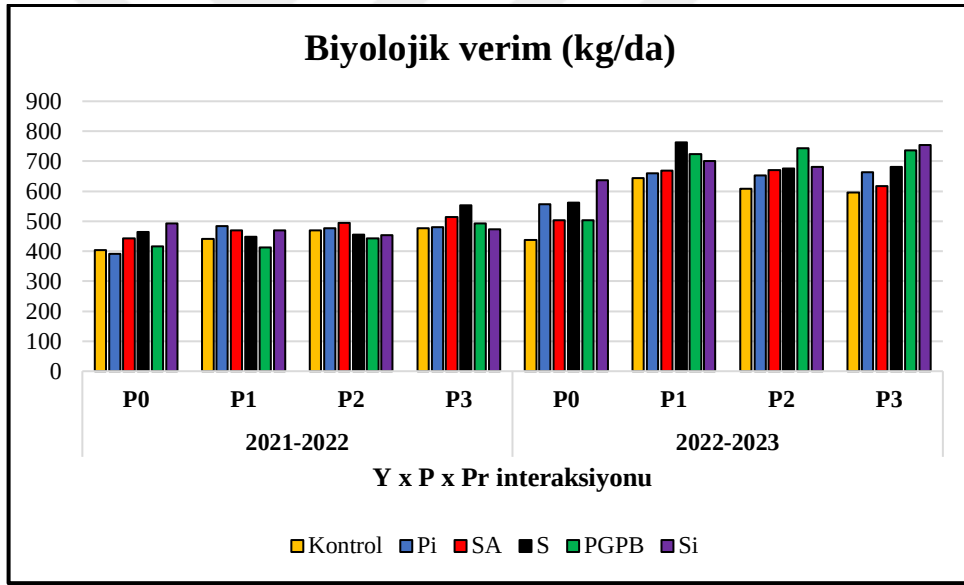
Şekil 4.29. Biyolojik verime ait P x Pr interaksiyon grafiği



Şekil 4.30. Biyolojik verime ait Y x P interaksiyon grafiği



Şekil 4.31. Biyolojik verime ait Y x Pr interaksiyon grafiği



Şekil 4.32. Biyolojik verime ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği

4.13. Tane Verimi

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait tane verimine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.25'te, tane verimine ait ortalama değerler ise Tablo 4.26'da verilmiştir. Tane verimine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar, fosforlu gübre dozları, priming uygulamaları ve bunların birbiri içerisindeki tüm ikili (P x Pr interaksiyonu hariç) ve üçlü interaksiyonlar arasında istatistiki açıdan çok önemli

($p < 0.01$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. P x Pr interaksiyonunun ise istatistiksel açıdan önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.25. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak tane verimi değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	138664,3	138664,3	399,88**
Blok	6	728,4	121,4	0,35
Fosfor (P)	3	46836,0	15612,0	45,02**
Y x P	3	21519,0	7173,0	20,69**
Hata ₁	18	6241,8	346,8	
Priming (Pr)	5	26901,2	5380,2	36,46**
Y x Pr	5	6176,1	1235,2	8,37**
P x Pr	15	3722,7	248,2	1,68
Y x P x Pr	15	6867,3	457,8	3,10**
Hata ₂	120	17708,8	147,6	
Genel	191			

** : $p < 0.01$

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde tane verimi birinci yılda 159,3 kg/da ve ikinci yılda 213,0 kg/da olarak tespit edilmiştir. Fosfor dozları bakımından tane verimi değeri 159,6-198,4 kg/da aralığında değişim göstermiş olup en düşük değer fosfor gübrelemesi yapılmayan kontrol uygulamasında belirlenirken fosforlu gübre kullanımına bağlı olarak tane veriminin arttığı görülmüş, ancak tüm dozlar aynı istatistiki grup içerisinde yer almıştır. Priming uygulamalarına bağlı olarak en düşük tane verimi 167,6 kg/da olarak kontrol uygulamasında, en yüksek ise 201,2 kg/da ile Si-priming uygulamasından elde edilmiştir. Üretim yılının fosfor dozları ile interaksiyonuna bağlı olarak tane verimi değerlerinin 148,3-236,4 kg/da aralığında değişim gösterdiği saptanırken ikinci yılda daha yüksek tane verimi elde edildiği ve artan fosfor dozlarına bağlı olarak değişim gösterdiği saptanmıştır. Y x Pr interaksiyonu incelendiğinde en düşük tane verimi birinci yıldaki kontrol uygulamasında (148,5 kg/da), en yüksek (235,6 kg/da) ise ikinci yıldaki Si-priming uygulamasında elde edilmiştir. Tüm faktörlerin üçlü interaksiyonu bakımından incelendiğinde, en düşük tane verimi (136,4 kg/da) denemelerin birinci yılında fosfor uygulaması yapılmayan ve Pi-priming uygulamasında belirlenirken en yüksek (265,3 kg/da) ise denemenin ikinci yılında 6 kg P₂O₅/da ve Si-priming uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.26).

Tablo 4.26. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının tane verimine etkisi (kg/da)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	137,2 qr	143,1 p-r	154,3 o-r	159,5 n-r	143,2 p-r	203,5 f-k	197,8 f-l	202,0 f-k	148,5 h	186,6 e	140,2	173,3	176,0	180,7	167,6 C
Pi	136,4 r	149,0 o-r	153,4 o-r	160,7 n-r	171,8 j-q	205,0 e-j	216,0 d-g	197,4 g-m	149,9 gh	197,5 de	154,1	177,0	184,7	179,0	173,7 C
SA	154,6 o-t	160,3 n-r	166,2 l-r	173,3 j-p	174,4 i-p	218,0 b-g	245,2 a-c	208,7 d-i	163,6 fg	211,5 cd	164,5	189,1	205,7	191,0	187,6 B
S	158,9 n-r	164,8 l-r	162,7 m- r	191,3 g-n	172,5 j-p	243,7 a-d	255,6 a	211,0 c-h	169,4 f	220,7 bc	165,7	204,2	209,1	201,2	195,1 AB
PGPB	143,4 p-r	150,1 o-r	157,0 n-r	179,0 h-o	173,4 j-p	242,3 a-d	256,2 a	232,5 a-f	157,4 f-h	226,1 ab	158,4	196,2	206,6	205,8	191,7 B
Si	159,0 n-r	162,5 m-r	168,7 k-r	177,1 h-p	190,6 g-n	239,0 a-e	247,7 ab	265,3 a	166,8 f	235,6 a	174,8	200,7	208,2	221,2	201,2 A
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	148,3 D	155,0 CD	160,4 BD	173,5 B	171,0 BC	225,2 A	236,4 A	219,5 A	159,3 B	213,0 A	159,6 B	190,1 A	198,4 A	196,5 A	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

Tane veriminin yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda birinci yıla göre ikinci yılda %33,7 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.33). Araştırma sonuçlarına göre 3 kg P₂O₅/da uygulamasında fosforlu gübre ilavesi yapılmayan kontrol uygulamasına göre tane verimi %24,3 oranında artış göstermiştir (Şekil 4.34). Priming uygulamalarında ise Pi, SA, S, PGPB ve Si materyallerinin kontrol uygulamasına göre tane verimini sırasıyla %3,6, %11,9, %16,4, %14,4 ve %20 oranında artırdığı sonucuna varılmıştır (Şekil 4.35).

Tane verimi; metrekarede bitki sayısı, bitki boyu, bitkide dal sayısı, bitkide bakla sayısı ve baklada tane sayısındaki artışlarla ilişkili olarak ikinci yılda daha yüksek olarak gerçekleşmiştir. Metrekarede bitki sayılarının yıllara göre değerleri incelendiğinde ikinci yılda yaklaşık %27 oranında daha yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 4.9). Metrekarede bitki sayısının az olması teorik olarak bitki başına verim ve verimle ilişkili özelliklerde artışlar meydana getirmesi, buna karşın birim alanda tane verimini düşürmesi beklenirdi. Ancak, metrekarede bitki sayısının gerek vejetatif gelişim dönemi parametreleri (bitki boyu ve dal sayısı) gerekse biyolojik verimi pozitif yönde etkilemesinde olduğu gibi tane veriminde de birim alanda eşik değerin (metrekarede 300 bitkiden daha fazla) üzerinde bitki yoğunluğu bulunmaması sinerjistik bir etki göstermiştir. Bunun yanında, vejetatif dönemden generatif döneme geçiş sürecindeki iklim olayları incelendiğinde, 2021-22 sezonunda sırasıyla Mart ve Nisan aylarında 160 ve 10 mm yağış düştüğü, 2022-23 sezonunda aynı dönem için bu değerlerin 61 ve 88 mm olarak ölçüldüğü görülmektedir (Şekil 3.5). Bu nedenle, gerek birinci yılda yüksek yağışların arazide kısmen su göllenmelerine yol açması gerekse çiçeklenme döneminin kurak geçmesi sebebiyle tane veriminin birinci yılda daha düşük olmasına yol açmıştır. Ayrıca, farklı ekolojik şartlar ve mercimek genotiplerine bağlı olarak farklı araştırmacılar tarafından yürütülen araştırmalarda tane verimi ile metrekarede bitki sayısı, dal sayısı, bitkide bakla sayısı ve baklada tane sayısı arasında pozitif yönde güçlü bir korelasyon olduğu ifade edilmiştir (Kumar ve ark., 1983; Çiftçi ve ark., 1998; Crippa ve ark., 2009; Sharma ve ark., 2014; Ceritoğlu, 2019; Chowdhury ve ark., 2019; Pezeshkpour ve ark., 2023). Farklı araştırmacılar mercimekte tane verimini Kahramanmaraş ekolojik koşullarında 219,2-239,6 kg/da (Canbolat, 2014), Güneydoğu Anadolu bölgesinin çeşitli lokasyonlarında 154,0-192,9 kg/da (Koç, 2015), Van ekolojik koşullarında 74,6-122,0 kg/da (Kaplan, 2015), Ankara ekolojik koşullarında 128,7-180,8 kg/da (Alabay, 2019), Kırşehir ekolojik koşullarında 157,4-244,9 kg/da (Kardeş, 2019), Isparta ekolojik koşullarında 66,0-195,8 kg/da (Küçükay ve ark., 2019) ve Siirt ekolojik koşullarında 127,7-210,1 kg/da (Yıldırım,

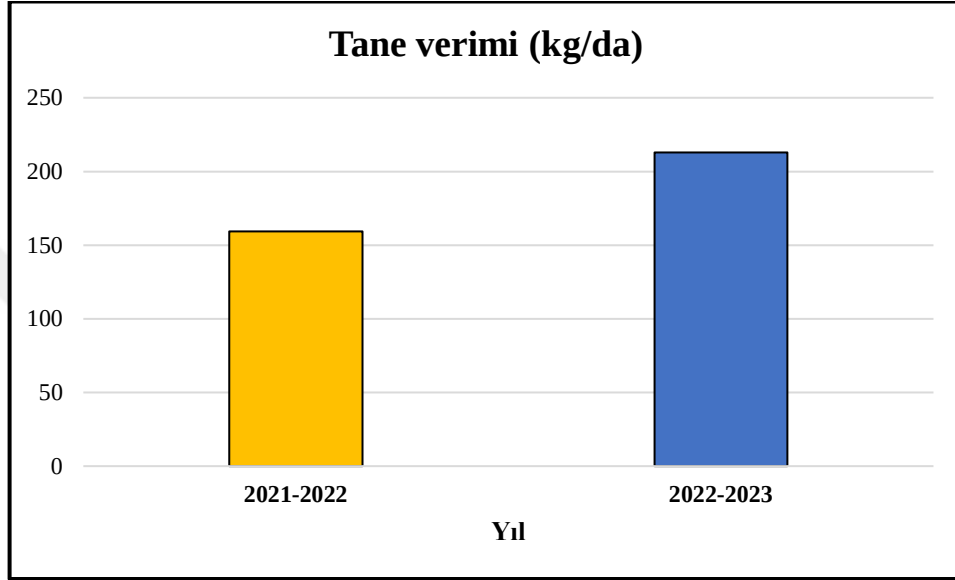
2022) aralığında tespit etmişlerdir. Araştırmamızda tane verimine ait elde edilen sonuçlar (136,4-265,3 kg/da), daha önceki araştırmacıların elde ettiği bulgular ile uyum göstermektedir.

Fosforun bitkilerde aktif olarak rol aldığı en temel mekanizma ATP'nin yapısına katılarak bitki bünyesinde enerji gerektiren tüm metabolik faaliyetler için enerji kaynağı oluşturulmasıdır (Kaçar ve ark., 2005). Böylece fotosentez ve biyolojik azot fiksasyonu gibi kritik faaliyetler için ihtiyaç duyulan enerjinin sağlanması açısından da önemli bir rol üstlenmiş olur. Ayrıca, yapılan araştırmalar fosforun baklagil bitkilerinde kök ve sürgün oluşumunu artırdığı (Pang ve ark., 2018), rizosfer bölgesinde Rhizobium bakteri popülasyonunun artmasına imkân sağladığı (Kaçar ve Katkat, 2021), kök bölgesinde nodül oluşumunu ve gelişimini teşvik ettiği (Liu ve ark., 2018), dolayısıyla bitkide verim ve verim komponentleri üzerinde olumlu etkilerin oluşmasına yol açtığı bilinmektedir (Belete ve ark., 2019; ; Sonet ve ark., 2020; Xiao ve ark., 2021; Dikr ve Abayechaw, 2022). Çeşitli araştırmacılar fosforlu gübre uygulamalarına bağlı olarak tane veriminin mercimekte (Theologidou ve ark., 2023), bezelyede (Husain ve ark., 2019), börülcede (Bilal ve ark., 2021), baklada (Xiao ve ark., 2021), fasulyede (Zawdie ve Hassen, 2021) ve nohutta (Soysal, 2021) önemli ölçüde artış gösterdiğini rapor etmişlerdir. Bu nedenle, fosforlu gübre uygulamalarının araştırmamızdaki sonuçları daha önce yürütülen çalışmalar ile uyum göstermektedir. Ancak, fosforun tüm dozları istatistiki açıdan aynı grup içerisinde yer almış olup ekonomik olması bakımından 1,5 kg/da P_2O_5 uygulanması pratikte daha uygun görülmektedir. Artan dozların önemli bir etki göstermemiş olmasının sebebi arazi toprağındaki fosforun aşırı düşük olmaması, sınır değere yakın düzeyde bulunması veya priming uygulamalarına bağlı olarak topraktaki mevcut fosforun yarıyışlılığının artması ile ilişkili olabilir. Tarım ve Orman Bakanlığının bölgelere ve tarım ürünlerine göre uygulanması gereken gübre miktarını topraktaki alınabilir fosfor içeriği kapsamında hesaplayan çizelgeye göre araştırma bölgesinde mercimek için dekara 7-8 kg saf fosfor uygulanması gerekmektedir (Anonim, 2023e). Araştırmanın yürütüldüğü araziden alınan toprak numunelerinde ortalama alınabilir fosfor içeriği 3 kg/da civarındadır. P1 fosforlu gübre uygulamasında (1,5 kg P_2O_5 /da) topraktaki mevcut alınabilir fosfor içeriği ile birlikte bu miktar 4,5 kg civarına denk gelmektedir. Ancak priming uygulamalarının bu araştırma özelinde kullanılmasının bir hedefi de topraktaki fosforlu bileşiklerin çözündürülerek bitkilerce alınabilir forma getirilmesi ve toprak rezervinden bitkilerin yararlanmasının sağlanmasıdır. Bu durum, düşük dozda fosforlu gübre ilavesi ile birlikte topraktaki fosfor rezervinden bitkilerin yararlandığı ve bu şekilde

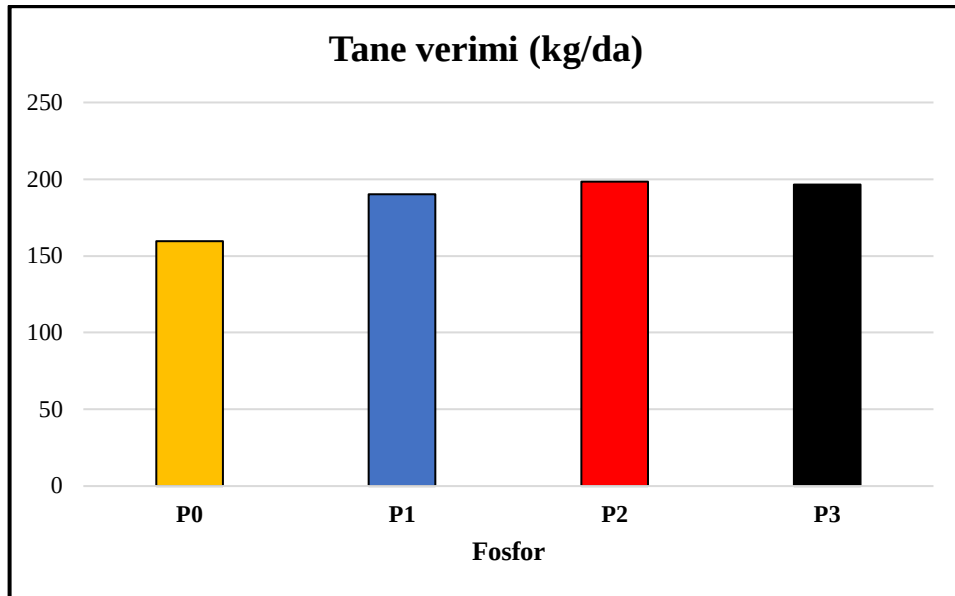
artan fosfor seviyesine rağmen bitkilerce alımı sınırlandırılmıştır. Bu nedenle artan fosforlu gübre miktarına bağlı olarak tane verimi artış göstermiş ancak istatistiki açıdan önem arz etmemiştir. Ayrıca, priming uygulamaları neticesinde topraktaki bağlı fosfor bileşiklerinin de bitkiler tarafından alınmasına katkı sağlandığı düşünülürse 1,5 kg P_2O_5 /da uygulamasının tane verimi açısından daha etkili bir sonuca yol açtığı düşünülmektedir.

Priming uygulamalarının tane verimi açısından etkileri incelendiğinde, Pi-priming uygulaması dışında tüm materyallerin tane verimini kontrol uygulamasına göre istatistiki açıdan önemli derecede artırdığı, özellikle Si-priming uygulamasının tane veriminde dekarda yaklaşık 40 kg artırdığı tespit edilmiştir. Si uygulamalarının mercimekte verim ve verim komponentleri üzerine etkilerini gösteren çok sayıda tarla çalışmaları bulunmamasına rağmen, ürün verimini artırdığı buğday (White ve ark., 2017), mısır (Amin ve ark., 2016), soya (Hussain ve ark., 2021), kolza (Artyszak ve Kucinska, 2016), şeker pancarı (Artyszak ve ark., 2014) ve patates (Crusciol ve ark., 2009) gibi birçok önemli tarla bitkisinde rapor edilmiştir. Artyszak (2018), Si gübrelemesinin ürün verimini ve kalitesini önemli ölçüde artırdığını belirtmiştir. Silisyum uygulamasının bitkide tane verimini artırmasının bir diğer sebebinin de besin maddesi alımını (özellikle fosfor) teşvik etmesi olduğu düşünülmektedir. Çünkü birçok araştırmacı silisyumun bitkilerde fosfor alımının artmasına yol açtığını belirtmişlerdir (Reithmaier ve ark., 2017; Etesami ve Jeong, 2018; Rezakhani ve ark., 2019b; Schaller ve ark., 2019). Sitrik asit uygulamalarının da priming, topraktan veya yapraktan uygulama yöntemleriyle uygulanmasının bitkilerde besin maddesi alımı, morfolojik gelişim ve verim unsurları açısından olumlu etkilerinin olduğu bildirilmiştir (Afshan ve ark., 2015; Perez-Labrada ve ark., 2015; Santos ve ark., 2017; Mallhi ve ark., 2019). Sitrik asit, bitki kökleri tarafından bitki besin elementlerinin yarayışlı hale geçirilebilmesi için kökler tarafından salgılanarak rizosfer bölgesine taşınan en önemli organik asit bileşiklerinden birisidir (Sharma ve ark., 2020). Bu nedenle bitki besin maddesi alımını artırarak bitki gelişimi ve tane verimi açısından olumlu sonuçların ortaya çıkmasına imkân sağlamış olabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde, araştırmamızda tane veriminin önemli ölçüde artmasına yol açan PGPB-priming uygulamasının farklı bitki gruplarında da tane verimi üzerine teşvik edici etkilerinin olduğu belirlenmiştir (Moretti ve ark., 2019; Efthimiadou ve ark., 2020; Ismail ve ark., 2021; Fiodor ve ark., 2023). Salisilik asit, fitohormon olarak kabul edilen bitki büyüme ve gelişimini düzenleyen bileşenlerden biri olarak bitkilerin bağışıklık tepkilerini ve stres yanıtlarını düzenlemek için önemli bir rol oynar. Salisilik

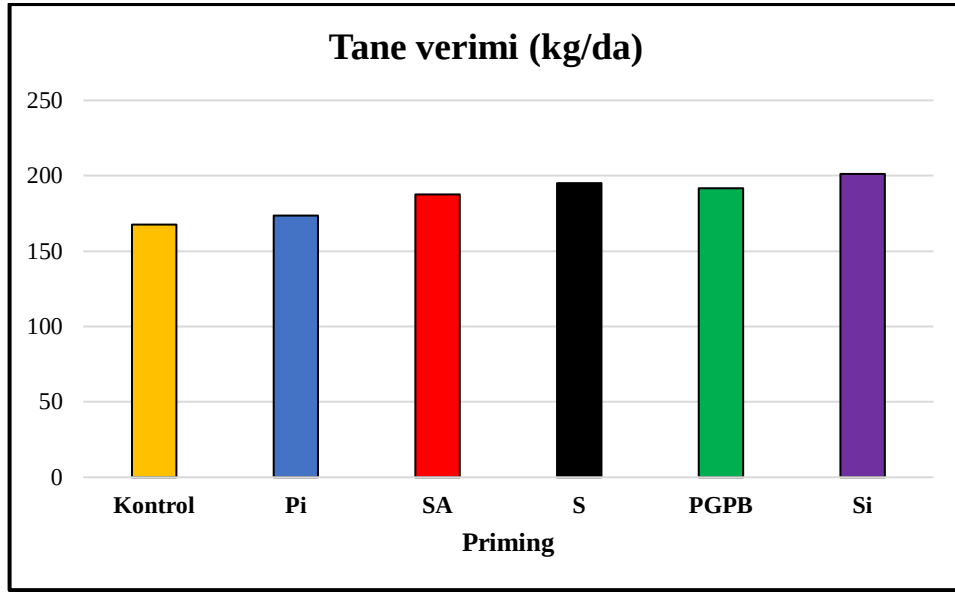
asidin bitkiler üzerindeki etkileri, konsantrasyonuna, bitki türüne, çevresel faktörlere ve uygulama metoduna bağlı olarak değişiklik gösterir. Birçok araştırmacı SA uygulamalarının bezelyede (Berkova ve ark., 2023), soyada (Kuchlan ve Kuchlan, 2023), ayçiçeğinde (Han ve ark., 2023), kolzada (Golloyeh ve ark., 2020), susamda (Najafabadi ve Ehsanzadeh, 2017), buğdayda (Abdi ve ark., 2022) ve fasulyede (Danir ve ark., 2019) tane verimini olumlu yönde etkilediğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.33. Tane veriminin yıllara göre değişim grafiği

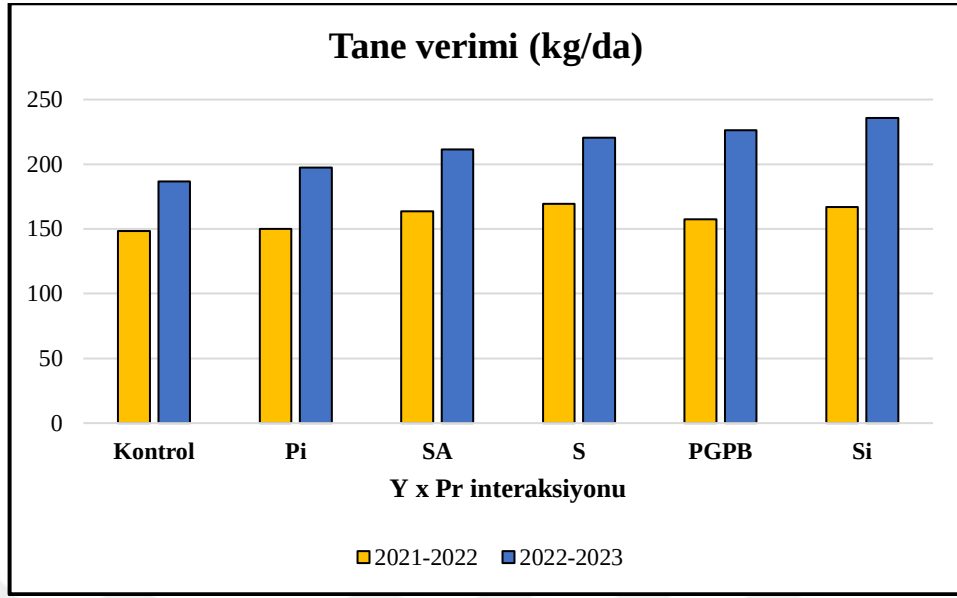


Şekil 4.34. Tane veriminin fosfor dozlarına göre değişim grafiği

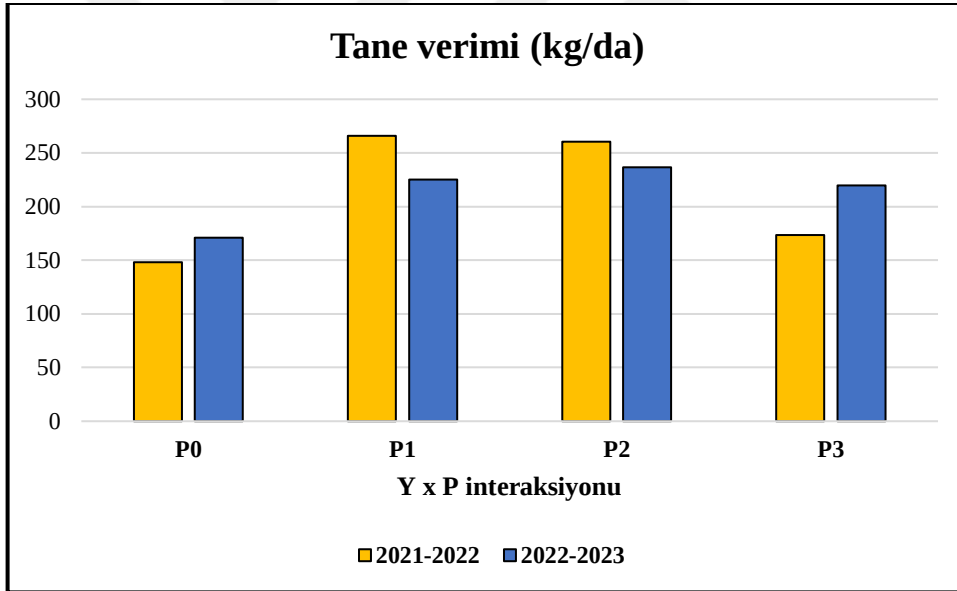


Şekil 4.35. Tane veriminin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

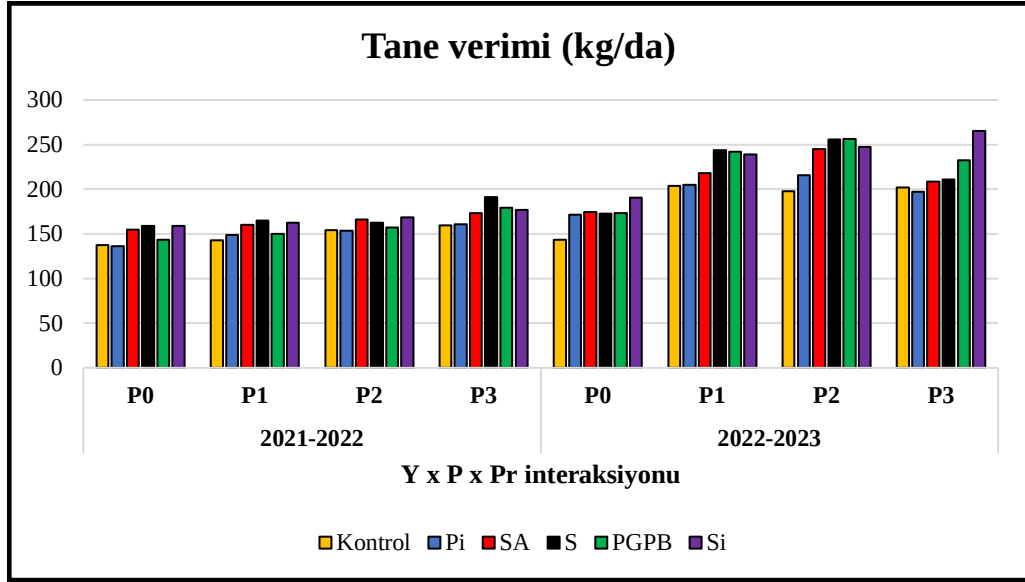
Y x Pr interaksiyonunun tane verimi açısından önemli farklılıklara yol açmasının nedeni ikinci yılda periyodik olarak primin uygulamalarına paralel bir şekilde artış gösteren tane veriminin birinci yılda PGPB-priming ile düşüş göstermiş olmasıdır (Şekil 4.36). Yıllar arasındaki farklı ekolojik özellikler nedeniyle bitkilerin priming uygulamalarına bağlı olarak performanslarında farklılıkların olduğu düşünülmektedir. Y x P interaksiyonunun tane verimi üzerine etkileri incelendiğinde P1 dozunda tane veriminin birinci ve ikinci yılda artış gösterdiği, P2 dozunda birinci yılda azalış ikinci yılda artışa sebep olduğu görülmektedir. İstatistiki açıdan önemli çıkan farklılığın sebebinin sonuçlarda gözlemlenen bu dalgalanma olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.37). Ayrıca, farklı yetiştirme sezonlarında toprakta nem ve sıcaklığın farklı olması hem uygulanan gübrelerden hem de mevcut toprak rezervinden bitkilerin farklı düzeylerde yararlanabildiği ile açıklanabilir. Denemede kullanılan 3 faktör arasındaki interaksiyonun önemli çıkmasında; bazı priming uygulamalarının yıllara göre kıyaslandığında fosforlu gübrelemeye farklı tepki göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. PGPB-priming uygulaması 2021-22 sezonunda artan fosforlu gübre dozlarına paralel olarak tane veriminin artmasına katkı sağlarken, denemenin ikinci yılında P2 dozuna kadar artış sağlamış ancak P3 seviyesi ile birlikte bir miktar azalmasına yol açmıştır. Bu durumun sebebi, PGPB strainleri tarafından çözülerek bitki kökleri tarafından alınan fosfor içeriğinin P2 seviyesinde optimum düzeye ulaşması ve daha fazla fosfor alınmasının diğer bitki besin elementlerinin alınamamasından dolayı sınırlandırılmış olabilir (Şekil 4.38).



Şekil 4.36. Tane verimine ait Y x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.37. Tane verimine ait Y x P interaksyon grafiği



Şekil 4.38. Tane verimine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği

4.14. Hasat İndeksi

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait hasat indeksine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.27’de, hasat indeksine ait ortalama değerler ise Tablo 4.28’de verilmiştir. Hasat indeksine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar ve Y x P interaksiyonunun hasat indeksi üzerine etkileri istatistiksel olarak çok önemli ($p < 0.01$) bulunurken, priming uygulamalarının etkisi ise önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. Faktörlere ait diğer interaksiyonların etkilerinin önemli olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.27. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak hasat indeksine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	170,07	170,07	28,623**
Blok	6	120,79	20,13	3,388
Fosfor (P)	3	45,88	15,29	2,574
Y x P	3	94,65	31,55	5,310**
Hata ₁	18	106,95	5,94	
Priming (Pr)	5	174,07	34,81	3,046*
Y x Pr	5	36,25	7,25	0,634
P x Pr	15	251,41	16,76	1,467
Y x P x Pr	15	118,13	7,88	0,689
Hata ₂	120	1371,37	11,428	
Genel	191			

**: $p < 0.01$

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde hasat indeksi; birinci yılda %35,0 ve ikinci yılda %33,1 olarak tespit edilmiştir. Priming uygulamalarına bağlı olarak en düşük hasat indeksi %32,2 olarak kontrol uygulamasında, en yüksek ise 34,9 ile Si-priming uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.28). Y x P interaksyonu bakımından değerlendirildiğinde hasat indeksinin %32,2-35,2 aralığında değişim gösterdiği, en düşük hasat indeksinin ikinci yıl fosforlu gübre verilmeyen kontrol uygulamasından, en yüksek ise birinci yıl 1,5 kg P₂O₅/da uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.28).



Tablo 4.28. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının hasat indeksine etkisi

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	34,4	36,2	33,0	33,4	32,8	31,6	32,5	34,0	34,2	32,7	33,6	33,9	32,7	33,7	33,5 AB
Pi	35,7	30,9	32,3	33,9	30,9	31,1	33,1	29,8	33,1	31,2	33,3	31,0	32,7	31,8	32,2 B
SA	36,6	34,7	33,7	33,6	34,7	32,6	36,7	33,8	34,7	34,4	35,6	33,6	35,2	33,8	34,6 AB
S	35,7	37,3	35,8	35,1	30,7	32,0	37,8	31,0	36,0	32,9	33,2	34,6	36,8	33,1	34,4 AB
PGPB	35,1	36,6	35,7	36,6	34,4	33,5	34,4	31,6	36,0	33,5	34,8	35,0	35,0	34,1	34,7 A
Si	32,4	35,8	37,3	38,0	30,0	34,1	36,4	35,3	33,9	35,9	31,2	35,0	36,8	36,7	34,9 A
Yıl x Fosfor dozu															
Yıl															
Fosfor dozları															
Ortalama	35,0 A	35,2 A	34,6 AB	35,1 A	32,2 B	32,5 B	35,1 A	32,6 B	35,0 A	33,1 B	33,6	33,9	34,9	33,9	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

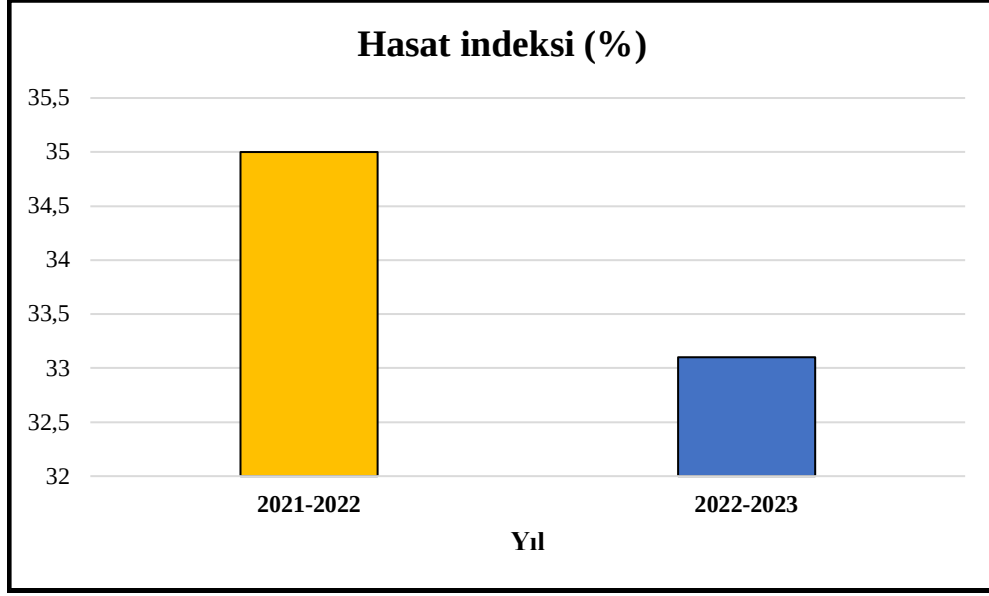
Hasat indeksinin çalışma sezonlarına göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda ikinci yıla göre birinci yılda %5,7 oranında hasat indeksinin daha yüksek elde edildiği görülmektedir (Şekil 4.39). Priming uygulamaları açısından ise en yüksek hasat indeksi değerinin Si-priming olduğu ve priming uygulanmayan bitkiler ile kıyaslandığında hasat indeksini %4,2 oranında artırdığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.40).

Nichiporovich (1960) tarafından tanımlandığı şekliyle biyolojik verim, bitkinin toprak üstü aksamındaki kuru madde birikimini temsil eder. Ayrıca, ekonomik verimin (taneler) toplam biyolojik verime oranı hasat indeksi olarak adlandırılmıştır (Donald, 1962). Genel olarak baklagiller, vejetatif aksamında yüksek kuru madde üretme eğiliminde olmazlar ve çok az tane verimi üretirler, bu da zayıf hasat endeksine yol açar (Jain, 1971). Singh (1977), baklagillerde üretilen tanenin vejetatif aksam oranının genel olarak %40-50 aralığında değişim gösterdiğini ifade etmiş ancak mercimekte daha yüksek vejetatif aksam gelişimi ve daha düşük tane üretiminde dolayı hasat indeksinin diğer baklagil bitkilerine kıyasla daha düşük olduğunu ifade etmiştir. Daha yakın bir tarihte Hindistan’da 36 mercimek genotipi ile gerçekleştirilen bir araştırmada hasat indeksinin %37,78-62,96 aralığında değişim gösterdiği rapor edilmiştir (Dixit ve ark., 2017). Ancak araştırmada kullanılan mercimek genotipleri arasında yeşil ve sultani mercimek türlerinin de bulunması çalışmamızdaki değerlere kıyasla hasat indeksinin daha yüksek çıkmasına sebep olmuştur.

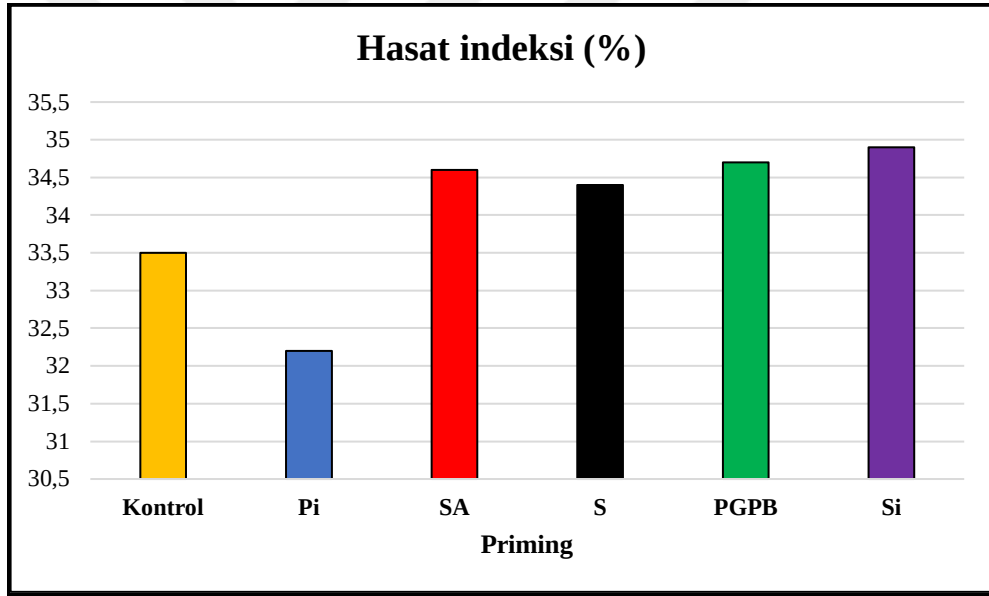
Yıllar açısından değerlendirildiğinde, tane verimi ve biyolojik verim özelliklerinin aksine birinci yılda daha yüksek hasat indeksi ortalamasının elde edildiği görülmektedir. Denemenin ikinci yılında tane verimi daha yüksek olmasının yanında vejetatif aksamın da birinci sezona göre daha fazla olması, 2022-23 sezonunda hasat indeksinin daha düşük çıkmasına neden olmuştur. Bu noktada yıllar arasındaki farklılığı etkileyen diğer bir husus yetiştirme sezonları arasındaki bitki sıklığıdır. Daha önceki bölümlerde vurgulandığı üzere 2022-23 sezonunda 2021-22 sezonuna kıyasla metrekarede bitki sayısının %27 oranında daha fazla olması her ne kadar yüksek rekabet ortamı oluşturacak seviyede olmasa bile farklılıkların oluşması ile sonuçlanmıştır. Burada ortaya çıkan tablo, bitki sıklığının vejetatif gelişme döneminde rekabet ortamı oluşturmadığı, ancak tane doldurma döneminde besin elementi alınmasını veya taneye taşınmasını etkilemiş olabileceği yönündedir. Çünkü her iki yetiştirme sezonunda da biyolojik verim ve tane veriminin 2022-23 sezonunda daha yüksek çıktığı görülmekte ancak oransal olarak değerlendirildiğinde 2022-23 sezonunda daha düşük tane üretimi ile sonuçlanmış olduğu görülmektedir. Mercimekte hasat indeksini Canbolat (2014) Kahramanmaraş ekolojik

koşullarında %44,7-45,9, Kaplan (2015) Van ekolojik koşullarında %31,5-37,0, Hakkoymaz (2018) Konya ekolojik koşullarında %20,5-31,2, Kardeş (2019) Kırşehir ekolojik koşullarında %29,0-33,3, Küçükay ve ark. (2019) Isparta ekolojik koşullarında %24,9-41,5, Chen ve ark. (2021) Zürih Ekolojik koşullarında %56-63, Tek (2022) Diyarbakır ekolojik koşullarında %14,6-32,6, Yıldırım (2022) Siirt ekolojik koşullarında %21,7-32,6 ve Shahshwat ve ark. (2023) Kanpur (Hindistan) ekolojik koşullarında %35,7-43,1 aralığında tespit etmişlerdir. Araştırmamızdan elde edilen hasat indeksi değerleri (%29,8-38,0), Kaplan (2015), Kardeş (2019), Küçükayve ark. (2019) ve Shahshwat ve ark. (2023)'nın elde ettiği bulgular ile uyum gösterirken, Canbolat (2014) ve Chen ve ark. (2023)'ün sonuçlarına kıyasla düşük, Hakkoymaz (2018) ve Yıldırım (2022)'in sonuçları ile kıyaslandığında ise yüksek bulunmuştur. Hasat indeksi çevresel faktörlerden ve genetik özelliklerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle gerek bölgeler arasındaki farklılıklar gerekse genetik özellikler arasındaki değişimler hasat indeksi değerleri bakımından birtakım farklılıkların oluşmasına yol açmıştır.

Priming uygulamalarına bağlı olarak hasat indeksinde artış (PGPB ve Si-priming) veya azalış (Pi-priming) olduğu tespit edilmiştir. Bu karmaşık sonuçların nedeni, priming uygulamalarına bağlı olarak hem bitki gelişiminin hem de tane veriminin teşvik edilmiş olmasıdır. Bu nedenledir ki, Pi-priming uygulamasında biyolojik verim değerinin diğer uygulamalara oranla daha fazla artış göstermiş olması hasat indeksi değerinin daha düşük çıkmasına yol açmıştır. Priming uygulamalarının mercimekte hasat indeksi üzerine etkileri farklı araştırmacılar tarafından incelenmiş ve bazı uygulamaların hasat indeksinin artmasına bazılarının ise azalmasına yol açtığı rapor edilmiştir (Pakbaz ve ark., 2014; Toklu, 2015; Azarnia ve ark., 2020). Bu nedenle, araştırmamızda priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen sonuçlar, daha önce farklı araştırmacıların ortaya koyduğu sonuçlar ile uyum göstermektedir.

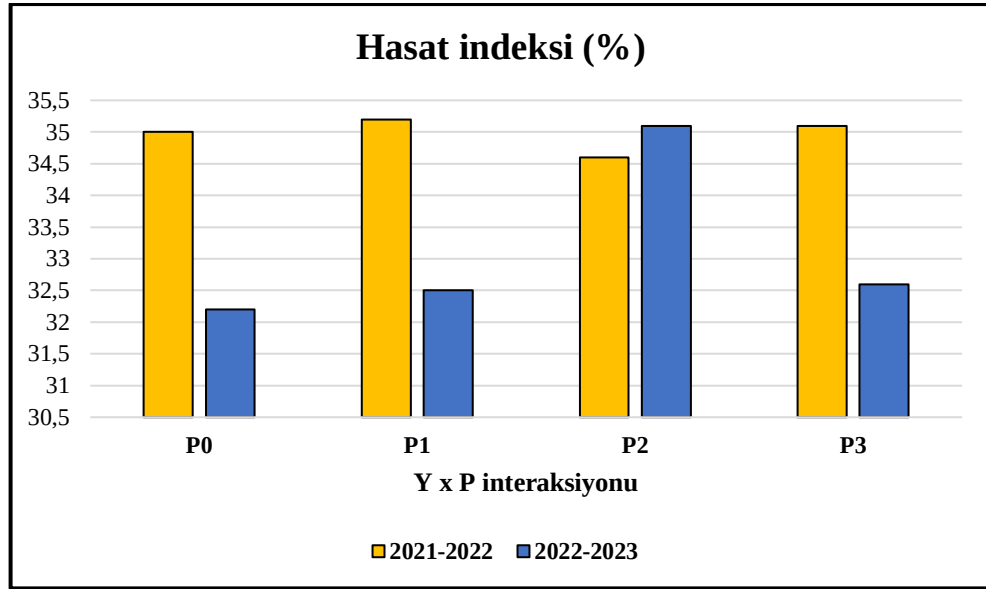


Şekil 4.39. Hasat indeksinin yıllara göre değişim grafiği



Şekil 4.40. Hasat indeksinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

Y x P interaksiyonunun hasat indeksi bakımından önemli farklılıklara yol açmasının nedeni P2 dozu dışındaki tüm fosforlu gübre uygulamalarının birinci yılda daha yüksek hasat indeksine sebep olması, ancak P2 dozunda ikinci yıl sonuçlarının daha yüksek olarak elde edilmesidir (Şekil 4.41).



Şekil 4.41. Hasat indeksine ait Y x P interaksiyon grafiği

4.15. 1000-Tane Ağırlığı

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait 1000-tane ağırlığına ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.29’da, 1000-tane ağırlığına ait ortalama değerler ise Tablo 4.30’da verilmiştir. 1000-tane ağırlığına ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p < 0.01$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Fosfor ve priming uygulamalarının ve faktörler arasındaki interaksiyonların ise istatistiki açıdan önemli bir farklılığa yol açmadığı gözlemlenmiştir.

Yetiştirme sezonlarına bağlı olarak 1000-tane ağırlığı değerleri birinci yılda 33,3 g, ikinci yılda ise 28,3 g olarak tespit edilmiştir. Diğer faktörlere bağlı olarak önemli bir farklılık oluşmamasına rağmen 1000-tane ağırlığının 26,1-35,0 g aralığında değişim gösterdiği saptanmıştır.

Tablo 4.29. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağı olarak 1000-tane ağırlığına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	17819,900	17819,900	10756,64**
Blok	6	47,001	7,834	4,3612
Fosfor (P)	3	17,647	5,882	3,5507
Y x P	3	12,819	4,273	2,5794
Hata ₁	18	10,899	1,817	
Priming (Pr)	5	9,568	1,595	1,5350
Y x Pr	5	16,939	0,941	0,9058
P x Pr	15	14,887	0,827	0,7961
Y x P x Pr	15	32,331	1,796	1,7289
Hata ₂	120	116,355	1,039	
Genel	191			

**.: p<0.01

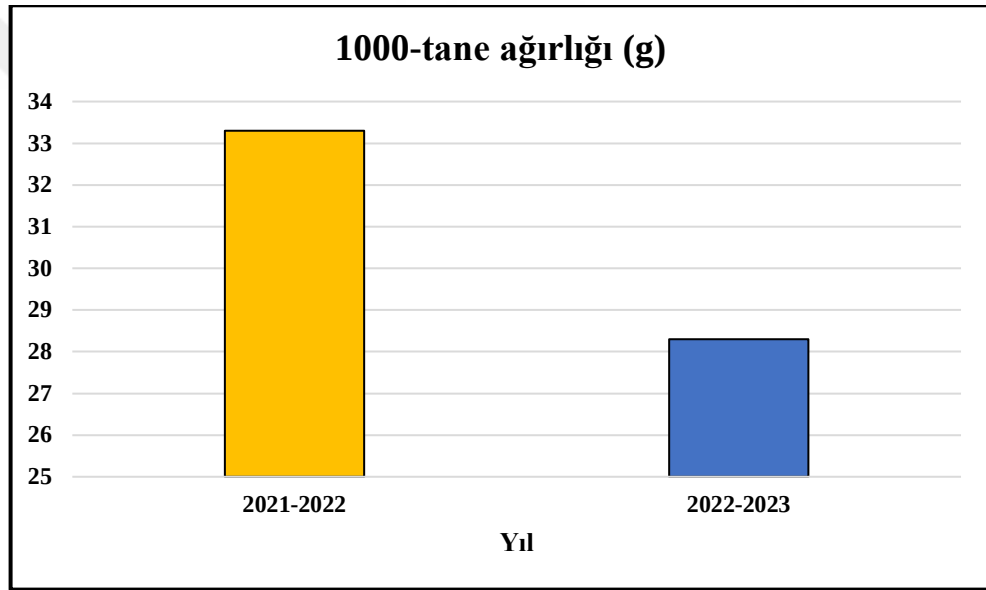
Tablo 4.30. Farklı fosfor seviyeleri ve tohuma priming uygulamalarının 1000-tane ağırlığına etkisi (g)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	31,4	32,6	34,7	34,2	28,2	26,1	28,5	28,3	33,2	27,8	29,8	29,3	31,6	31,3	30,5
Pi	31,9	32,3	32,6	32,7	29,1	27,9	27,9	28,3	32,4	28,3	30,5	30,1	30,3	30,5	30,3
SA	33,3	33,1	33,2	34,2	29,0	29,0	28,5	29,2	33,4	28,9	31,1	31,1	30,8	31,7	31,2
S	33,2	33,9	34,1	34,2	28,3	28,0	28,3	28,1	33,9	28,2	30,8	30,9	31,2	31,2	31,0
PGPB	32,6	33,6	33,8	33,5	29,1	27,7	28,7	29,7	33,4	28,8	30,8	30,6	31,2	31,6	31,1
Si	32,2	32,6	33,6	35,0	27,8	27,8	28,6	28,1	33,3	28,1	30,0	30,2	31,1	31,2	30,7
Yıl x Fosfor dozu															
Ortalama	32,4	33,0	33,6	34,0	28,6	27,7	28,4	28,6	33,3 A	28,3 B	30,5	30,4	31,0	31,3	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

1000-tane ağırlığının yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda ikinci yıla göre birinci yılda %17,7 oranında daha yüksek elde edildiği görülmektedir (Şekil 4.42). Mercimekte 1000-tane ağırlığı kırmızı mercimek, yeşil mercimek ve sultani mercimek olmak üzere gruplar arasında önemli bir varyasyon ortaya koymaktadır. Barulina (1930), küçük taneli mercimeklerde 1000-tane ağırlığının 11-40 g aralığında değiştiğini, iri tanelilerde ise bu aralığın 40-82 g olarak belirlendiğini bildirmiştir. Tullu ve ark. (2001), 287 mercimek genotipi ile yürüttükleri araştırmada 1000-tane ağırlığının 13-74 g aralığında değiştiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca kotiledon rengine bağlı olarak sarı/yeşil kotiledon rengine sahip genotiplerde 1000-tane ağırlığının 17-74 g, kırmızı kotiledon rengine sahip genotiplerde ise 13-52 g aralığında değiştiği ortaya koyulmuştur (Saxena, 2009). 1000-tane ağırlığının büyük oranda genotipik özelliklere bağlı olarak belirlendiği, bu nedenle farklı genotipler arasında 1000-tane ağırlığı bakımından geniş bir varyasyon ortaya çıktığı çeşitli araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir (Parveen ve Bhuiya, 2010; Tahir ve ark., 2011; Toklu ve ark., 2017). Ancak, bazı araştırmacılar 1000-tane ağırlığının çevresel faktörlere bağlı olarak da değiştiğini, sadece kalıtsal özelliklere göre şekillenmediğini ifade etmişlerdir. Biçer ve Şakar (2004), iki farklı lokasyonda 14 farklı mercimek genotipi ile yürüttükleri araştırma neticesinde 1000-tane ağırlığını orta derecede kalıtım gösteren bir karakter olarak değerlendirmiş, genotiplerin çevreye bağlı olarak farklı 1000-tane ağırlığına sahip olduklarını ifade etmişlerdir. Hamdi ve ark. (2002), mercimekte 1000-tane ağırlığı açısından genotip x çevre interaksiyonunun önemli derecede etkisinin olduğunu ortaya koymuşlardır. Benzer şekilde, Vlachostergios ve ark. (2021) farklı ekolojik özelliklere sahip bölgelerde yetiştirilen aynı genotipin farklı 1000-tane ağırlığı ortaya koyduğunu rapor etmişlerdir. Farklı ekolojik özelliklere sahip bölgelerde yetiştirilen mercimekte 1000-tane ağırlığı bakımından ortaya çıkan farklılıklar, aynı lokasyonda fakat farklı yıllarda yetiştirilen mercimek ürünü bakımından benzer bir durum ortaya koymaktadır. Çünkü aynı lokasyonda dahi olsa farklı yıllarda yağış, sıcaklık, rüzgâr vs. gibi birçok parametre değişmekte ve bu durum bitkinin yetiştirme ortamını tamamen farklılaştırmaktadır. Bu nedenle, araştırmamızda yıllara göre 1000-tane ağırlığının farklı çıkması literatürdeki bilgiler tarafından desteklenmektedir. Yıllar arasında ortaya çıkan bu farklılığın birincil sebebi metrekarede bitki sayısı bakımından ortaya çıkan farklılık olarak görülmektedir. Birinci yılda yaklaşık %27 oranında bitki sıklığının azalmış olması özellikle tane doldurma döneminde bitkilere avantaj sağlamış ve taneye taşınan besin maddesi miktarını tanede kuru madde birikiminin teşvik edilmesine ve böylece 1000-tane ağırlığının artmasına imkân sağlamıştır. Mercimekte 1000-tane ağırlığını Biçer ve Şakar (2011) Diyarbakır

ekolojik koşullarında 27,2-43,0 g, Çokkızgın ve ark. (2005) Kahramanmaraş ekolojik koşullarında 30,3-57,5 g, Öktem (2016) Şanlıurfa ekolojik koşullarında 33,6-46,1 g, Erman ve ark. (2022b) Van ekolojik koşullarında 33,5-36,3 g, Ağsakallı ve Olgun (1999) Pasinler ekolojik koşullarında 24,8-31,5 g ve Erbaş-Köse ve ark. (2017) Yozgat ekolojik koşullarında 51,8-65,7 g aralığında rapor etmişlerdir. Araştırmamızda 1000-tane ağırlığı açısından elde edilen değerler 26,1-35,0 g aralığında tespit edilmiş olup sonuçlar Biçer ve Şakar (2011), Erman ve ark. (2022b), Ağsakallı ve Olgun (1999)'un ortaya koyduğu bulgular ile uyum gösterirken Çokkızgın ve ark. (2005) ve Erbaş-Köse ve ark. (2017)'nin bulgularına kıyasla düşük çıkmıştır. Bu durumun ekolojik ve genotipik farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.42. 1000-tane ağırlığının yıllara göre değişim grafiği

4.16. Bitkide Azot İçeriği

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait bitkide azot içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.31’de, bitkide azot içeriğine ait ortalama değerler ise Tablo 4.32’de verilmiştir. Bitkide azot içeriğine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar, fosfor dozları ve priming uygulamaları arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p<0.01$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, $P \times Pr$ ve $Y \times P \times Pr$ interaksiyonlarının da bitkide azot içeriği açısından istatistiki anlamda çok önemli ($p<0.01$) farklılıklara sebep olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.31. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağı olarak bitkide azot (N) içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	17,3310	17,3314	255,3358**
Blok	6	1,1648	0,1941	3,1445
Fosfor (P)	3	4,6996	1,5665	23,0788**
Y x P	3	0,5009	0,1670	2,4596
Hata ₁	18	4,7226	0,7871	
Priming (Pr)	5	0,4950	0,0825	0,8678**
Y x Pr	5	9,6405	0,5356	5,6335
P x Pr	15	6,0510	0,3362	3,5360**
Y x P x Pr	15	1,1112	0,0617	0,6494**
Hata ₂	120	10,6480	0,0951	
Genel	191			

** : p<0.01

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde bitkide azot içeriği birinci yılda %3,56 ve ikinci yılda %2,89 olarak tespit edilmiştir. Fosfor dozları bakımından bitkide azot içeriği %3,02-3,44 aralığında değişim göstermiş olup en düşük değer fosfor gübrelemesi yapılmayan kontrol uygulamasında belirlenirken en yüksek 1,5 kg P₂O₅/da uygulanan bitkilerde tespit edilmiştir. Priming uygulamalarına bağı olarak bitkide en düşük azot içeriği %2,98 olarak kontrol uygulamasında, en yüksek ise %3,43 ile PGPB-priming uygulamasından elde edilmiştir. P x Pr interaksiyonunda ise bitkide en düşük azot içeriği (%2,22) fosforlu gübre ve priming uygulaması yapılmayan kontrol uygulamasında, en yüksek (%3,75) PGPB-priming uygulanan ve 1,5 kg P₂O₅/da ilave edilen parsellerden elde edilmiştir. Tüm faktörlerin üçlü interaksiyonu bakımından incelendiğinde, bitkide en düşük azot içeriği (%2,09) denemelerin birinci yılında fosforlu gübre ve priming uygulanmayan parsellerde belirlenirken, en yüksek (%4,26) ise yine denemenin birinci yılında priming uygulanmayan 3 kg P₂O₅/da uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.32)

Tablo 4.32. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide azot (N) içeriğine etkisi (%)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	2,09 n	3,48 a-l	4,26 a	3,25 c-m	2,34 mn	2,98 b-n	2,05 d-m	2,37 mn	3,27	2,69	2,22 g	3,23 a-f	3,65 ab	2,81 d-f	2,98 C
Pi	3,00 d-n	4,16 a-b	3,47 a-l	3,33 b-l	2,59 k-n	2,89 f-n	2,85 g-n	2,95 e-n	3,50	2,82	2,80 e-g	3,54 ab	3,16 a-f	3,14 b-f	3,16 BC
SA	3,39 a-l	3,98 a-c	3,82 a-e	3,99 a-c	2,75 j-n	3,22 c-m	3,22 c-m	2,82 i-n	3,79	3,00	3,07 b-f	3,60 ab	3,52 ab	3,40 a-d	3,40 A
S	3,88 a-d	3,54 a-j	3,82 a-e	3,25 c-m	2,86 g-n	3,26 c-m	2,99 d-n	2,56 l-n	3,62	2,91	3,37 a-e	3,40 a-d	3,40 a-d	2,90 c-f	3,27 AB
PGPB	3,56 a-j	3,99 a-c	3,77 a-g	3,74 a-h	3,04 d-m	3,51 a-k	3,10 c-m	2,74 j-n	3,76	3,10	3,30 a-f	3,75 a	3,43 a-c	3,24 a-f	3,43 A
Si	3,73 a-i	3,32 b-l	3,79 a-f	2,85 g-n	2,99 d-n	2,89 f-n	2,84 h-n	2,66 j-n	3,42	2,85	3,36 a-e	3,10 b-f	3,31 a-f	2,76 fg	3,13 BC
Yıl x Fosfor dozu															
Yıl															
Fosfor dozları															
Ortalama	3,27	3,75	3,82	3,40	2,76	3,12	3,01	2,68	3,56 A	2,89 B	3,02 B	3,44 A	3,41 A	3,04 B	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

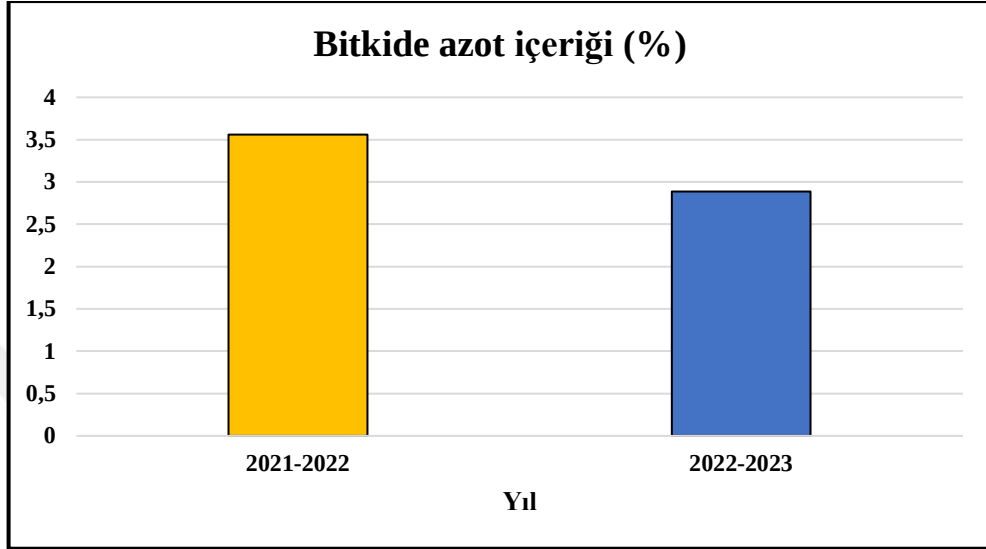
Bitkide azot içeriğinin yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda ikinci yıla göre birinci yılda %23,2 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.43). Araştırma sonuçlarına göre 1,5 kg P₂O₅/da uygulaması fosforlu gübre ilavesi yapılmayan kontrol uygulamasına göre bitkide azot içeriğini %13,9 oranında artırmıştır (Şekil 4.44). Priming uygulamalarında ise Pi, SA, S, PGPB ve Si materyallerinin kontrol uygulamasına göre bitkide azot içeriğini sırasıyla %6,0, %14,1, %9,7, %15,1 ve %5,0 oranında artırdığı sonucuna varılmıştır (Şekil 4.45).

Yıllara göre bitkide azot içeriğinin önemli ölçüde değişim gösterdiği görülmektedir. Mercimekte ekimle birlikte her iki sezonda da başlangıç azotu uygulanmış olup bu durum nodül oluşumuna kadar geçen sürede sağlıklı bitki gelişimi için bitkilerin ihtiyaç duyduğu azotun karşılanması amacıyla gerçekleştirilmektedir (Çiftçi ve Adak, 2009). Bu nedenle, bitkilerdeki toplam azot içeriği örneklerin alındığı çiçeklenme başlangıcındaki tarihe kadar bitkilerin gerçekleştirmiş olduğu simbiyotik azot fiksasyonuna bağlıdır. Öyle ise, yıllara bağlı olarak bitkide azot içeriği değerlendirirken biyolojik azot fiksasyonunu etkileyen faktörler (iklim ve toprak verileri) göz önünde bulundurulmalıdır (Lee, 2009; McCauley ve ark., 2012; Amirnia ve ark., 2019; Baber ve ark., 2023). Bitki örnekleri birinci ve ikinci yılda sırasıyla 20 Mart ve 1 Nisan tarihlerinde, ilk çiçeklerin görülmeye başladığı dönemde, nodül oluşumunun ve azot fiksasyonunun en yüksek seviyeye ulaştığı dönemde alınmıştır. Denemelerin birinci yılında Nisan ayına kadar geçen süreler göz önünde bulundurulduğunda ilk yıl 408 mm, ikinci yıl ise 220,8 mm yağış düştüğü görülmektedir. Her ne kadar düzenli bir yağış dağılımı görülmemiş olsa da kuraklık stresinin hem baklagil bitkilerini hem de rhizobium bakterilerini olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir (Mishra ve ark., 2016; Kibido ve ark., 2019). Bunun dışında, deneme arazilerine ait toprak özellikleri incelendiğinde, denemenin birinci yılındaki toprak analiz sonuçları ikinci yıla göre daha yüksek organik madde ve yarıyışlı fosfor içeriğinin olduğuna işaret etmektedir. Toprakta mikroorganizma faaliyetleri açısından organik maddenin doğrudan ve olumlu etkilerinin olduğu çeşitli araştırmacılar tarafında ortaya konmuştur (Chao ve Alexander, 1982; Pena-Cabriaes ve Alexander, 1983; Masciandaro ve ark., 2013). Bu nedenle, birinci yılda daha yüksek simbiyotik azot fiksasyonu gerçekleştiren bitkilerde azot içeriğinin daha yüksek çıktığı düşünülmektedir. Keşli (2009) Ankara ekolojik koşullarında yürüttükleri araştırmada çiçeklenme döneminde bitkilerdeki azot içeriğini %2,55-3,35 aralığında tespit etmiştir. Araştırmamızdan elde edilen azot içeriklerine ilişkin bulgular Keşli (2009)'un sonuçları ile uyum göstermektedir.

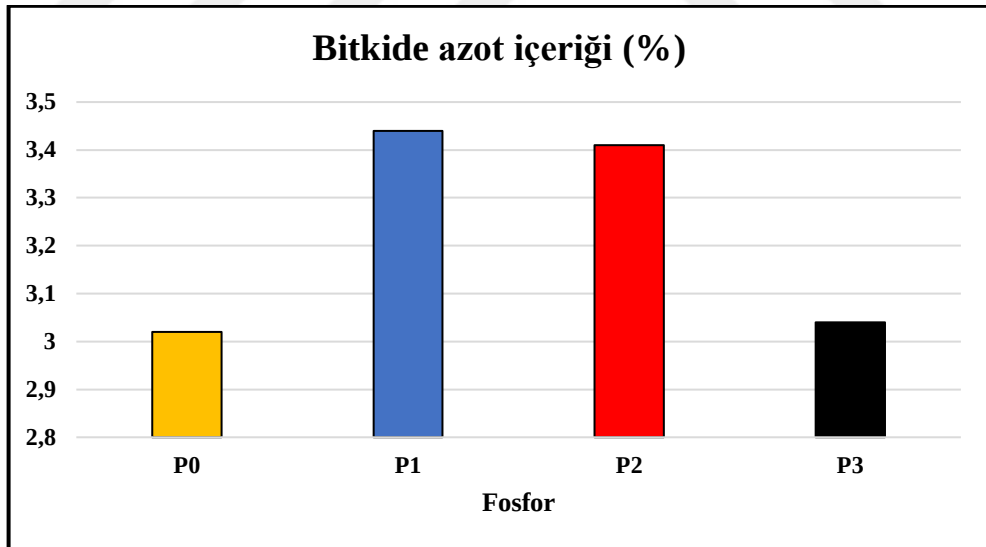
Fosfor dozlarının bitkide azot içeriği üzerine etkileri incelendiğinde 1,5 ve 3 kg P_2O_5 /da uygulamalarının kontrole göre önemli ölçüde yüksek, ancak birbiri ile aynı grupta yer alacak ölçüde toplam azot içeriğine yol açtığı, ancak 6 kg P_2O_5 /da dozunda tekrar azot içeriğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Biyolojik azot fiksasyonu yüksek enerji gerektiren ve karmaşık bir mekanizmaya sahiptir. Fosfor, hücrelerde enerji mekanizmasının kilit unsurlarından birisi olduğundan fosforlu gübre uygulamalarının biyolojik azot fiksasyonu üzerinde olumlu etkilerinin olduğu bildirilmektedir (Singh ve Singh, 2016). Sepetoğlu (2002), fosforlu gübre uygulamalarının nodül oluşumu üzerinde doğrudan etkili olduğunu ifade etmiştir. Singh ve ark. (2017b), fosfor ve molibden uygulamalarının mercimekte besin elementi içerikleri üzerine etkilerini incelemişler ve artan fosforlu gübre dozlarına bağlı olarak bitkisel aksamdaki azot içeriğinin arttığını bildirmişlerdir. Gahoonia ve ark. (2006), uygun düzeyde fosfor seviyesinin daha erken nodül oluşumunu teşvik ettiğini belirtmişlerdir. Jindal ve ark. (2008), belirli bir seviyeye kadar artan fosforlu gübre dozlarının nodül oluşumunu ve nodül kuru ağırlığını artırdığını, ancak 8 kg P_2O_5 /da ve daha yüksek seviyede fosfor uygulamasının nodül sayısının azalmasına yol açtığını tespit etmişlerdir. Araştırmamızdan bitkide azot içeriğine dair elde edilen bulgular daha önce gerçekleştirilen araştırmaların sonuçları ile uyum göstermektedir.

PGPB-priming uygulamasının bitkide en yüksek azot içeriğinin elde edilmesine imkân sağladığı, ancak SA-priming uygulaması ile aynı istatistiksel grup içerisinde yer aldığı, en düşük azot içeriğinin ise priming uygulanmayan parsellerde ortaya çıktığı Tablo 4.32’de görülmektedir. Priming uygulamalarının bitkide azot içeriği üzerine etkileri; fide ve kök gelişimi, biyolojik azot fiksasyonu ve fotosentez gibi fizyolojik mekanizmaların iyileştirilmesi, besin elementi alımının teşvik edilmesi gibi birçok yönden değerlendirilebilir. Priming uygulamalarının erken çimlenme ve fide çıkışı (Erman ve ark., 2022a; Heydari ve Chaichi, 2023), kök gelişimi (Adnan ve ark., 2020), besin maddesi alımı (Shah ve ark., 2012; Al-Salama, 2022), vejetatif dönemde bitki gelişimi (Rhaman ve ark., 2022) ve ürün verimi (Adhikary ve ark., 2022; Islam ve ark., 2022; Mazhar ve ark., 2022) açısından olumlu etkilerinin olduğu birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir. Bu nedenle, daha etkin bir kök gelişimi oluşturan bitkilerin topraktaki su ve besin maddesi içeriklerinden daha fazla yararlanma imkânı bulması beklenebilecek bir durumdur. Bununla birlikte, bitkide en yüksek azot içeriğinin PGPB-priming uygulaması ile elde edilmiş olması bitkide azot kazancının birincil kaynağı olan simbiyotik azot fiksasyonuna ek olarak asimbiyotik yolla azot tespit edildiğine işaret etmektedir.

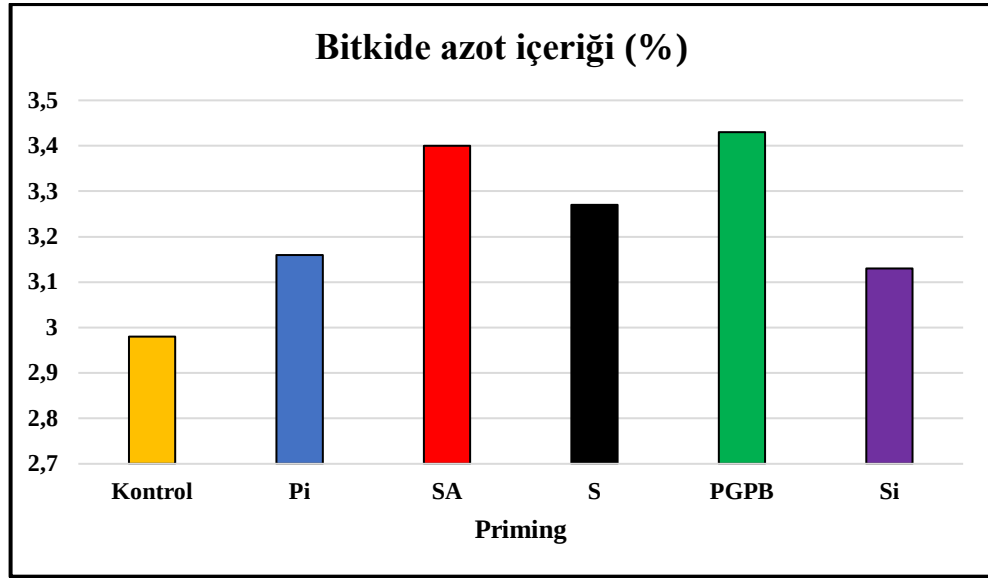
Kullanılan bakteriyel strainler azot fiksasyonu bakımından üstün özellikleri sebebiyle tercih edilmiştir. PGPB-priming uygulamalarının azot içeriğini artırdığına dair bilimsel araştırmalar mevcuttur (Singh ve ark., 2016; Masood ve ark., 2020; Alotaibi ve ark., 2022; Solouki ve ark., 2023).



Şekil 4.43. Bitkide azot içeriğinin yıllara göre değişim grafiği

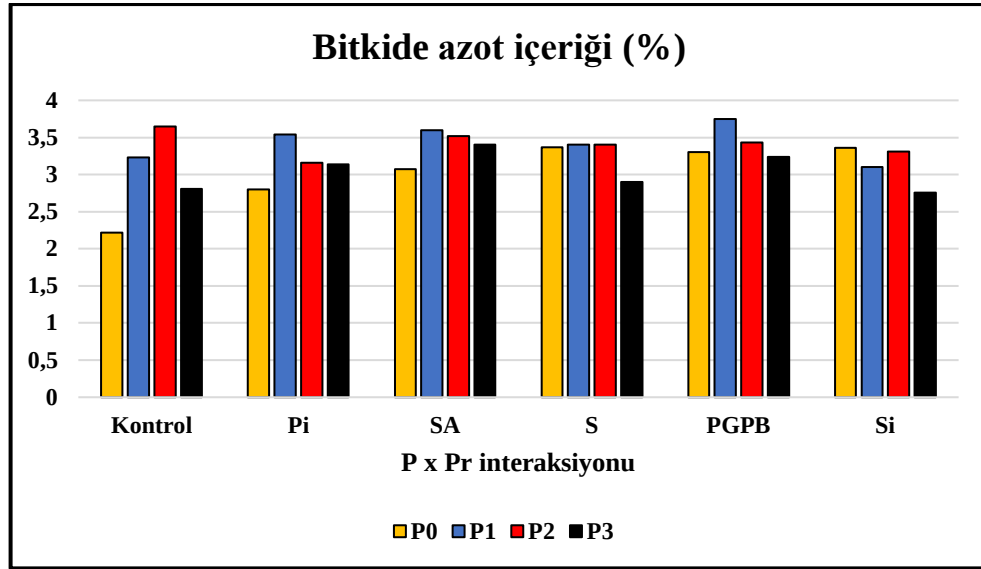


Şekil 4.44. Bitkide azot içeriğinin fosfor dozlarına göre değişim grafiği

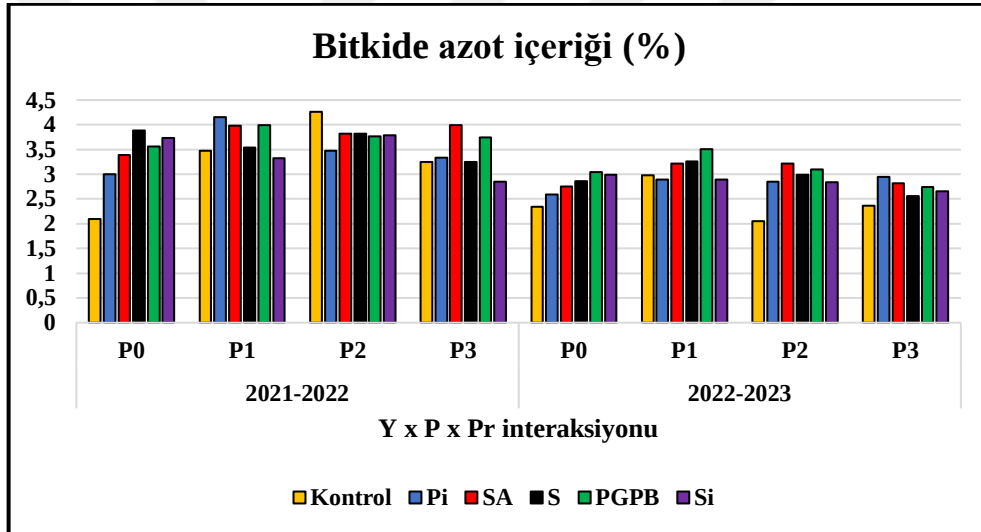


Şekil 4.45. Bitkide azot içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

Şekil 4.46 incelendiğinde, P x Pr interaksiyonunun önemli çıkmasının nedeni, P0, P1 ve P3 fosfor seviyelerinde neredeyse tüm priming uygulamalarının (P1 ve P3'te Si-priming hariç) priming uygulanmayan kontrol grubuna göre bitkide daha yüksek azot içeriğinin oluşmasına yol açtığı, ancak P2 fosfor seviyesinde priming uygulanmayan kontrol parselindeki bitkilerin tüm priming uygulamalarına kıyasla daha yüksek bitkide azot içeriği oluşmasına yol açmasıdır. Bitkide azot içeriğinin priming uygulamalarına bağlı olarak sadece P2 seviyesinde kontrol bitkilerine kıyasla düşük çıkması ancak örnekleme yapılırken seçilen bitkilerin ekstrem özellik göstermesi ile izah edilebilir. Y x P x Pr interaksiyonunun bitkide azot içeriği üzerine etkilerinin istatistiki açıdan önemli çıkmasının nedeni; priming uygulamalarının yıl ve fosforlu gübre dozuna bağlı olarak azot içeriği üzerine farklı etkiler göstermesidir. Şekil 4.47'te görüldüğü üzere, 3 kg P₂O₅/da ilave edilen ve priming uygulanmayan parsellerde birinci yıl bitkide en yüksek azot içeriği elde edilirken, ikinci yıl en düşük değerler elde edilmiştir. Birinci yılda priming uygulamalarından bağımsız olarak fosforlu gübre seviyesine göre en yüksek bitkide azot içeriğinin elde edilmesi 2021-22 sezonunda biyolojik azot fiksasyonu mekanizmasını sınırlandıran faktörün fosfor noksanlığı olduğu, ikinci yılda ise fiksasyon sürecine etki eden veya sınırlandıran başka bir faktörün devreye girdiği ile yorumlanabilir. Aksi halde 2022-23 sezonunda P2 veya P3 seviyesinde tespit edilen bitkide azot içeriği P0 ve P1'den daha düşük olmaması gerekirdi.



Şekil 4.46. Bitkide azot içeriğine ait P x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.47. Bitkide azot içeriğine ait Y x P x Pr interaksyon grafiği

4.17. Bitkide Fosfor İçeriği

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-2022 ve 2022-2023 yılları ile yıllar ortalamasına ait bitkide fosfor içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.33'te, yaprakta fosfor içeriğine ait ortalama değerler ise Tablo 4.34'te verilmiştir. Bitkide fosfor içeriğine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar ve priming uygulamaları arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p < 0.01$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, P x Pr ve Y x P x Pr interaksyonları Bitkide fosfor içeriği açısından istatistiki anlamda çok önemli ($p < 0.01$) farklılıklara sebep olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.33. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağı olarak bitkide fosfor (P) içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	8892408,3	8892408,3	2,769**
Blok	6	314386,9	52397,8	0,252
Fosfor (P)	3	473903,8	157967,9	0,760
Y x P	3	430779,4	143593,1	0,691
Hata ₁	18	3742475,5	207915,3	
Priming (Pr)	5	1411806,5	282361,3	4,960**
Y x Pr	5	299996,0	59999,2	1,054
P x Pr	15	2459338,0	163955,9	2,880**
Y x P x Pr	15	2454512,3	163634,2	2,874**
Hata ₂	120	6932273,0	61895,0	
Genel	191			

** : p<0.01

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde bitkide fosfor içeriği, birinci yılda 3046 ppm ve ikinci yılda 2616 ppm olarak tespit edilmiştir. Fosfor dozları bakımından bitkide fosfor içeriği 2683-2995 ppm aralığında değişim göstermiştir. Priming uygulamalarına bağı olarak bitkide en düşük fosfor içeriği 2681 ppm olarak S-priming uygulanan grupta, en yüksek (2916 ppm) ise PGPB-priming uygulanan bitkilerden elde edilmiştir. P x Pr interaksiyonunun bitkide fosfor içeriği bakımından etkisi incelendiğinde en düşük (2570 ppm) 6 kg P₂O₅/da ilave edilen ve S-priming uygulanan parsellerde, en yüksek (3079 ppm) 6 kg P₂O₅/da ilave edilen ve SA-priming uygulanan parsellerde belirlenmiştir. Y x P x Pr interaksiyonu incelendiğinde, bitkide en düşük fosfor konsantrasyonu 2368 ppm olarak denemenin ikinci yılında 6 kg P₂O₅/da ilave edilen ve S-priming uygulanan parsellerde tespit edilirken, en yüksek fosfor içeriği 3629 ppm olarak denemenin birinci yılında 6 kg P₂O₅/da ilave edilen ve SA-priming uygulanan bitkilerde elde edilmiştir (Tablo 4.34).

Tablo 4.34. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide fosfor (P) içeriğine etkisi (ppm)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	3210 a-d	2979 a-h	3168 a-e	2752 c-h	2492 e-h	2658 c-h	2658 c-h	2491 e-h	3027	2596	2851 a-c	2622 bc	2818 a-c	2956 a-c	2812 AB
Pi	2748 c-h	3284 a-c	2878 b-h	2797 b-h	2476 f-h	2682 c-h	2682 c-h	2738 c-h	2927	2615	2612 bc	2766 a-c	2983 a-c	2722 a-c	2771 AB
SA	2828 a-h	3090 a-g	3161 a-f	3629 a	2460 gh	2783 b-h	2563 d-h	2528 d-h	3177	2640	2644 a-c	3079 a	2936 a-c	2974 a-c	2908 A
S	2686 c-h	2901 b-h	3100 a-g	2773 b-h	2482 e-h	2691 c-h	2691 c-h	2368 h	2865	2496	2584 c	2570 c	2796 a-c	2772 a-c	2681 B
PGPB	2894 b-h	2988 a-h	3452 ab	3159 a-f	3022 a-h	2695 c-h	2695 c-h	2438 gh	3123	2709	2958 a-c	2799 a-c	2842 a-c	3066 a	2916 A
Si	3302 a-c	2949 a-h	3286 a-c	3089 a-g	2801 b-h	2563 d-h	2563 d-h	2648 c-h	3156	2637	3051 ab	2869 a-c	2756 a-c	2911 a-c	2897 A
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	2945	3032	3174	3033	2622	2679	2627	2535	3046 A	2616 B	2783	2784	2855	2900	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

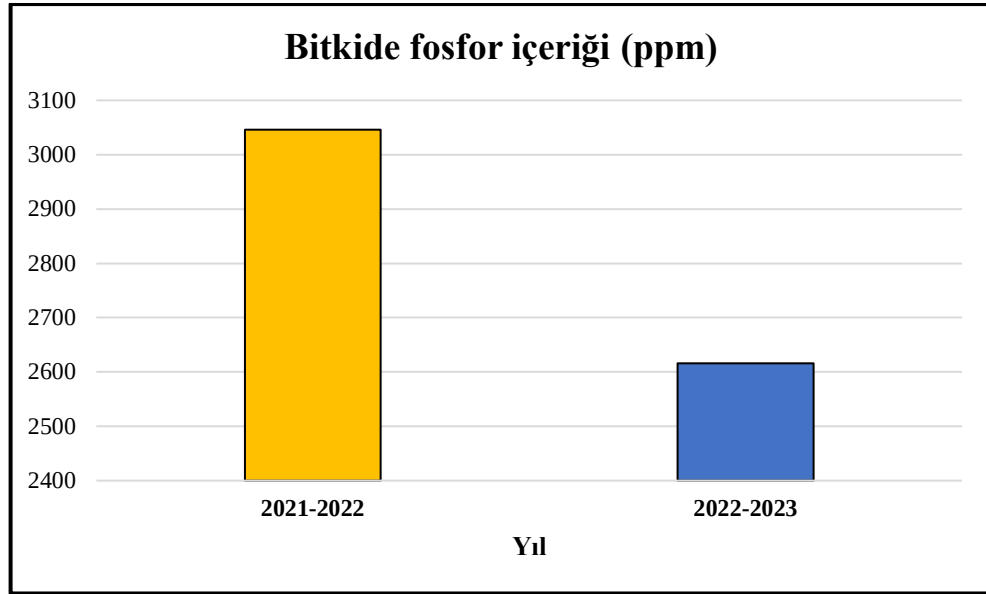
Bitkide fosfor içeriğinin yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda ikinci yıla göre birinci yılda %16,5 oranında daha yüksek elde edildiği görülmektedir (Şekil 4.48). Priming uygulamaları açısından ise bitkide en yüksek fosfor içeriği değerinin PGPB-priming olduğu ve priming uygulanmayan kontrol ile kıyaslandığında bitkide fosfor içeriğini %3,7 oranında artırdığı belirlenmiştir (Şekil 4.49).

Tarla denemelerinin birinci yılında yaprakta fosfor içeriğinin fazla çıkması ekim yapılan arazi toprağı bakımından başlangıç fosfor seviyelerinin farklı olmasından kaynaklanmıştır. Tablo 3.1 incelendiğinde, iki yılın tarla toprağına ait analiz sonuçları birinci yılda dekara yaklaşık bir kg daha fazla fosfor ihtiva ettiğini göstermektedir. Bununla beraber, denemenin birinci yılında topraktaki organik madde içeriğinin de yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Bu durumun rizosferde besin elementlerinin daha etkin bir şekilde tutulmasına, mikrobiyal aktivitenin iyileşmesine ve bitkilerin besin elementlerinden daha iyi yararlanmasına imkân sağladığı ifade edilmektedir (Fageria, 2012). Araştırmanın birinci yılında bitkide daha yüksek fosfor içeriği elde edilmesinin diğer bir nedeni metrekarede %27 oranında daha az bitki bulunması, buna bağlı olarak bitkilerin topraktan daha fazla fosfor almalarına imkân sağlanmasıdır.

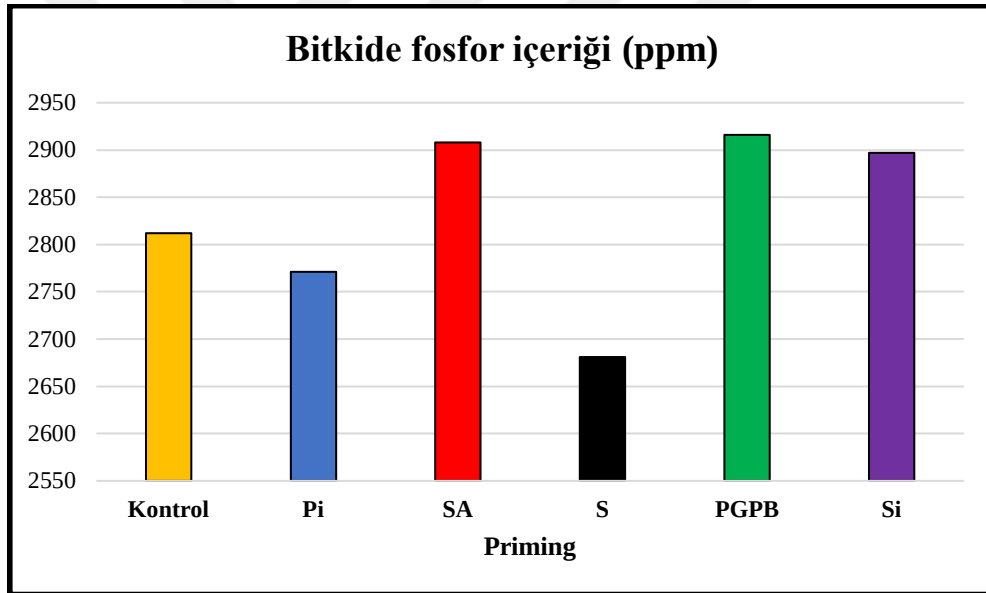
Fosforlu gübre uygulamaları bakımından bitkide fosfor içeriği incelendiğinde, fosfor dozlarına bağlı olarak bitkide fosfor içeriğinde doğrusal bir artış olduğu ancak istatistiki açıdan önemli çıkmadığı görülmektedir. Burada artan fosforlu gübre dozlarına rağmen aradaki farkın önemsiz çıkmasının nedeni, düşük dozlarda bile birim alanda bitkilerin ihtiyaç duyduğu fosforun vejetatif gelişme süresince bitkilere yeterli gelmesi olarak yorumlanmıştır.

Priming uygulamalarında SA, PGPB ve Si-priming uygulamaları aynı grupta olmakla birlikte diğer diğer uygulamalara ve kontrole göre daha fazla bitkide fosfor içeriği alınmasına imkân sağlamıştır. Toprakta fosfor döngüsü çözünme-çökme, mineralizasyon-immobilizasyon ve adsorpsiyon-desorpsiyon olmak üzere 3 temel mekanizmaya dayanmaktadır. Rhizosferik fosfor mineralizasyonu ve çözünmesi, PSB tarafından gerçekleştirilen ve bitkiler için besin maddelerinin kullanılabilirliğini artırmaya yardımcı olan önemli mekanizmalardır (Glick, 2012). Toprakta bağlı formda bulunan fosfor bileşiklerinin fosfat çözebilen mikroorganizmalar tarafından yarıyışlı forma dönüştürülmesinde kullanılan başlıca mekanizmalar organik (Farhat ve ark., 2009) ve inorganik (Sharma ve ark., 2013) asit salgılama, siderofor (Ahmed ve Holmström, 2014) ve IAA (Cheng ve ark., 2022) üretimi ve organik fosfor mineralizasyonu (Etesami, 2020) olarak bildirilmektedir. Araştırmamızda birlikte kullanılan TV53D ve KF63C

strainlerinin her ikisi de kuvvetli fosfat çözme aktivitesine sahip olmakla birlikte KF63C straini siderofor üretimi de gerçekleştirebilmektedir. Bu nedenle, rizosfer bölgesindeki fikse edilmiş fosfat bileşiklerinin mineralizasyonu yoluyla PGPB-priming uygulamalarının bitkilerde fosfor alımını artırdığı düşünülmektedir. Fosfat çözücü özelliğe sahip PGPB strainlerinin bitkilerde besin elementi alımını artırdığı buğdayda (Adnan ve ark., 2022), arpada (Masrahi ve ark., 2023), mısırdaki (Beltran-Medina ve ark., 2023), mercimekte (El-Haliem ve El-Mottaleb, 2023), nohutta (Alamzeb ve Inamullah, 2023), fasulyede (Kiprotich ve ark., 2023) ve börülcede (Agboola ve ark., 2023) tespit edilmiştir. Çeşitli araştırmacılar Si uygulamasının düşük fosfor konsantrasyonuna sahip topraklarda organik asit sentezlenmesi, fosforun üst organlara taşınması ve Fe/Al-oksitlerin yüzeyine bağlanma kabiliyeti gibi mekanizmalarla bitki gelişimini ve besin maddesi alımını teşvik ettiği kaydedilmiştir (Koski-Vahala ve ark., 2001; Kostic ve ark., 2017; Etesami ve ark., 2021). Owino-Gerroh ve ark. (2005), düşük fosfor içeriğine sahip topraklarda Si uygulamasının fikse edilen fosforlu bileşiklerin konsantrasyonunun azalmasına ve bitki bünyesine alınan fosfor miktarının artmasına yol açtığını belirtmişlerdir. Rezakhani ve ark. (2020), Si ve PGPB uygulamalarının sorgumda bitki bünyesindeki fosfor miktarının artmasına yol açtığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde, SA uygulamalarının da bitkilerde fosfor alımını artırıcı etki gösterdiğini rapor eden araştırmalar bulunmaktadır. Tomar ve ark. (2022), salisilik asidin besin maddelerinin daha yüksek ekstraksiyonu ve translokasyonu nedeniyle besin alımını artırdığını belirtmişlerdir. Khorassani ve ark. (2011), şeker pancarı köklerinden fosfor noksanlığı durumunda SA salgılanmasının uyarıldığını ve topraktaki bağlı fosfor bileşiklerinin çözündürülerek bitki tarafından alınması üzerinde etkili bir mekanizma olduğunu ifade etmişlerdir. Bu bilgiler ışığında, araştırmamızdan elde edilen sonuçlar daha önce elde edilen araştırma sonuçları ile benzerlik göstermektedir.



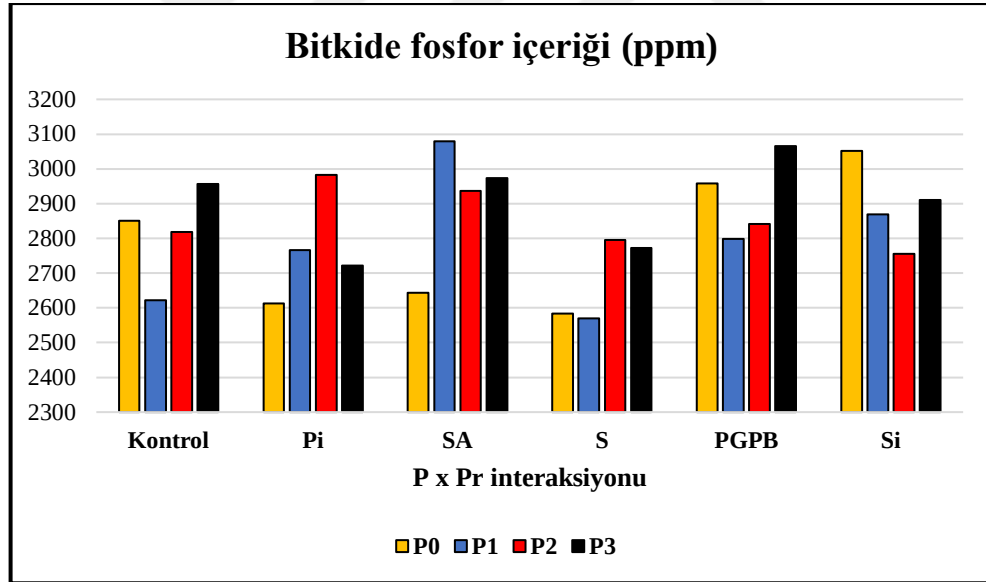
Şekil 4.48. Bitkide fosfor içeriğinin yıllara göre değişim grafiği



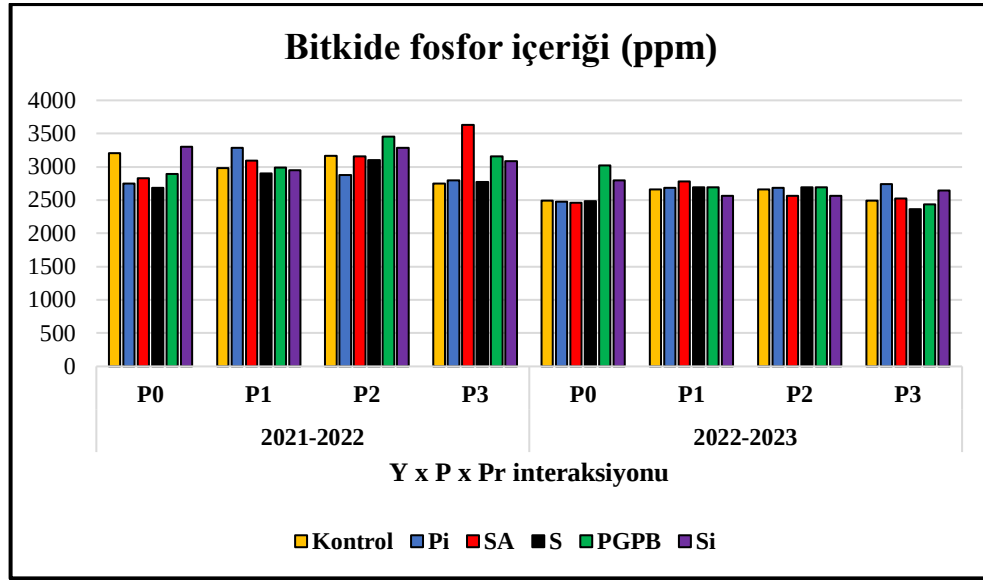
Şekil 4.49. Bitkide fosfor içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

P x Pr interaksiyonunun bitkide fosfor içeriği üzerine istatistiki açıdan önemli farklılıklara yol açmasının nedeni, fosforlu gübre dozlarının kontrole ve birbirine kıyasla priming uygulamaları ile farklı reaksiyonlar göstermesidir. Şekil 4.50 incelendiğinde, fosforlu gübre verilmeyen kontrol parsellerinde priming uygulanmayan bitkiler Pi, SA ve S-priming uygulamalarına kıyasla daha yüksek, PGPB ve Si-priming uygulamalarına göre daha düşük bitkide fosfor içeriği tespit edilmiştir. Benzer durumlar diğer fosforlu gübre dozlarında da görülmektedir (Şekil 4.50). Denemede kullanılan 3 faktör arasındaki interaksiyonun önemli çıkmasında; priming uygulamalarının farklı veya aynı üretim yılı

içerisinde fosfor dozlarına bağlı olarak düzenli bir artış göstermemesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. İkinci yılda fosforlu gübre ve priming uygulanmayan kontrol bitkilerinde düşük fosfor içeriği tespit edilirken, birinci yılda neredeyse en yüksek fosfor içeriğinin elde edilmesine sebep olmuş ve artan fosfor seviyelerine karşı düzensiz tepkiler göstermiştir (Şekil 4.51). P x Pr ve Y x P x Pr interaksiyonlarına dair grafikler incelendiğinde tüm fosfor dozlarında PGPB-priming uygulanan bitkilerin kontrol bitkilerine kıyasla daha yüksek fosfor içeriğine sahip olduğu ve ardından SA-priming uygulamasının takip ettiği görülmekte, diğer priming uygulamaları dalgalı sonuçlar ortaya koymaktadır. PGPB uygulamalarının yalnızca çimlenme ve fide döneminde değil tüm vejetasyon süresi boyunca kök bölgesinde aktif olarak rol oynaması ve rizosfer bölgesindeki fosforlu bileşiklerin çözünmesini sağlayarak yavaş salınımlı ancak sürekli bir kaynak sağlaması tüm fosfor seviyelerinde kontrole göre fosfor alımını artırmış olabilir. Kullanılan PGPB strainlerinin özellikle PSB özelliği taşıyor olması bu yaklaşımı desteklemektedir.



Şekil 4.50. Bitkide fosfor içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği



Şekil 4.51. Bitkide fosfor içeriğine ait Y x P x Pr interaksyon grafiği

4.18. Bitkide Potasyum İçeriği

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-2022 ve 2022-2023 yılları ile yıllar ortalamasına ait bitkide potasyum içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.35'te, bitkide potasyum içeriğine ait ortalama değerler ise Tablo 4.36'da verilmiştir. Bitkide potasyum içeriğine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, fosforlu gübre dozları ve priming uygulamaları arasında istatistikî açıdan önemli ($p < 0.05$), yıllar arasında ise çok önemli ($p < 0.01$) farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, Y x P, P x Pr ve Y x P x Pr interaksyonlarının da bitkide potasyum konsantrasyonu üzerine çok önemli ($p < 0.01$) farklılıkların oluşmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Y x P interaksyonunun ise istatistiksel açıdan önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır (Tablo 4.35).

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde bitkide potasyum içeriği birinci yılda 3127 ppm ve ikinci yılda 4370 ppm olarak tespit edilmiştir. Fosfor dozları bakımından bitkide potasyum içeriği 3533-3951 ppm aralığında değişim göstermiş olup en yüksek değer 1,5 kg P_2O_5 /da uygulamasında belirlenirken artan dozlara bağlı olarak bitkide potasyum içeriğinin azaldığı görülmüştür. Priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide en düşük potasyum içeriği 3227 ppm olarak PGPB-priming uygulanan bitkilerde, en yüksek ise 4163 ppm olarak SA-priming grubunda elde edilmiştir. Y x Pr uygulamalarının interaksyonu incelendiğinde bitkide en düşük potasyum içeriği birinci yıldaki Si-priming uygulamasında (2615 ppm), en yüksek ise ikinci yıl Pi-priming uygulamasında (4671 ppm) elde edilmiştir. P x Pr interaksyonunda

ise bitkide en düşük potasyum içeriği (2508 ppm) 6 kg P₂O₅/da verilen ve PGPB-priming uygulanan parsellerde, en yüksek (4910 ppm) ise 1,5 kg P₂O₅/da ilave edilen ve SA-priming uygulanan parsellerden elde edilmiştir. Tüm faktörlerin üçlü interaksiyonu bakımından incelendiğinde, bitkide en düşük potasyum içeriği (1701 ppm) denemelerin birinci yılında 3 kg P₂O₅/da ilave edilen PGPB-priming uygulamasından, en yüksek (5548 ppm) ise denemenin ikinci yılında fosforlu gübre uygulanmayan SA-priming uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.36).

Tablo 4.35. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide potasyum (K) içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	74141222,5	74141222,5	132,920**
Blok	6	7589679,3	1264946,6	2,268
Fosfor (P)	3	6176889,3	2058963,1	3,691*
Y x P	3	2493551,5	831183,8	1,490
Hata ₁	18	10040215,3	557789,7	
Priming (Pr)	5	7502559,4	1500511,9	3,051*
Y x Pr	5	9818525,1	1963705,0	3,993**
P x Pr	15	44429453,4	2961963,6	6,022**
Y x P x Pr	15	20107844,3	1340523,0	2,726**
Hata ₂	120	59019844,0	491832,0	
Genel	191			

**: p<0.01, *: p<0.05

Tablo 4.36. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide potasyum (K) içeriğine etkisi (ppm)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	3420 b-j	2975 d-j	3100 c-j	4446 a-h	3817 a-i	4896 a-e	4192 a-h	5375 ab	3485 bc	4570 a	3618 a-e	3935 a-d	3646 a-e	4656 ab	3964 AB
Pi	2475 h-j	2827 f-j	3769 a-i	2734 f-j	4986 a-d	3539 a-j	4068 a-h	3552 a-j	2951 cd	4671 a	4011 a-d	4172 a-d	3939 a-d	3143 d-e	3816 AB
SA	4014 a-h	3027 d-j	2822 f-j	4084 a-h	5548 a	5518 a	3429 b-j	4149 a-h	3487 bc	4026 ab	4500 a-c	4910 a	3125 d-e	4116 a-d	4163 A
S	3571 a-j	4212 a-h	2923 e-j	2804 f-j	4273 a-h	5099 a-c	4244 a-h	4039 a-h	3377 b-d	4414 a	3922 a-d	3283 c-e	3583 b-e	3422 b-e	3553 AB
PGPB	2736 f-j	2626 g-j	1701 j	2971 d-j	4223 a-h	3546 a-j	4602 a-g	3730 a-i	2848 cd	4025 ab	3480 b-e	3086 de	3831 a-d	2508 e	3227 B
Si	3004 d-j	3955 a-h	3061 d-j	1799 ij	5293 ab	4682 a-f	4866 a-e	3218 c-j	2615 d	4515 a	4148 a-d	4318 a-d	3284 c-e	3350 b-e	3776 AB
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	3203	3270	2896	3140	4690	4547	4233	4010	3127 B	4370 A	3946 A	3951 A	3565 B	3533 B	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

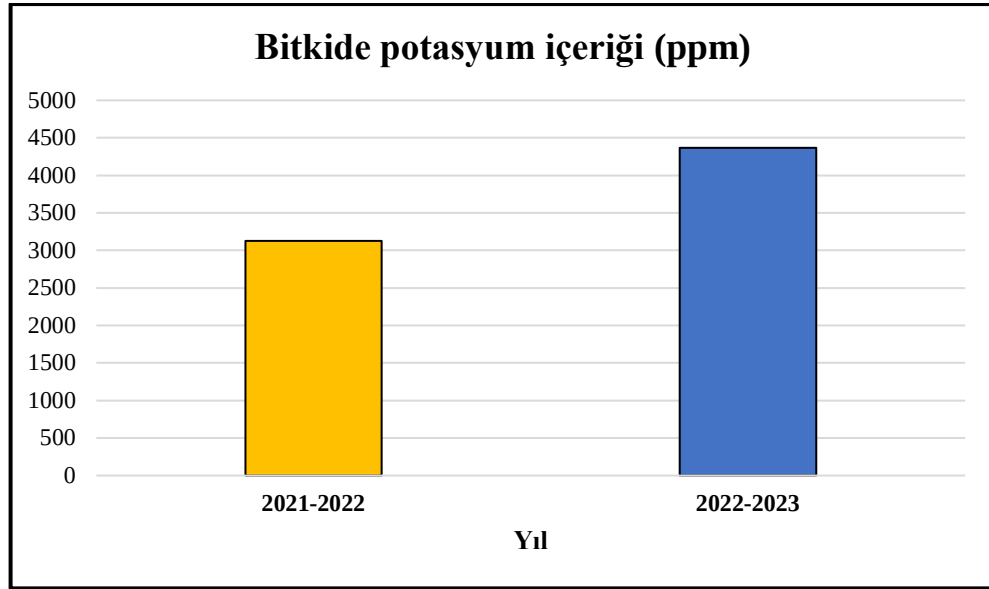
Bitkide potasyum içeriğinin yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda birinci yıla göre ikinci yılda %39,8 oranında daha yüksek elde edildiği görülmektedir (Şekil 4.52). Fosfor dozları bakımından bitkide en düşük potasyum içeriğinin 3 kg P₂O₅/da uygulamasından elde edildiği ve fosforlu gübre verilmeyen kontrol ile karşılaştırıldığında %10,7 oranında azalma gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.53). Priming uygulamaları açısından ise bitkide en yüksek potasyum içeriğinin kontrol uygulamasında olduğu, PGPB-priming uygulanan bitkiler ile kıyaslandığında ise %17,2 oranında daha fazla olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.54).

İki yetiştirme sezonu arasında bitkide potasyum içeriği bakımından önemli farklılıkların olduğu daha önce belirtilmiştir. Burada etken olarak çeşitli faktörler olmakla birlikte öncelikle deneme arazilerine ait her iki yıldaki toprak analiz sonuçları incelendiğinde birinci yılda 55,1 kg/da ve ikinci yılda 82,2 kg/da olarak göze çarpmaktadır. Toprakta mevcut potasyum içeriğinden kaynaklanan farklılığın bitki tarafından kaldırılan potasyum miktarında farklılıklara yol açması beklenebilecek bir durumdur. Lätt (2019), toprakta besin elementi miktarı ile bitki tarafından söz konusu besin elementinin alınması arasında pozitif bir korelasyon olduğunu ifade etmiştir. Azzawi ve ark. (2021), toprakta bulunan potasyum miktarının arpanın büyümesi, gelişimi, verimi ve potasyum alımı üzerinde önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Keşli (2009), mercimekte çiçeklenme dönemine kadar alınan potasyum miktarını incelemiş, farklı arazilerde ve hatta aynı arazide ekilen bitkilerde farklı dönemlerde alınan potasyum miktarları arasında farklılıkların olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde, Jagdish ve Seema (2021), iki yıllık tarla denemesi olarak yürütülen araştırmada yıllar arasında alınan potasyum içeriği bakımından farklılıkların olduğunu rapor etmişlerdir. Bu nedenle, yetiştirme sezonları arasında ekolojik nedenler ve tarla toprağındaki potasyum içeriğinden kaynaklanan değişimler nedeniyle bitki tarafından alınan potasyum miktarları arasında farklılıkların oluşması beklenebilecek bir durumdur. Ayrıca, 2021-22 sezonunda toprakta fosfor içeriği (3,07 kg/da) 2022-23 sezonundakine (2,24 kg/da) göre daha yüksektir (Tablo 3.1). Ek olarak bitkide fosfor içeriğinin açıklandığı önceki bölümde 2021-22 sezonunda bitkide fosfor içeriğinin daha fazla alındığı ifade edilmiştir. Bitkilerde fosfor ve potasyum alımının birbiri ile negatif korelasyon içerisinde bulunduğu önceki araştırmalarda ortaya koyulmuş olup 2021-22 sezonunda bitkilerce daha fazla potasyum alınmasında etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

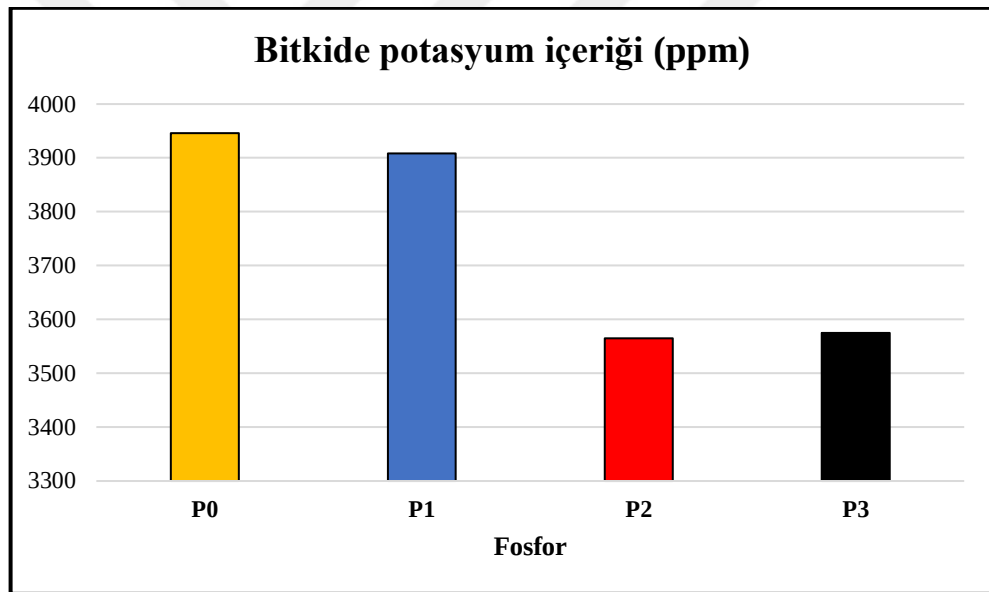
Araştırmada artan fosforlu gübre dozlarına paralel olarak bitkide potasyum içeriğinin azaldığı göze çarpmaktadır. Rodenas ve ark. (2019), fosfor ve potasyum

alımının birbiri ile yakın bir etkileşim içerisinde olduğunu, toprakta yüksek K^+ iyonlarının bulunması durumunda alımının inhibe edildiğini ortaya koymuşlardır. Araştırmamızdaki toprak analizi sonuçları incelendiğinde topraktaki K^+ içeriğinin yüksek olduğu görülmekte olup Rodenas ve ark. (2019)'nın tespit ettiği bulgular ile uyum göstermektedir. Ancak, bitkilerin rizosferdeki besin maddelerini hangi mekanizmalar vasıtasıyla tespit ettiği ve buna göre diğer besin elementlerinin ne kadar alınması gerektiği ile ilgili sistem ve mekanizmalar henüz tam olarak açığa kavuşturulamamıştır (Wang ve ark., 2020). Ayrıca, ilerleyen bölümlerde görüleceği üzere artan fosforlu gübre dozlarına paralel olarak bitkilerde alınan Ca^+ miktarı artmıştır. Ca^{+2} , Mg^{+2} ve K^+ iyonları, boyut ve yük açısından oldukça benzerdir ve bu nedenle, kökler üzerinde bulunan katyon değişim bölgeleri iyonlar arasındaki farkı ayırt edemez (Ranade-Malvi, 2011). Çoğu zaman, bu bölgeler hangi iyon olduğuna bakılmaksızın, iki iyonu da ayırım yapmaksızın alır. Bu nedenle, zaten miktar olarak fazla potasyum içeren topraklarda fosforlu gübrelemeye bağlı olarak artan kalsiyum alımının potasyum alımını sınırlandırdığı düşünülmektedir.

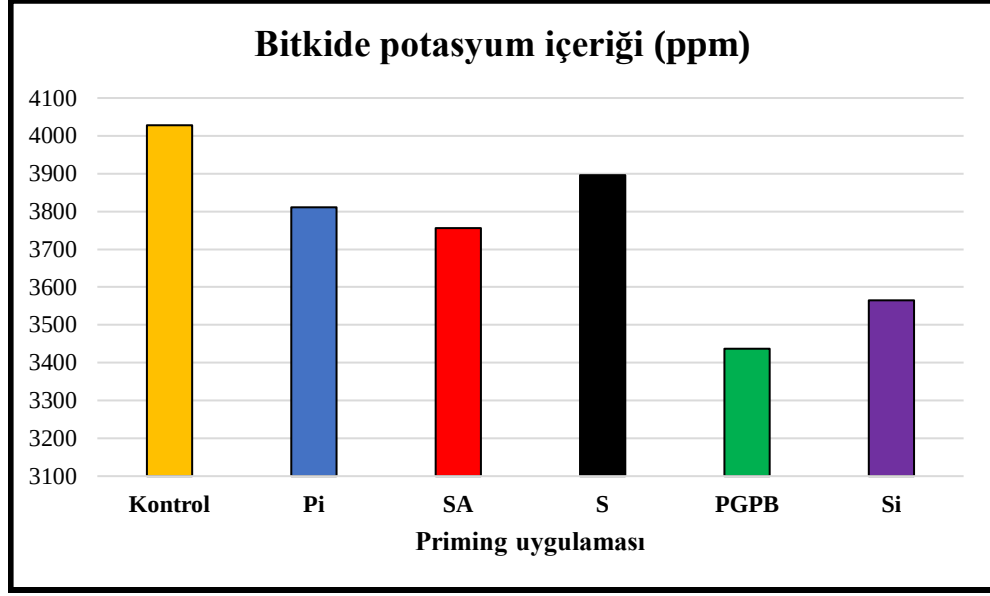
Priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide potasyum konsantrasyonu incelendiğinde SA uygulamasının pozitif, PGPB uygulamasının ise negatif etkiye bulunduğu, diğer uygulamaların önemli bir farklılığa yol açmadığı görülmüştür. Laishram ve ark. (2023), SA uygulamalarına bağlı olarak mercimek bitkisinde ve tanesinde potasyum içeriğinin arttığını bildirmişlerdir. Mısır ve biber bitkilerinde yürütülen araştırmalarda SA uygulamasının bitkilerde potasyum alımını teşvik ettiği rapor edilmiştir (Güneş ve ark., 2005; Yıldırım ve ark., 2008). PGPB-priming uygulamalarının potasyum alımını artırdığına ilişkin araştırma sonuçları (Feng ve ark., 2019; Phares ve ark., 2022) bulunmakla birlikte araştırmada kullanılan strainlerin özellikle azot bağlama ve fosfor çözme kabiliyetlerinin yüksek olması, toprakta potasyum içeriğinin yüksek seviyede bulunması ve Ca^+ ve Mg^+ alımlarının bazı durumlarda K alımının sınırlandırılmasına yol açması sebebiyle PGPB-priming uygulamasının potasyum alımı açısından olumsuz etki gösterdiği düşünülmektedir.



Şekil 4.52. Bitkide potasyum içeriğinin yıllara göre değişim grafiği

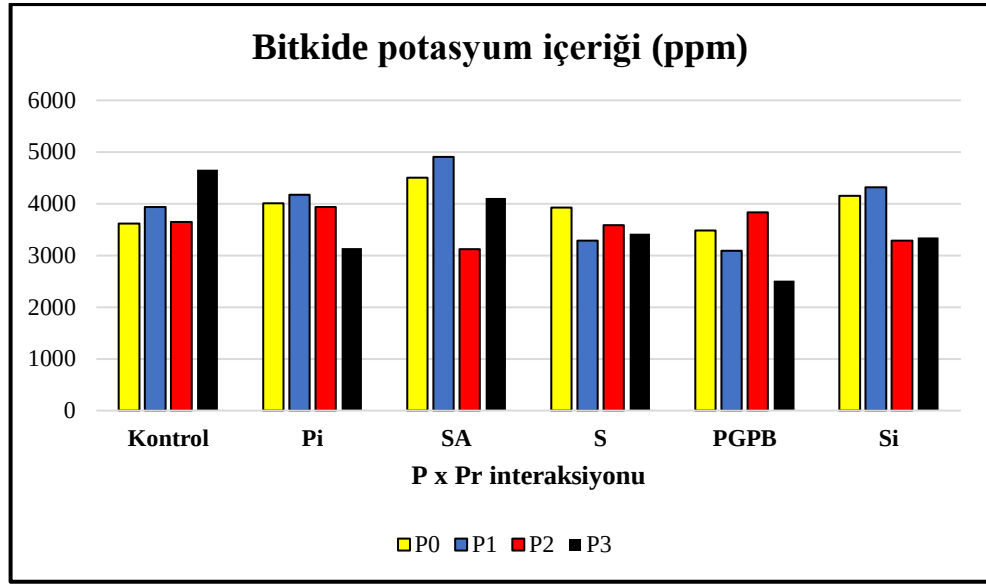


Şekil 4.53. Bitkide potasyum içeriğinin fosfor dozlarına göre değişim grafiği

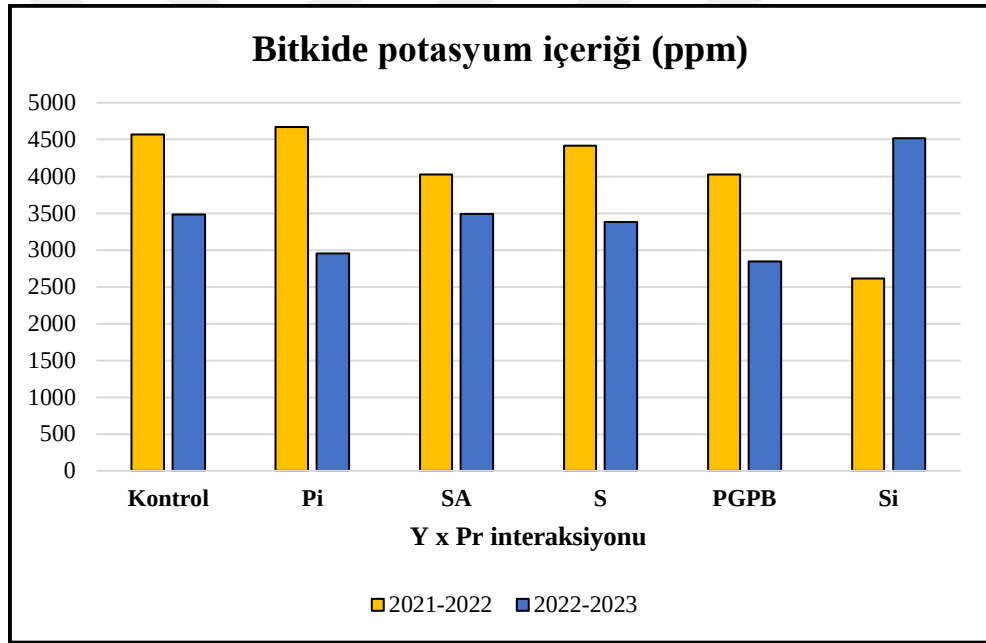


Şekil 4.54. Bitkide potasyum içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

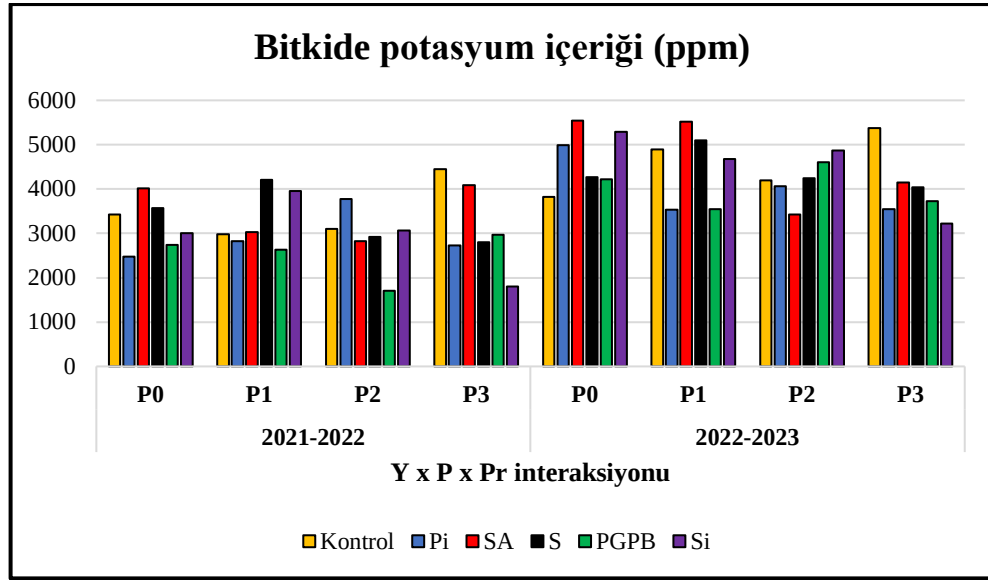
Bitkide potasyum içeriği üzerine P x Pr interaksiyonunun önemli çıkmasının nedeni; uygulanan fosfor dozlarının farklı priming uygulamalarına göre bitkide potasyum içeriği üzerine farklı etkilerde bulunması olarak düşünülmektedir. Ayrıca, P3 fosfor dozunda yaprakta en yüksek potasyum içeriğinin priming uygulanmayan kontrol parsellerinde belirlenirken diğer dozlarda bazı priming uygulamaları olumlu bazıları ise olumsuz etkiye bulunmuştur (Şekil 4.55). Bilindiği üzere bitkilerde fosfor ve potasyum alımı birbiri ile negatif korelasyon içerisindedir. Burada yüksek fosfor seviyesinin bitkide besin maddesi alımı üzerine mekanizmalara gerekli sinyalleri göndererek daha fazla potasyum alınmasının sınırlandırılmış olabileceği sonucuna varılmıştır. Y x Pr interaksiyonunun bitkide potasyum içeriği bakımından önemli farklılıklara sebep olması, Şekil 4.56’da görüldüğü üzere, birinci yılda en düşük potasyum içeriği Si-priming ile elde edilmesine rağmen ikinci yılda aynı uygulama en yüksek potasyum içeriğinin elde edilmesine sebep olmuş, bu durumda priming uygulamalarının çevresel koşullardan önemli derecede etkilendiğini göstermiştir. Y x P x Pr interaksiyonunun bitkide potasyum içeriği üzerine etkilerinin istatistiki açıdan önemli çıkmasının nedeni; priming uygulamalarının yıl ve fosforlu gübre dozuna bağlı olarak potasyum içeriği üzerine farklı etkiler göstermesidir. Şekil 4.57’de görüldüğü üzere, priming ve fosforlu gübre verilmeyen uygulamada bitkide potasyum içeriği birinci yılda P1 dozunda azalış gösterirken ikinci yılda artış göstermiştir.



Şekil 4.55. Bitkide potasyum içeriğine ait P x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.56. Bitkide potasyum içeriğine ait Y x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.57. Bitkide potasyum içeriğine ait Y x P x Pr interaksyon grafiği

4.19. Bitkide Kalsiyum İçeriği

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait bitkide Ca içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.37’de, bitkide Ca içeriğine ait ortalama değerler ise Tablo 4.38’de verilmiştir. Bitkide Ca içeriğine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar, fosforlu gübre dozları, priming uygulamaları ve bunların birbiri içerisindeki tüm ikili ve üçlü interaksyonlar arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p < 0.01$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.37. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide kalsiyum (Ca) içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	309821596,9	309821596,9	685,493**
Blok	6	6821947,7	1136991,3	2,516
Fosfor (P)	3	28370734,0	9456911,3	20,924**
Y x P	3	9825697,5	3275232,5	7,247**
Hata ₁	18	8135439,0	451968,8	
Priming (Pr)	5	4234852,3	846970,5	3,973**
Y x Pr	5	4167345,2	833469,0	3,910**
P x Pr	15	10698921,3	713261,4	3,346**
Y x P x Pr	15	19031075,8	1268738,4	5,951**
Hata ₂	120	25582175,0	213185,0	
Genel	191			

** : $p < 0.01$

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde bitkide Ca içeriği birinci yılda 11173 ppm ve ikinci yılda 8632 ppm olarak tespit edilmiştir. Fosfor dozları bakımından bitkide Ca içeriği 9501-10362 ppm aralığında değişim göstermiş olup en düşük değer fosfor uygulaması yapılmayan kontrol grubunda belirlenirken artan dozlara bağlı olarak bitkide Ca içeriğinin arttığı görülmüştür. Priming uygulamalarına bağlı olarak en düşük bitkide Ca içeriği 9637 ppm olarak PGPB-priming uygulamasından, en yüksek ise 10070 ppm olarak Si-priming uygulamasından elde edilmiştir. Y x P interaksyonu açısından bakıldığında bitkide Ca içeriğinin 846-11878 ppm aralığında değişim gösterdiği, en yüksek bitkide Ca içeriğinin birinci yılda 6 kg P₂O₅/da ilave edilen grupta, en düşük ise ikinci yılda fosfor verilmeyen kontrol uygulamasında bulunmakla birlikte ikinci yıldaki tüm fosfor dozlarının aynı istatistiksel grup içerisinde yer aldığı belirlenmiştir. Y x Pr interaksyonu incelendiğinde, en yüksek bitkide Ca içeriği birinci yıldaki S-priming uygulamasında (11443 ppm), en düşük ise ikinci yıldaki PGPB-priming uygulamasında (8307 ppm) elde edilmiştir. P x Pr interaksyonunda ise bitkide en düşük Ca içeriği (9127 ppm) fosfor uygulanmayan ve PGPB-priming uygulanan parsellerde, en yüksek (10726 ppm) ise 6 kg P₂O₅/da ilave edilen Pi-priming uygulamasından elde edilmiştir. Tüm faktörlerin üçlü interaksyonu bakımından incelendiğinde, bitkide en düşük Ca içeriği (7948 ppm) denemelerin ikinci yılında fosfor ilave edilmeyen SA-priming uygulamasından elde edilirken, en yüksek (12700 ppm) ise denemenin birinci yılında 6 kg P₂O₅/da ilave edilen Pi-priming uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.38).

Tablo 4.38. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide kalsiyum (Ca) içeriğine etkisi (ppm)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	11955 a-e	10477 g-k	11325 b-i	11610 a-h	8189 p	8425 op	8794 o-p	8995 n-p	11342 a	8601 cd	10072 a-g	9451 f-h	10059 a-g	10303 a-f	9971 AB
Pi	9753 j-o	10330 h-m	10370 h-l	12700 a	9061 l-p	8686 op	8875 op	8752 op	10788 b	8843 cd	9407 gh	9508 e-h	9622 d-h	10726 a	9816 AB
SA	10545 f-j	10795 d-j	12080 a-d	11490 a-i	7948 p	8397 p	9162 k-p	8572 op	11228 ab	8520 cd	9246 gh	9596 d-h	10621 a-c	10031 a-g	9874 AB
S	10211 j-n	10640 e-j	12655 ab	12265 a-c	8552 op	8577 op	8459 op	9017 m-p	11443 a	8651 cd	9381 gh	9608 d-h	10557 a-c	10641 ab	10047 A
PGPB	10243 i-n	10306 h-n	11835 a-f	11485 a-i	8012 p	8311 p	8250 p	8655 op	10968 ab	8307 d	9127 h	9309 gh	10043 a-g	10070 a-g	9637 B
Si	10510 f-j	11040 c-j	11810 a-f	11715 a-g	9034 m-p	8543 op	8819 op	9087 l-p	11269 ab	8871 c	9772 c-h	9792 b-h	10315 a-e	10401 a-d	10070 A
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	10536 B	10597 B	11679 A	11878 A	8466 C	8490 C	8727 C	8846 C	11173 A	8632 B	9501 B	9544 B	10202 A	10362 A	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

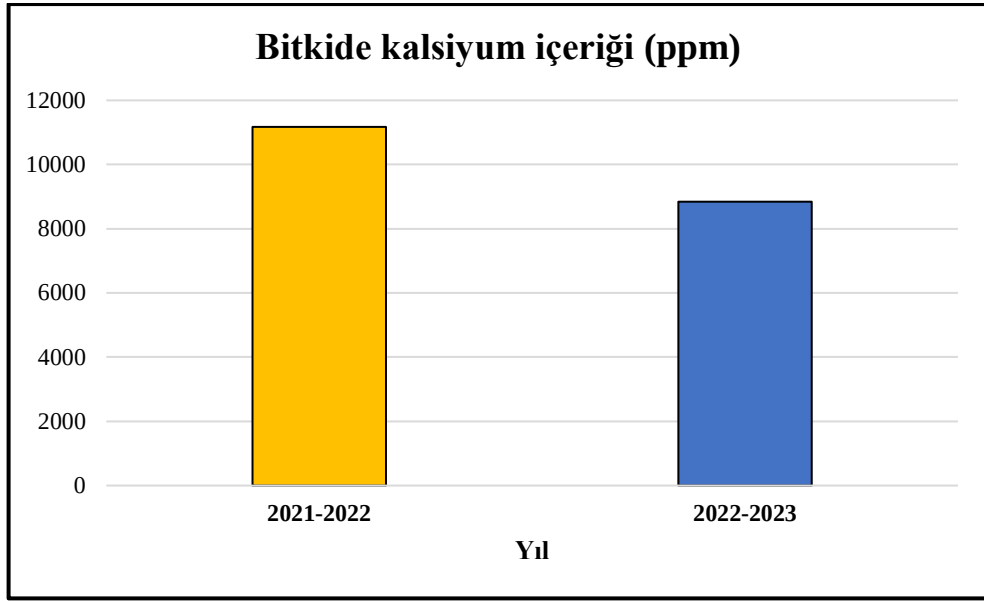
Bitkide Ca içeriğinin yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda ikinci yıla göre birinci yılda %26,3 oranında daha yüksek elde edildiği görülmektedir (Şekil 4.58). Fosfor dozları bakımından bitkide en düşük Ca içeriğinin kontrol uygulamasından elde edildiği ve 6 kg P₂O₅ /da uygulaması ile karşılaştırıldığında %9,1 oranında azalma gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.59). Priming uygulamaları açısından ise en düşük değerler PGPB-priming uygulamasından elde edilirken, en yüksek değerler ise S- ve Si-priming uygulamalarından elde edilmiştir (Şekil 4.60).

Genel olarak, bitkilerin Ca ihtiyacı büyüme başlangıcında ve çiçeklenme dönemlerinde daha belirgin olarak ortaya çıkar. Bu dönemlerde Ca, hücre bölünmesi, hücre genişlemesi ve hücre duvarı oluşumu gibi süreçlerde kritik bir rol oynar. Bitkilerin Ca alımı, toprak pH'sı, toprak yapısı ve diğer besin maddelerinin mevcudiyeti gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Toprağın pH düzeyi önemlidir çünkü asidik topraklarda kalsiyumun bitkiler tarafından alınabilirliği azalır (Hong-Qiang ve Yu-Ling, 2005). Bu nedenle, pH değerinin daha yüksek olduğu denemelerin birinci yılındaki arazi toprağı daha fazla Ca alımına imkân sağlamıştır. Ayrıca, vejetatif gelişme dönemi ve generatif dönemin başlangıcı dikkate alındığında, birinci yıl metrekaresine daha fazla yağış düşmesinden dolayı bitkiler bu dönemde daha fazla Ca almış olabilir. Singh ve ark. (1991), farklı sezonlarda mercimek tanesinin Ca içerikleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılıkların oluştuğunu rapor etmişlerdir. Çimrin ve ark. (2008), iki yıl üst üste Van ekolojik koşullarında gerçekleştirdikleri araştırmada yıllara bağlı olarak mercimek samanında ve tanesinde Ca içeriğinin önemli ölçüde değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Kanada'da yürütülen diğer bir araştırmada farklı baklagil bitkilerinin yıllara göre besin içerikleri incelenmiş olup mercimekte Ca içeriğinde önemli farklılıkların oluştuğu bildirilmiştir (Ray ve ark., 2014).

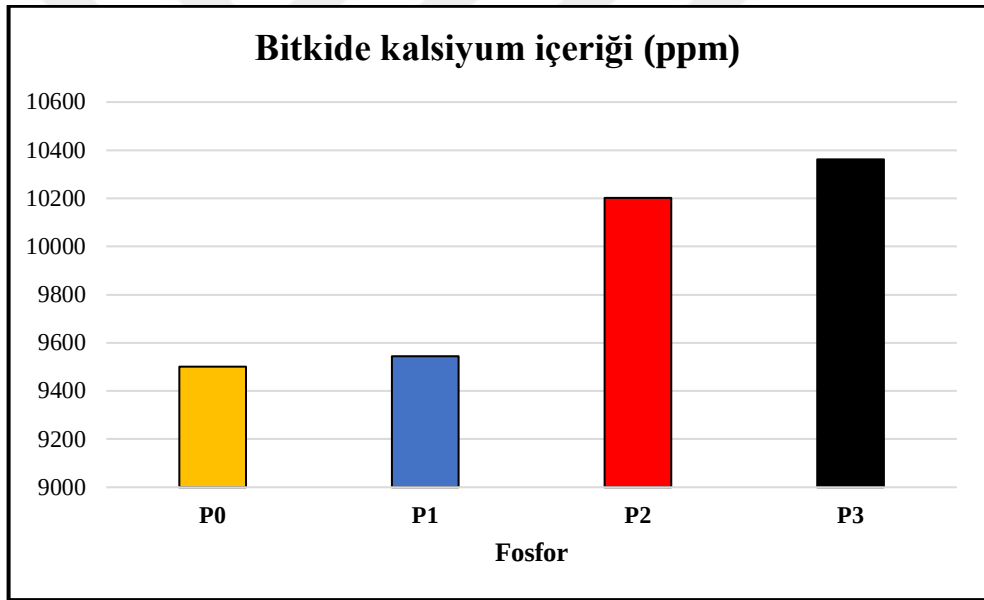
Artan fosforlu gübre dozlarına bağlı olarak bitkiler tarafından alınan Ca miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Bilindiği üzere, toprakta bulunan fosfor genelde Al⁺ ve Ca⁺ kanyonları ile bileşik oluşturur ve bitkiler tarafından yarayışsız forma dönüşür (Adams, 1980). Ancak, fosforlu gübre uygulamalarına bağlı olarak bitkiler tarafından alınan ve üst organlara taşınan Ca miktarının artmasının nedeni yüksek fosfor koşullarında kalsiyumun köklerden daha fazla alınması ve muhtemelen artan sürgün büyüme hızı nedeniyle hızlı transpirasyona imkân sağlaması, böylece ksilem akışı yoluyla daha fazla üst aksama taşınmasıdır (McLaughlin ve Wimmer, 1999, Hawkesford ve ark., 2012; Kumar ve ark., 2015). Benzer şekilde, Ding ve ark. (2018), acı bakla çeşitlerinde fosforlu gübre uygulamalarına bağlı olarak bitkiler tarafından alınan ve yapraklara taşınan Ca içeriğinin

arttığını gözlemlemişlerdir. Li ve ark. (2021), soyada farklı formlardaki Ca-P bileşiklerinin uygulanmasına bağlı olarak besin elementi içeriklerini incelemiş ve bitkilerde Ca içeriğinin artış gösterdiğini kaydetmişlerdir. Farklı araştırmalardan elde edilen sonuçlar araştırmamızdan elde edilen bulgularla uyum göstermektedir.

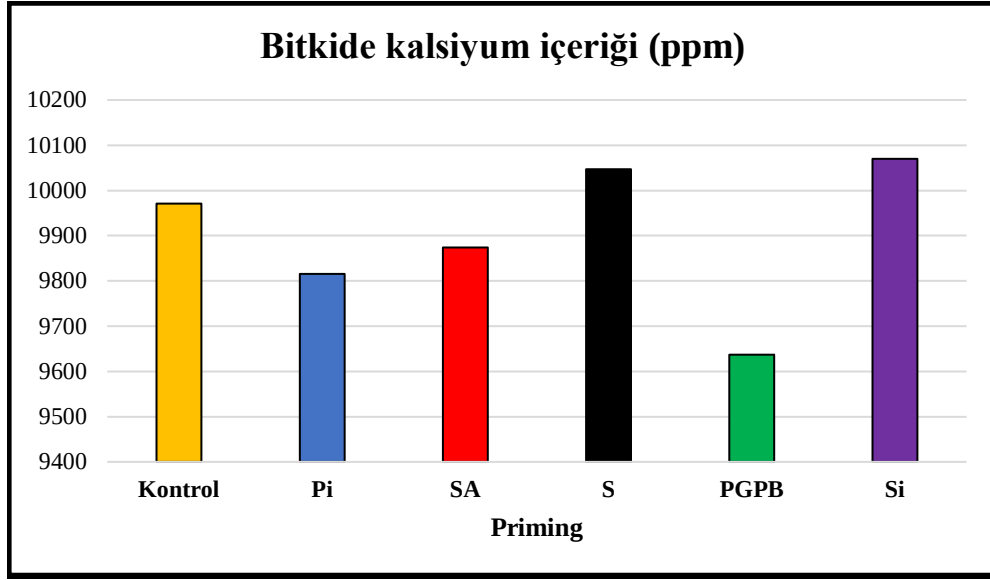
Priming uygulamalarının Ca alımına etkisi incelendiğinde öncelikle PGPB - priming uygulamasının bitki dokularındaki Ca konsantrasyonunun azalmasına yol açtığı görülmektedir. Bilindiği üzere toprakta bulunan Ca^{2+} , Mg^{2+} ve Fe^{2+} gibi katyonlar bitkiler tarafından alınırken bir rekabet içerisine girerler. Faydalı bakteri inokülasyonunun hem makro hem de mikro besin elementi alımını teşvik ettiği farklı araştırmacılar tarafından ispatlanmış durumdadır (Shabaan ve ark., 2022; Nasrollahzadeh ve ark., 2023; Zaib ve ark., 2023). İlerleyen bölümlerde görüleceği üzere PGPB-priming uygulamasına bağlı olarak hem Fe hem de Mg alımı artış göstermiştir. Bu nedenle, PGPB-priming uygulaması diğer katyonların kökler tarafından alımını teşvik etmesi nedeniyle bitkiler tarafından alınan Ca içeriğinin azalmasına yol açmıştır. Bununla birlikte S- ve Si-priming uygulamalarının bitkide Ca içeriğini artırdığı görülmüştür. Sitrik asit, bitki kökleri tarafından salgılanan en önemli organik asit bileşiklerinden birisi olmakla birlikte besin elementi alımında rol oynayan kilit bir mekanizmadır (Gent ve ark., 2005; Zeng ve ark., 2021). Uygulanan sitrik asidin rizosfer bölgesindeki özellikle kalsiyum fosfat ($Ca_3(PO_4)_2$) bileşiklerinin parçalanmasına ve böylece açıkta kalan fosfat ve Ca iyonlarının bitkiler tarafından daha fazla alınmasına imkân sağladığı düşünülmektedir. Silisyum açısından değerlendirildiğinde ise özellikle hücre yapısını güçlendirdiği ve kök gelişimini artırdığı, böylece bitkilerde su ve besin elementi içeriklerinden daha fazla yararlanma imkânı sağladığı bildirilmektedir (Kaya ve ark., 2006; Misuthova ve ark., 2021). Böylece, Si-priming uygulamalarının diğer besin elementlerinde olduğu gibi Ca alımında da pozitif etkilerinin görüldüğü tahmin edilmektedir.



Şekil 4.58. Bitkide kalsiyum içeriğinin yıllara göre değişim grafiği

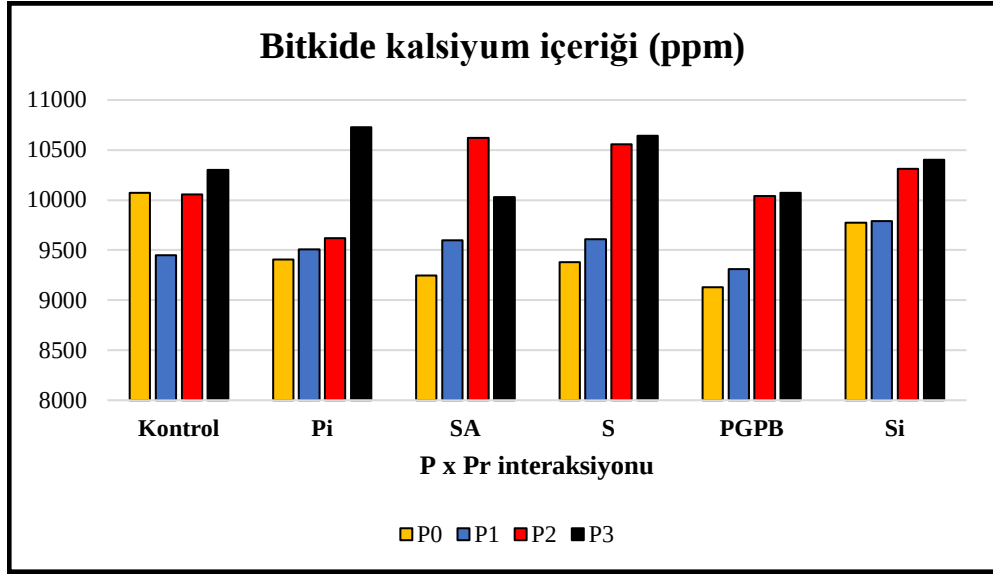


Şekil 4.59. Bitkide kalsiyum içeriğinin fosfor dozlarına göre değişim grafiği

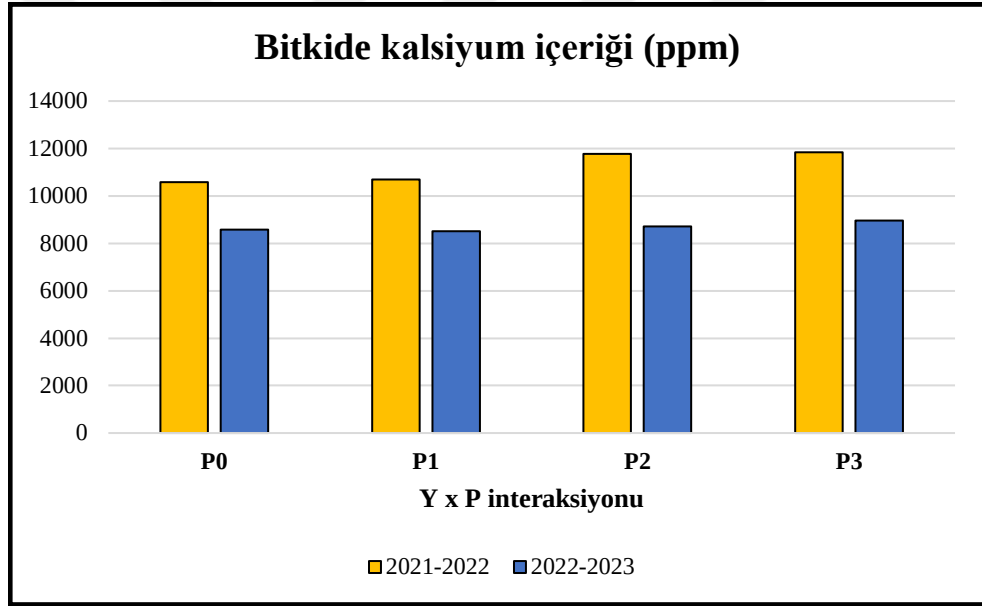


Şekil 4.60. Bitkide kalsiyum içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

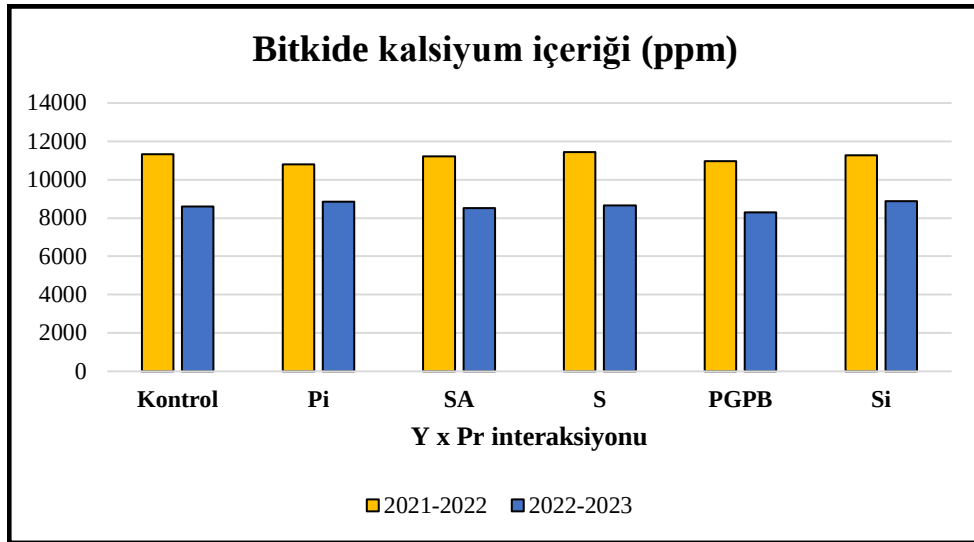
Bitkide Ca içeriği üzerine P x Pr interaksiyonunun önemli çıkmasının nedeni; uygulanan fosfor dozlarının farklı priming uygulamalarına göre bitkide Ca içeriği üzerine farklı etkilerde bulunmasıdır. Ayrıca, bitkide Ca içeriği bazı uygulamalarda artan fosfor dozlarına paralel olarak artış gösterirken diğer bazı uygulamalarda azalış göstermiştir (Şekil 4.61). Y x P interaksiyonunun bitkide Ca içeriği bakımından önemli farklılıklara sebep olması, Şekil 4.62’de görüldüğü üzere, birinci yılda artan fosfor dozları bitkide Ca içeriğini artırırken ikinci yılda kontrolden sonraki P1 uygulamasında düşüş göstermesinden kaynaklanmıştır. Y x Pr interaksiyonunun ortaya çıkması farklı yıllarda uygulamaların bitkide Ca içeriği üzerine farklı etkiler göstermesinden kaynaklanmıştır (Şekil 4.63). Y x P x Pr interaksiyonunun bitkide Ca içeriği üzerine etkilerinin istatistiki açıdan önemli çıkmasının nedeni; priming uygulamalarının yıl ve fosforlu gübre dozuna bağlı olarak Ca içeriği üzerine farklı etkiler göstermesidir. Priming uygulaması yapılmayan (kontrol) bitkilerde Ca içeriği ikinci yılda artan fosfor dozlarına bağlı olarak artış gösterirken birinci yılda dozlara göre dalgalanma göstermiştir (P1 dozunda azalırken P2 ve P3’te tekrar artış gösteriyor). Şekil 4.64. incelendiğinde, diğer priming uygulamalarının da yıllara ve fosfor dozlarına göre farklı etkiler sergilediği göze çarpmaktadır.



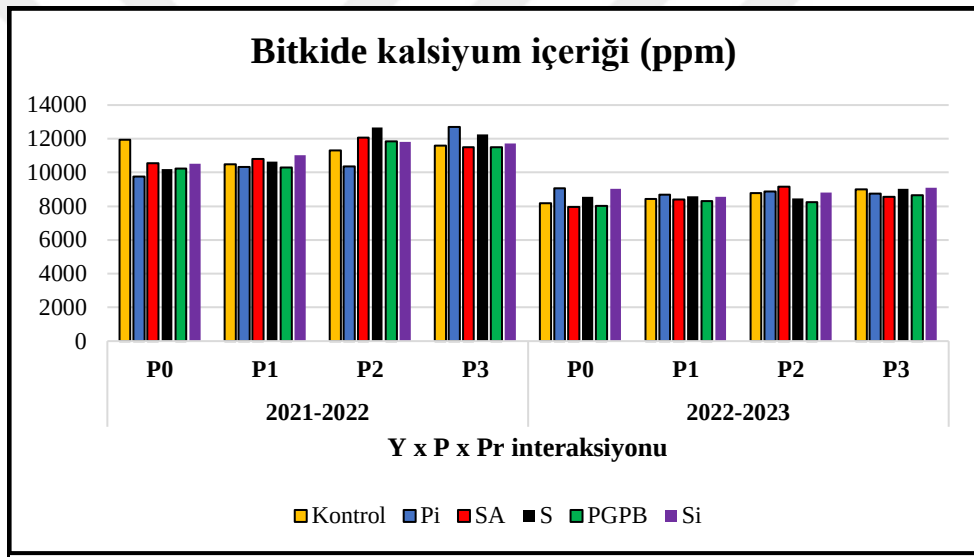
Şekil 4.61. Bitkide kalsiyum içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği



Şekil 4.62. Bitkide kalsiyum içeriğine ait Y x P interaksiyon grafiği



Şekil 4.63. Bitkide kalsiyum içeriğine ait Y x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.64. Bitkide kalsiyum içeriğine ait Y x P x Pr interaksyon grafiği

4.20. Bitkide Bakır İçeriği

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait bitkide Cu içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.39'da, bitkide Cu içeriğine ait ortalama değerler ise Tablo 4.40'ta verilmiştir. Bitkide Cu içeriğine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p < 0.01$), priming uygulamaları arasında ise önemli ($p < 0.05$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Fosforlu gübre dozlarına bağlı olarak ise istatistiki açıdan herhangi bir önemli farklılık belirlenmemiştir. Ek olarak, yıllar, fosforlu gübre dozları ve priming uygulamalarının

birbiri içerisindeki tüm ikili ve üçlü interaksiyonlar arasında da istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$ veya 0.05) farklılıkların olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.39. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide bakır (Cu) içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	879,540	879,540	469,340**
Blok	6	0,277	0,046	0,025
Fosfor (P)	3	15,582	5,194	2,772
Y x P	3	19,977	6,659	3,553*
Hata ₁	18	33,732	1,874	
Priming (Pr)	5	38,496	7,699	3,048*
Y x Pr	5	46,508	9,302	3,683**
P x Pr	15	115,713	7,714	3,054**
Y x P x Pr	15	152,894	10,193	4,036**
Hata ₂	120	303,098	2,526	
Genel	191			

**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde bitkide Cu içeriği birinci yılda 13,07 ppm ve ikinci yılda 8,79 ppm olarak tespit edilmiştir. Priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide en düşük Cu içeriği 10,47 ppm olarak PGPB-priming uygulamasından, en yüksek ise 11,86 ppm olarak Si-priming uygulamasından elde edilmiştir. Y x Pr interaksiyonu incelendiğinde bitkide Cu içeriğinin 8,50-14,95 ppm aralığında değiştiği görülmekte olup ikinci yıldaki priming uygulamaları arasında istatistiksel açıdan bir farklılık oluşmamıştır. Y x P interaksiyonunda bitkide en düşük Cu içeriğinin birinci yılda fosfor verilmeyen kontrol uygulamasında, en yüksek ise ikinci yılda 6 kg P₂O₅/da uygulamasında tespit edilmiş olmakla birlikte yıllar içerisindeki uygulamalar arasında istatistiki açıdan fark oluşmadığı gözlemlenmiştir. P x Pr interaksiyonunda ise bitkide en düşük Cu içeriği (9,23 ppm) 6 kg P₂O₅/da ilave edilen PGPB-priming uygulamasında, en yüksek (13,53 ppm) ise 6 kg P₂O₅/da ilave edilen Si-priming uygulamasından elde edilmiştir. Tüm faktörlerin üçlü interaksiyonu bakımından incelendiğinde, bitkide en düşük Cu içeriği (7,78 ppm) denemelerin ikinci yılında 6 kg P₂O₅/da ilave edilen ve priming uygulanmayan kontrol parsellerinde belirlenirken en yüksek (12700 ppm) ise denemenin birinci yılında 6 kg P₂O₅/da ilave edilen Si-priming uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.40).

Tablo 4.40. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide bakır (Cu) içeriğine etkisi (ppm)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	17,21 ab	13,29 b-g	11,22 c-l	10,94 d-l	7,86 l	9,47 e-l	8,89 g-l	7,78 l	13,16 ab	8,50 c	12,53 ab	11,38 a-d	10,05 b-d	9,36 cd	10,83 AB
Pi	12,22 c-l	12,82 b-k	12,33 c-l	13,11 b-h	8,28 kl	9,14 f-l	8,40 i-l	8,54 h-l	12,62 b	8,59 c	10,25 b-d	10,98 a-d	10,36 b-d	10,82 a-d	10,60 B
SA	14,10 a-d	12,93 b-j	11,47 c-l	13,55 b-f	9,00 f-l	9,48 e-l	8,91 g-l	8,35 j-l	13,01 b	8,93 c	11,55 a-d	11,21 a-d	10,19 b-d	10,95 a-d	10,97 AB
S	12,97 b-i	11,46 c-l	13,78 b-e	12,72 b-k	8,77 g-l	10,25 d-l	8,40 i-l	8,40 i-l	12,73 b	8,95 c	10,87 a-d	10,85 a-d	11,09 a-d	10,56 b-d	10,84 AB
PGPB	14,32 a-d	10,97 b-l	12,30 c-l	10,20 d-l	9,50 e-l	9,42 e-l	8,76 g-l	8,27 kl	11,95 b	8,99 c	11,91 a-d	10,19 b-d	10,53 b-d	9,23 d	10,47 B
Si	11,56 c-l	15,73 a-c	13,85 b-e	18,64 a	9,44 e-l	8,72 g-l	8,51 i-l	8,43 i-l	14,94 a	8,77 c	10,50 b-d	12,20 a-c	11,19 b-d	13,53 a	11,86 A
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	13,73 A	12,87 A	12,49 A	13,19 A	8,81 B	9,41 B	8,64 B	8,30 B	13,07 A	8,79 B	11,27	11,14	10,57	10,74	

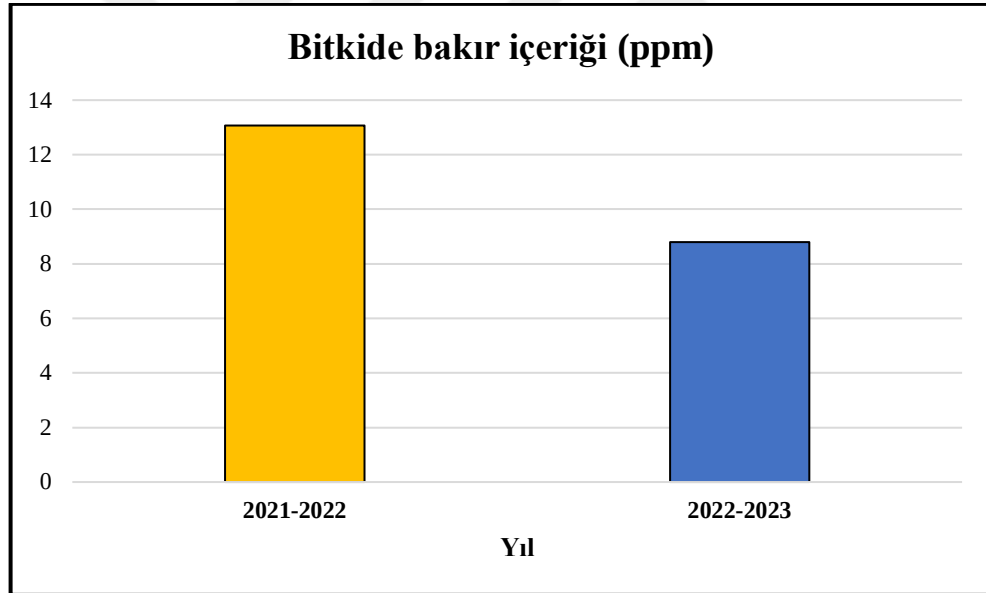
Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

Bitkide Cu içeriğinin yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda ikinci yıla göre birinci yılda %48,7 oranında daha yüksek Cu elde edildiği görülmektedir (Şekil 4.65). Priming uygulamaları açısından ise bitkide en yüksek Cu içeriği Si-priming uygulanan bitkilerde, en düşük ise PGPB- ve Pi-priming uygulamalarında tespit edilmiştir (Şekil 4.66).

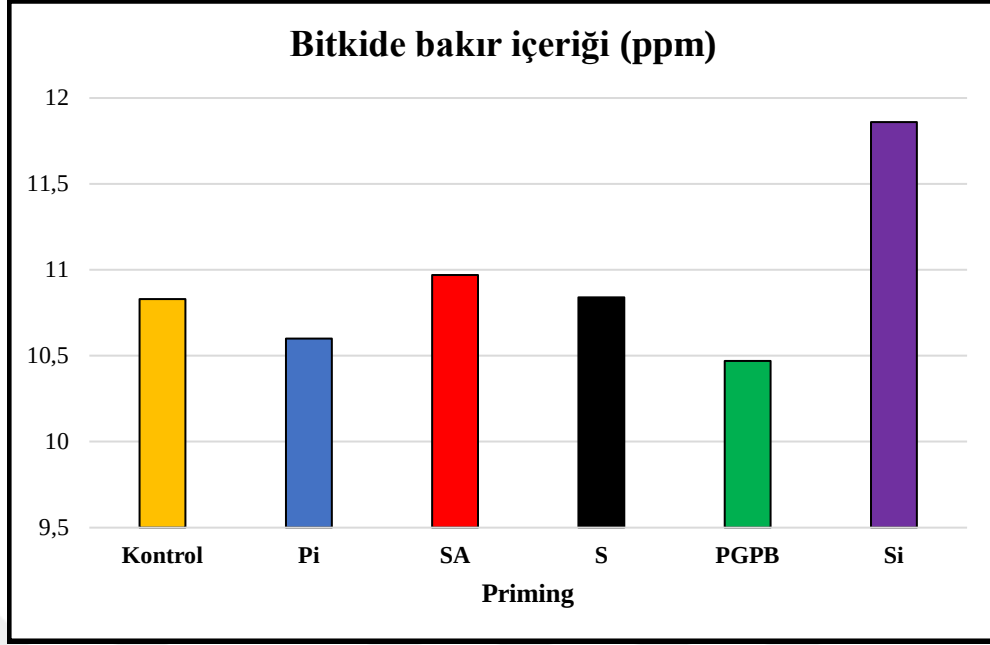
Bitkiler açısından Cu hayati öneme sahip bir mikro element olmakla birlikte sınır değerlerin (5-30 ppm) üzerinde bulunması durumunda toksik etki gösterdiği bilinmektedir (Kumar ve ark., 2021). Bu bilgi ışığında değerlendirildiğinde araştırma sonuçları bitkide Cu içeriğinin olumlu kabul edilen sınırlar içerisinde (7,78-18,64 ppm) olduğu belirlenmiştir. Toprağın katı ve sıvı fazında Cu bulunur. Katı fazda, bakırın suda çözünen formu, sekonder minerallerle (kil ve metal oksitleri/oxyhidroksitleri), organik materyallerle ve birincil minerallerle (silikatlar, karbonatlar ve fosfatlar) kompleksler oluşturur (Giacalone ve ark., 2005). Bakırın toprakta bulunabilirliği, toprak tipi ve morfolojik ve kimyasal özellikleri gibi bir dizi faktöre bağlıdır. Ayrıca, bakırın toprakta tutulma süresi aynı zamanda parçacık boyutuna, toprak agregatlarına ve organik madde içeriği, pH, nem ve kation değişim kapasitesi gibi diğer birçok toprak faktörüne de bağlıdır (Wu ve ark., 2010a,b). Daha da önemlisi, toprak pH'sının ve organik madde içeriğinin artması topraklarda Cu^{+} kationunun konsantrasyonunun artmasına yol açar (Bravin ve ark., 2012; Cui ve ark., 2020). Yıllar arasındaki toprak özelliklerinden kaynaklı farklılıklar göz önüne alındığında birinci sezonlardaki pH ve organik madde içerikleri sırasıyla 8,02 ve %1,55 olarak gözlemlenirken ikinci yılda 7,82 ve %1,12 olarak kaydedilmiştir. Bu nedenle, birinci yılda topraktaki Cu^{+} konsantrasyonunun artış göstermesi, bitkiler tarafından alınan ve yapraklara taşınan Cu bileşiklerinde artışa neden olmuştur.

Priming uygulamalarının etkisi incelendiğinde Si-priming uygulamasının bitkiler tarafından alınan Cu içeriğinin artmasına yol açtığı, Pi ve PGPB-priming uygulamalarının Cu konsantrasyonunu azalttığı, diğer uygulamaların ise kontrole göre bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ju ve ark. (2020), yoncada *Paenibacillus mucilaginosus* ve *Sinorhizobium meliloti* uygulamalarının yapraklarda biriken Cu konsantrasyonunu %48 oranında azalttığını rapor etmişlerdir. Bitkiler tarafından Cu alımını artıran PGPB uygulamalarının da olduğu (Ren ve ark., 2019) ancak yeterli Cu alınması durumunda ağır metal olarak toksik etki gösterebileceği için alımının sınırlandırıldığı düşünülmektedir. Ayrıca, ilerleyen bölümlerde görüleceği üzere PGPB uygulamalarına bağlı olarak Fe^{+} alımının arttığı tespit edilmiştir. Kökler tarafından Cu ve Fe aynı mekanizma ile

alınmakta olduğu için genellikle bu iki elementin alımları birbiri ile negatif yönlü bir ilişki içerindedir (Printz ve ark., 2016). Bu nedenle de PGPB-priming uygulamasına bağlı olarak Cu alımının azalmış olabileceği düşünülmektedir. Silisyumun Cu alımı üzerine etkileri bakımından gerçekleştirilen araştırmalarda ise toprak yapısı, topraktaki Cu konsantrasyonu, bitki tarafından alınan ve alınması gereken Cu konsantrasyonu, pH ve nem gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmekle birlikte, bazı araştırmacılar Si uygulamalarının özellikle Cu toksisitesine karşı bitkileri koruduğu ve hatta bitkilerde Cu toksisitesine karşı tolerans geliştirilmesine katkı sağladığını belirtirken (Keller ve ark., 2015), bazıları ise Si uygulamalarına paralel olarak bitkiler tarafından alınan Cu miktarının artış gösterdiğini rapor etmişlerdir (Wader, 2012; Patil ve ark., 2018). Araştırmamızdan elde edilen sonuçlara göre bitki bünyesindeki Cu seviyesi faydalı sınırlar içerisinde bulunmakla birlikte Wader (2012) ile Patil ve ark. (2018)'nın elde ettiği sonuçlar ile uyum göstermektedir.



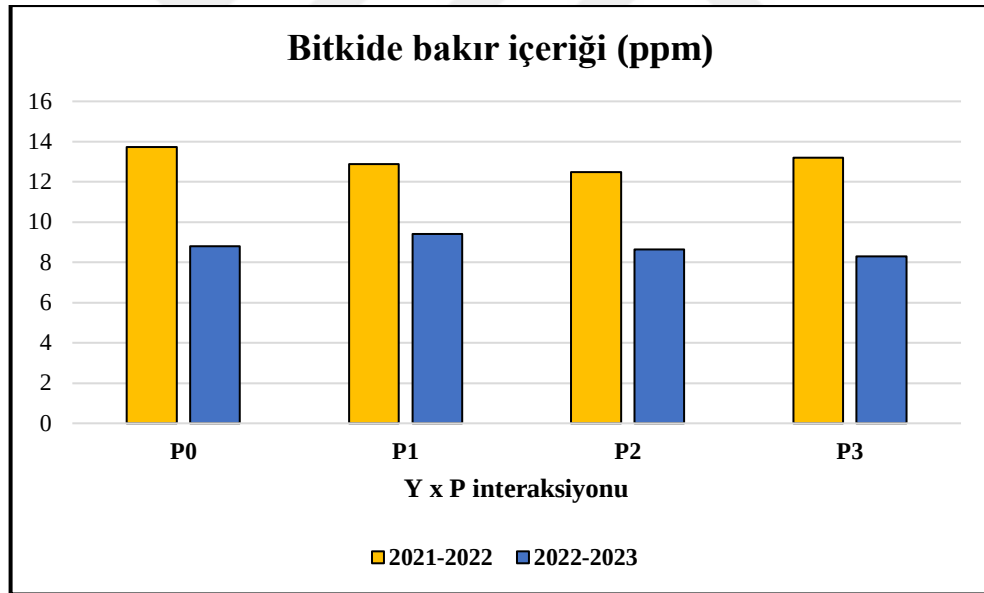
Şekil 4.65. Bitkide bakır içeriğinin yıllara göre değişim grafiği



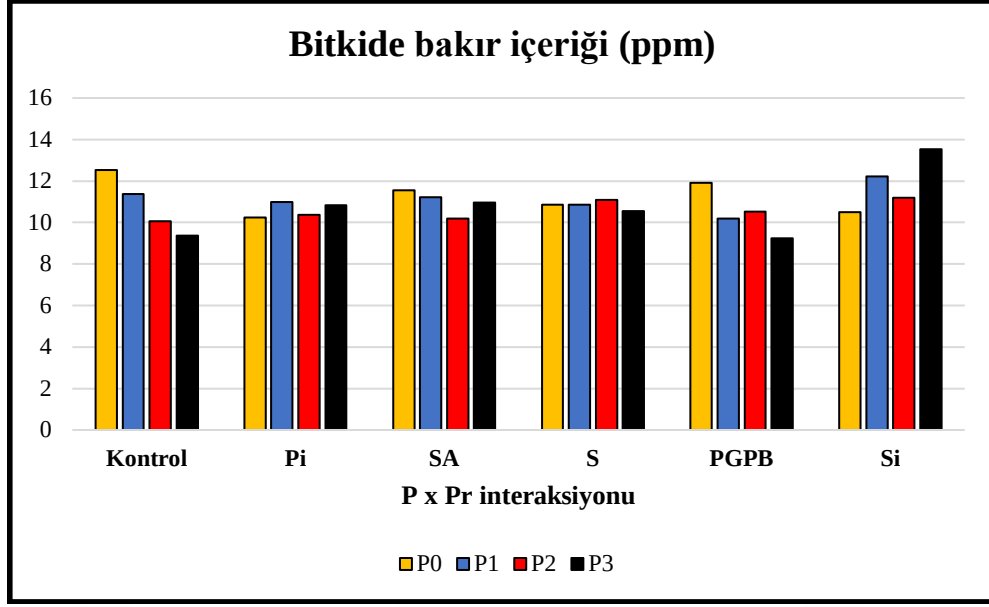
Şekil 4.66. Bitkide bakır içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

Y x P interaksiyonunun bitkide Cu içeriği üzerine önemli düzeyde etki yapmasının sebebi; birinci yılda fosfor uygulaması yapılmayan bitkilerde en yüksek Cu içeriği tespit edilirken ikinci yılda P1 dozunda en yüksek Cu belirlenmiş olmasıdır. Ayrıca her iki yıldaki bitkide en düşük Cu içeriği ikinci yıldaki P3 uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.67). İlerleyen bölümde Y x P interaksiyonunun bitkide Fe içeriği üzerine etkisini gösteren grafik incelendiğinde (Şekil 4.73), birinci yılda en yüksek değerin P3 uygulaması ile, en düşük değerin ise ikinci yılda fosfor uygulanmayan bitkilerde elde edildiği görülecektir. Bu nedenle, burada ortaya çıkan interaksiyonun bitkiler tarafından Cu ve Fe alımı bakımından ortaya koydukları rekabet ve antagonistik etkiden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Bitkide Cu içeriği üzerine P x Pr interaksiyonunun önemli çıkmasının nedeni; P0 uygulamasının diğer fosfor dozlarına göre kontrol ve priming uygulamalarında farklı etki göstermesidir. Şekil 4.68 incelendiğinde, fosfor uygulanmayan parsellerde tüm priming uygulamaları priming uygulanmayan kontrol bitkilerine göre daha düşük bitkide Cu içeriğine yol açarken P2 seviyesinde fosfor uygulanan parseller için tam aksi bur durumun ortaya çıkması, yani priming uygulamalarının tamamının kontrolden daha yüksek değer ortaya koymasındır. Yine P x Pr interaksiyonunun bitkide Fe içeriği üzerine etkisi incelendiğinde (Şekil 4.74) P2 uygulamasında Si hariç tüm priming materyallerinin kontrole göre bitkide daha düşük Fe içeriğine yol açtığı, oysa Cu içeriği bakımından değerlendirildiğinde tam tersi bir durumun ortaya çıktığı görülmektedir. Bu nedenle, bitkide Cu içeriği açısından ortaya

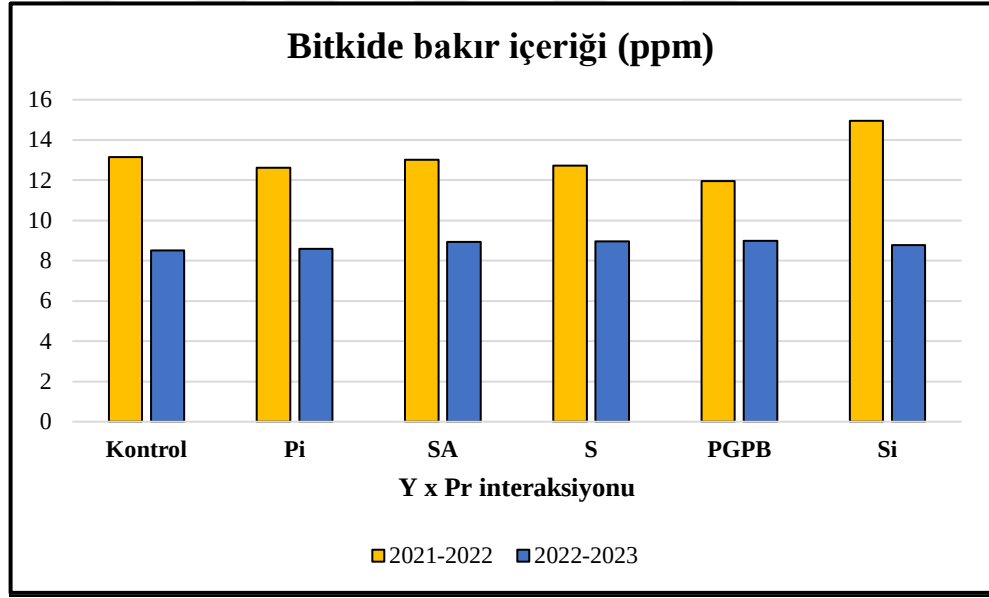
çıkan interaksyonların sebebi topraktan alınan Fe içeriği ile ilişkili görünmektedir. Y x Pr interaksyonunun ortaya çıkması farklı yıllarda uygulamaların bitkide Cu içeriği üzerine farklı etkiler göstermesinden kaynaklanmıştır. Si-priming uygulamasında birinci yılda kayda değer bir artış görülürken ikinci yılda Cu içeriğinin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.69). Y x P x Pr interaksyonunun bitkide Cu içeriği üzerine etkilerinin istatistiki açıdan önemli çıkmasının nedeni; priming uygulamalarının yıl ve fosforlu gübre dozuna bağlı olarak Cu içeriği üzerine farklı etkiler göstermesidir. Şekil 4.70’te görüldüğü üzere, priming uygulaması yapılmayan (kontrol) bitkilerde Cu içeriği ikinci yılda artan fosfor dozlarına bağlı olarak artış gösterirken birinci yılda dozlara göre dalgalanma göstermiştir (P1 dozunda azalırken P2 ve P3’te tekrar artış gösteriyor). Diğer priming uygulamalarının da yıllara ve fosfor dozlarına göre farklı etkiler sergilediği göze çarpmaktadır. Bitkide Cu alımı üzerine önemli çıkan diğer interaksyonlarda da açıklandığı üzere, yıllara, fosforlu gübre ve priming uygulamalarına bağlı olarak Cu alımındaki farklılıkların sebebi diğer katyonların alımı bakımından ortaya çıkan rekabet olarak değerlendirilmiştir.



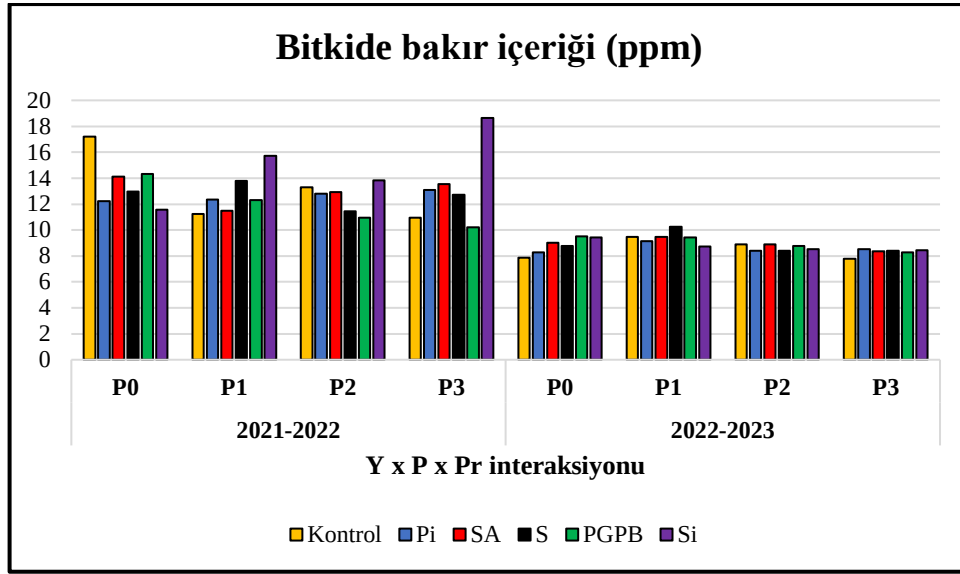
Şekil 4.67. Bitkide bakır içeriğine ait Y x P interaksyon grafiği



Şekil 4.68. Bitkide bakır içeriğine ait P x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.69. Bitkide bakır içeriğine ait Y x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.70. Bitkide bakır içeriğine ait Y x P x Pr interaksyon grafiği

4.21. Bitkide Demir İçeriği

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-2022 ve 2022-2023 yılları ile yıllar ortalamasına ait bitkide Fe içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.41’de, bitkide Fe içeriğine ait ortalama değerler ise Tablo 4.42’de verilmiştir. Bitkide Fe içeriğine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar ve priming uygulamaları ile Y x Pr, P x Pr ve Y x P x Pr interaksyonlarının bitkide Fe içeriği üzerine etkilerinin istatistiksel olarak çok önemli ($p < 0.01$), Y x P interaksyonunun etkisinin ise önemli ($p < 0.05$) olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.41. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide demir (Fe) içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	1341696,4	1341696,4	16,108**
Blok	6	55236,3	9206,1	0,111
Fosfor (P)	3	384686,7	128228,9	1,540
Y x P	3	1237421,9	412474,0	4,952*
Hata ₁	18	1499247,5	83291,5	
Priming (Pr)	5	457421,8	91484,4	4,608**
Y x Pr	5	959112,3	191822,5	9,661**
P x Pr	15	1433151,6	95543,4	4,812**
Y x P x Pr	15	1515395,3	101026,4	5,088**
Hata ₂	120	2382600,0	19855,0	
Genel	191			

**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde bitkide Fe içeriği birinci yılda 716 ppm ve ikinci yılda 883 ppm olarak tespit edilmiştir. Priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide en düşük Fe içeriği 747 ppm olarak Pi-priming, en yüksek ise 900 ppm ile S-priming ile elde edilmiştir. Y x P interaksyonuna bağlı olarak bitkide Fe içeriği değerlerinin 615-1046 ppm aralığında değişim gösterdiği saptanırken ikinci yılda bitkide Fe içeriğinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Y x Pr interaksyonu incelendiğinde bitkide en düşük Fe içeriği birinci yıl PGPB-priming uygulamasında (626 ppm), en yüksek (1024 ppm) ise ikinci yıldaki S-priming uygulamasından elde edilmiştir. P x Pr interaksyonunda ise bitkide en düşük Fe içeriği (633 ppm) fosforlu gübre uygulaması yapılmayan SA-priming uygulamasında, en yüksek (1024 ppm) S-priming uygulanan 1,5 kg P₂O₅/da uygulamasından elde edilmiştir. Tüm faktörlerin üçlü interaksyonu bakımından incelendiğinde, bitkide en düşük Fe içeriği (521 ppm) denemelerin birinci yılında 1,5 kg P₂O₅/da ilave edilen Pi-priming uygulamasından elde edilirken en yüksek (1546 ppm) ise denemenin ikinci yılında S-priming ilave edilen 1,5 kg P₂O₅/da uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.42)

Tablo 4.42. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide demir (Fe) içeriğine etkisi (ppm)

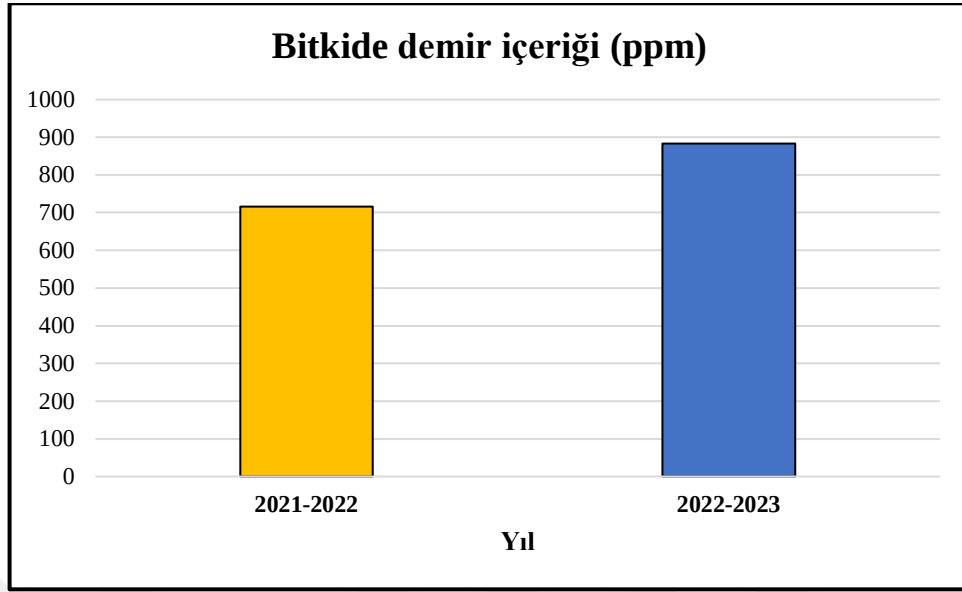
Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	651 d-k	624 f-k	680 d-k	631 e-k	833 b-k	1048 b-d	1100 bc	760 c-k	646 cd	935 ab	742 b-d	836 b-d	890 a-d	696 cd	791 B
Pi	856 b-k	521 k	685 d-k	742 c-k	554 jk	995 b-g	791 c-k	834 b-k	701 cd	793 bc	705 cd	758 b-d	738 b-d	788 b-d	747 B
SA	590 g-k	571 h-k	791 c-k	1212 ab	676 d-k	871 b-k	847 b-k	672 d-k	791 b-d	767 cd	633 d	721 b-d	819 b-d	942 a-c	779 B
S	756 c-k	694 c-k	795 c-k	860 b-k	770 c-k	1546 a	746 c-k	1036 b-e	776 b-d	1024 a	763 b-d	1120 a	770 b-d	948 a-c	900 A
PGPB	735 c-k	546 jk	622 f-k	601 g-k	942 b-j	1018 b-f	1039 b-d	962 b-i	626 d	990 a	839 b-d	782 b-d	830 b-d	781 b-d	808 AB
Si	559 i-k	734 c-k	971 b-h	752 c-k	769 c-k	796 c-k	969 b-h	619 f-k	754 cd	788 b-d	664 d	765 b-d	970 a	686 cd	771 B
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	691 BC	615 C	757 BC	800 A-C	757 BC	1046 A	915 BC	814 A-C	716 B	883 A	724	830	836	807	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

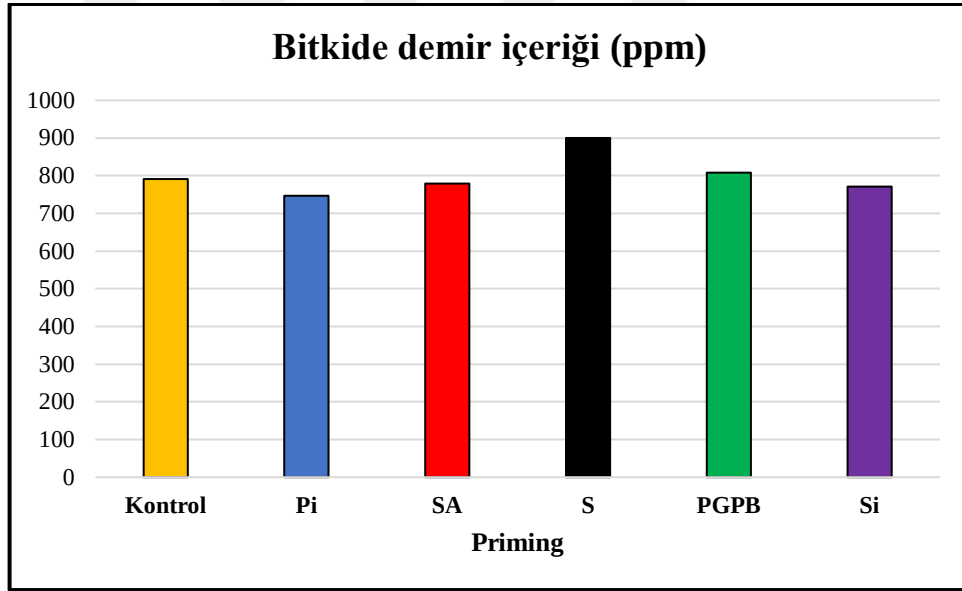
Bitkide Fe içeriğinin çalışma sezonlarına göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda birinci yıla göre ikinci yılda %23,3 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.71). Priming uygulamalarında ise S ve PGPB materyallerinin kontrol grubuna göre bitkide Fe içeriğini sırasıyla %13,8 ve %2,3 oranında artırdığı sonucuna varılmıştır (Şekil 4.72).

Bitkide Cu konsantrasyonu açısından sonuçların değerlendirildiği bölümde değinildiği üzere, kökler tarafından Cu^{+} ve Fe^{+} alımı aynı mekanizma üzerinden gerçekleşmektedir (Printz ve ark., 2016). Bu nedenle, çalışmanın birinci yılında topraktan daha fazla Cu alınması ve bitkinin üst aksamlarına taşınmasının Fe alımı bakımından antagonistik etki yaptığı ve böylelikle birinci yılda daha az ikinci yılda daha fazla Fe alımı gerçekleştirildiği düşünülmektedir. Ek olarak, Fe bileşiklerinin düşük pH değerine sahip asidik ortamlarda daha kolay çözüldüğü, hatta toprakta Fe-şelat oluşumu sayesinde kökler tarafından organik asit salgılanarak bu bileşiklerin ayrıştırılarak bitki kökleri tarafından alındığı, buna karşın her bir birim pH artışında oldukça hızlı bir şekilde Fe çözünürlüğünün ve bitkiler tarafından alınabilirliğinin azaldığı bilinmektedir (Olsen ve Brown, 1980, Kim ve Guerinot, 2007; Liang, 2022). Bu nedenle, araştırmanın birinci yılında daha yüksek toprak pH'sının Fe alımını sınırlandırdığı ve bu nedenle bitkide tespit edilen Fe içeriğinin birinci yılda daha düşük çıktığı tahmin edilmektedir.

Priming uygulamaları açısından kontrole kıyasla PGPB-priming uygulamasının bitkide Fe alımını artırdığı ancak en yüksek Fe içeriğinin S-priming uygulanan bitkilerden elde edildiği görülmektedir. PGPB-priming için kullanılan bakteriyel konsorsiyum içerisindeki strainlerden KF63C siderofor üretme kabiliyetine sahip olup Fe (III) şelasyonu oluşturabilmesinden dolayı bitkilerce Fe alımını kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Farklı araştırmacılar siderofor üretme kabiliyetine sahip PGPB strainlerinin kök bölgesinde alınabilir Fe bileşikleri konsantrasyonunu ve bitkilerce alınan Fe miktarının önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir (Stegelmeier ve ark., 2022; Timofeeva ve ark., 2022; Mowafy ve ark., 2023). Sitrik asit ise rizosfer bölgesindeki besin elementlerinin bitki kökleri tarafından alınmasını sağlayan en önemli kök salgılarından biridir (Perez-Labrada ve ark., 2016). Birçok araştırmacı farklı metotlarla uygulanan sitrik asidin kök bölgesinden besin elementi alımını buğdayda (Tusei, 2019), acı baklada (Dinkelaker ve ark., 1989), soğanda (Trujillo-Reyes ve ark., 2013), çeltikte (Sebastian ve Prasad, 2018), arpada (Gahoonia ve ark., 2000) ve mısırdaki (Santos ve ark., 2017) artırdığını rapor etmişlerdir. Bu nedenle, çalışmamız neticesinde ortaya çıkan bulgular söz konusu araştırmacıların sonuçları ile uyum göstermektedir.



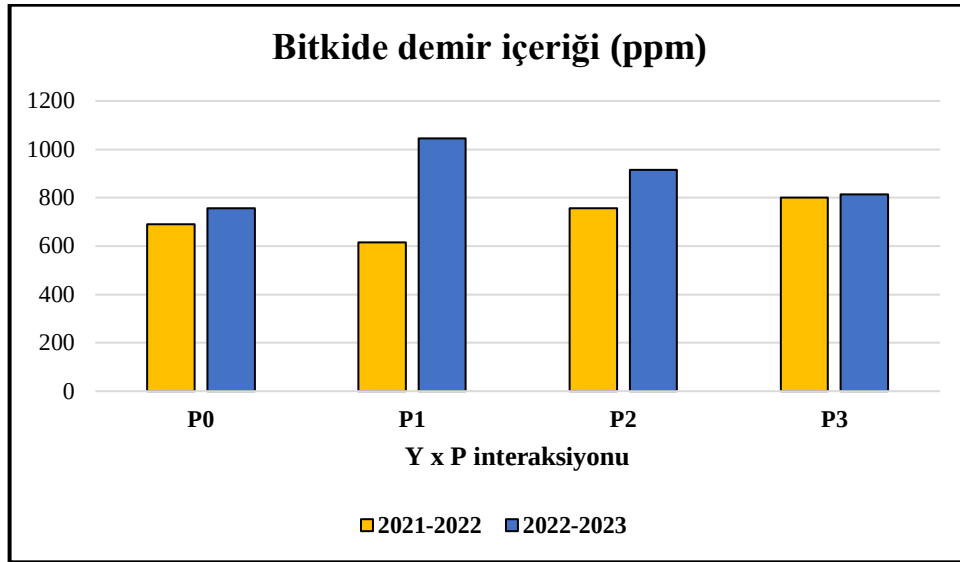
Şekil 4.71. Bitkide demir içeriğinin yıllara göre değişim grafiği



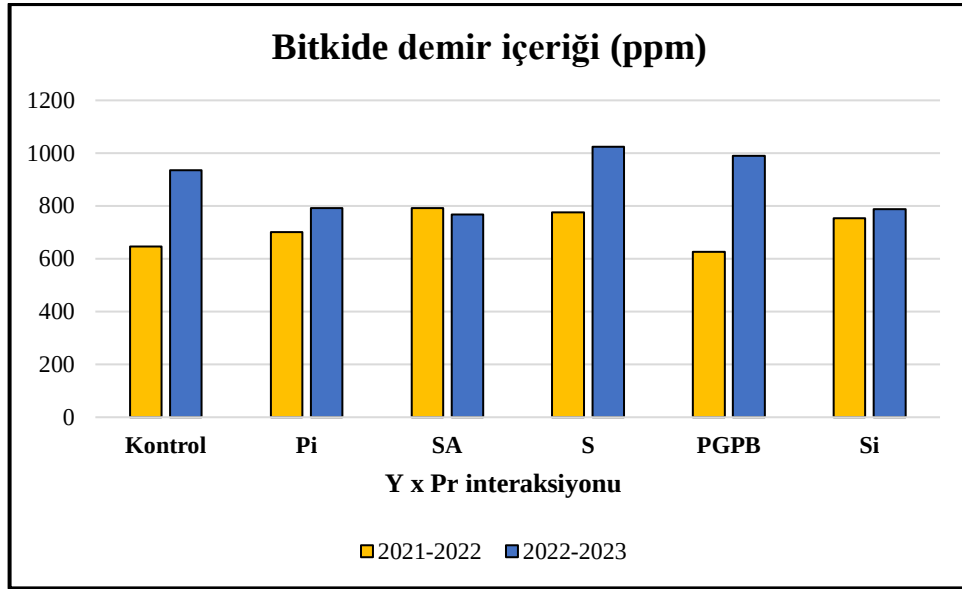
Şekil 4.72. Bitkide demir içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

Y x P interaksiyonunun bitkide Fe içeriği üzerine önemli düzeyde etki yapmasının sebebi; birinci yılda kontrol grubundan P1 dozuna geçildiğinde Fe içeriğinin azalması ve sonrasında artan dozlara bağlı olarak artış göstermesi, ancak ikinci yılda kontrolden sonra artan fosfor dozlarına paralel olarak Fe içeriğinin azalmasıdır (Şekil 4.73). Y x Pr interaksiyonunun etkisinin önemli olması farklı yıllarda uygulamaların bitkide Fe içeriği üzerine farklı etkiler göstermesinden kaynaklanmıştır. Priming uygulanmayan kontrol parsellerinde birinci yılda PGPB hariç bitkide en düşük Fe içeriğinin elde edilmesi, ancak

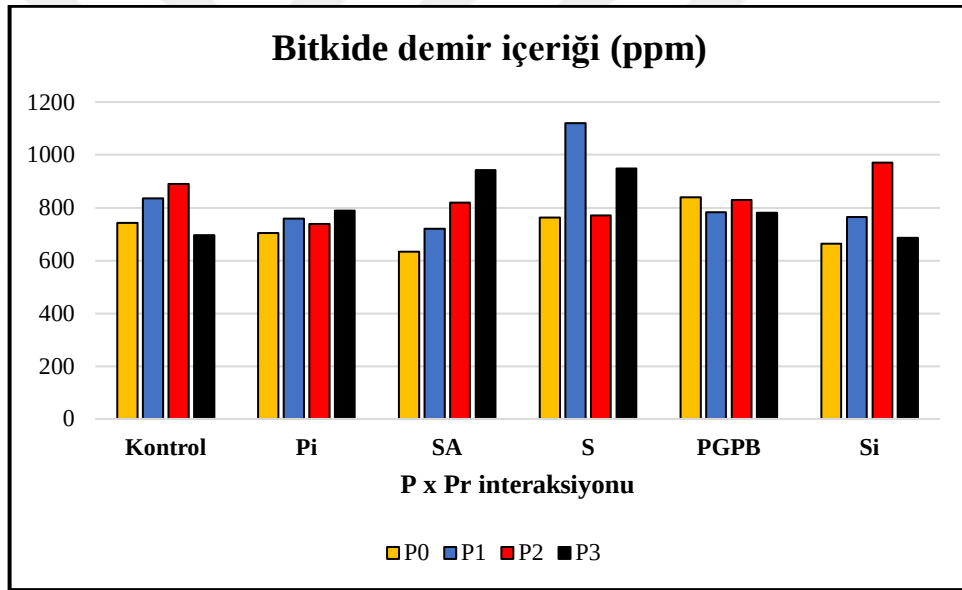
ikinci yılda S ve PGPB-priming uygulamalarının ardından en yüksek Fe içeriğinin elde edilmesi, Y x Pr interaksyonunun önemli çıkmasında etkili olmuştur (Şekil 4.74). Bitkide Fe içeriği üzerine P x Pr interaksyonunun önemli çıkmasının nedeni; P1 dozunun kontrole kıyasla P_i, SA, PGPB ve Si-priming uygulamalarında daha düşük bitkide Fe içeriğinin elde edilmesine yol açarken S-priming uygulamasında en yüksek Fe içeriğine ulaşılmasıdır (Şekil 4.75). Y x P x Pr interaksyonunun bitkide Fe içeriği üzerine etkilerinin istatistiki açıdan önemli çıkmasının nedeni; priming uygulamalarının yıl ve fosforlu gübre dozuna bağlı olarak Fe içeriği üzerine farklı etkiler göstermesidir. Şekil 4.76'da görüldüğü üzere, priming uygulaması yapılmayan (kontrol) bitkilerde Fe içeriği ikinci yılda artan fosfor dozlarına bağlı olarak artış gösterirken birinci yılda dozlara göre dalgalanma göstermiştir (P1 dozunda azalırken P2'de tekrar artış gösteriyor). Şekil 4.76 incelendiğinde, diğer priming uygulamalarının da yıllara ve fosfor dozlarına göre farklı etkiler sergilediği göze çarpmaktadır. Benzer şekilde, SA-priming uygulaması birinci yılda P3 dozu ile maksimum Fe içeriğine işaret ederken ikinci yılda P3 seviyesiyle birlikte uygulandığında en düşük Fe içeriğine yol açmaktadır. Yıllar, fosforlu gübre ve priming uygulamalarının bitkide demir içeriği açısından önemli çıkan ikili ve üçlü interaksyonların nedeni; artan Cu alımından dolayı Fe alımının sınırlandırılmasıdır.



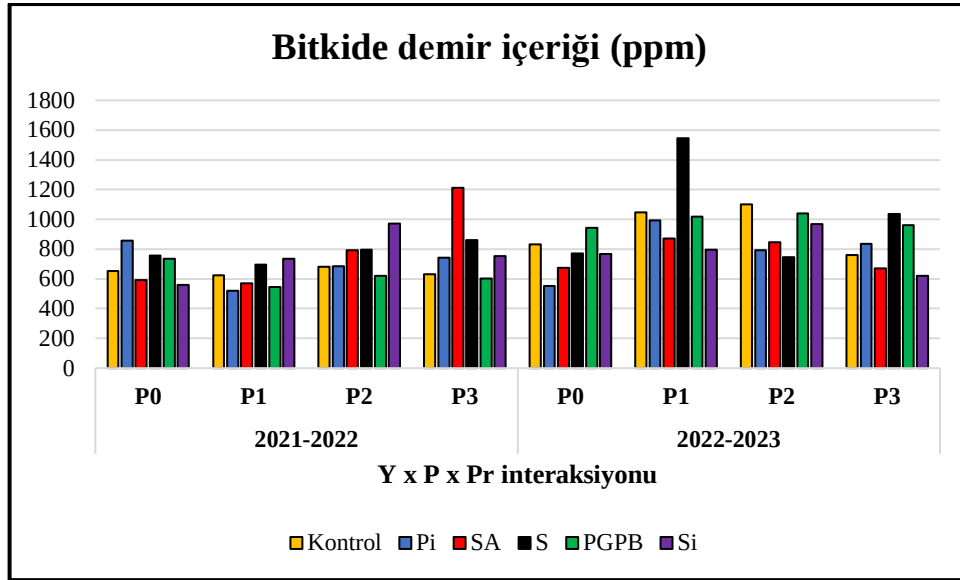
Şekil 4.73. Bitkide demir içeriğine ait Y x P interaksyon grafiği



Şekil 4.74. Bitkide demir içeriğine ait Y x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.75. Bitkide demir içeriğine ait P x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.76. Bitkide demir içeriğine ait Y x P x Pr interaksyon grafiği

4.22. Bitkide Magnezyum İçeriği

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait bitkide Mg içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.43'te, bitkide Mg içeriğine ait ortalama değerler ise Tablo 4.44'te verilmiştir. Bitkide Mg içeriğine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar, fosforlu gübre dozları, priming uygulamaları ve bunlar arasındaki tüm ikili ve üçlü interaksyonlar arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p < 0.01$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.43. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide magnezyum (Mg) içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	15373692,2	15373692,2	304,591**
Blok	6	91072,6	15178,8	0,301
Fosfor (P)	3	1288261,8	429420,6	8,508**
Y x P	3	869837,5	289945,8	5,745**
Hata ₁	18	908517,7	50473,2	
Priming (Pr)	5	491286,0	98257,2	7,294**
Y x Pr	5	220846,4	44169,3	3,279**
P x Pr	15	769416,5	51294,4	3,808**
Y x P x Pr	15	1163630,6	77575,4	5,758**
Hata ₂	120	1616598,0	13472,0	
Genel	191			

** : $p < 0.01$

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde bitkide Mg içeriği birinci yılda 2840 ppm ve ikinci yılda 2274 ppm olarak tespit edilmiştir. Fosfor dozları bakımından bitkide Mg içeriği 2428-2654 ppm aralığında değişim göstermiş olup en düşük değer fosfor gübresi verilmeyen kontrol uygulamasında belirlenirken bitkide en yüksek Mg içeriği 3 kg P₂O₅/da uygulamasından elde edilmiştir. Priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide en düşük Mg içeriği 2473 ppm olarak Pi-priming uygulamasında, en yüksek ise 2627 ppm ile S-priming uygulanan bitkilerden elde edilmiştir. Y x P interaksiyonuna bağlı olarak bitkide Mg içeriği değerlerinin 2210-2955 ppm aralığında değişim gösterdiği saptanmıştır. Y x Pr interaksiyonu incelendiğinde, bitkide en düşük Mg içeriği ikinci yıldaki SA-priming uygulamasından (2188 ppm), en yüksek (2903 ppm) ise birinci yıldaki S-priming uygulamasında elde edilmiş olmakla birlikte SA ve Si-priming uygulamaları ile aynı grup içerisinde yer almıştır. P x Pr interaksiyonunda ise bitkide en düşük Mg içeriği (2292 ppm) fosforlu gübre uygulaması yapılmayan Pi-priming uygulamasında, en yüksek (2750 ppm) S-priming uygulanan 3 kg P₂O₅/da uygulamasından elde edilmiştir. Tüm faktörlerin üçlü interaksiyonu bakımından incelendiğinde, bitkide en düşük Mg içeriği (2033 ppm) denemelerin ikinci yılında 6 kg P₂O₅/da ilave edilen SA-priming uygulamasından, en yüksek ortalama (3216 ppm) ise denemenin birinci yılında 3 kg P₂O₅/da ilave edilen S-priming uygulamasından edilmiştir (Tablo 4.44).

Tablo 4.44. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide magnezyum (Mg) içeriğine etkisi (ppm)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	2964 a-f	2709 c-k	2870 b-h	2702 d-k	2092 pq	2276 n-q	2364 l-q	2281 n-q	2812 ab	2253 cd	2528 b-g	2492 c-h	2617 a-f	2491 c-h	2532 BC
Pi	2412 j-p	2711 c-k	2747 b-j	3040 a-c	2173 pq	2312 m-q	2261 o-q	2128 pq	2727 b	2218 cd	2292 h	2511 c-h	2504 c-h	2584 a-f	2473 C
SA	2633 f-m	2875 b-h	3026 a-d	3025 a-d	2056 q	2315 m-q	2348 l-q	2033 q	2890 a	2188 d	2345 gh	2595 a-f	2689 a-d	2529 b-g	2539 BC
S	2528 i-o	2855 b-i	3216 a	3011 a-d	2284 n-q	2544 h-o	2284 n-q	2292 n-q	2903 a	2351 c	2406 f-h	2700 a-c	2750 a	2651 a-d	2627 A
PGPB	2602 g-n	2662 e-l	3052 ab	2931 a-g	2242 o-q	2271 n-q	2418 j-p	2346 l-q	2812 ab	2319 cd	2422 e-h	2466 d-h	2735 ab	2638 a-e	2565 AB
Si	2746 b-j	2832 b-i	2991 a-e	3021 a-d	2410 k-p	2344 l-q	2274 n-q	2230 o-q	2897 a	2315 cd	2578 a-f	2588 a-f	2633 a-f	2626 a-f	2610 AB
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	2647 B	2774 AB	2984 A	2955 A	2210 C	2344 C	2225 C	2218 C	2840 A	2274 B	2428 B	2559 A	2654 A	2587 A	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

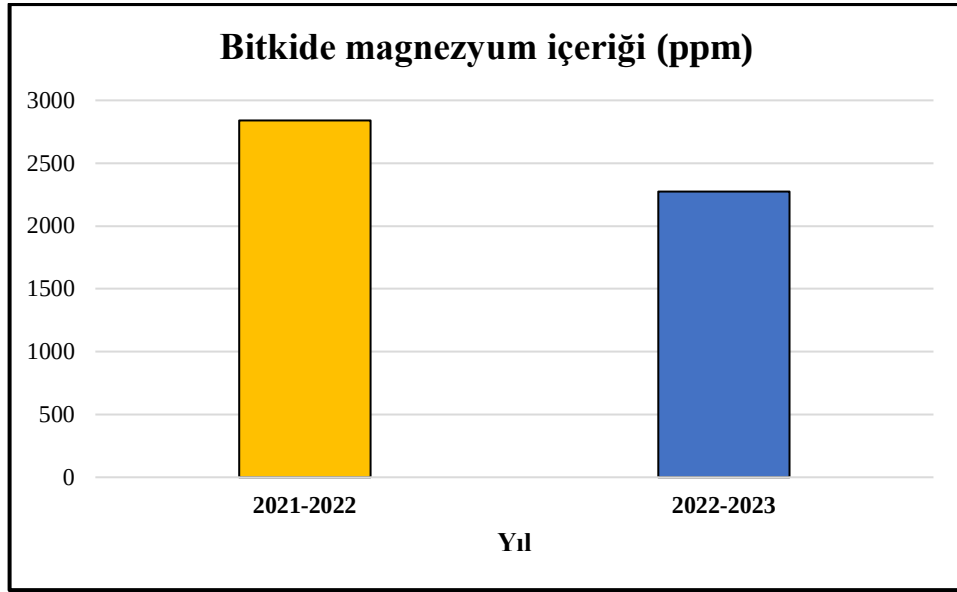
Bitkide Mg içeriğinin yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda ikinci yıla göre birinci yılda %24,9 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.77). Araştırma sonuçlarına göre 3 kg P₂O₅/da uygulaması, kontrol uygulamasına göre bitkide Mg içeriğinde %9,3 oranında artış göstermiştir (Şekil 4.78). Priming uygulamalarında ise SA, S, PGPB ve Si materyallerinin kontrol grubuna göre bitkide Mg içeriğini sırasıyla %0,3, %3,8, %1,3 ve %3,1 oranında artırdığı sonucuna varılmıştır (Şekil 4.79).

Bitkilerde K ve Mg arasında karmaşık bir ilişki bulunmakla birlikte bitki türü, hücre tipi, yaprak yaşlılığı, kaynak ve depo organlar gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak antagonistik ve sinerjistik bir ilişki gözlemlemek mümkündür. Özellikle, yüksek Mg içeriğinin K alımı üzerinde olumsuz bir etkisi bulunmamasına karşın yüksek K içeriğinin bitki köklerinden Mg emilimini sınırlandırdığı tespit edilmiştir (Xie ve ark., 2021). Araştırmanın ikinci yılında toprakta daha fazla K konsantrasyonunun bulunması ve bitkilerce alınan K içeriğinin daha yüksek olması nedeniyle Mg alımının sınırlandırıldığı düşünülmektedir. Seggewiss ve Jungk (2010), topraktaki K konsantrasyonunun 20 µmol/L'den daha fazla olması durumunda kök yüzeyi tarafında alınan magnezyumun inhibe edildiğini rapor etmişlerdir. Grauer ve Horst (1992), potasyumun inhibitör etkisinin özel bir mekanizma ile alakalı olmadığını metabolik olarak üretilen bağlanma bileşikleri veya plazma zarı üzerinde mevcut olan aktif bölgeler için rekabetten kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir. Dahası, yüksek K konsantrasyonunun Mg alımını inhibe etmek dışında bitki bünyesine alındıktan sonra ksilem vasıtasıyla üst aksamlara taşınması esnasında da olumsuz etkilerinin olduğu buğdayda (Ohno ve Grunes, 1985), çeltikte (Ding ve ark., 2006), ve domateste (Li ve ark., 2018) belirlenmiştir. Tüm bunlara ek olarak, araştırmanın birinci yılında ortalama sıcaklıkların daha yüksek olduğu ve toplamda daha fazla sıcaklık ortalamasının etkili olduğu belirlenmiştir. Wilkinson ve ark. (1990), ortalama sıcaklıkların artmasına paralel olarak bitkiler tarafından alınan Mg içeriğinin artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu nedenle, iklimik özellikler açısından da değerlendirildiğinde, birinci yetiştirme sezonunda daha fazla Mg alınmış olması olası görülmektedir.

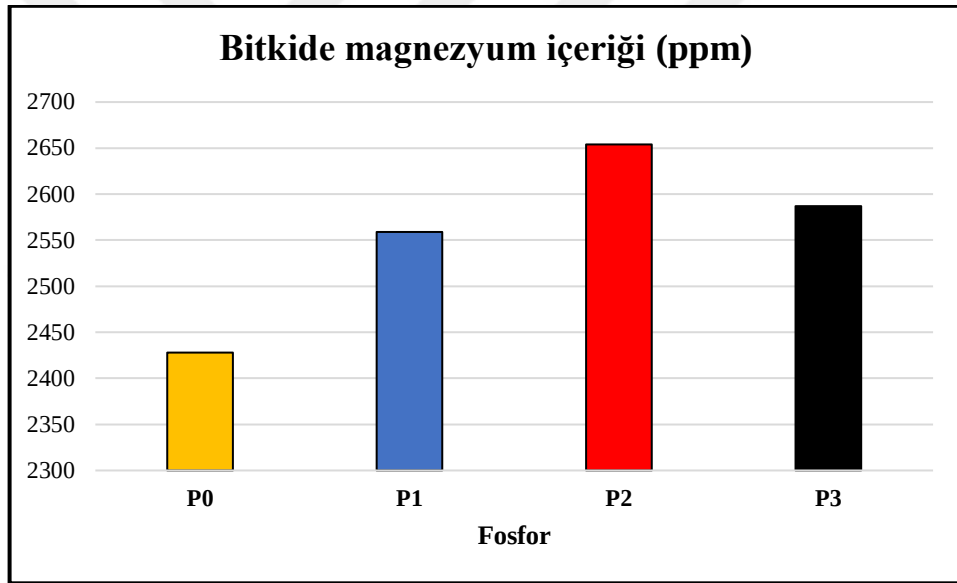
Fosforlu gübre dozları arasında Mg alımı bakımından önemli bir fark bulunmamakla birlikte kontrol grubuna göre Mg alımını artırdığı tespit edilmiştir. Fosfor, Mg emilimini kolaylaştırır ve fosfor eksikliği, Mg noksanlığı durumunda alımı daha da zorlaştıracığı için Mg eksikliği semptomlarının artmasına yol açar (Lu ve ark., 2022). Magnezyum ayrıca bitkilerde hücre bölünmesi ve protein oluşumu için gerekli olan fosfor taşıyıcısı olarak da görev yapar. Magnezyum olmadan fosfor alımı gerçekleşmeyeceği

gibi noksanlığında da alımı sınırlanmaktadır. Ancak, yüksek dozda fosforlu gübreleme neticesinde ortofosfat iyonları toprakta Al^{+} ve Ca^{+} katyonları ile olduğu gibi Mg^{+} iyonları ile de bileşerek magnezyum amonyum fosfat veya magnezyum fosfat oluşturabilir ve böylece suda çözünür formdaki fosfor kaynaklarının zor çözünebilen bir forma dönüşmesine yol açabilir (Soudée ve Péra, 2000; Liu ve ark., 2013). Yine de fosforlu gübre uygulamalarına bağlı olarak bir miktar Mg alımının artması anlaşılabilir görülmektedir. Ayrıca, Von Liebig tarafından ileri atılan minimum yasasına göre ortamda herhangi bir besin elementinin noksanlığı durumunda diğer besin elementi alımının noksan olana göre sınırlandırıldığı hipotezi göz önünde bulundurulduğunda ortamdaki yetersiz fosforun Mg alımını sınırlandırdığı, fosforlu gübrelemeye bağlı olarak da artış gösterdiği de kabul edilebilir bir varsayım olarak öne çıkmaktadır.

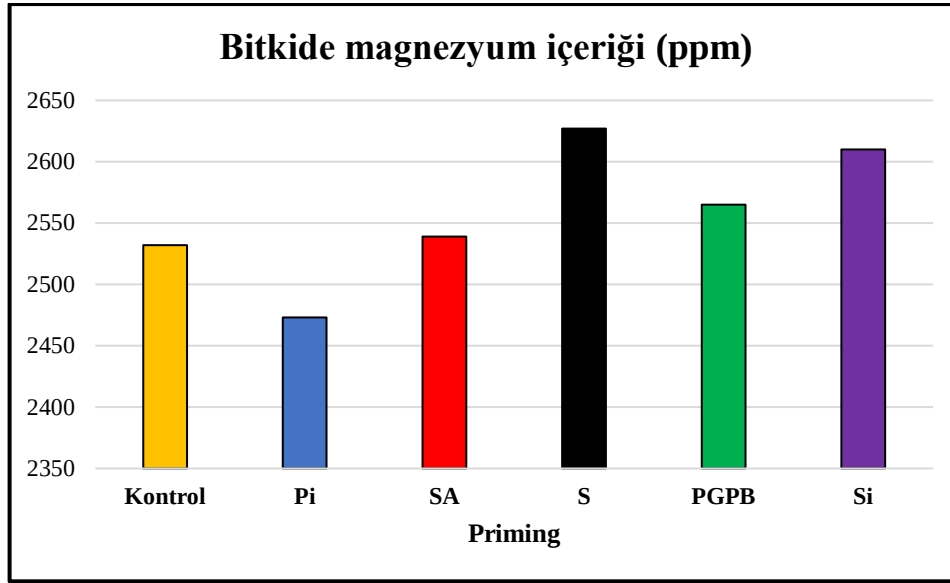
Öncelikle, bitkiler tarafında alınan Mg içeriğinin toprakta mevcut K ve bitkiler tarafından alınan K içerikleri ile antagonistik bir ilişki içerisinde olduğu bilinmektedir. Daha önceki bölümlerde, priming uygulamalarının K alımı üzerine etkileri incelendiğinde SA-priming uygulamasının K alımını en yüksek seviyede artırdığı, PGPB-priming uygulamasının ise azalttığı gözlemlenmiştir. Mg alımı açısından değerlendirildiğinde ise SA-priming uygulamasının kontrole göre bir miktar iyi olmakla birlikte Mg alımı üzerinde çok etkili olmadığı, buna karşın PGPB-priming uygulamasının daha etkili olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, daha önce tespit edilen K ve Mg arasındaki antagonistik ilişkiyi desteklemektedir. Ayrıca, PGPB-priming uygulamasının bitkide N ve P alımını artırdığı, böylelikle Mg alımının da artmasına katkı sağladığı düşünülmektedir. Ek olarak, S-priming uygulamasına bağlı olarak Mg alımının en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Bilindiği üzere S, kökler tarafından salgılanan etkili bir organik asit bileşiğidir. Özetle, organik asitler kök bölgesinde pH değerinin düşmesine yol açar ki düşük pH durumunda bitkilerde Mg alımının arttığı bilinmektedir (Vilkinson ve ark., 1990).



Şekil 4.77. Bitkide magnezyum içeriğinin yıllara göre değişim grafiği



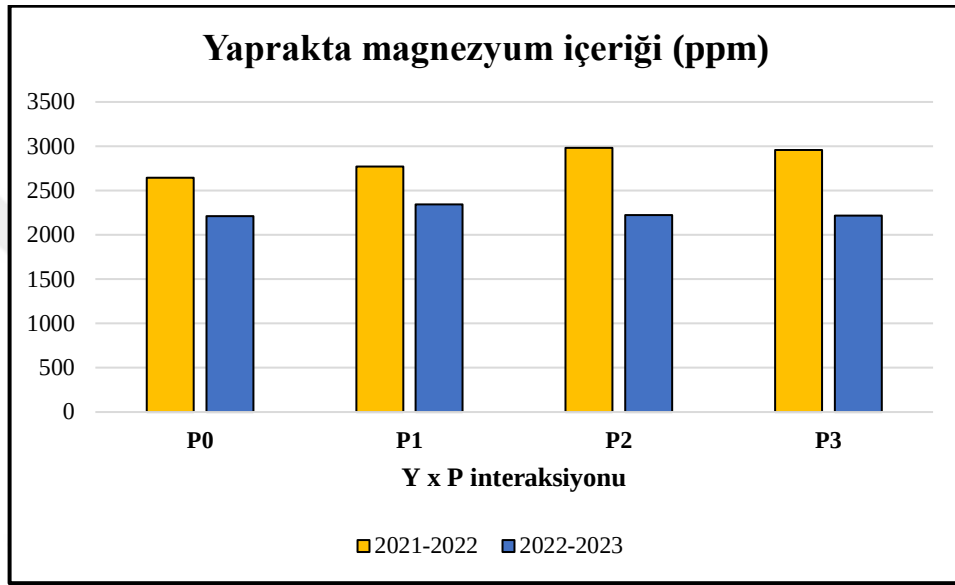
Şekil 4.78. Bitkide magnezyum içeriğinin fosfor dozlarına göre değişim grafiği



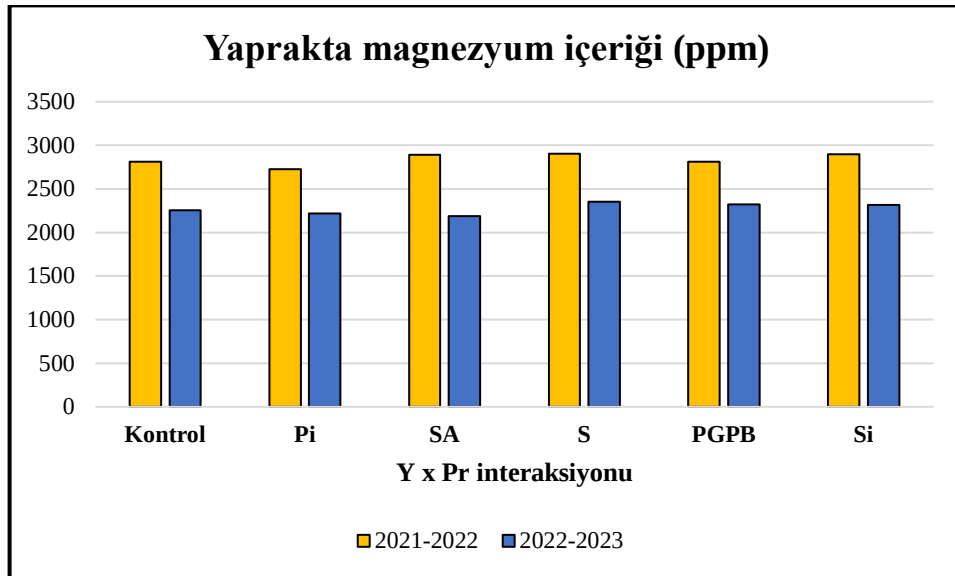
Şekil 4.79. Bitkide magnezyum içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

Y x P interaksiyonunun bitkide Mg içeriği üzerine önemli düzeyde etki yapmasının sebebi; birinci yılda fosfor dozlarına paralel olarak Mg içeriği artarken ikinci yılda yine kontrol bitkilerine göre fosforlu gübre olumlu etki göstermesine rağmen bitkide en yüksek Mg içeriğinin P1 dozundan elde edilmesidir (Şekil 4.80). Bu durumun nedeni birinci yetiştirme sezonunda fosfor ve Mg alımı bakımından ortaya çıkan rekabetin daha yüksek olması, bu nedenle uygulanan fosforlu gübre seviyesinin artmasıyla birlikte bitkide Mg alımına karşı bir eğilimin gerçekleşmesi olabilir. Bitkide Mg içeriği üzerine Y x Pr interaksiyonunun önemli çıkmasının nedeni; 2021-22 sezonunda SA uygulamasının priming uygulanan bitkilerin kontrole göre daha yüksek Mg içeriği ortaya koyması, 2022-23 sezonunda ise daha düşük Mg alımına yol açmasıdır (Şekil 4.81). Buradaki etkinin sebebi, 2021-22 sezonunda SA-priming uygulamasına bağlı olarak yüksek K alımının gerçekleşmesi ve buna bağlı olarak Mg alımının sınırlandırılmasıdır. P x Pr interaksiyonunun bitkide Mg içeriği üzerine önemli farklılıkların oluşmasına sebep olmasının nedeni, fosfor uygulanmayan parsellerde Si hariç tüm priming uygulamalarının kontrol bitkilerine kıyasla daha düşük Mg içeriği ortaya koyması, artan fosforlu gübre dozlarına bağlı olarak ise priming uygulamalarının Mg alımı üzerine olumlu etki göstermesidir. Bu durumun nedeni, priming uygulamasının iyon alımını teşvik etmesine karşın yetersiz fosfor mevcudiyetinde iyon alımını teşvik edememesi, yani fosfor noksanlığından dolayı baskılanmasıdır. Fosfor varlığının artmasına bağlı olarak priming uygulamalarının Mg alımının artmasına katkı sağladığı sonucuna varılmıştır. Y x P x Pr interaksiyonunun bitkide Mg içeriği üzerine etkilerinin istatistiki açıdan önemli

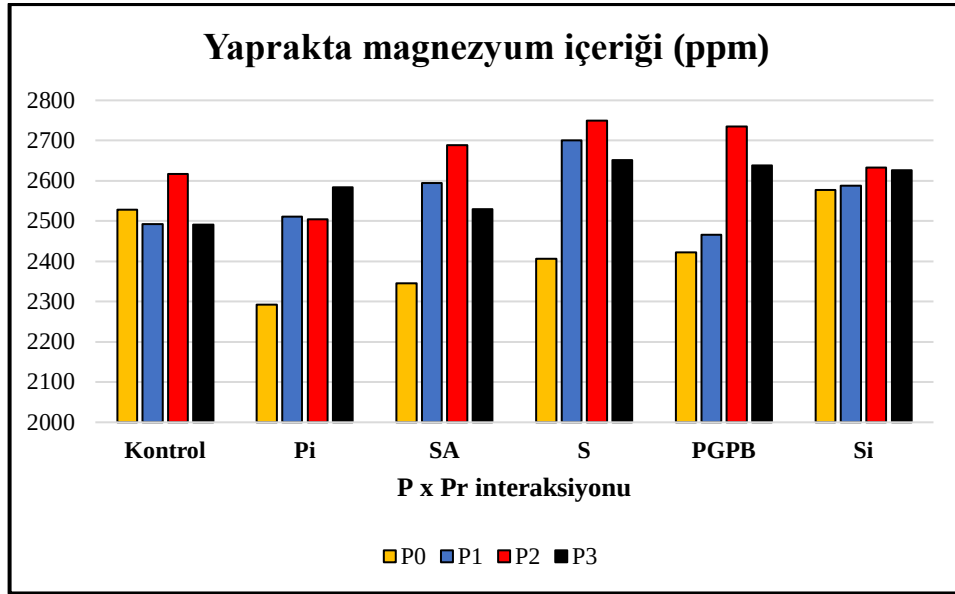
çıkmasının nedeni; priming uygulamalarının yıl ve fosforlu gübre dozuna bağlı olarak Mg içeriği üzerine farklı etkiler göstermesidir. Şekil 4.83'te görüldüğü üzere, priming uygulaması yapılmayan (kontrol) bitkilerde Mg içeriği ikinci yılda artan P dozlarına bağlı olarak artış gösterirken birinci yılda priming uygulamalarının üzerinde kalmıştır. Yıllara, fosforlu gübre ve priming uygulamalarına bağlı olarak ortaya çıkan interaksiyon etkisinin farklı iyon alımlarından kaynaklanan interaktif bir sonuç olduğu düşünülmektedir. Nitekim bitkide Mg alımı katyonlarla rekabet içerisinde gerçekleşmektedir.



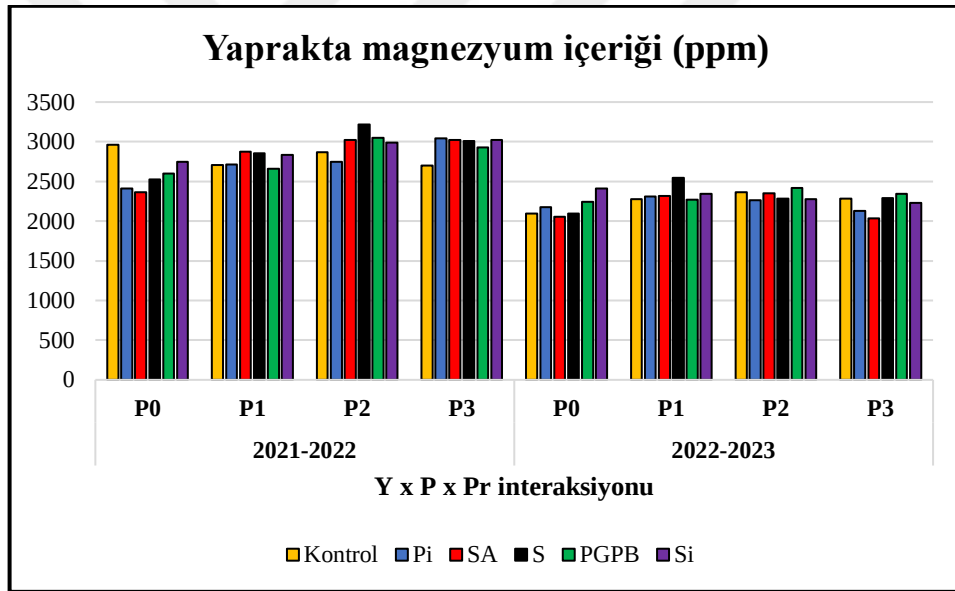
Şekil 4.80. Bitkide magnezyum içeriğine ait Y x P interaksiyon grafiği



Şekil 4.81. Bitkide magnezyum içeriğine ait Y x Pr interaksiyon grafiği



Şekil 4.82. Bitkide magnezyum içeriğine ait P x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.83. Bitkide magnezyum içeriğine ait Y x P x Pr interaksyon grafiği

4.23. Bitkide Manganez İçeriği

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-2022 ve 2022-2023 yılları ile yıllar ortalamasına ait bitkide Mn içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.45'te, bitkide Mn içeriğine ait ortalama değerler ise Tablo 4.46'da verilmiştir. Bitkide Mn içeriğine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar ve priming uygulamaları ile Y x Pr, P x Pr ve Y x P x Pr interaksyonlarının bitkide Mn içeriği üzerine etkileri istatistiki açıdan çok önemli ($p<0.01$) bitkide bulunmuştur.

Tablo 4.45. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide manganez (Mn) içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	8286,87	8286,87	118,598**
Blok	6	66,62	11,10	0,159
Fosfor (P)	3	662,16	220,72	3,159
Y x P	3	592,32	197,44	2,826
Hata ₁	18	1257,72	69,87	
Priming (Pr)	5	321,13	64,23	5,182**
Y x Pr	5	383,71	76,74	6,192**
P x Pr	15	642,19	42,81	3,454**
Y x P x Pr	15	809,17	53,94	4,353**
Hata ₂	120	1487,28	12,394	
Genel	191			

** : p<0.01

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde bitkide Mn içeriği birinci yılda 53,4 ppm ve ikinci yılda 40,3 ppm olarak tespit edilmiştir. Fosfor dozları bakımından bitkide Mn içeriği 43,9-48,5 ppm aralığında değişim göstermiş olup P seviyeleri arasında istatistiki açıdan bir farklılık oluşmamıştır. Priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide en düşük Mn içeriği 44,5 ppm olarak Pi-priming uygulamasında, en yüksek ise 48,8 ppm ile S-priming uygulanan bitkilerden elde edilmiş, ancak PGPB ve Si-priming uygulanan bitkiler ile aynı istatistiki grup içerisinde yer almıştır. Y x Pr interaksyonu incelendiğinde bitkide en düşük Mn içeriği ikinci yıl SA-priming uygulamasında (37,7 ppm), en yüksek (55,3 ppm) ise birinci yıl SA-priming uygulamasında elde edilmiştir. P x Pr interaksyonunda ise bitkide en düşük Mn içeriği (40,2 ppm) fosforlu gübre uygulaması yapılmayan Pi-priming uygulamasında, en yüksek (42,5 ppm) 1,5 kg P₂O₅/da ilave edilen S-priming uygulamasından elde edilmiştir. Tüm faktörlerin üçlü interaksyonu bakımından incelendiğinde, bitkide en düşük Mn içeriği (33,8 ppm) denemelerin ikinci yılında 6 kg P₂O₅ /da ilave edilen SA ile priming uygulamasında belirlenirken en yüksek (61,7 ppm) ise denemenin birinci yılında 6 kg P₂O₅/da ile SA-priming uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 4.46).

Tablo 4.46. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide manganez (Mn) içeriğine etkisi (ppm)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	54,3 a-f	51,2 b-i	54,4 a-f	48,9 d-k	38,8 k-o	41,7 j-o	46,0 e-l	37,3 l-o	52,2 ab	41,0 cd	46,6 a-f	46,5 a-f	50,2 ab	43,1 d-f	46,6 AB
Pi	44,1 g-n	52,3 a-h	48,9 d-k	53,2 a-h	36,3 l-o	45,4 f-m	37,9 l-o	37,9 l-o	49,6 b	39,4 cd	40,2 f	48,8 a-d	43,4 c-f	45,5 b-f	44,5 B
SA	45,9 e-l	54,7 a-f	58,8 a-d	61,7 a	35,4 m-o	41,3 i-o	40,0 k-o	33,8 o	55,3 a	37,7 d	40,7 ef	48,0 a-d	49,4 a-d	47,8 a-d	46,5 AB
S	50,9 c-j	52,7 a-h	61,3 ab	55,8 a-e	39,0 k-o	52,3 a-h	34,9 no	43,2 h-o	55,2 a	42,3 c	45,0 b-f	42,5 a	48,1 a-d	49,5 a-d	48,8 A
PGPB	50,8 c-j	50,5 c-j	58,2 a-d	52,2 a-h	40,8 j-o	43,4 g-o	41,6 i-o	43,3 h-o	52,9 ab	42,3 c	45,8 b-f	46,9 a-e	49,9 a-c	47,7 a-d	47,6 A
Si	51,1 c-i	53,5 a-g	60,6 a-c	56,2 a-d	39,1 k-o	40,8 j-o	39,8 k-o	36,9 l-o	55,3 a	39,2 cd	45,1 b-f	47,2 a-e	50,2 ab	46,6 a-f	47,2 A
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	49,5	52,5	57,0	54,7	38,2	44,2	40,0	38,7	53,4 A	40,3 B	43,9	48,3	48,5	46,7	

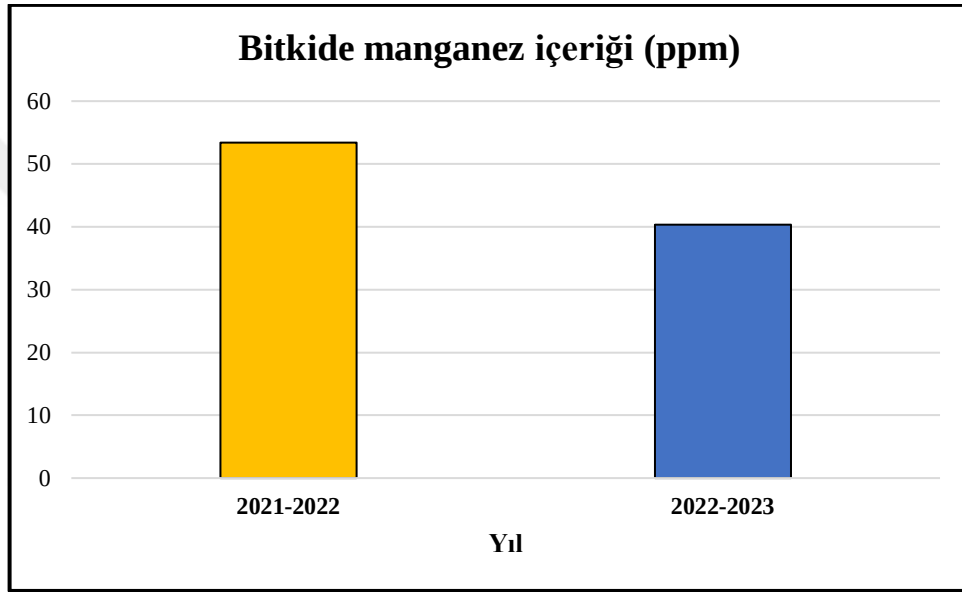
Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

Bitkide Mn içeriğinin yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda birinci yılda ikinci yıla göre %32,5 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.84). Priming uygulamalarında ise S, PGPB ve Si materyallerinin kontrol grubuna göre bitkide Mn içeriğini sırasıyla %4,7, %2,2 ve %1,5, oranında artırdığı sonucuna varılmıştır (Şekil 4.85).

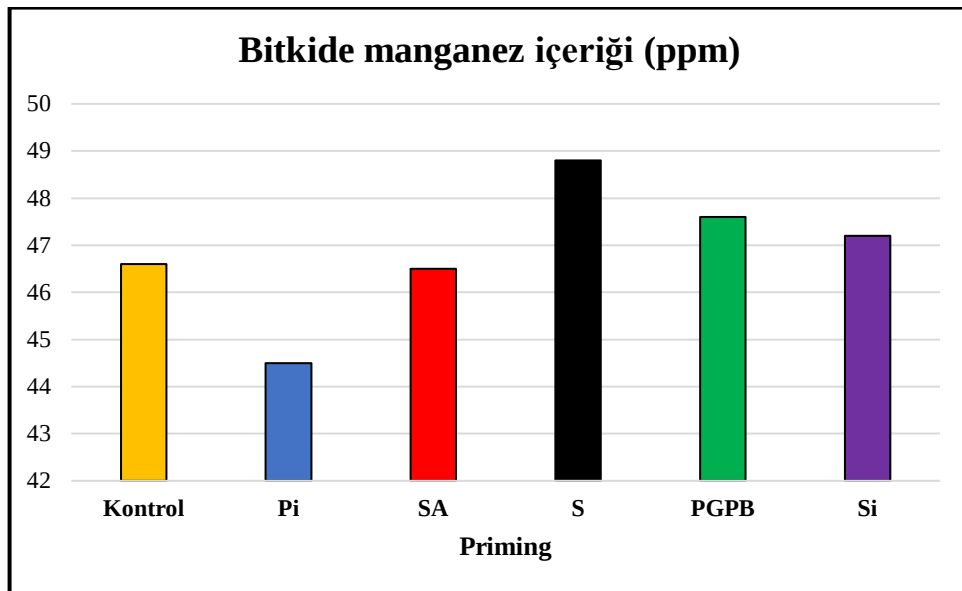
Yıllar arasında Mn alımı bakımından ortaya çıkan farklılığın sebebi topraktaki mevcut Mn konsantrasyonu arasındaki farklılıklar olabileceği gibi iklim ve toprak özelliklerinin de önemli ölçüde etkili olduğu düşünülmektedir. Araştırmanın yürütüldüğü 2021-22 yetiştirme sezonundaki Mart ayı boyunca düzensiz ve aşırı yağışların toprakta oluşturduğu su birikintileri nedeniyle toprak havalanmasının sınırlandırılmasına yol açtığı gözlemlenmiştir. Oksijen yetiştirme ortamında azaldığı zaman redoks potansiyelinde değişiklikler meydana gelir. Bu durumda, NO_3^- , Mn ve Fe, mikrobiyal solunum için alternatif elektron alıcıları olarak görev yapar ve indirgenmiş iyonik türlere dönüşürler. Bu durumda ise Mn ve Fe gibi elementleri çözünürlüğü artar ve bitkiler tarafından alınabilirliği yükselmiş olur (Rengel, 1988). Bu nedenle, denemelerin birinci yılındaki tarla toprağında alınabilir Mn iyonlarının arttığı ve bitkiler tarafından daha fazla alındığı düşünülmektedir.

Priming uygulamalarında ise S, PGPB ve Si-priming uygulamaları Mn alımını önemli ölçüde artırmıştır. Daha önceki bölümlerde de vurgulandığı üzere, S-priming uygulamasına bağlı olarak rizosfer bölgesindeki asitliğin arttığı ve pH değerinin düştüğü öngörülmektedir. Bu durumda, düşen pH seviyesinin topraktaki alınabilir Mn konsantrasyonunu artırdığı ve bitkilerce alımını kolaylaştırdığı Hue (1988) tarafından rapor edilmiştir. Li ve ark. (2023), S uygulamasının ayçiçeğinde Mn alımını artırdığını ifade etmişlerdir. Ayrıca SA ile birlikte uygulanması durumunda hem köklerden Mn alımını teşvik ettiğini hem de köklerden yapraklara taşınımını artırdığını rapor etmişlerdir. Öte yandan, bazı araştırmacılar çeşitli cinslere ait bakterilerin (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Actinomyces* vs.) topraktaki Mn iyonlarını oksidasyona uğrattığını veya indirgeyebildiklerini bildirmişlerdir (Khoshru ve ark., 2023). Li ve ark. (2022), Mn kontaminasyonuna uğramış topraklardan izole edilen bazı bakteri türlerinin topraktaki Mn(II) iyonlarını oksitleyebildiğini ve biyofilm oluşturma kabiliyetleri sayesinde bitkiler tarafından alınabilir Mn formuna dönüştürebildiklerini tespit etmişlerdir. Prasad ve ark. (2019), bazı PGPB strainlerinin organik asit salgılama, siderofor üretme ve bakteri-kök interaksiyonlarından kaynaklanan çeşitli özellikler sayesinde Mn(II) bileşiklerini çözünebilir hale getirdiklerini rapor etmişlerdir. Araştırmamızda kullanılan PGPB

strainlerinin organik asit salgılama ve biyofilm oluşturma kabiliyetleri daha önce incelenmemiş olmakla birlikte siderofor üretim potansiyeli bulunmakta olup rizosfer bölgesindeki Mn(II) iyonlarını çözünebilir kılmış ve bitkilerce alımını artırmış olabilir. Che ve ark. (2016), çalışmamızdaki sonuçların aksine Si uygulamasının Mn alımını ve köklerden yapraklara taşınmasını azalttığını kaydetmişlerdir. Ancak, yürüttükleri deney Si uygulamasının Mn toksisitesinin azaltılması üzerine etkilerini incelemek olup yüksek Mn konsantrasyonuna maruz bırakılan çeltik bitkileri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, Mn alımını hafifletici etki göstermesi önemli bir farklılıktır.

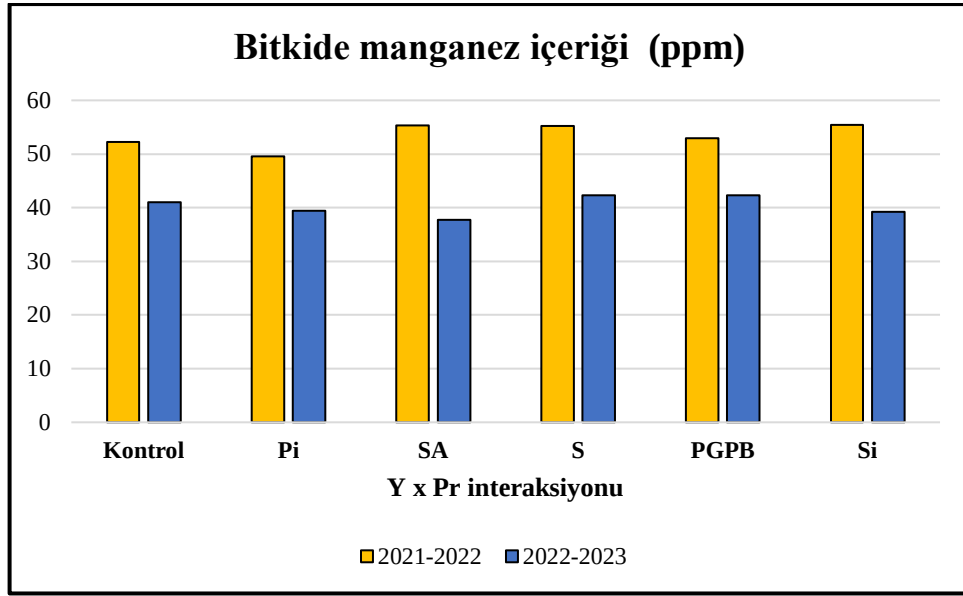


Şekil 4.84. Bitkide Manganez içeriğinin yıllara göre değişim grafiği

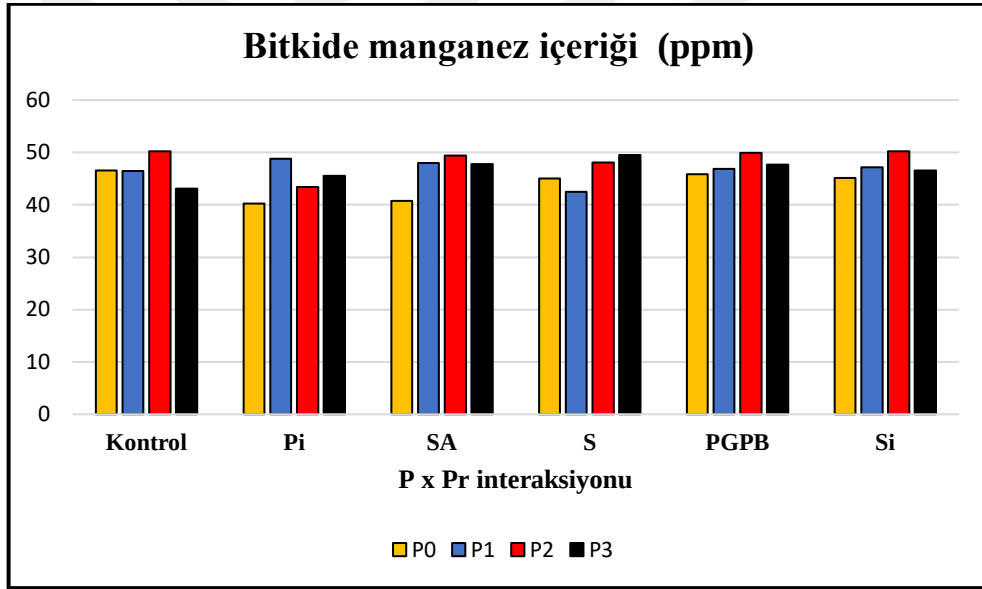


Şekil 4.85. Bitkide Manganez içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

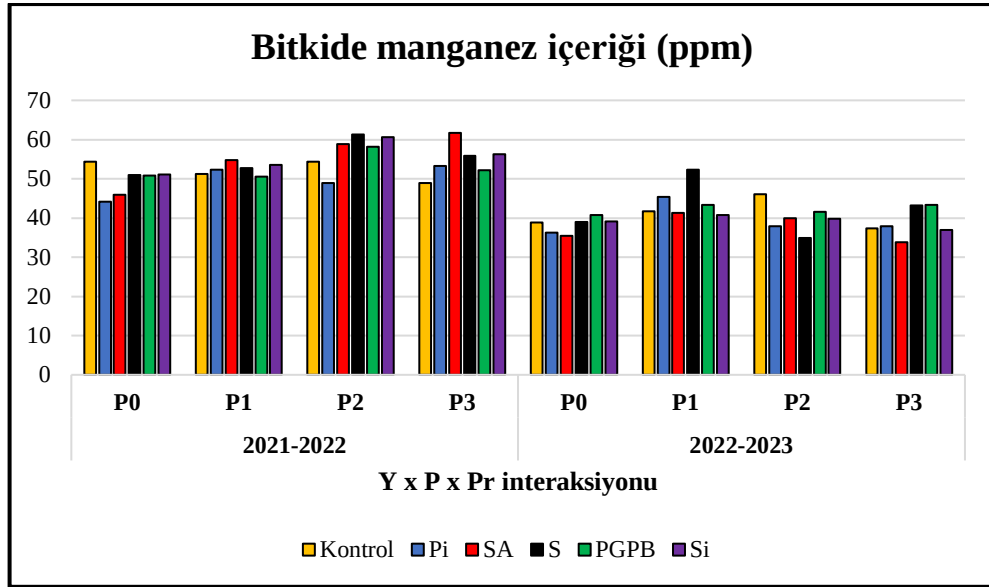
Y x Pr interaksiyonunun ortaya çıkması farklı yıllarda uygulamaların bitkide Mn içeriği üzerine farklı etkiler göstermesinden kaynaklanmıştır. SA-priming uygulaması birinci yılda en yüksek Mn içeriğini sağlarken, ikinci yılda en düşük değerin elde edilmesine neden olmuştur (şekil 4.86). SA-priming uygulamasının yıllar arasında böyle bir farklılığa yol açması 2022-23 sezonunda SA uygulaması neticesinde Cu alımının azalmış olması olabilir. Çünkü Mn ve Cu elementlerinin bitki tarafından alınmasında sinerjistik bir etki söz konusudur. Bunun dışında, araştırmanın ikinci yılında birinci yılına kıyasla bitkide azot içeriğinin SA uygulaması neticesinde azaldığı görülmekte, nitekim bitkide artan azot içeriği ile Mn alımı arasında pozitif bir korelasyon olduğu bilinmektedir. Bitkide Mn içeriği zerine P x Pr interaksiyonunun önemli çıkmasının nedeni; P0 fosfor seviyesinde tüm priming uygulamalarının priming uygulanmayan kontrol grubuna göre bitkide daha düşük Mn içeriğine yol açtığı, P3 dozuyla birlikte gerçekleştirilen n uygulamaların ise tamamının kontrol uygulamasına göre bitkide daha yüksek Mn içeriği ortaya koymasıdır. P x Pr interaksiyonunun nedeni, toprakta fosfor noksanlığı görülen durumlarda priming uygulaması neticesinde bitkilerce fosfor alımı daha büyük önem kazanmakta, böylece diğer besin elementlerinin alımı sınırlandırılarak fosfor alımı teşvik edilmiştir. Y x P x Pr interaksiyonunun bitkide Mn içeriği üzerine etkilerinin istatistiki açıdan önemli çıkmasının nedeni; priming uygulamalarının yıl ve fosforlu gübre dozuna bağlı olarak Mn içeriği üzerine farklı etkiler göstermesidir. şekil 4.88'te görüldüğü üzere, çalışmanın birinci yılında P0 uygulanan bitkilerde priming uygulamalarının neredeyse tamamı (PGPB hariç) P1 dozuna geçildiğinde biriken Mn konsantrasyonunu artırırken kontrol ve PGPB-priming uygulamalarında azalma meydana gelmiştir. İkinci yılda ise fosfor uygulanmayan bitkiler ile P1 dozu uygulanan bitkiler kıyaslandığında kontrol bitkilerinin de fosforlu gübrelemeye olumlu tepki gösterdiği görülmektedir. Ayrıca çalışmanın birinci yılında genel olarak artan fosforlu gübre dozlarına paralel olarak bitkide Mn içeriğinin artış gösterdiği, ikinci yılda ise priming uygulamalarına bağlı olarak farklılıklar sergilediği gözlemlenmiştir. 2021-22 sezonunda P3 fosfor seviyesinde SA-priming uygulamasının bitkide fosfor alımını maksimum düzeye çıkardığı (yani biyolojik azot fiksasyonu üzerine olumlu etki yaptığı), 2022-23 sezonunda ise azalmasına yol açtığı belirlenmiştir. Bu nedenle, P3 seviyesinde SA-priming uygulamasının biyolojik azot fiksasyonu metabolizmasını etkilemek suretiyle birinci yılda Mn alımını teşvik ettiği, ikinci yılda ise sınırlandırdığı tahmin edilmektedir.



Şekil 4.86. Bitkide Manganez içeriğine ait Y x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.87. Bitkide Manganez içeriğine ait P x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.88. Bitkide Manganez içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği

4.24. Bitkide Çinko İçeriği

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait bitkide Zn içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.47’de, bitkide Zn içeriğine ait ortalama değerler ise Tablo 4.48’de verilmiştir. Bitkide Zn içeriğine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar ve fosforlu gübre dozlarına ek olarak P x Pr ve Y x Pr x Pr interaksiyonlarının da istatistiki açıdan çok önemli farklılıkların ($p < 0.01$) oluşmasına sebep olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.47. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide çinko (Zn) içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	2448,02	2448,02	43,945**
Blok	6	60,86	10,14	0,182
Fosfor (P)	3	36,90	12,30	0,221
Y x P	3	475,18	158,39	2,843
Hata ₁	18	1002,73	55,71	
Priming (Pr)	5	350,46	70,09	3,976**
Y x Pr	5	181,41	36,28	2,058
P x Pr	15	1010,88	67,39	3,823**
Y x P x Pr	15	798,80	53,25	3,021**
Hata ₂	120	1930,06	17,23	
Genel	191			

**: $p < 0.01$

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde bitkide Zn içeriği birinci yılda 31,4 ppm ve ikinci yılda 24,2 ppm olarak tespit edilmiştir. Priming uygulamalarına bağlı olarak bitkide en düşük Zn içeriği 25,7 ppm olarak S-priming uygulamasından, en yüksek ise 30,0 ppm ile Pi-priming uygulamasından elde edilmiştir. P x Pr interaksyonunun bitkide Zn içeriği üzerine etkileri incelendiğinde, en düşük Zn içeriği 23,6 ppm olarak 6 kg P₂O₅/da ilave edilen S-priming uygulamasından, en yüksek ise 34,7 ppm olarak 1,5 kg P₂O₅/da ilave edilen S-priming uygulamasında tespit edilmiştir. Tüm faktörlerin üçlü interaksyonu bakımından incelendiğinde, bitkide en düşük Zn içeriği (19,1 ppm) denemelerin ikinci yılında 6 kg P₂O₅ /da ilave edilen S-priming uygulamasından, en yüksek (46,7 ppm) ise denemenin birinci yılında 1,5 kg P₂O₅/da ilave edilen Pi-priming uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.48).

Tablo 4.48. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının bitkide çinko (Zn) içeriğine etkisi (ppm)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	33,3 b-e	28,2 b-h	32,8 b-f	35,4 a-c	24,6 c-f	22,5 e-h	25,3 c-h	24,5 c-h	32,4	24,2	29,0 a-c	25,4 bc	29,1 a-c	30,0 a-c	28,3 AB
Pi	28,1 b-i	46,7 a	25,9 b-h	38,0 ab	24,8 c-h	22,8 e-h	23,8 c-h	22,2 b-h	34,7	24,7	26,5 bc	34,7 a	24,9 bc	32,6 ab	30,0 A
SA	27,6 b-h	29,8 b-h	30,1 b-h	33,8 b-e	21,0 f-h	22,7 e-h	27,0 b-h	23,5 c-h	30,3	23,5	24,3 c	26,3 bc	28,6 a-c	28,6 a-c	26,9 AB
S	25,5 c-h	28,1 b-h	32,5 b-g	28,1 b-h	28,9 b-h	20,5 gh	23,3 d-h	19,1 h	28,5	22,9	27,2 a-c	24,3 c	27,9 a-c	23,6 c	25,7 B
PGPB	29,9 b-h	29,8 b-h	33,6 b-e	31,1 b-h	35,1 a-d	22,2 e-h	23,0 d-h	28,0 b-h	31,1	27,1	32,5 ab	26,0 bc	28,3 a-c	29,5 a-c	29,1 A
Si	27,4 b-h	34,2 b-e	32,1 b-g	31,0 b-h	24,5 c-h	22,1 e-h	22,3 e-h	23,1 d-h	31,2	23,0	26,0 bc	28,2 a-c	27,2 a-c	27,1 a-c	27,1 AB
Yıl x Fosfor dozu															
Ortalama	28,6	32,8	31,2	32,9	26,5	22,1	24,1	24,2	31,4 A	24,2 B	27,6	27,5	27,6	27,6	

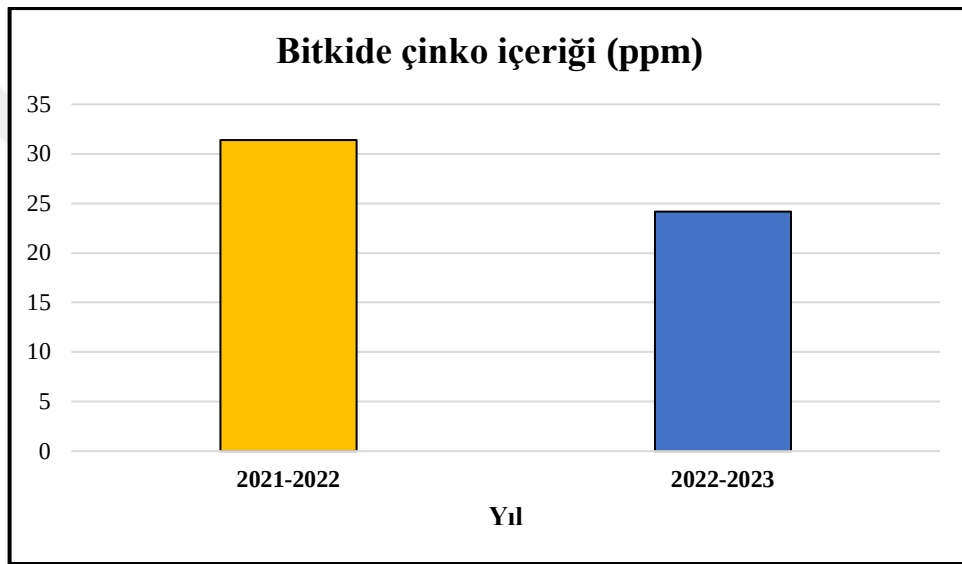
Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

Bitkide Zn içeriğinin yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda birinci yılda ikinci yıla göre %30 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.89). Priming uygulamalarında ise Pi ve PGPB materyallerinin kontrol grubuna göre bitkide Zn içeriğini sırasıyla %6 ve %2,8 oranında artırdığı, SA, S ve Si materyalleri ile priming uygulamalarının ise sırasıyla %5, %9,2 ve %4,2 oranında azalttığı sonucuna varılmıştır (Şekil 4.90).

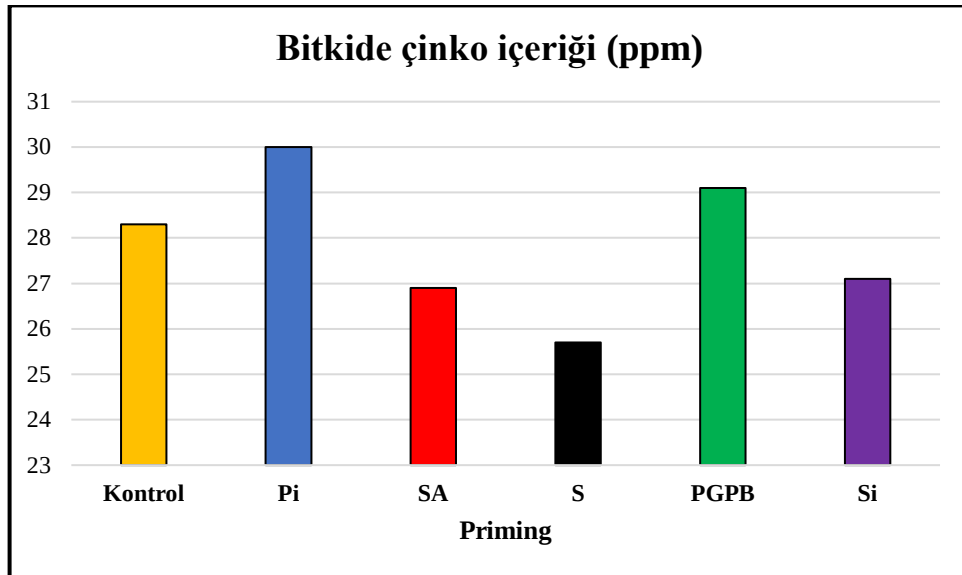
Stangoulis ve Knez (2022), dünyadaki tarım topraklarının %50'sinden daha fazlasında Zn noksanlığının bulunduğunu ve noksanlık seviyesinin %48-86 arasında değişim gösterdiğini rapor etmişlerdir. Bu nedenle, makro besin elementleri kadar üzerinde durulmamasına rağmen bitkisel gelişim açısından en önemli besin kaynaklarından birisidir (Recena ve ark., 2021). Mikro besin elementi olmasından dolayı tarım topraklarındaki Zn konsantrasyonları bakımından küçük değişimlerin bitkiler açısından etkisi oldukça büyüktür. Çinko, toprak çözeltisinde bulunur ve kil mineralleri, oksitler veya karbonatlar gibi farklı mineraller tarafından absorbe edilir veya organik maddeye bağlanır (Roholla, 2011; Wang ve ark., 2017). Toprak organik maddesi, besin maddesinin çözünürlüğünü ve köklere taşınmasını etkiler, dolayısıyla bitkiler tarafından emilimini kolaylaştırır (Çakmak, 2008; Dhaliwal ve ark., 2019; Vahedi ve ark., 2022). Araştırmanın ilk yılındaki tarım arazisine ait toprak özellikleri incelendiğinde ikinci yıla kıyasla daha yüksek organik madde ihtiva ettiği görülmektedir. Bu nedenle, bitkilerin birinci sezonda daha yüksek miktarda çinkoyu rizosfer bölgesinde tutarak bitkilerin almasına olanak sağladığı düşünülmektedir.

Priming uygulamalarının hem çimlenme sürecindeki biyokimyasal reaksiyonları aktive ettiği (Yari ve ark., 2010; Sen ve Puthur, 2020; Nile ve ark., 2022), daha etkin bir kök sistemi ve sürgün gelişimi sağladığı (Rehman ve ark., 2021; Guo ve ark., 2022), böylece topraktaki su ve besin maddelerinden daha etkin bir şekilde yararlandığı (Shah ve ark., 2013; Sirisuntornlak ve ark., 2021), biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı bitki toleransını geliştirdiği ve direncini artırdığı (Liu ve ark., 2022a; Suarez-Estrella ve ark., 2023) bitkisel gelişim ile verim bileşenleri açısından olumlu sonuçlar oraya koyduğu çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir (Agawane ve Parhe, 2015; Tuiwong ve ark., 2022). Araştırmamızda Pi-priming uygulamasının bitkide Zn alımını teşvik ettiği gözlemlenmiştir. Ajouri ve ark. (2004), Pi ve Zn-priming uygulamalarının arpada bitki gelişimi ve kuraklık stresini teşvik etmesinin yanında Zn alımını da artırdığını bildirmişlerdir. Jinal ve ark. (2021), Zn-tolerant strainler ile PGPB-priming uygulamalarının mısırdaki Zn alımını %31,5-210,0 arasında artırdığını rapor etmişlerdir.

Jing ve ark. (2014), *Polygonum Pubescens* türüne ait bakteri straininin kanola bitkisinde Zn alımını artırdığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Vaid ve ark. (2014), toprakta Zn çözünürlüğünü artırıcı özellik gösteren bakterilerin çeltikte Zn alımını artırdığını tespit etmişlerdir. Mikroorganizmalar büyümeleri sırasında organik asit sentezler. Organik asitler toprak partiküllerinde bulunan minerallerin yüzeyi ile birleşir ve çinko katyonlarını hapseder, böylece çevresindeki toprağın pH'ını azaltır. Glukonik ve ketogluconate gibi anyonik organik asitler, çeşitli konformasyonlarda Zn'yi karboksil ve hidroksil grupları aracılığıyla şelatlayabilir ve Zn çözünürlüğünü artırabilir, bu da bitki tarafından mineral alımını artırabilmektedir (Nitu ve ark., 2020).

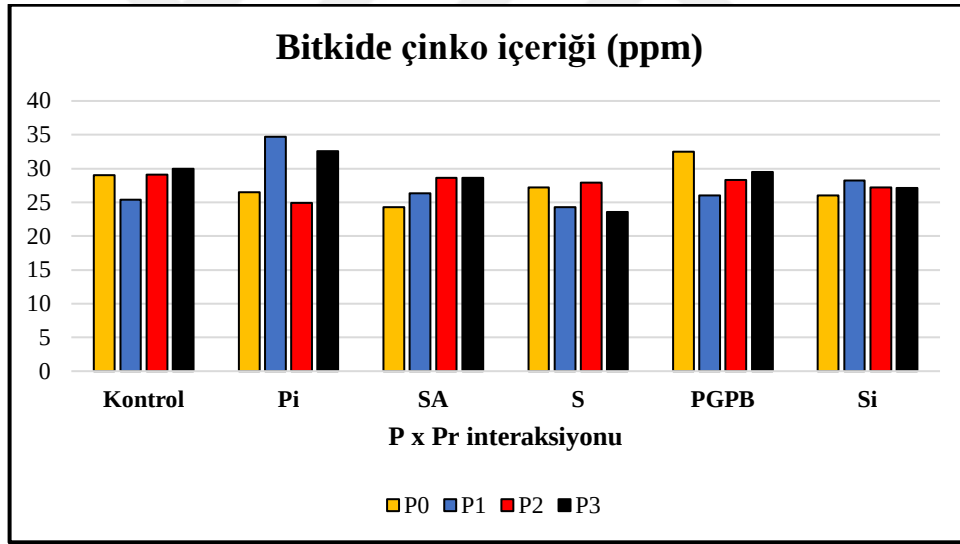


Şekil 4.89. Bitkide çinko içeriğinin yıllara göre değişim grafiği

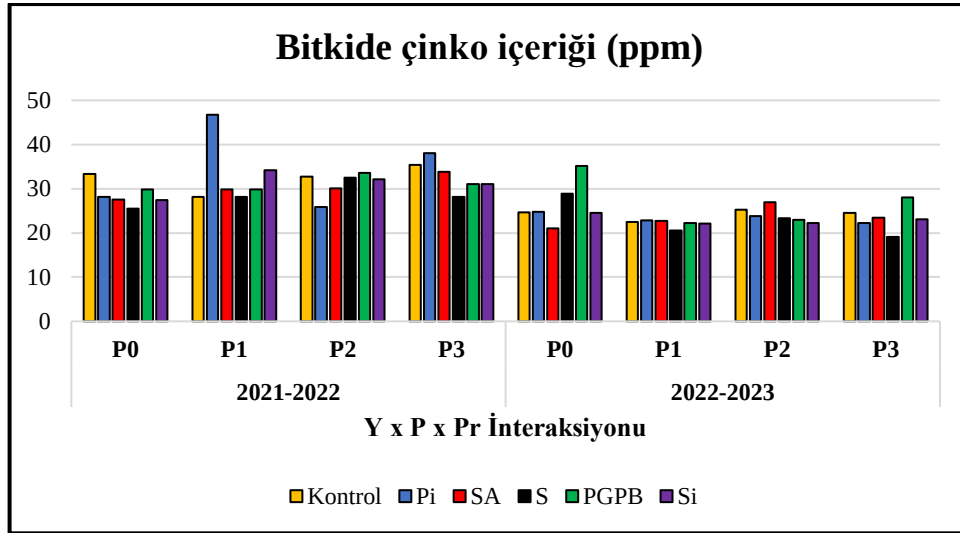


Şekil 4.90. Bitkide çinko içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

Bitkide Zn içeriği üzerine P x Pr interaksiyonunun önemli çıkmasının nedeni; düşük fosfor seviyelerinde genellikle priming uygulamasının çinko alımı üzerinde olumlu etkide bulunması, artan fosfor seviyelerine bağlı olarak ise Zn alımını sınırlandırmasıdır (Şekil 4.91). Bilindiği üzere, yüksek fosfor içeriği bitkilerde katyonik elementlerin (Fe, Mn, Zn, Cu vs.) alınmasını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, artan fosfor seviyelerine ek olarak priming uygulanması neticesinde çinko alımından ziyade diğer elementlerin alımının teşvik edilmiş olabileceği, bu nedenle bitkide daha düşük Zn içeriğinin ortaya çıktığı düşünülmektedir. Y x P x Pr interaksiyonunun bitkide Zn içeriği üzerine etkilerinin istatistiki açıdan önemli çıkmasının nedeni; birinci yılda P1 fosfor dozu uygulanan ve Pi priming ile muamele edilen bitkilerde en yüksek bitkide Zn içeriği elde edilirken ikinci yılda aynı uygulama ile neredeyse en düşük değer elde edilmesidir. Benzer bir durum birinci ve ikinci yıldaki fosforlu gübre kullanılmayan ve PGPB-priming kullanılan bitkilerde de görülmektedir (Şekil 4.92).



Şekil 4.91. Bitkide çinko içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği



Şekil 4.92. Bitkide çinko içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği

2.25. Tanede Protein İçeriği

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait tanede protein içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.49'da, tanede protein içeriğine ait ortalama değerler ise Tablo 4.50'de verilmiştir. Tanede protein içeriğine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar ve priming uygulamaları arasında çok önemli ($p < 0.01$), fosfor dozları arasında ise önemli ($p < 0.05$) farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir. Bunun dışında yıllar, fosfor dozları ve priming uygulamaları arasındaki tüm ikili ve üçlü interaksiyonlar tanede protein içeriği açısından çok önemli ($p < 0.01$) farklılıkların oluşmasına yol açmıştır.

Tablo 4.49. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak tanede protein içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	648,546	648,546	1003,321**
Blok	6	7,480	1,247	1,929
Fosfor (P)	3	6,839	2,280	3,527*
Y x P	3	33,108	11,036	17,073**
Hata ₁	18	11,772	2,355	
Priming (Pr)	5	5,625	1,125	3,583**
Y x Pr	5	24,977	1,665	5,304**
P x Pr	15	30,404	2,027	6,456**
Y x P x Pr	15	11,635	0,646	2,059**
Hata ₂	120	648,546	648,546	
Genel	191			

**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde tanede protein içeriği birinci yılda %22,5 ve ikinci yılda %26,1 olarak tespit edilmiştir. Fosfor dozları bakımından tanede protein içeriği %24,0-24,5 aralığında değişim göstermiş olup en düşük değer 1,5 kg P₂O₅/da uygulamasında, en yüksek protein içeriği ise 3 kg P₂O₅/da uygulamasında görülmüştür. Priming uygulamalarına bağlı olarak tanede en düşük protein içeriği %23,9 olarak Pi-priming uygulamasında, en yüksek ise %24,8 ile S-priming uygulamasından elde edilmiştir. Y x P interaksiyonuna bağlı olarak tanede protein içeriği değerlerinin %22,0-26,9 aralığında değişim göstermekle beraber ikinci yıl tanede daha yüksek protein içeriği elde edilmiştir. Y x Pr interaksiyonu incelendiğinde tanede en düşük protein içeriği birinci yıl Pi-priming uygulamasından (%22,0), en yüksek (%26,6) ise ikinci yıl S-priming uygulamasından elde edilmiştir. P x Pr interaksiyonunda ise tanede en düşük protein içeriği (%23,3) priming uygulaması yapılmayan ve 1,5 kg P₂O₅/da uygulamasında, en yüksek (%25,4) priming uygulanmayan ve 6 kg P₂O₅/da uygulamasından elde edilmiştir. Tüm faktörlerin üçlü interaksiyonu bakımından incelendiğinde, tanede en düşük protein içeriği (%21,2) denemelerin birinci yılında 3 kg P₂O₅/da ilave edilen ancak priming uygulanmayan uygulamada belirlenirken en yüksek (%27,3) ise denemenin ikinci yılında 3 kg P₂O₅/da ve S-priming uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.50).

Tablo 4.50. Farklı fosfor seviyeleri ve tohumla priming uygulamasının tohumun nemlenme hızı üzerine etkisi

Çalışmaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
	22,1 hi	22,8 g-i	21,2 i	24,9 ef	26,0 a-e	23,9 f-g	27,0 a-c	25,9 a-e	22,7 d	25,7 c	24,0 b-f	23,3 f	24,1 b-f	25,4 a	24,2 BC
	22,2 g-i	21,3 i	22,1 hi	22,0 hi	25,6 c-e	25,5 c-f	26,9 a-c	25,6 b-e	22,0 e	25,9 bc	24,1 b-f	23,4 ef	24,5 a-d	23,8 c-f	23,9 C
	22,2 hi	22,1 hi	22,7 g-i	23,0 gh	26,1 a-e	26,7 a-d	27,2 ab	26,6 b-e	22,5 de	26,4 ab	24,1 b-f	24,4 a-e	24,9 ab	24,3 b-f	24,4 AB
	22,6 g-i	22,2 hi	22,2 hi	23,9 fg	26,6 a-d	27,0 a-c	27,3 a	25,6 c-e	22,7 d	26,6 a	24,6 a-d	24,6 a-d	24,7 a-c	24,9 ab	24,8 A
	23,2 gh	22,1 hi	21,8 hi	22,2 hi	25,6 c-e	25,8 a-e	26,8 a-c	25,2 d-f	22,3 de	25,8 bc	24,4 a-e	23,9 b-f	24,3 b-f	23,7 d-f	24,1 BC
	23,0 gh	22,3 g-i	22,3 hi	22,6 g-i	26,9 a-c	26,1 a-e	26,4 a-e	26,1 a-e	22,5 de	26,4 ab	25,0 ab	24,2 b-f	24,3 b-f	24,3 b-f	24,5 AB
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
	22,6 CD	22,1 D	22,0 D	23,1 C	26,1 B	25,8 B	26,9 A	25,7 B	22,5 B	26,1 A	24,4 AB	24,0 B	24,5 A	24,5 A	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

Tanede protein içeriğinin yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda birinci yıla göre ikinci yılda %16 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.93). Araştırma sonuçlarına göre 3 ve 6 kg P₂O₅/da uygulamasına bağlı olarak fosforlu gübre ilavesi yapılmayan kontrol uygulamasına göre tanede protein içeriği %0,41 oranında artış göstermiştir (Şekil 4.94). Priming uygulamalarında ise SA, S ve Si materyallerinin kontrol uygulamasına göre tanede protein içeriğini sırasıyla %0,83, %2,48 ve %1,24 oranında artırdığı sonucuna varılmıştır (Şekil 4.95).

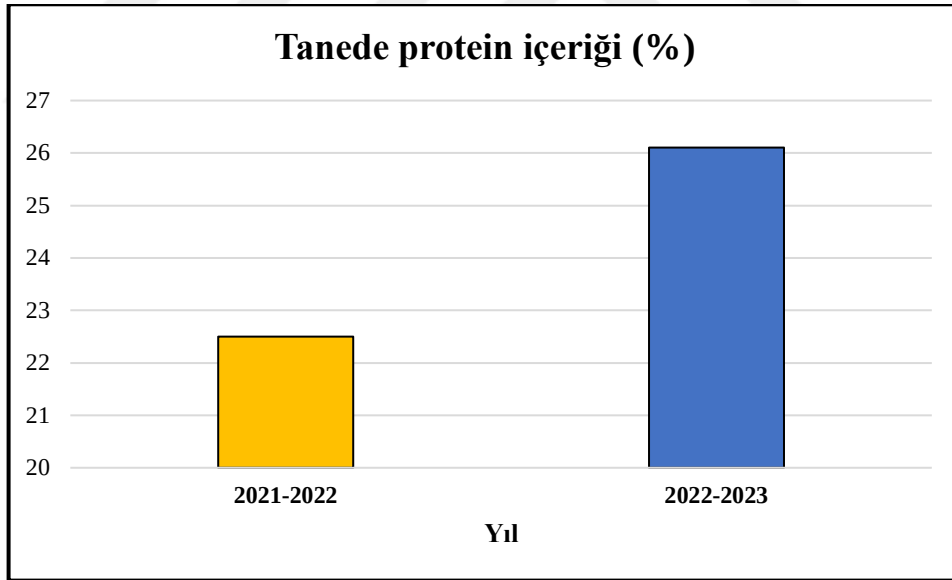
Tanede protein içeriği çoğunlukla genetik özelliklere bağlı olmakla birlikte çevresel faktörlerden ve uygulamalardan da önem arz edecek seviyede etkilenebilmektedir. Erman (1998), küçük taneli çeşitlerin iri tanelilere göre daha yüksek protein oranına sahip olduğunu belirtmiştir. Baklagil bitkileri gelişim periyodu sürecinde nodül oluşumundan sonra azot ihtiyacını simbiyotik yolla karşıladıkları için kök bölgesine bağlanan amonyak miktarı ile ilişkili olarak tanede daha fazla protein birikimi gerçekleşmektedir (Liu ve ark., 2011; Ahmad ve ark., 2022b; Barbieri ve ark., 2023). Denemelerin birinci sezonunda daha yüksek biyolojik N₂ fiksasyonu gerçekleştirildiği ve neticesinde çiçeklenme döneminde alınan örnekler üzerinde daha fazla bitkide azot içeriğinin ortaya çıktığı belirlenmişti. Ancak, aksi bir sonuç olarak tanede protein içeriğinin araştırmanın ikinci yılında daha yüksek olarak tespit edilmesi tane doldurma döneminde hem biyolojik azot fiksasyonunu hem de mevcut azotlu bileşiklerin taneye taşınmasını olumsuz yönde etkileyen faktörler ile açıklanabilir. Her ne kadar bitki azot içeriğini simbiyotik yolla karşılıyor olsa da biyolojik azot fiksasyonu oldukça karmaşık bir süreç olup birçok etkene bağlıdır. Bilindiği üzere 2021-22 sezonunda hava sıcaklıklarının birden yükselmesi ve yağışların durma noktasına gelmesi bitkilerin kısa bir zaman içerisinde generatif döneme geçmesine yol açmış, bu nedenle bitki boyu, dal sayısı ve muhtemelen kök gelişimi gibi parametreler bakımından bitkiler yeterince gelişme imkânı bulamamıştır. Bu durum generatif döneme geçildikten sonra yeterince büyümeyen bitkilerde düşük fotosentetik aktivite ve azot fiksasyonuna yol açmıştır. Böylece, çiçeklenmeden tane doldurma dönemine kadar yeterince azot ihtiyacı karşılayamayan bitkilerde tane taşınan azotlu bileşik miktarının azalmasına ve tanede biriken protein içeriğinin düşük çıkmasına yol açmıştır. Nitekim, farklı araştırmacılar topraktaki besin elementi mevcudiyetinin biyolojik azot fiksasyonunu etkileyen kritik unsurlardan biri olduğunu, toprakta yetersiz besin maddesi bulunmasının veya bitkiler arasında artan rekabetin azot fiksasyonunu olumsuz yönde etkilediğini rapor etmişlerdir. Tanede protein oranını Hawtin ve ark. (1977) %23,4-36,4, Erman (1998) %20,1-24,2,

Temel (1999) %18,4-27,4, Togay (2002) %21,9-23,8, Keşli (2009) 25,5-25,9 ve Hakkoymaz (2018) %26,1-26,9 aralığında belirlemişlerdir. Araştırmamızdan elde edilen protein oranına dair veriler (%21,2-27,3), daha önce farklı bölgelerde ve genotiplerle yürütülen araştırmaların sonuçları ile uyum göstermektedir.

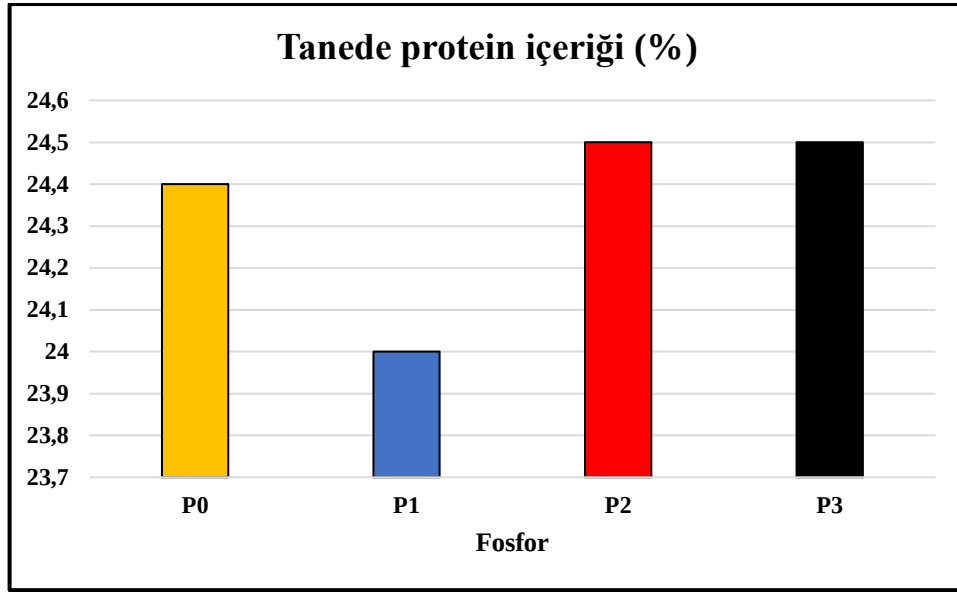
Mercimek tanesinde ortalama %24 civarında protein bulunduğu ve artan protein oranının tane kalitesini de olumlu yönde etkilediği bilinmektedir. Yapılan araştırmalar mercimek tanesinin protein içeriğinin fosforlu gübreleme ile önemli ve pozitif bir ilişki içerisinde olduğunu göstermektedir (Togay ve ark., 2008b). Rasheed ve ark. (2010), tanede artan protein içeriğinin birinci nedeninin biyolojik azot fiksasyonundaki artış ile açıklanabileceğini ifade etmişlerdir. Fosforlu gübrelemenin bitki köklerinin gelişimi, ATP'nin yapısına katılarak metabolizmada üretilen enerjinin artırılması ve dolayısıyla N₂ fiksasyonu için gerekli enerjinin karşılanmasına bağlı olarak fikse edilen N₂ miktarının artması üzerine olumlu etkilerinin olduğu tespit edilmiştir (Liu ve ark., 2022b; Nicholls ve ark., 2023; Zhong ve ark., 2023). Niri ve ark. (2010), mercimekte 4 kg P₂O₅/da uygulamasının tanedeki protein oranını artırdığını bildirmişlerdir. Al-karaki (1999), fosforlu gübrelemenin tanede protein oranını artırdığını, bakteri aşılması ile birlikte uygulandığında daha yüksek etkide bulunduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde, Zeidan (2007), Niri ve ark. (2010), Sital ve ark. (2011) ve Pandey ve ark. (2016) fosforlu gübre uygulamalarına bağlı olarak mercimek tanesinde biriken protein içeriğinin arttığını rapor etmişlerdir. Araştırmamızdan elde edilen bulgular diğer araştırmacıların sonuçları ile uyum göstermektedir.

Priming uygulamaları, ürün kalitesinin makro ve mikro element içerikleri bakımından zenginleştirilmesi veya iyileştirilmesinin hızlı, kolay uygulanabilir ve ekonomik bir yolu olarak kabul edilmektedir (Ruttanaruangboworn ve ark., 2017; Reis ve ark., 2018; Barupal ve ark., 2022). Das ve Jana (2016), tarla koşullarında yürüttükleri araştırmada hidro-priming uygulanan mercimek bitkilerinde kontrol grubuna göre %4,5 oranına kadar tanede daha yüksek protein içeriğinin olduğunu gözlemlemişlerdir. Aquila ve Spada (1992), polietilen glikol (PEG) materyali ile priming uygulamasının buğday tanelerinde protein sentezlenmesini teşvik ettiğini belirtmişlerdir. Sheteiwy ve ark. (2017), Zn-priming uygulamasının çeltikte toplam çözünür protein, şeker ve nişasta içeriklerini artırdığını bildirmişlerdir. Sitrik asit, topraktaki mikroorganizmalar için bir karbon kaynağı olarak işlev görebilir, rizosferde artan mikrobiyal aktivite besin döngüsünü etkileyebilir ve bitkilerin besin alımını destekleyebilir (Angumeenal ve Venkappayya, 2013; Heitkötter ve ark., 2017). Böylece, sitrik asit uygulamaları

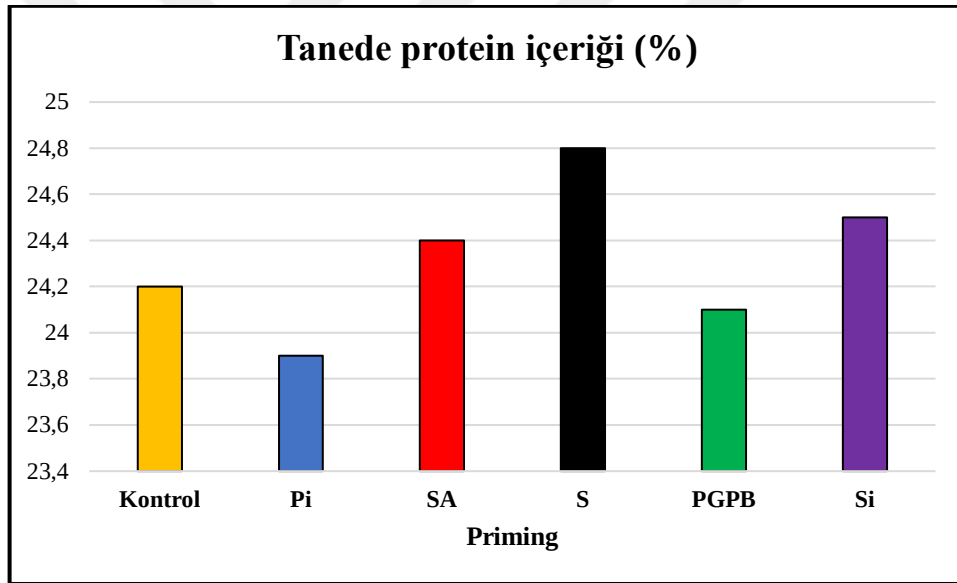
topraktaki minerallerin çözünmesine ve bitki tarafından alınmasına imkân sağlamanın yanında biyolojik azot fiksasyonunu da teşvik ederek bitkinin azot içeriğini ve tanesindeki protein kapsamını artırabileceği ifade edilmiştir (Wang ve ark., 2020; Chen ve ark., 2023). Martinez-Pacheco (2011), sitrik asit uygulamasının mısır tanedeki toplam çözünebilir şeker içeriğinin artmasına imkân sağladığını ifade etmişlerdir. SA-priming uygulamasının tanedeki protein konsantrasyonu üzerine pozitif etkisinin ise hem biyolojik azot fiksasyonu süreci bakımından sağladığı faydalardan (Palma ve ark., 2013; Kaur ve ark., 2022), hem de ksilem borusunda hücre bölünmesini teşvik ederek boru genişliğinin artmasına katkı sağlamak suretiyle taşınan besin elementi içeriğinin artmasına imkân tanınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Aras, 2022). Öte yandan, Khan ve Gupta (2018), Si uygulamalarının besin elementi alımı ve taşınımına katkı sağlayan taşıyıcılara kaynaklık ettiği, böylece köklerden yapraklara ve tohuma taşınan besin elementi miktarının artmasına katkı sağladığını ifade etmişlerdir. Araştırmamızda priming uygulamalarının tanede protein oranı üzerine belirlenen mevcut etkileri bilimsel literatür tarafından da desteklenmektedir.



Şekil 4.93. Tanede protein içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği



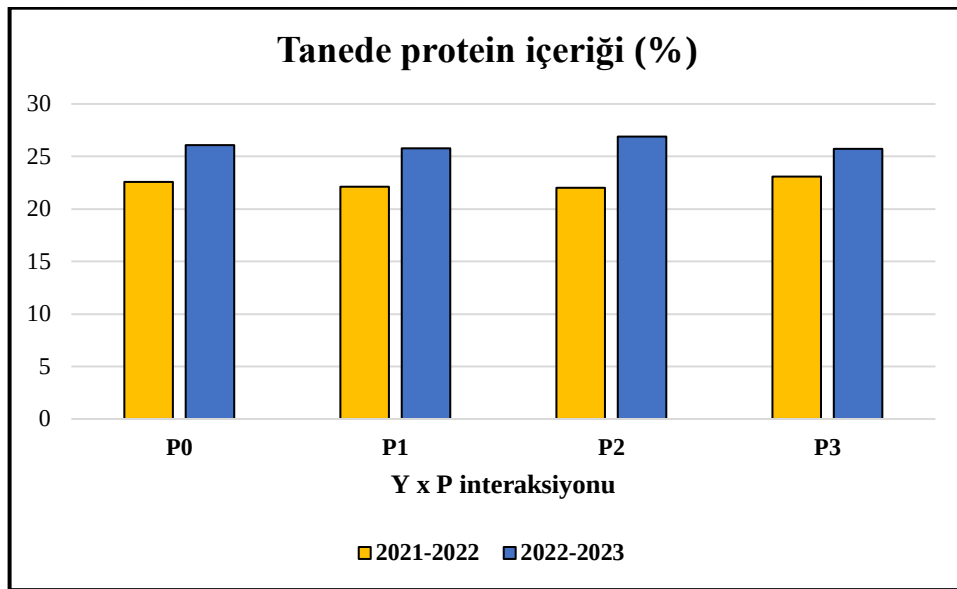
Şekil 4.94. Tanede protein içeriğinin fosfor dozlarına göre değişim grafiği



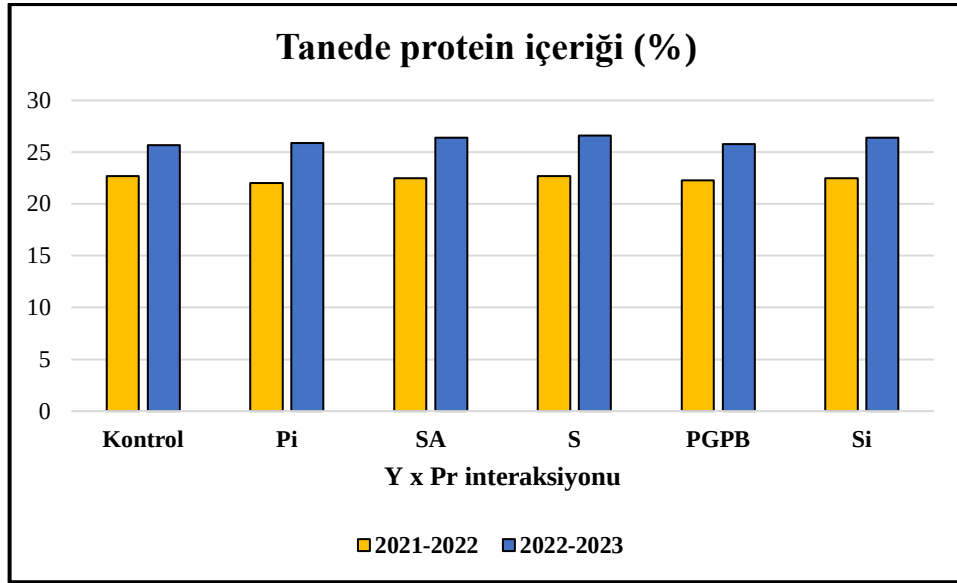
Şekil 4.95. Tanede protein içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

Y x P interaksiyonunun tanede protein içeriği üzerine önemli düzeyde etki yapmasının sebebi; birinci yılda 6 kg P₂O₅/da fosforlu gübre uygulaması ile tanede en yüksek protein içeriği tespit edilirken ikinci yılda aynı uygulama ile en düşük protein oranının belirlenmesidir (Şekil 4.96). Y x Pr interaksiyonunun ortaya çıkması birinci yılda kontrol parsellerine göre priming uygulanan bitkilerde tanede protein içeriği daha düşük çıkarken ikinci yılda kontrole göre daha yüksek elde edilmesinden kaynaklanmıştır (Şekil 4.97). Tohuma priming uygulamalarının çeşitli stres faktörleri altında bitkide stres toleransını geliştirdiği, daha etkin bir kök sistemi oluşturduğu, böylece çıkıştan hasada

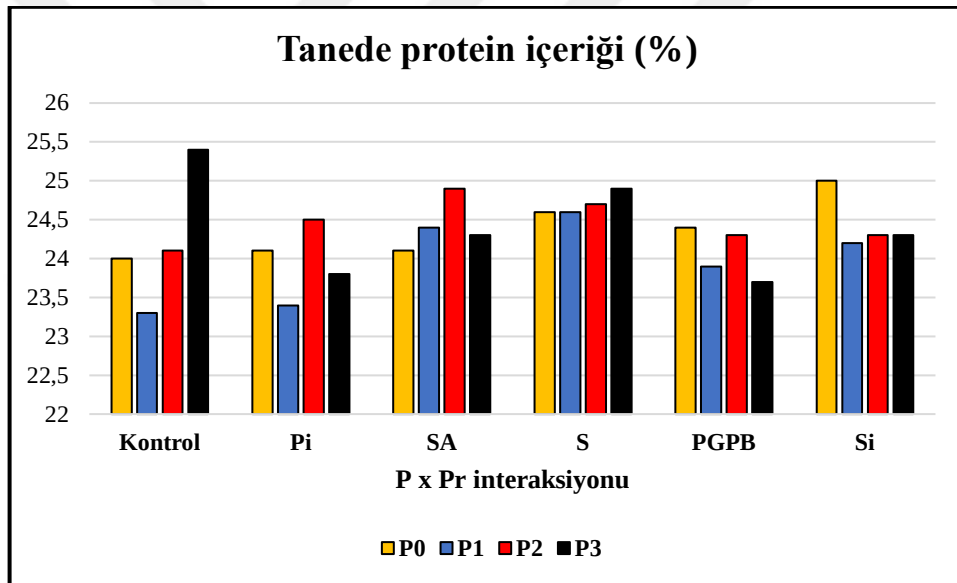
kadar bitkilere avantaj sağladığı bilinmektedir. İkinci yılda metrekarede bitki sayısının yüksek olması bitkilerde besin maddesi bakımından rekabete yol açmış ve bitkilerde stresin oluşmasına yol açmış olabilir. Bu nedenle ikinci yılda priming uygulamalarının besin maddesi alımı ve taneye taşınması konusunda daha etkin olduğu varsayılmıştır. Tanede protein içeriği üzerine P x Pr interaksiyonunun önemli çıkmasının nedeni; en yüksek değer 6 kg P₂O₅/da ilave edilen ancak priming uygulanmayan parsellerden elde edilmesine karşın diğer tüm fosforlu gübre ilavesi ile birlikte priming uygulamasının kontrole göre daha yüksek tanede protein içeriği oluşturmasıdır (Şekil 4.98). Bu durum, 6 kg P₂O₅/da ilavesinin ortamdaki yeterince fosfor alınmasına yol açarak biyolojik azot fiksasyonu ve taneye azot taşınımı için sınırlayıcı faktör olmaması, ancak daha düşük fosfor mevcudiyetinde sınırlayıcı bir faktör olarak öne çıkmasından dolayı priming uygulamalarının pozitif etki yapmasından kaynaklanmış olabilir. Bu varsayım Y x P x Pr interaksiyonunun ortaya koyduğu sonuçları da desteklemektedir. Çünkü, Y x P x Pr interaksiyonunun tanede protein içeriği açısından önemli çıkmasının nedeni, birinci yılda priming uygulanmayan ancak en yüksek fosforlu gübre uygulaması ile en yüksek değerin elde edilmesine karşın ikinci yılda 6 kg P₂O₅/da uygulamasının kontrol ve diğer dozlara nazaran daha düşük protein üretimine yol açmasıdır (Şekil 4.99).



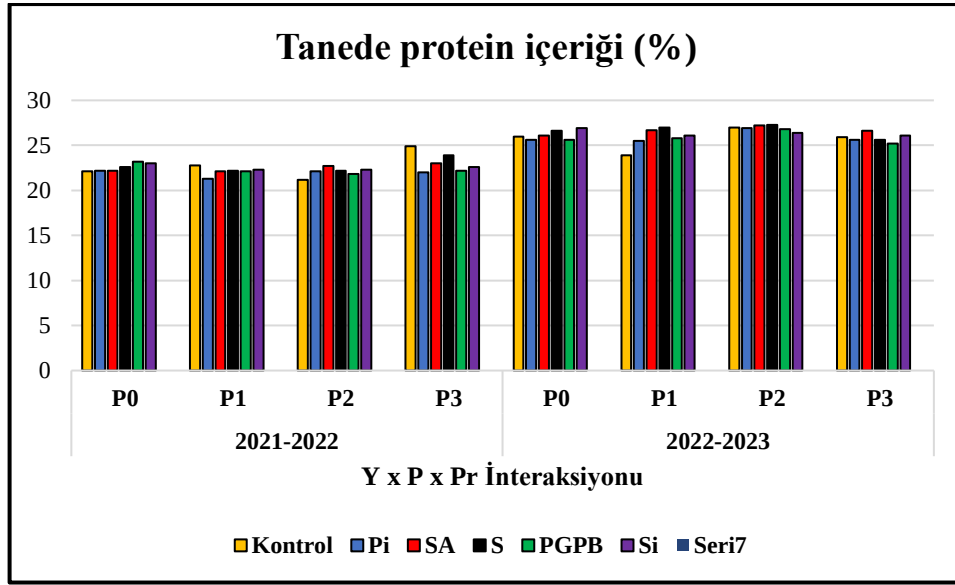
Şekil 4.96. Tanede protein içeriğine ait Y x P interaksiyon grafiği



Şekil 4.97. Tanede protein içeriğine ait Y x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.98. Tanede protein içeriğine ait P x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.99. Tanede protein içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği

4.26. Tanede Fosfor İçeriği

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait tanede fosfor içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.51’de, tanede fosfor içeriğine ait ortalama değerler ise Tablo 4.52’de verilmiştir. Tanede fosfor içeriğine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar ve priming uygulamaları arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p < 0.01$), fosfor dozları arasında ise önemli ($p < 0.05$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Y x Pr interaksiyonu da tanede fosfor içeriği üzerine istatistiki açıdan çok önemli ($p < 0.01$) farklılıkların oluşmasına sebep olmuştur.

Tablo 4.51. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak tanede fosfor içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	67822942,7	67822942,7	633,049**
Blok	6	4374356,8	729059,5	6,805
Fosfor (P)	3	1393416,1	464472,0	4,335*
Y x P	3	114550,1	38183,4	0,356
Hata ₁	18	2388119,9	477624,0	
Priming (Pr)	5	985816,7	197163,3	3,736**
Y x Pr	5	1374682,6	91645,5	1,736**
P x Pr	15	1349246,1	89949,7	1,704
Y x P x Pr	15	1928465,0	107136,9	2,030
Hata ₂	120	6333339,0	52778,0	
Genel	191			

**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde tanede fosfor içeriği birinci yılda 3359 ppm ve ikinci yılda 2362 ppm olarak tespit edilmiştir. Fosfor dozlarına bağlı olarak en düşük tanede fosfor içeriği 2856 ppm olarak gübre ilave edilmeyen kontrol grubunda, en yüksek ise 3068 ppm olarak 6 kg P₂O₅/da uygulamasında tespit edilmiştir. Priming uygulamalarına bağlı olarak tanede en düşük fosfor içeriği 2767 ppm olarak priming uygulaması yapılmayan bitkilerde, en yüksek ise 3146 ppm ile Si-priming uygulanan bitkilerden elde edilmiştir. Y x Pr interaksyonu bakımından tanede en düşük fosfor içeriği (2144 ppm) denemelerin ikinci yılında priming uygulaması yapılmayan bitkilerde, en yüksek fosfor içeriği (3614 ppm) ise denemelerin birinci yılında S-priming uygulamasından elde edilmekle beraber birinci yıl tüm uygulamalar aynı istatistiksel grup içerisinde yer almıştır (Tablo 4.52).

Tablo 4.52. Farklı fosfor seviyeleri ve tohumu priming uygulamalarının tanede fosfor (P) içeriğine etkisi (ppm)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	3294	3325	3344	3599	2095	2048	2175	2258	3390 a	2144 c	2694	2686	2759	2928	2767 C
Pi	3748	3460	3642	3625	2180	2509	2438	2216	3611 a	2336 c	2948	2985	3040	2920	2973 B
SA	3508	3598	3470	3667	2242	2220	2396	2340	3561 a	2299 c	2875	2909	2933	3004	2930 BC
S	3526	3657	3672	3602	2286	2225	2440	2371	3614 a	2330 c	2905	2941	3056	2986	2972 B
PGPB	3342	3611	3719	3703	2152	2308	2260	2894	3594 a	2403 c	2747	2959	2989	3299	2998 AB
Si	3355	3579	3655	3716	2577	2387	3077	2795	3584 a	2709 b	2966	2983	3366	3272	3146 A
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	3462	3538	3584	3652	2555	2282	2464	2446	3559 A	2362 B	2856 B	2910 AB	3024 AB	3068 A	

Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

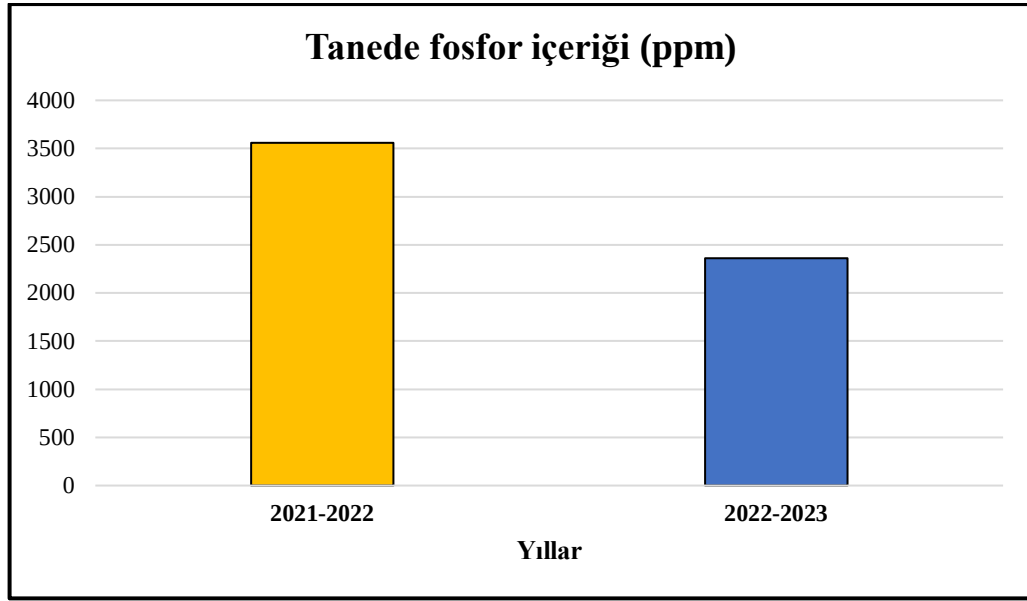
Tanede fosfor içeriğinin yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda ikinci yıla göre birinci yılda %50,7 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.100). Araştırma sonuçlarına göre 6 kg P₂O₅/da uygulamasında fosforlu gübre verilmeyen kontrole göre tanede fosfor içeriği %7,4 oranında artış göstermiştir (Şekil 4.101). Priming uygulamalarında ise Pi, SA, S, PGPB ve Si materyallerinin kontrol uygulamasına göre tanede fosfor içeriğini sırasıyla %7,5, %5,9, %7,4, %8,3 ve %13,7 oranında artırdığı sonucuna varılmıştır (Şekil 4.102).

Yıllara göre bitkilerin besin elementi alımları incelendiğinde birçok besin elementi bakımından birinci yılda daha yüksek verilerin elde edildiği görülmüştür. Birinci yılda daha yüksek bitkide fosfor içeriği ile ilişkili olarak tane oluşumu döneminde daha fazla fosforlu bileşiğin taneye aktarılması ile tanede fosfor içeriği artış göstermiştir. Al-Karaki (1999), toprakta daha yüksek fosfor içeriğinin tanede biriken fosforlu bileşik içeriğinin artmasına katkı sağladığını bildirmiştir. Araştırmanın birinci yılında topraktaki mevcut fosfor içeriğinin daha yüksek olması, bitkiler tarafından daha fazla fosforun alınmasına yol açtığı gibi sürgünlerden taneye taşınan fosforlu bileşik miktarının da artmasına neden olmuştur. Taliman ve ark. (2019), soya bitkisinde gerçekleştirdikleri araştırmada bitkiler tarafından topraktan alınan fosforun genetik özelliklere ve çevresel faktörlere bağlı olmak üzere tane oluşum döneminden itibaren tohuma aktarıldığını bildirmişlerdir. Xie ve ark. (2016), keten bitkisinde yürüttükleri araştırmada tanedeki fosfor içeriği ile bitki tarafından topraktan alınan fosfor miktarı arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğunu rapor etmişlerdir. Togay (2002), mercimekte tanedeki fosfor içeriğinin çeşitlerin genetik özelliklerine ve çevresel koşullara bağlı olarak her iki yetiştirme sezonunda farklılık gösterdiğini belirlemiştir.

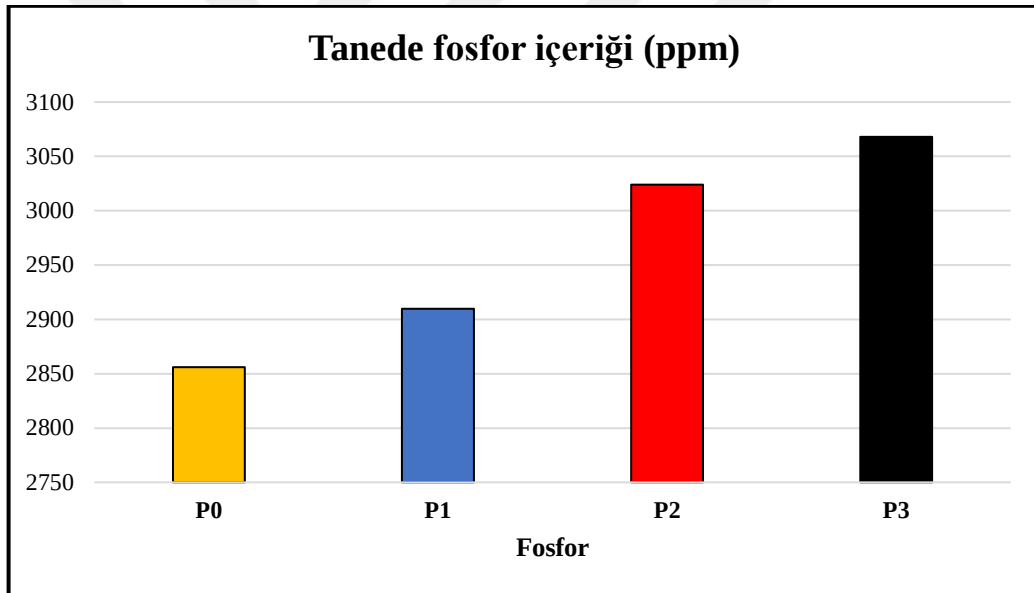
Araştırmamızda artan fosforlu gübre dozlarına paralel olarak tanede fosfor içeriğinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Çiçeklenme döneminde alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen analizler neticesinde bitkide fosfor içeriğinin de artan dozlara paralel olarak artış gösterdiği ifade edilmişti. Bu nedenle, topraktan daha yüksek fosfor alımı neticesinde hem bitki bünyesinde çeşitli metabolizmalarda kullanılan hem de tane doldurma döneminde taneye taşınan fosfor miktarının artması öngörülebilecek bir sonuçtur. Henry ve ark. (1994), fosforlu gübre dozlarına bağlı olarak bezelye, bakla ve mercimek bitkilerinde tane içeriğini incelemiş ve artan fosforlu gübre seviyeleri ile birlikte tüm bitkilerin tanelerindeki fosfor seviyesinin arttığını bildirmişlerdir. Kakiuchi ve Kamiji (2015), artan fosforlu gübre dozları ile birlikte soya tanelerindeki fosfor içeriğinin hem saksı hem de tarla denemeleri neticesinde artış gösterdiğini

kaydetmişlerdir. Urbano ve ark. (2000), baklagillerde topraktan alınan fosforlu bileşiklerin gelişme dönemi boyunca önce sürgünlere ardından tane oluşturma döneminde de tohuma aktarıldığını, burada tanenin fosfor içeriğinin yaklaşık %80'ini oluşturan fitatlara dönüştürüldüğünü ve çimlenme esnasında tekrar kullanılmak üzere rezerv halinde korunduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmamızdan fosforlu gübrelemeye bağlı olarak tanedeki fosfor içeriğine dair elde edilen sonuçlar bilimsel literatür ile uyum göstermektedir.

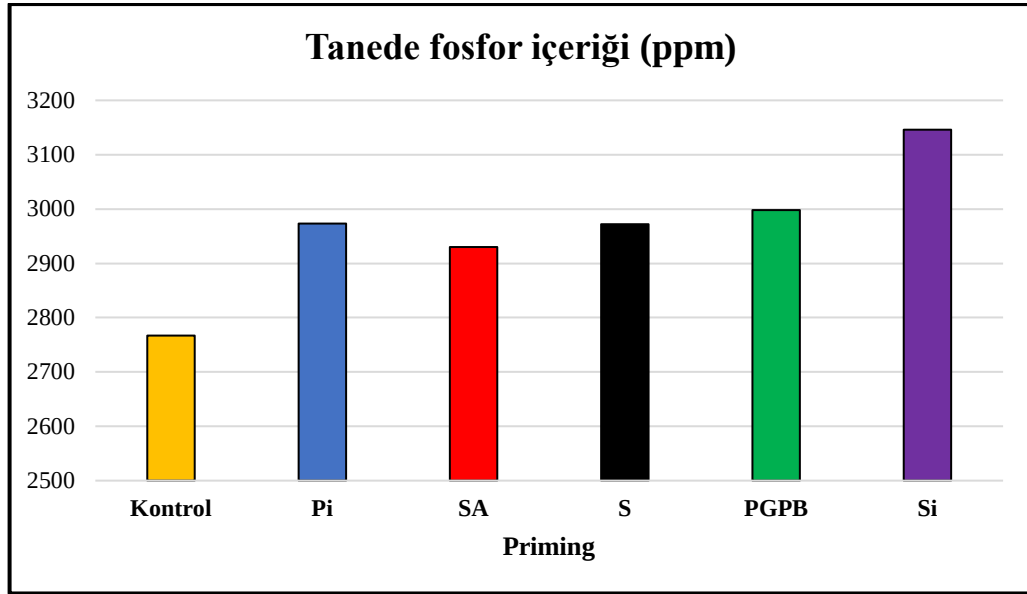
Priming uygulamalarının mercimekte (Johnson ve ark., 2005), çörek otunda (Seyyedi ve ark., 2015), mısırdaki (Muhammad ve ark., 2015) ve bezelyede (Janeczko ve ark., 2015) tohum içeriklerini besinsel açıdan zenginleştirdiği farklı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Pati ve ark. (2018), Si uygulamalarının çeltik tanesinde fosfor içeriğinin artmasına yol açtığını, bu durumun kök bölgesindeki fosforlu bileşiklerin çözünmesine katkı sağlayarak bitki tarafından daha çok alınmasına ve bitkilerde fosfor kullanım etkinliğinin teşvik edilmesine neden olduğunu bildirmişlerdir. Jinger ve ark. (2022), çeltikte Si uygulamasının tanenin besin elementi içeriğini artırdığını bildirmişlerdir. Lavakush ve ark. (2014), fosfat çözme yeteneğine sahip bakteri strainlerinin çeltikte hem fosfor alımını hem de tanede biriktirilen fosforlu bileşiklerin konsantrasyonunu artırdığını rapor etmişlerdir. Kumar ve ark. (2014), buğdayda PSB inokülasyonunun tanede fosfor içeriğini aşılama yapılmayan kontrol grubuna göre %81 oranında artırdığını tespit etmişlerdir. Araştırmamızda priming uygulamalarına bağlı olarak tanede fosfor içeriğinin artış göstermesi hem uygulamalara bağlı olarak bitkilerin daha fazla fosfor almış olması ile hem de literatürdeki diğer araştırmacıların bulguları ile uyum göstermektedir.



Şekil 4.100. Tanede fosfor içeriğinin yıllara göre değişim grafiği

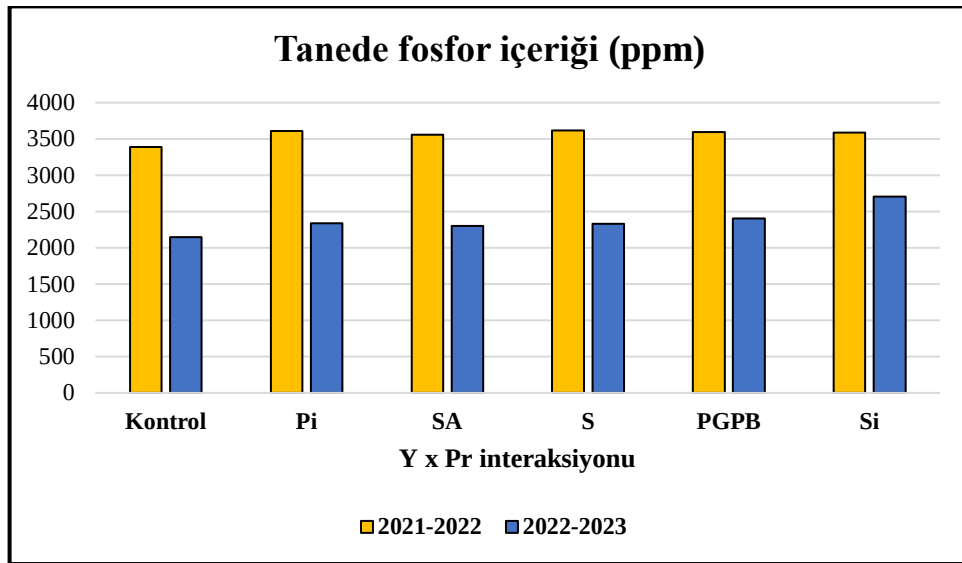


Şekil 4.101. Tanede fosfor içeriğinin fosfor dozlarına göre değişim grafiği



Şekil 4.102. Tanede fosfor içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

Y x P interaksiyonunun ortaya çıkması farklı yıllarda uygulamaların tanede fosfor içeriği üzerine farklı etkiler göstermesinden kaynaklanmıştır (Şekil 4.103). Özellikle 2021-22 sezonunda S-priming uygulamasının tanede fosfor içeriği üzerine en yüksek değerin elde edilmesini sağlamasına karşın 2022-23 sezonunda tanedeki fosfor içeriği üzerine kontrole kıyasla çok etki gösterememiştir. İkinci yetiştirme sezonunda bitkiler besin elementi alımı bakımından yeterince sitrik asit salgısı gerçekleştirmiş ve bu nedenle S-priming uygulaması etkisini yitirmiş olabilir.



Şekil 4.103. Tanede fosfor içeriğine ait Y x Pr interaksiyon grafiği

4.27. Tanede Toplam Antioksidan Madde İçeriği

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait tanede toplam antioksidan madde içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.53'te, tanede toplam antioksidan madde içeriğine ait ortalama değerler ise Tablo 4.54'te verilmiştir. Tanede toplam antioksidan madde içeriğine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, priming uygulamaları ile P x Pr ve Y x P x Pr interaksiyonlarının tanede toplam antioksidan madde içeriği üzerine etkilerinin istatistiki açıdan çok önemli ($p<0.01$) tespit edilmiştir.

Tablo 4.53. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak tanede toplam antioksidan madde içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	0,512	0,512	2,379
Blok	6	0,247	0,041	0,191
Fosfor (P)	3	1,309	0,436	2,028
Y x P	3	1,461	0,487	2,263
Hata ₁	18	3,874	0,215	
Priming (Pr)	5	0,788	0,158	3,291**
Y x Pr	5	0,416	0,083	1,739
P x Pr	15	1,924	0,128	2,679**
Y x P x Pr	15	1,383	0,092	1,926*
Hata ₂	120	5,745	0,048	
Genel	191			

**: $p<0.01$, *: $p<0.05$

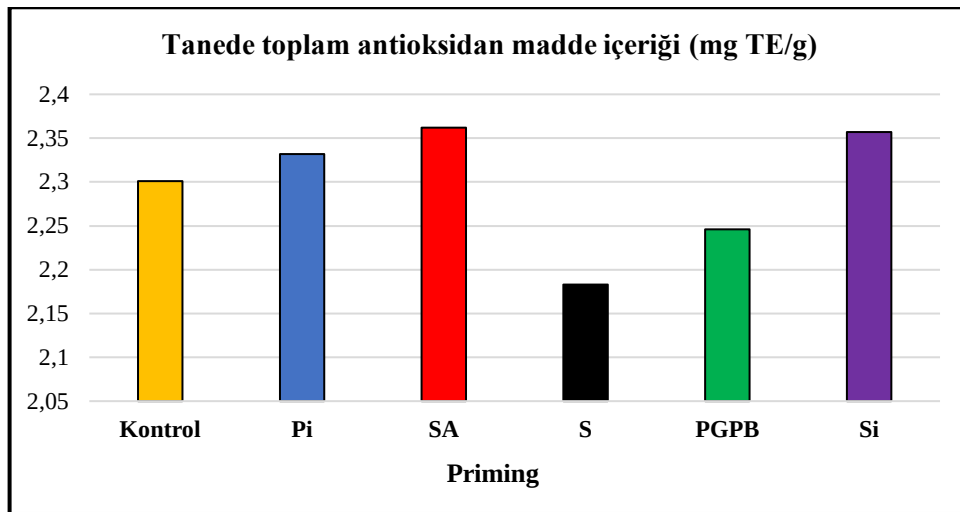
Priming uygulamalarına bağlı olarak tanede en düşük toplam antioksidan madde içeriği 2,183 mg TE/g olarak S-priming uygulamasında, en yüksek ise 2,362 mg TE/g ile SA-priming uygulamasından elde edilmiştir. Ancak, SA ve Si-priming uygulamaları istatistiki olarak aynı grup içerisinde yer almıştır. P x Pr interaksiyonunda ise tanede en düşük toplam antioksidan madde içeriği (2,077 mg TE/g) 3 kg P₂O₅/da ilave edilen S-priming uygulamasında, en yüksek (2,699 mg TE/g) 1,5 kg P₂O₅/da ilave edilen SA-priming uygulamasından elde edilmiştir. Tüm faktörlerin üçlü interaksiyonu bakımından incelendiğinde, tanede en düşük toplam antioksidan madde içeriği (1,948 mg TE/g) denemelerin ikinci yılında 3 kg P₂O₅/da ilave edilen S-priming uygulamasında belirlenirken en yüksek (2,738 mg TE/g) ise denemenin birinci yılında 1,5 kg P₂O₅/da ilave edilen SA-priming uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.54).

Tablo 4.54. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının tanede toplam antioksidan madde içeriğine etkisi (mg TE/g)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	2,339 a-d	2,021 cd	2,383 a-d	2,117 a-d	2,572 a-d	2,634 a-c	2,119 a-d	2,219 a-d	2,215	2,387	2,455 a-c	2,328 a-c	2,168 c	2,168 b	2,301 AB
Pi	2,252 a-d	2,276 a-d	2,308 a-d	2,246 a-d	2,542 a-d	2,537 a-d	2,287 a-d	2,207 a-d	2,270	2,393	2,397 a-c	2,406 a-c	2,227 bc	2,227 b	2,332 AB
SA	1,959 d	2,738 a	2,062 b-d	2,290 a-d	2,387 a-d	2,659 ab	2,200 a-d	2,598 a-c	2,263	2,461	2,173 c	2,699 a	2,444 a-c	2,444 ab	2,362 A
S	2,049 b-d	2,142 a-d	2,203 a-d	2,005 cd	2,555 a-d	2,411 a-d	1,948 d	2,148 a-d	2,100	2,266	2,302 a-c	2,277 bc	2,077 c	2,077 b	2,183 B
PGPB	2,245 a-d	2,022 cd	2,296 a-d	2,374 a-d	2,274 a-d	2,549 a-d	2,117 a-d	2,093 b-d	2,234	2,258	2,259 bc	2,286 bc	2,333 bc	2,233 b	2,246 AB
Si	2,598 a-c	2,291 a-d	2,361 a-d	2,303 a-d	2,565 a-d	2,433 a-d	2,065 b-d	2,237 a-d	2,388	2,325	2,582 ab	2,362 a-c	2,270 bc	2,270 b	2,357 A
Yıl x Fosfor dozu															
Yıl								Fosfor dozları							
Ortalama	2,240	2,248	2,269	2,222	2,243	2,538	2,123	2,250	2,245	2,348	2,361	2,393	2,196	2,236	

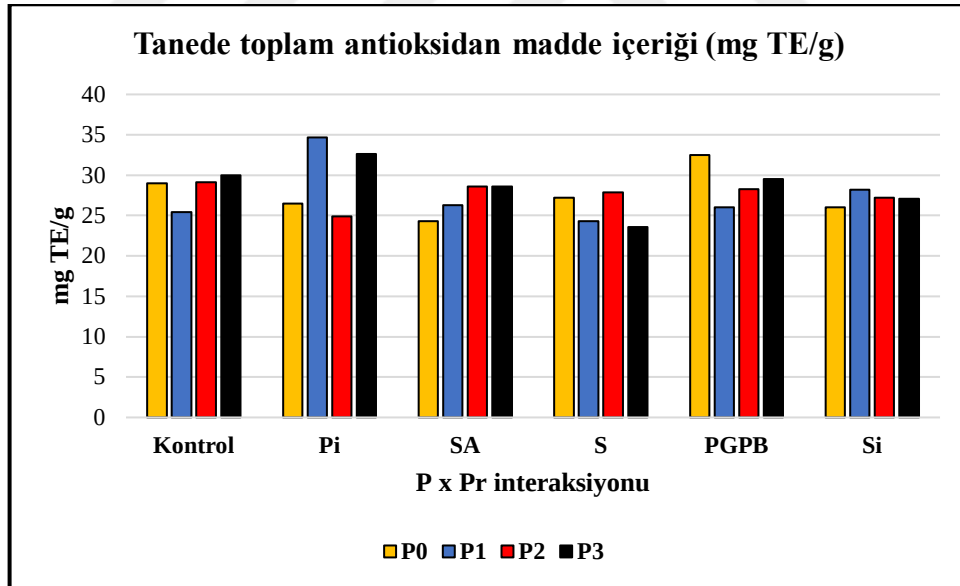
Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

Priming uygulamalarında Pi, SA, S, PGPB ve Si materyallerinin kontrol uygulamasına göre tanede toplam antioksidan madde içeriğini sırasıyla %15,6, %17,1, %23,4, %10,2 ve %17,7 oranında azalttığı sonucuna varılmıştır (Şekil 4.104). Farklı araştırmacılar, mercimek tanesinden elde edilen ekstraktlarda bulunan tanen bileşenlerinden kaynaklanan yüksek antioksidan seviyesinin varlığını tespit etmişlerdir (Fernandez-Orozco ve ark., 2003; Han ve Baik, 2008; Amarowicz ve ark., 2010). Ancak hem mercimekte hem de diğer tarımsal ürünler üzerinde çalışan araştırmacılar tanede toplam antioksidan içeriğinin belirlenmesi veya spesifik antioksidanların tayini ve izolasyonu üzerine araştırmalarını sürdürmüş, fakat çeşitli uygulamalara bağlı olarak tanede antioksidan ve fenolik bileşiklerin nasıl değişim gösterdiği üzerine yeterince araştırma yapılmamıştır. Bu nedenle, tanede antioksidan ve fenolik bileşik içeriklerin birikimini sağlayan mekanizma henüz yeterince anlaşılamamış durumdadır. Araştırmamızda özellikle SA ve Si-priming uygulamalarının tanede toplam antioksidan madde içeriğinin artmasına imkân sağladığı görülmektedir. Luyckx ve ark. (2023), kenevir bitkisinde dışarıdan Si uygulamalarının yapraklarda toplam antioksidan madde içeriğinin artmasına yol açtığını, bu durumun silisyumun bitkideki oksidatif stresin azaltılması sayesinde gerçekleşmiş olabileceğini ifade etmişlerdir. Benzer şekilde, Belkadhi ve ark. (2013), SA-priming uygulamasına bağlı olarak keten bitkisinde oksidatif stresin azaltıldığını ve aynı zamanda toplam antioksidan madde içeriğinin artış gösterdiğini rapor etmişlerdir.

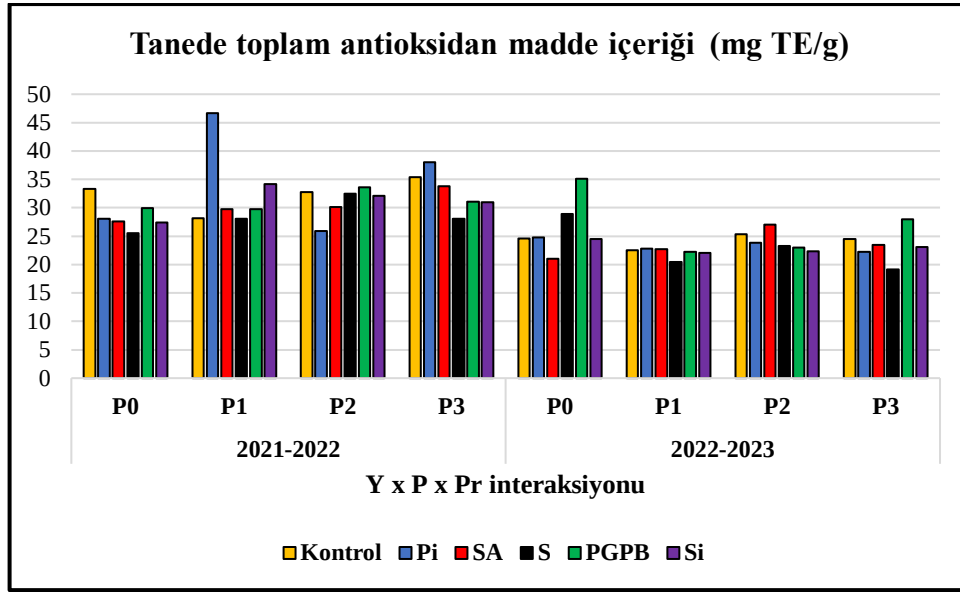


Şekil 4.104. Tanede toplam antioksidan madde içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

Tanede toplam antioksidan madde içeriği üzerine P x Pr interaksiyonunun önemli çıkmasının nedeni; farklı fosfor seviyelerinin priming uygulamalarına bağlı olarak farklı reaksiyon göstermesi ve düzenli bir dağılım sergilememesidir. Kontrol ve PGPB-priming uygulamalarında fosfor uygulanmayan bitkilere göre P1 dozunun antioksidan madde içeriğini azalttığı, akabinde artan seviyelere bağlı olarak ise düzenli artış gösterdiği görülmektedir. Buna rağmen, SA-priming uygulamasında kontrolde P3 uygulamasına doğru periyodik ve düzenli bir artış göze çarpmaktayken Pi-priming uygulaması tamamen düzensiz bir dağılım göstermiştir (Şekil 4.105). Y x P x Pr interaksiyonunun tanede toplam antioksidan madde içeriği üzerine etkilerinin istatistiki açıdan önemli çıkmasının nedeni; priming uygulamalarının yıl ve fosforlu gübre dozuna bağlı olarak tanede toplam antioksidan madde içeriği üzerine farklı etkiler göstermesidir. Şekil 4.106’te görüldüğü üzere, en yüksek değer birinci yılda P1 seviyesinde Pi-priming uygulamasından elde edilirken aynı uygulama ikinci yılda diğer dozlardan daha düşük bulunmuştur. Benzer şekilde, ikinci yılın en yüksek antioksidan içeriği alınan P0 grubunda yer alan ve PGPB-priming uygulaması birinci yılda diğer fosfor seviyelerine göre daha düşük bulunmuştur.



Şekil 4.105. Tanede toplam antioksidan madde içeriğine ait P x Pr interaksiyon grafiği



Şekil 4.106. Tanede toplam antioksidan madde içeriğine ait Y x P x Pr interaksiyon grafiği

4.28. Tanede Toplam Fenolik Bileşik İçeriği

Fosforlu gübre dozları ve farklı priming uygulamalarına bağlı olarak elde edilen 2021-22 ve 2022-23 yılları ile yıllar ortalamasına ait tanede toplam fenolik bileşik içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.55'te, tanede toplam fenolik bileşik içeriğine ait ortalama değerler ise Tablo 4.56'te verilmiştir. Tanede toplam fenolik bileşik içeriği içeriğine ait verilere ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yıllar arasında istatistiki açıdan çok önemli ($p < 0.01$), priming uygulamaları arasında istatistiki açıdan önemli ($p < 0.05$) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, P x Pr ve Y x P x Pr interaksiyonu da tanede toplam fenolik bileşik içeriği üzerine istatistiki açıdan önemli farklılıkların ($p < 0.05$) oluşmasına sebep olmuştur.

Tablo 4.55. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarına bağlı olarak tanede toplam fenolik bileşik içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri
Yıl (Y)	1	10,473	10,473	517,109**
Blok	6	0,037	0,006	0,303
Fosfor (P)	3	0,160	0,053	2,637
Y x P	3	0,174	0,058	2,865
Hata ₁	18	0,365	0,020	
Priming (Pr)	5	0,268	0,054	3,800*
Y x Pr	5	0,145	0,029	2,056
P x Pr	15	0,430	0,029	2,037*
Y x P x Pr	15	0,461	0,031	2,182*
Hata ₂	120	1,690	0,014	
Genel	191			

**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

Araştırmanın yürütüldüğü iki yıllık tarla denemeleri neticesinde tanede toplam fenolik bileşik içeriği birinci yılda 0,533 mg GAE/mL ve ikinci yılda 1,000 mg GAE/mL olarak tespit edilmiştir. Priming uygulamalarına bağlı olarak en düşük tanede toplam fenolik bileşik içeriği 0,719 mg GAE/mL olarak S-priming uygulamasından, en yüksek ise 0,831 mg GAE/mL ile SA-priming uygulamasından elde edilmiştir. P x Pr interaksiyonunda ise tanede en düşük toplam fenolik bileşik içeriği (0,657 mg GAE/mL) 3 kg P₂O₅/da ilave edilen S-priming uygulamasında, en yüksek (0,986 mg GAE/mL) 1,5 kg P₂O₅/da ilave edilen SA-priming uygulamasından elde edilmiştir. Tüm faktörlerin üçlü interaksiyonu bakımından incelendiğinde, tanede en düşük toplam fenolik bileşik içeriği (0,409 mg GAE/mL) denemelerin birinci yılında fosfor ilave edilmeyen ve SA-priming uygulamasında ile 6 kg P₂O₅/da ilave edilen S-priming uygulamasında belirlenirken, en yüksek (1,154 mg GAE/mL) ise denemenin ikinci yılında fosfor ilave edilmeyen Pi-priming uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.56).

Tablo 4.56. Farklı fosfor seviyeleri ve tohum priming uygulamalarının tanede toplam fenolik bileşik içeriğine etkisi (mg GAE/mL)

Priming uygulamaları	Yıl x Fosfor dozu x Priming								Yıl x Priming		Fosfor dozu x Priming				Ortalama (Priming)
	2021-22				2022-23				2021-22	2022-23	P0	P1	P2	P3	
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3							
Kontrol	0,502 h-j	0,487 h-j	0,474 jj	0,591 d-j	0,985 a-c	1,034 a-c	0,877 a-g	1,023 a-c	0,514	0,980	0,743 b	0,761 b	0,675 b	0,807 ab	0,747 AB
Pi	0,506 h-j	0,487 h-j	0,583 e-j	0,491 h-j	1,154 a	0,979 a-c	1,048 a-c	1,073 ab	0,517	1,063	0,830 ab	0,733 b	0,815 ab	0,782 ab	0,790 AB
SA	0,409 j	0,900 a-f	0,482 i-j	0,568 f-j	1,134 ab	1,072 a-c	0,987 a-c	1,093 ab	0,590	1,071	0,772 ab	0,986 a	0,735 b	0,830 ab	0,831 A
S	0,498 h-j	0,441 j	0,507 h-j	0,409 j	1,086 ab	0,968 a-c	0,807 b-i	1,037 a-c	0,464	0,975	0,792 ab	0,705 b	0,657 b	0,723 b	0,719 B
PGPB	0,541 g-j	0,502 h-j	0,551 g-j	0,528 h-j	0,988 a-c	0,923 a-e	0,826 a-h	1,027 a-c	0,530	0,941	0,764 b	0,713 b	0,689 b	0,777 ab	0,736 B
Si	0,729 c-j	0,559 f-j	0,541 g-j	0,507 h-j	0,975 a-c	0,964 a-c	0,930 a-d	1,014 a-c	0,584	0,971	0,852 ab	0,762 b	0,735 b	0,761 b	0,777 AB
	Yıl x Fosfor dozu								Yıl		Fosfor dozları				
Ortalama	0,531	0,563	0,523	0,516	1,054	0,990	0,912	1,044	0,533 B	1,000 A	0,792	0,776	0,718	0,780	

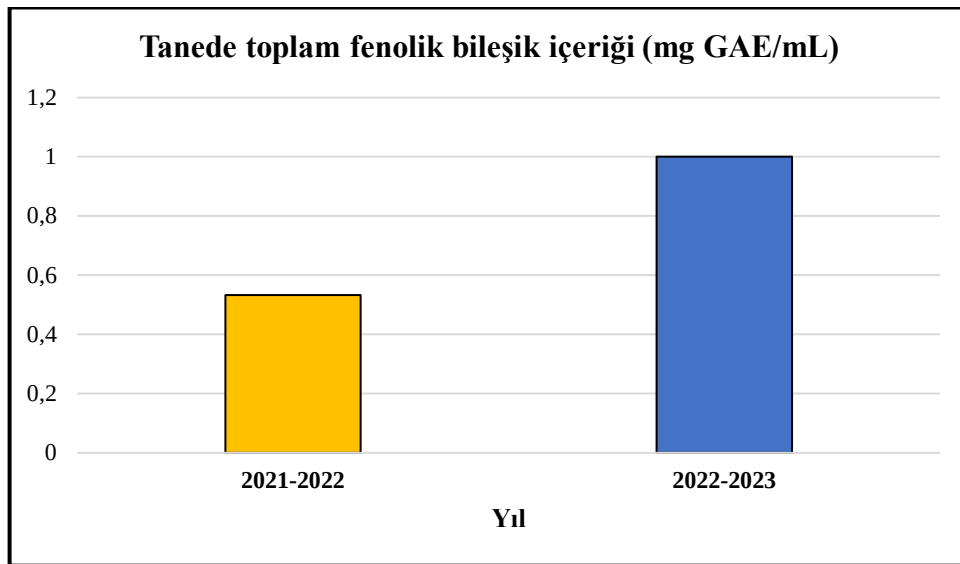
Grup içerisinde aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılık yoktur (Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da)

Tanede toplam fenolik bileşik içeriğinin yıllara göre değişimi göz önünde bulundurulduğunda birinci yıla göre ikinci yılda %87,6 oranında artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.107). Priming uygulamalarında ise S ve PGPB materyallerinin kontrol grubuna göre tanede toplam fenolik bileşik içeriğini sırasıyla %3,8 ve %1,5 oranında artırdığı, Pi, SA ve Si materyallerinin ise sırasıyla %5,8, %11,2 ve %4,0 oranında azalttığı sonucuna varılmıştır (Şekil 4.108).

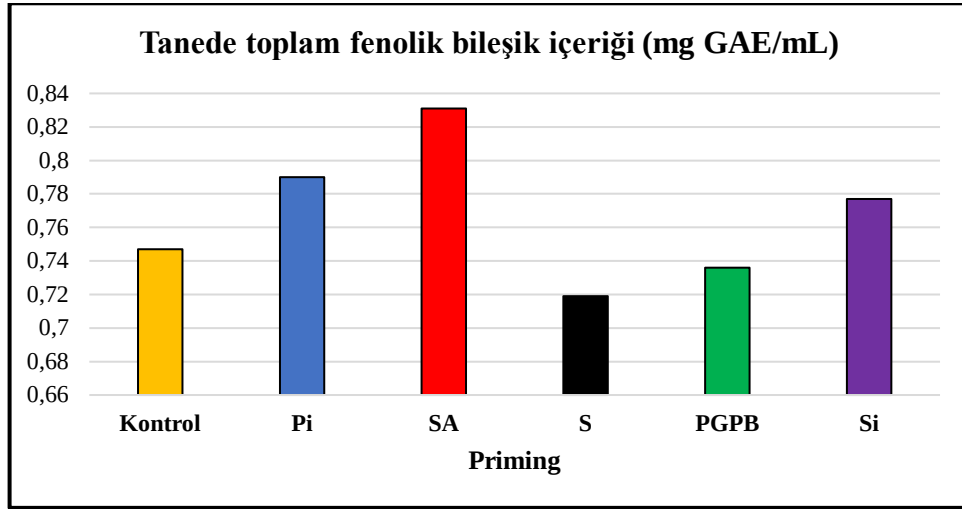
Tanede fenolik bileşik içeriği yüksek oranda genotipik özelliklere göre değişmekle birlikte çevresel etkilerden ve uygulamalardan da bir miktar farklılığa uğramaktadır. Açık renkli tohum kabuğuna sahip çeşitlerin çoğu düşük fenolik içeriğe sahipken, koyu renkli tohum kabuğuna sahip baklagillerin tamamı yüksek miktarda fenolik içermemektedir (Parikh ve Patel, 2018). Aynı çalışmada toplam fenolik bileşik içeriği bakımından tohum iriliğinin de etkili olduğu, fenolik bileşik içeriğinin tohum iriliği ile negatif bir korelasyon içerisinde olduğu belirtilmiştir. Çeşitli polifenolik bileşiklerin, fenolik kısmın reaktivitesi nedeniyle antioksidan aktiviteler sergilediği, elektron veya hidrojen verme yoluyla serbest radikalleri temizlediği rapor edilmiştir (Jayaprakasha ve Patil, 2007). Literatürde konu ile ilgili araştırmaların sonuçları incelendiğinde yıllar arasında toplam fenolik bileşik içeriğinin önemli ölçüde değişim göstermesi ortaya çıkması muhtemel bir sonuç olarak görülmektedir. Dahası, araştırma sezonları arasında tane doldurma dönemleri göz önüne alındığında ikinci yılda daha düşük hava sıcaklıkları ve yağış şartları göze çarpmakta olup sıcaklık ve yağış şartlarına ters yönde bir artıştan söz etmek mümkün görünmektedir. Bibi ve ark. (2022) farklı bitki türleri ve lokasyonlarda gerçekleştirdikleri deneyde iklimik koşulların ve toprak özelliklerinin bitkilerde toplam fenolik bileşiklerin değişimi üzerine etkilerini incelemiş ve her iki faktörün de fenolik bileşik oluşumunda istatistiki açıdan önemli farklılıkların oluşmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Orduna (2010), sekonder metabolitlerin, özellikle fenolik ve flavonoid içeriklerinin sentezi temel olarak gün uzunluğu, ışık yoğunluğu, sıcaklık, besin konsantrasyonu ve topraktaki su gibi çeşitli çevresel faktörlerden etkilendiğini tespit etmiştir. Benzer şekilde, farklı araştırmacılar sıcaklık, gün uzunluğu, yağış ve toprak özellikleri gibi çevresel faktörlerin bitkilerde toplam fenolik bileşik oluşumunu etkilediğini, ancak değişimin tutarlı olmaktan ziyade bitki türüne ve yetiştirme ortamına gösterdikleri tepkilere göre farklılıklar sergilediğini bildirmişlerdir (Huang ve ark., 2014; Liu ve ark., 2016; Holopainen ve ark., 2018). Öte yandan, araştırmamızda fosforlu gübre dozlarının artmasına bağlı olarak toplam fenolik bileşik içeriğinin azaldığı ancak aradaki farklılığın istatistiki açıdan önemli olmadığı

görülmektedir. Sarker ve Karmoker (2011), mercimekte toplam fenolik bileşik içeriğinin fosfor noksanlığı durumunda artış gösterdiğini, yani aralarında negatif yönlü bir korelasyon olduğunu bildirmişlerdir.

Bekker ve ark. (2007), avokado ağaçlarına Si uygulamalarının köklerde biriken toplam fenolik bileşik içeriğinin artmasına sebep olduğunu rapor etmişlerdir. Öyle ise, Si uygulamasının bitkinin farklı dokularında toplam fenolik bileşik içeriğinin artmasına etki edebileceği de öngörülebilir bir varsayım olmakla birlikte konuyu daha derinlemesine incelemeye ihtiyaç olduğu açıktır. Araştırmamızda SA-priming tanede toplam fenolik bileşik içeriğini en çok artıran uygulama olarak görülmesine rağmen Belkadhi ve ark. (2013), ketende SA uygulamasının yapraklarda toplam fenolik bileşiklerin konsantrasyonu üzerinde önemli bir etkide bulunmadığını bildirmişlerdir. Ancak, Grzeszczuk ve ark. (2018), adaçayı bitkisinde SA uygulamalarına bağlı olarak toplam fenolik bileşiklerin önemli ölçüde artış gösterdiğini kaydetmişlerdir. Thiruvengadam ve ark. (2015), benzer şekilde bitkilerde SA uygulamalarının özellikle stres koşulları altında toplam fenolik bileşik içeriğinin artmasına ve böylece ROS türlerinin süpürülerek uzaklaştırılmasına imkân sağladığını ileri sürmüşlerdir. Sonuçlardaki farklılıklar göze çarpmakla birlikte görülmektedir ki sekonder metabolitlerin bitki bünyesinde sentezlenmesi ve taşınımı oldukça kompleks bir süreçtir ve hem genetik hem de çevresel faktörlerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle, farklı çalışmalar neticesinde ortaya çıkan sonuçlar arasındaki değişikliklerin birçok farklı etmenden kaynaklanmış olabileceği görülmektedir.

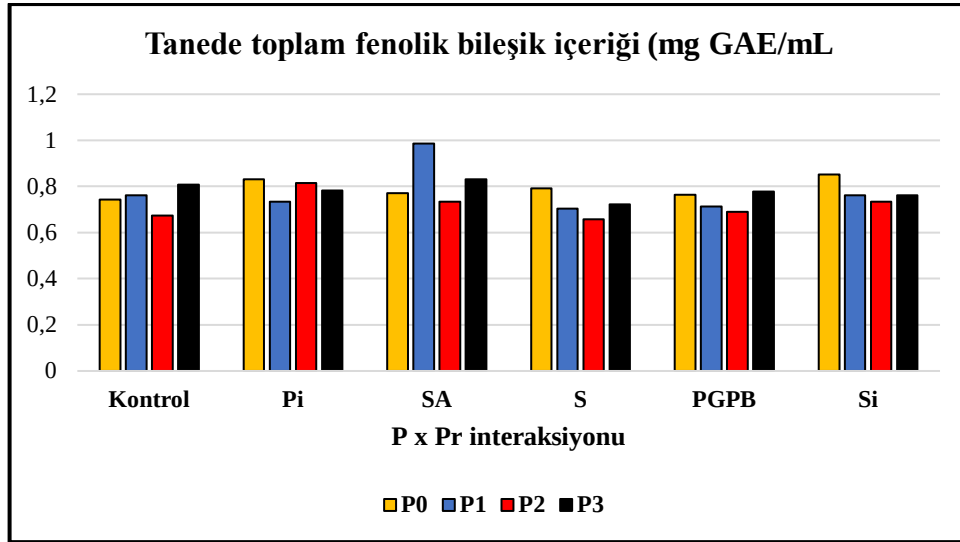


Şekil 4.107. Tanede toplam fenolik bileşik içeriğinin yıllara göre değişim grafiği

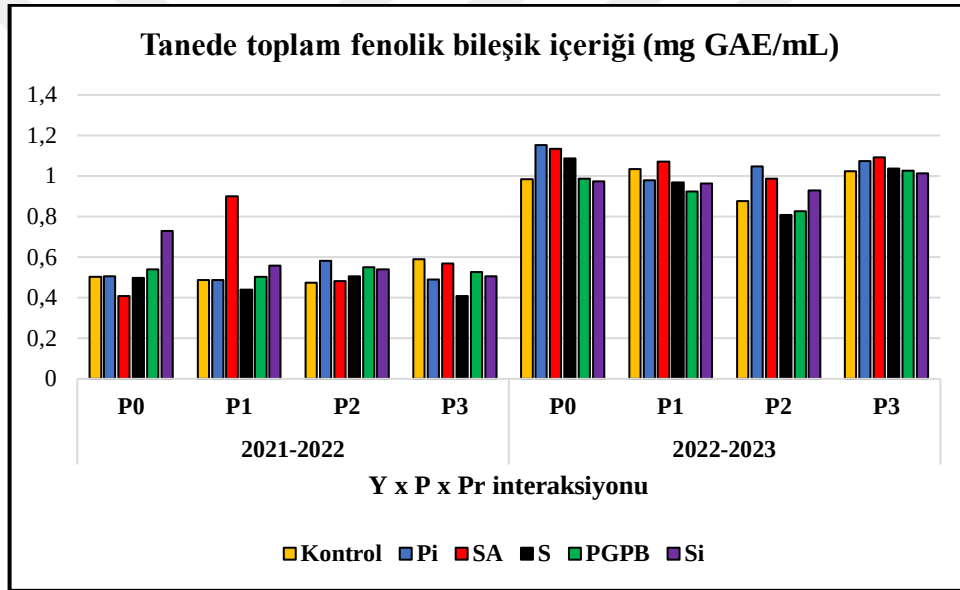


Şekil 4.108. Tanede toplam fenolik bileşik içeriğinin priming uygulamalarına göre değişim grafiği

P x Pr interaksiyonunun tanede toplam fenolik bileşik içeriği açısından önemli etki göstermesinin nedeni, P1 seviyesinin SA-priming uygulamasında en yüksek toplam fenolik bileşik içeriğinin verilmesine neden olurken diğer uygulamalarda daha düşük ve farklı sonuçlara yol açmasıdır (Şekil 4.109). Y x P x Pr interaksiyonunun tanede toplam fenolik bileşik içeriği üzerine etkilerinin istatistiki açıdan önemli çıkmasının nedeni; denemenin birinci yılında fosforlu gübre uygulanmayan Si-priming uygulamasında toplam fenolik bileşik içeriğinin önemli düzeyde artış gösterdiği (P0 grubundaki diğer uygulamalara ve birinci yıldaki diğer fosfor uygulamalarına kıyasla), ancak denemenin ikinci yılına bakıldığında hem P0 uygulamasındaki diğer uygulamalara hem de diğer fosfor uygulamalarındaki Si-priming uygulamalarına kıyasla daha düşük sonuçlar ortaya çıkmasıdır. Ayrıca, denemenin birinci yılında en yüksek toplam fenolik bileşik içeriği P1 dozundaki SA-priming ile elde edilirken ikinci yılda en yüksek değer P0 dozundaki Pi-priming ile elde edilmiştir (Şekil 4.110).



Şekil 4.109. Tanede toplam fenolik bileşik içeriğine ait P x Pr interaksyon grafiği



Şekil 4.110. Tanede toplam fenolik bileşik içeriğine ait Y x P x Pr interaksyon grafiği

4.29. Ekonomik Analiz

Araştırmada kullanılan fosforlu gübre dozları ve priming uygulamalarının tane ve saman verimi kaynaklı ekonomik analizine ilişkin sonuçlara ait veriler Tablo 4.57’de verilmiştir. Hem fosforlu gübre dozlarının hem de priming uygulamalarının bireysel etkilerinin yanında interaktif etkilerine bağlı olarak ortaya çıkan değişimler hesaplanmış ve buna bağlı olarak net kazanç artışı tespit edilmiştir. Tablo 4.57 incelendiğinde, kontrole göre en düşük tane verimi farkı 14 kg/da ile Pi-priming uygulamasında, en yüksek ise 81 kg/da ile P3+Si uygulamasında tespit edilmiştir. Saman verimi bakımından ise kontrole göre en düşük fark 20,8 kg/da ile PGPB-priming uygulamasından, en yüksek

ise 135,5 kg/da ile P3+S uygulamasından elde edilmiştir. Net kazanç hesaplanırken tane ve saman değerinin toplamından uygulama masrafları çıkarılmıştır. Mevcut artış değerlerine göre elde edilen gelir artışından uygulama masrafının çıkarılmasına bağlı olarak elde edilen net kazanç dekara 2805-4116 ₺ aralığında değişim göstermiştir. En düşük net kazanç kontrolden elde edilirken en yüksek kazanç P3+Si uygulamasında elde edilmiştir. Sadece kimyasal gübre uygulamaları açısından incelendiğinde, P1, P2 ve P3 uygulamalarında kontrole göre net kazanç artışı sırasıyla 673₺, 653₺ ve 615₺ olarak hesaplanmıştır. Sadece fosforlu gübre uygulaması bakımından net kazanç değerlendirildiğinde, gübre fiyatlarının da yükselmesinden dolayı artan gübreleme miktarına aksi yönde net kazancın azaldığı gözlemlenmiştir. Dahası, 6 kg/da fosforlu gübre uygulaması ile daha yüksek tane verimi elde edilmesine rağmen daha düşük uygulama maaliyeti nedeniyle fosfor verilmeyen ve Si-priming uygulanan bitkilerden daha yüksek net kazanç elde edilmesini sağlamıştır. Üstelik Si-priming uygulaması P1, P2 ve P3 dozları ile birlikte uygulandığında ise sırasıyla 1097, 1121 ve 1311 ₺/da ekstra kazanç sağladığı tespit edilmiştir. Özetle, artan fosforlu gübre dozlarına bağlı olarak birim alandaki tane ve saman verimini artırmak mümkün olsa da uygulama maaliyetleri göz önünde bulundurulduğunda net kazanç açısından bir fark oluşmadığı, hatta fosforlu gübre uygulanmadan Si-priming ile kontrole göre neredeyse aynı kazanç artışının sağlanabileceği tespit edilmiştir. Oysa azaltılmış fosforlu gübre (1,5 kg/da) ile birlikte priming uygulayarak (özellikle S, Si ve PGPB) hem net kazancın artırılabilmesi hem de tarım topraklarına daha fazla kimyasal gübre girdisinin engellenmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.57. Araştırmada kullanılan uygulamaların tane ve saman verimi açısından ekonomik analizi

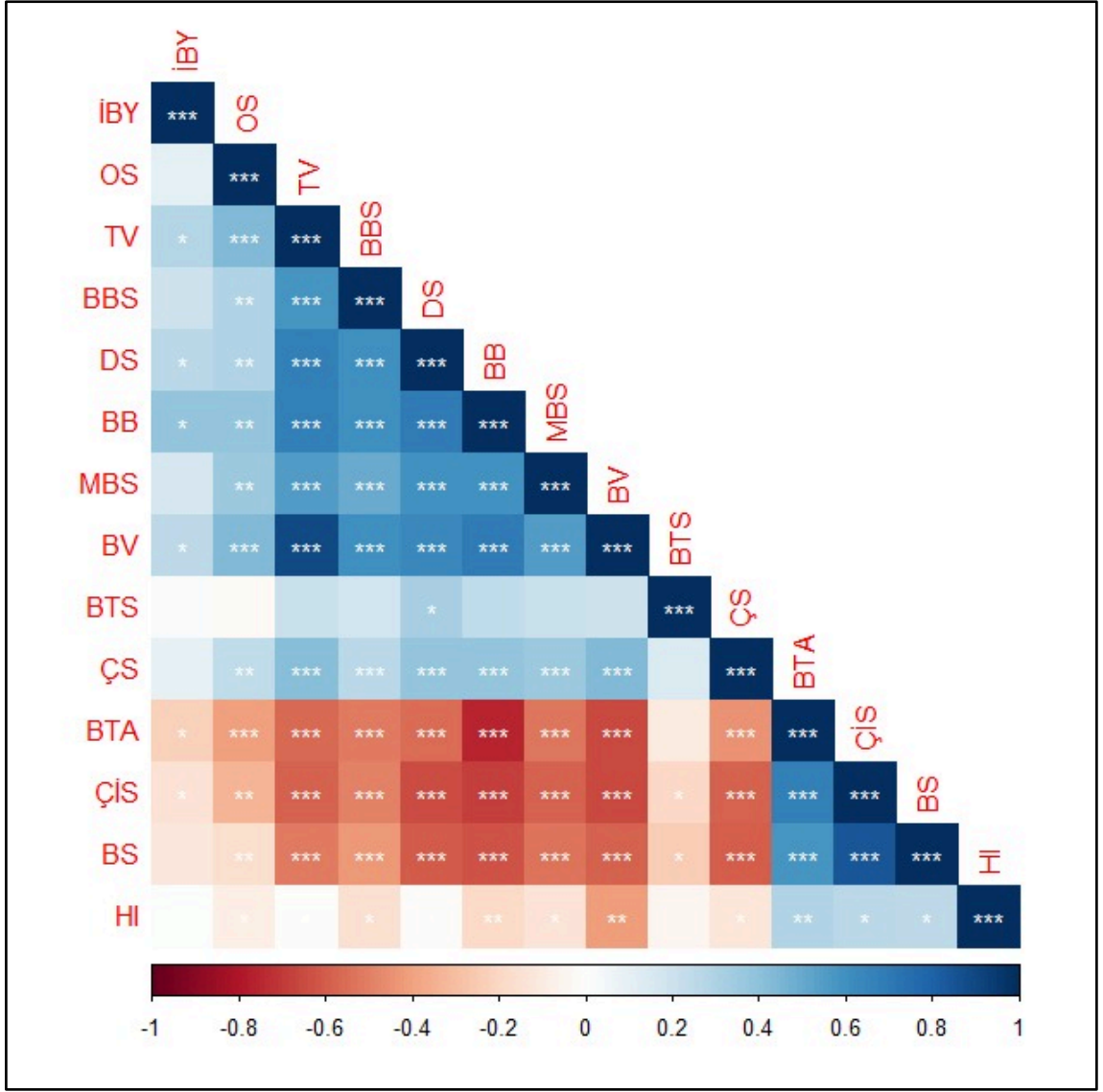
Uygulama	Tane verimindeki artış (kg/da)	Tane kaynaklı kazanç (₺/da)	Saman verimindeki artış (kg/da)	Saman kaynaklı kazanç (₺/da)	Uygulama masrafı (₺/da)	Net kazanç (₺/da)	Kontrole göre net kazanç farkı (₺/da)
Kontrol	-	2103	-	702	-	2805	-
P1	33	2600	88,8	924	45	3478	673
P2	36	2640	82,6	908	90	3458	653
P3	41	2711	74,9	889	180	3420	615
Pi	14	2312	39,3	800	5	3107	302
SA	24	2468	27,4	770	5	3233	428
S	26	2486	66,7	869	5	3349	544
PGPB	18	2376	20,8	754	5	3125	320
Si	35	2622	109,4	975	5	3592	787
P1-Pi	37	2655	113,8	986	50	3591	786
P1-SA	49	2837	99,7	951	50	3738	933
P1-S	64	3063	120,5	1003	50	4016	1211
P1-PGPB	56	2943	91,4	930	50	3823	1018
P1-Si	61	3011	96	942	50	3902	1097
P2-Pi	45	2771	98,9	949	95	3625	820
P2-SA	66	3086	96,1	942	95	3933	1128
P2-S	69	3137	75,6	891	95	3932	1127
P2-PGPB	66	3099	106,3	968	95	3972	1167
P2-Si	68	3123	78,4	898	95	3926	1121
P3-Pi	39	2685	112,3	983	185	3483	678
P3-SA	51	2865	94,2	937	185	3617	812
P3-S	61	3018	135,5	1041	185	3874	1069
P3-PGPB	66	3087	127,6	1021	185	3923	1118
P3-Si	81	3318	112,4	983	185	4116	1311

Pi: İnorganik fosfor, SA: Salisilik asit, S: Sitrik asit, PGPB: Bitki gelişimini teşvik edici bakteri, Si: Silisyum, P0: Kontrol, P1: 1.5 kg P₂O₅/da, P2: 3 kg P₂O₅/da, P3: 6 kg P₂O₅/da, ₺: Türk lirası

4.30. Özellikler Arasındaki İkili İlişkiler (Korelasyon Analizi)

Araştırma kapsamında morfolojik, fizyolojik, kimyasal ve moleküler gözlemler neticesinde incelenen 28 özellik Pearson korelasyon analizine tabi tutulmuş ve özelliklerin birbiri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Özellikler arasındaki ikili ilişkiler incelenirken agronomik özellikler (Şekil 4.111) ve besin elementi içerikleri (Şekil 4.112) iki farklı diyagram olarak verilmiştir. Şekil 111 incelendiğinde, tane verimi üzerinde en yüksek olumlu etkiye sahip özelliklerin biyolojik verim, metrekarede bitki sayısı, bitki boyu, dal sayısı ve bitkide bakla sayısı olduğu ve tamamının $p < 0.001$ düzeyinde önemli çıktığı gözlemlenmiştir. Bunlar dışında, çıkış süresi, olgunlaşma süresi, ilk bakla yüksekliği ve baklada tane sayısı özelliklerinin tane verimi ile güçlü pozitif bir korelasyon içerisinde oldukları görülmüştür. Crippa ve ark. (2009), bitki boyu ve dal oluşumunun

bitkide bakla oluşumunu teşvik ettiğini bildirmişlerdir. Sharma ve ark. (2014), 80 mercimek genotipinin kullanıldığı araştırma neticesinde bitkide bakla sayısının bitki boyu ve dal sayısı ile güçlü ve pozitif bir korelasyona sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Hasat indeksi ve klorofil içeriğinin tane verimi ile aralarında herhangi bir ilişki gözlemlenmezken diğer çiçeklenme süresi, bakla bağlama süresi ve 1000-tane ağırlığı parametreleri ile önemli düzeyde ($p<0.001$) negatif korelasyonlar ortaya çıkmıştır. Benzer şekilde, Ceritoğlu (2019), mercimekte özellikler arası ilişkileri incelemiş ve tane verimi ile bitkide bakla sayısı, baklada tane sayısı, biyolojik verim bakımından güçlü ve önemli pozitif yönlü korelasyonların olduğunu, 1000-tane ağırlığı bakımından ise önemli negatif bir korelasyon ortaya çıktığını rapor etmiştir. Yine farklı araştırmacıların bulguları tane verimi açısından en güçlü pozitif yönlü karakterlerin bitkide bakla sayısı, baklada tane sayısı, biyolojik verim ve bitkide tane sayısı olduğu yönündedir (Zaman ve ark., 1989; Çiftçi ve ark., 1998; Aghili ve ark., 2012; Sakthivel ve ark., 2019). Tane verimini oluşturan ana karakterlerin bitkinin oluşturduğu baklalar ve içerisindeki toplam tane sayıları olduğu düşünüldüğünde çıkan sonuçların öngörülebilir olduğu, ancak 1000-tane ağırlığı bakımından ortaya çıkan negatif korelasyonun ise artan tane ağırlığına rağmen bakla içerisinde oluşan tane sayısının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer öngörüler mercimekte çalışmalar yürüten çeşitli araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir (Luthra ve Sharma, 1990; Çiftçi ve ark., 1998). Olgunlaşma süresinin gecikmesine bağlı olarak tane veriminin artması bitkinin daha fazla dolu bakla oluşturması ve oluşturulan tanelere daha fazla besin elementi taşınımı ile ilişkilendirilebileceği için pozitif yönlü korelasyon anlaşılabilir bir sonuçtur. Ancak çiçeklenme ve bakla bağlama sürelerinin gecikmesinde gözlemlenen negatif korelasyonun çiçeklenme bakımından değerlendirildiğinde geciken generatif periyodun vejetatif aksam gelişimini artırması ve buna bağlı olarak yatma problemlerini beraberinde getirmesi, bakla bağlama süresi bakımından ise o dönemdeki olumsuz hava koşulları nedeniyle boş bakla oluşması veya oluşan baklaların dökülmüş olması ile açıklanabilir. Nitekim, Aghili ve ark. (2012) mercimekte tane verimi ile çiçeklenme süresi arasında güçlü ve negatif yönlü bir korelasyon olduğunu bildirmişlerdir (Şekil 4.111).



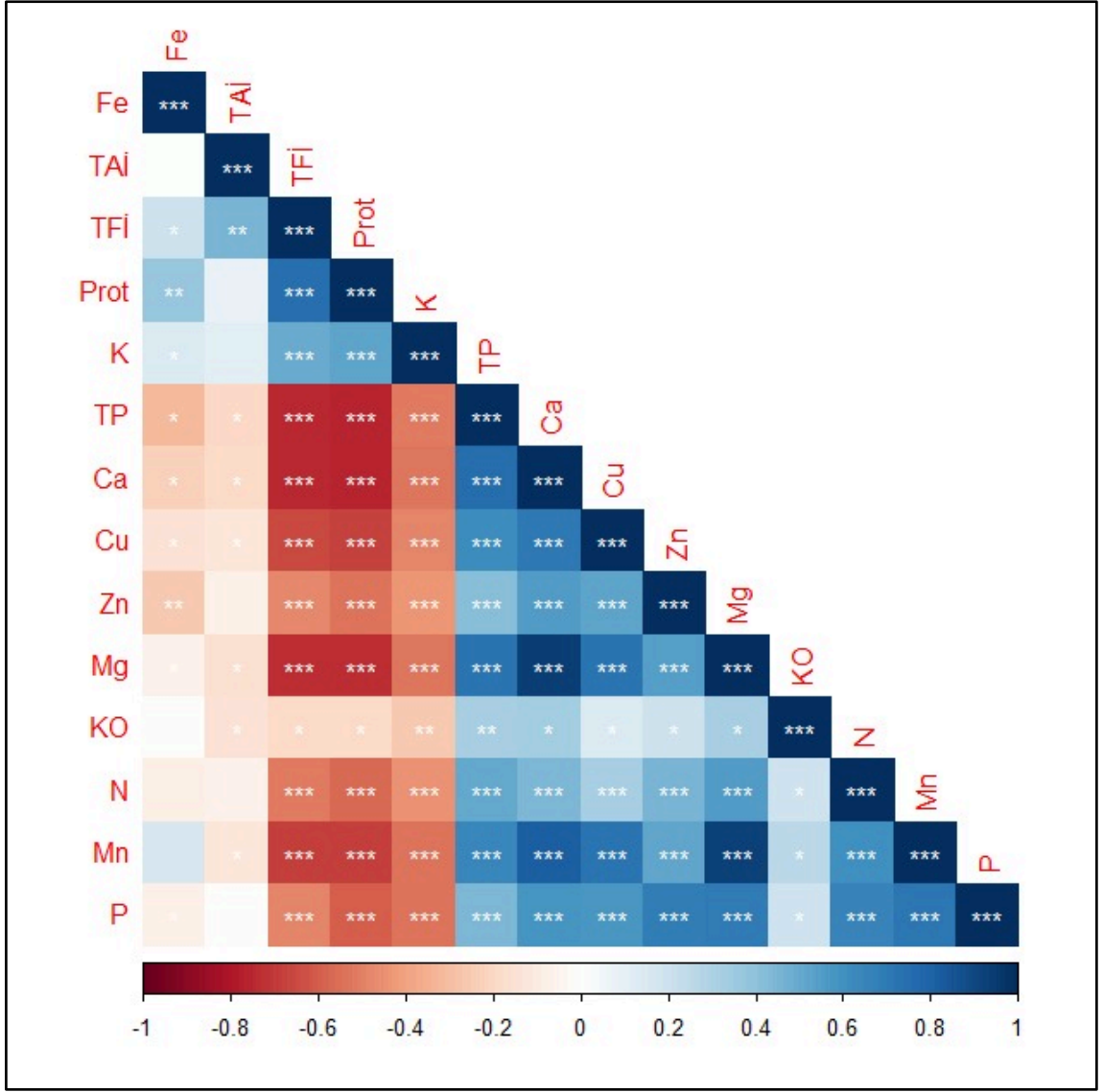
(Diyagram içerisindeki renkler -1 ile 1 aralığını simgelemekte olup koyu kırmızı -1'e koyu mavi ise 1'e denk gelmektedir. Ayrıca, * işareti özellikler arasındaki önem seviyesinin $p < 0.05$, ** işareti özellikler arasındaki önem seviyesinin $p < 0.01$, *** işareti ise özellikler arasındaki önem seviyesinin $p < 0.001$ düzeyinde olduğunu ifade etmektedir. Herhangi bir işaret bulunmayan kutucukların karşılığında ilişkinin ise istatistiki açıdan önemli olmadığı vurgulanmıştır. ÇŞ: Çıkış süresi, ÇİS: Çiçeklenme süresi, BS: Bakla bağlama süresi, OS: Olgunlaşma süresi, MBS: Metrekarede bitki sayısı, KO: Klorofil oranı, BB: Bitki boyu, İBY: İlk bakla yüksekliği, DS: Dal sayısı, BBS: Bitkide bakla sayısı, BTS: Baklada tane sayısı, BV: Biyolojik verim, TV: Tane verimi, HI: Hasat indeksi, BTA: 1000-tane ağırlığı)

Şekil 4.111. Araştırma kapsamında incelenen fenolojik ve agronomik özelliklerin birbiri ile ilişkisini ve ilişkilerin önem derecelerini gösteren diyagram

Klorofil içeriği ile yaprakta tespit edilen neredeyse tüm besin elementleri (K hariç) arasında pozitif yönlü bir korelasyon olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, besin elementi alımının artmasına bağlı olarak bitkide klorofil içeriğinin ve dolayısıyla fotosentez sürecinin olumlu yönde etkilendiği, dahası sağlıklı ve verimli bir bitki ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Klorofil içeriğinin bitkide K içeriği ile negatif bir korelasyon oluşturmuş olması ise potasyum alımının klorofil içeriğinin azalmasına yol açmasından değil katyonik olmasından dolayı diğer besin elementlerinin alınması bakımından zıt bir

korelasyon oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Zira, bitkide K alımının diğer besin elementleri ile ilişkisi incelendiğinde, Fe hariç tım besin elementleri ile negatif bir korelasyon oluşturduğu gırılmektedir. Rodenas ve ark. (2019), fosfor ve potasyum elementlerinin topraktaki durumları ve bitkiler tarafından alımını incelemiş, belirli bir seviyenin üzerine çıktığında birbiri üzerinde rekabet oluşturarak bitkiler tarafından alımının sınırlandırıldığını bildirmiştir. Daur ve ark. (2011), baklada (*Vicia faba*) makro besin elementlerinin bitki tarafından alınan miktarlarını tespit etmiş ve birbiri ile olan ilişkilerini incelemişlerdir. Araştırma neticesinde, tım makro besin elementlerinin (N, P, K, Ca ve Mg) bitki tarafından alınması bakımından g ve pozitif ynl bir korelasyon ilişkisine sahip olduklarını bildirmişlerdir.

Tanede protein içeriği bakımından incelendiğinde ise çiçeklenme başlangıcında alınan örneklerdeki Fe ve K içeriği ile pozitif ynl, diğer besin elementleri ile negatif ynl bir korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir. Bitkide artan N ve P alımına bağlı olarak tanede antioksidan madde içeriği bakımından bir farklılık oluşmadığı gırlrken toplam fenolik içerikler ile pozitif ynl ve önemli bir korelasyon ortaya çıkmıştır. Makwana ve Patel (2022), bir brlce türünde (*Vigna aconitifolia*) yürüttükleri araştırmada toplam antioksidan ve fenolik madde içerikleri arasında pozitif ynl ve önemli bir korelasyon bulunduğunu bildirmişlerdir. Tanede toplam antioksidan ve fenolik madde içeriklerinin de birbiri ile pozitif ynl ve önemli bir korelasyon oluşturdukları tespit edilmiştir (şekil 4.112).



(Diyagram içerisindeki renkler -1 ile 1 aralığını simgelemekte olup koyu kırmızı -1'e koyu mavi ise 1'e denk gelmektedir. Ayrıca, * işareti özellikler arasındaki önem seviyesinin $p < 0.05$, ** işareti özellikler arasındaki önem seviyesinin $p < 0.01$, *** işareti ise özellikler arasındaki önem seviyesinin $p < 0.001$ düzeyinde olduğunu ifade etmektedir. Herhangi bir işaret bulunmayan kutucukların karşılığındaki ilişkinin ise istatistiki açıdan önemli olmadığı vurgulanmıştır. N: Yaprakta N içeriği, P: Yaprakta P içeriği, K: Yaprakta K içeriği, Ca: Yaprakta Ca içeriği, Cu: Yaprakta Cu içeriği, Fe: Yaprakta Fe içeriği, Mg: Yaprakta Mg içeriği, Mn: Yaprakta Mn içeriği, Zn: Yaprakta Zn içeriği, Prot: Tanede protein içeriği, TP: Tanede fosfor içeriği, TAI: Tanede antioksidan içeriği, TFI: Tanede fenolik içeriği)

Şekil 4.112. Araştırma kapsamında tespit edilen kimyasal ve moleküler özelliklerin birbiri ile ilişkisini ve ilişkilerin önem derecelerini gösteren diyagram

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Siirt ekolojik koşullarında 2021-22 ve 2022-23 yetiştirme sezonları boyunca yetiştirilen mercimek bitkisinde fosforlu gübre dozlarının ve farklı materyaller ile priming uygulamalarının fenolojik, agronomik, verim ve kalite özellikleri üzerine etkilerinin incelendiği araştırmadan elde edilen bulgulara ait sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Fenolojik özellikler açısından incelendiğinde fosforlu gübre uygulamasının olumlu veya olumsuz bir etkisi gözlemlenmemiştir. Ancak, Pi ve Si-priming uygulamalarının çıkış süresini kısalttığı, olgunlaşma süresinde ise tüm priming uygulamalarının hasat süresini geciktirdiği tespit edilmiştir. Priming uygulamalarının çıkış süresini kısaltmış olması ziraî açıdan değerlendirildiğinde olumlu bir etki olmakla birlikte hasat süresinin gecikmesi çok arzu edilen bir durum olmayabilir. Ancak, istatistiki açıdan önemli bir farklılık olarak ortaya çıkmış olsa bile pratikte aradaki fark bir günden daha az olduğu için olumsuz bir durum olarak değerlendirilmemelidir.
- Yıllara bağlı olarak metrekarede bitki sayısının %27 oranında değişkenlik gösterdiği, bu durumun ortaya çıkmasında çimlenme döneminde meydana gelen birtakım olumsuz iklimsel faktörlerin yanında kış periyodundan kaynaklı kayıpların da ortaya çıktığı belirlenmiştir. Metrekarede bitki sayısı priming uygulamalarına bağlı olarak artış göstermiştir. Özellikle SA-priming uygulanan tohumların ekildiği parselde metrekareye düşen bitki sayısının kontrol grubuna göre %20,8 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber S-priming uygulaması da metrekarede bitki sayısını önemli ölçüde artırmıştır.
- Vejetatif dönemin sonuna doğru ölçülen yaprakta toplam klorofil içeriği tüm priming uygulamalarında artış göstermiştir. Bunun dışında artan fosforlu gübre dozlarının yapraktaki klorofil konsantrasyonunu artırdığı kaydedilmiştir.
- Bitki gelişimini etkileyen agronomik parametrelerin (bitki boyu, ilk bakla yüksekliği ve bitkide dal sayısı) tamamında fosforlu gübre uygulamalarının önemli ölçüde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Artan fosforlu gübre miktarına paralel olarak bitki boyu, ilk bakla yüksekliği ve bitkideki dal sayısının artış gösterdiği kaydedilmiştir. Ayrıca, priming uygulamasının bitki boyu ve ilk bakla yüksekliği üzerinde önemli bir farklılığa yol açmamasına rağmen bitkide dal

sayısının SA ve PGPB-priming uygulamaları ile önemli ölçüde artış gösterdiği görülmüştür.

- Tüm priming uygulamalarının bitkide bakla sayısı bakımından kontrol grubuna göre önemli derecede artış sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, artan fosforlu gübre dozlarına bağlı olarak bitkide bakla sayısı artış göstermiş olup en yüksek bakla sayısı 6 kg/da fosforlu gübre uygulamasından elde edilmiştir. Biyolojik verim ve tane verimi artan fosforlu gübrelemeye güçlü şekilde tepki göstermiş gerek tane verimi gerekse saman verimi önemli ölçüde artış göstermiştir. En yüksek biyolojik verim ve tane verimi 6 kg/da fosforlu gübre uygulamasından sağlanmıştır. Priming uygulamaları bakımından her iki özellik de benzer sonuçlar sergilemiş, Si-priming uygulaması en yüksek biyolojik verim ve tane verimi elde edilmesine yol açmıştır.
- Besin elementi alımına bağlı olarak mercimek bitkisindeki makro ve mikro besin elementi içeriklerinin tamamında priming uygulamasına bağlı olarak önemli değişimlerin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bitkide azot ve fosfor içeriklerinin SA ve PGPB priming uygulamaları neticesinde kontrole ve diğer priming materyallerine göre daha yüksek konsantrasyonlarda oldukları tespit edilmiştir. Bitkide fosfor konsantrasyonu üzerinde Si-priming uygulamasının da SA ve PGPB priming kadar etkili sonuçlar ortaya koyduğu tespit edilmiştir. Fosforlu gübre uygulamaları bitkide fosfor içeriğini istatistiki açıdan önemli bir şekilde artırıcı etki göstermiş, ancak 1,5 ve 3 kg P₂O₅/da uygulaması bitkide azot içeriğini önemli ölçüde artırmıştır. Bitkilerde potasyum alımını SA-priming uygulamasının önemli ölçüde teşvik ettiği gözlemlenirken fosforlu gübrelemede 1,5 kg/da'dan daha fazla P₂O₅ ilave edildiğinde potasyum alımının sınırlandırıldığı sonucuna varılmıştır. Artan fosforlu gübre dozları ile birlikte yapraklarda Ca içeriğinin arttığı, ayrıca S ve Si-priming uygulamasının da benzer şekilde bir etkiye bulunduğu belirlenmiştir. Katyonik besin elementlerinden Fe, Mg ve Mn alımı üzerinde özellikle S-priming uygulamasının önemli derecede teşvike edici etkiler gösterdiği, bunun dışında PGPB ve Si-priming uygulamalarının da olumlu sonuçlar ortaya koyduğu belirlenmiştir. Pi-priming uygulamasının özellikle bitkide Zn alımını teşvik ettiği tespit edilmiştir.
- Tanenin kompozisyonu bakımından toplam protein, fosfor, antioksidan madde ve fenolik bileşik içeriklerindeki değişimler belirlenmiştir. Artan fosforlu gübre dozlarına bağlı olarak yapraktaki N içeriğinde olduğu gibi tanedeki protein

içeriğinin de artış sağladığı tespit edilmiştir. Tanede protein içeriğinin S-priming uygulamasıyla önemli ölçüde arttığı, Si ve SA-priming uygulamalarının da kontrol bitkilerine kıyasla olumlu sonuç verdiği belirlenmiştir. Artan fosforlu gübre dozlarına paralel olarak tanedeki fosfor içeriğinin istatistiki açıdan anlamlı bir artış gösterdiği kaydedilmiştir. Ayrıca, Si-priming uygulaması da tanede fosfor konsantrasyonunun artmasını sağlamıştır. Tanede toplam fenolik bileşik içeriğini kontrol uygulamasına göre istatistiki açıdan önemli bir şekilde artırıcı etkiyi sadece SA-priming uygulaması sağlarken tanede toplam antioksidan madde içeriğinin SA ve Si-priming uygulamalarına bağlı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir.

- Uygulamaların ekonomik açıdan etkileri incelendiğinde, artan fosforlu gübre dozlarına bağlı olarak birim alandaki tane ve saman veriminin arttığı, ancak uygulama maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda net kazancın azaldığı tespit edilmiştir. Buna karşın, azaltılmış fosforlu gübre ile birlikte priming uygulayarak (özellikle S, Si ve PGPB) üretim maliyetlerinin azaltılabileceği ve net kazancın artırılabilceği sonucuna varılmıştır. Dahası, hiç fosforlu gübre uygulanmasa dahi Si-priming uygulamasına bağlı olarak neredeyse eşit miktarda net kazanç elde edilmesinin mümkün olduğu belirlenmiştir.

5.2. Öneriler

- Ülkemizde üretilen kırmızı mercimeğin çok büyük bir bölümü Güneydoğu Anadolu bölgesinde yetiştirildiğinden dolayı ürün tarımsal ve ekonomik açıdan bölge için kritik bir rol oynamaktadır. Bölge tarımı özelinde değerlendirildiğinde mercimek yetiştiriciliği yapılan alanlarda kimyasal gübrelemeye gerek olmadığı gibi yanlış bir algının oluştuğu ve tane verimi açısından öneminin farkına varılmamış olduğu tespit edilmiştir. Siirt ekolojik koşullarında 2021-22 ve 2022-23 sezonlarında yetiştirilen kırmızı mercimekte fosforlu gübre uygulamasına bağlı olarak 1,5 kg/da gibi küçük bir dozda dahi önemli bir ekonomik gelir elde edildiği sonucuna varılmıştır. Denemenin yürütüldüğü arazinin fosfor içeriği az olarak kabul edilecek seviyede bulunmakla birlikte genel olarak tarım topraklarında fosfor noksanlığının görüldüğü bilinmektedir. Yine de öncelikle toprak analizi yaptırılması ve fosfor noksanlığı görülen alanlarda daha yüksek tane verimi ve net kazanç elde etmek için noksanlığa bağlı olarak fosforlu gübre uygulanması gerektiği açıktır. Bunun dışında, araştırma sonuçları açıkça ortaya

koymaktadır ki ekim öncesi tohuma ön uygulamalar hem ürün verimi hem de kalitesini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Üstelik tane verimine bağlı olarak birim alandan net kazanç elde edilmesi noktasında daha düşük kimyasal gübre girdisi ile birlikte daha yüksek net kazanç elde edilebileceği de gözlemlenmiştir. Araştırma kapsamında, en yüksek tane ve saman verimi ile net kazancın elde edilmesi bakımından ekim öncesinde Si-priming uygulaması ve ekimle birlikte 6 kg P₂O₅/da ilave edilmesi tavsiye edilmektedir. Ayrıca, sadece fosforlu gübre uygulaması yapılmaktansa Si-priming uygulamasının yüksek gübre maliyetlerinden dolayı daha yüksek net kazanç ortaya koyduğu, bu nedenle mercimek yetiştiriciliğinde ekim öncesi tohumlara Si-priming uygulamasının kazançlı bir yöntem olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

- Tane verimi dışında tane kalitesi ve hatta kaba yem olarak değerlendirilen saman kalitesi de göz önünde bulundurulursa, SA, Si, S ve PGPB-priming uygulamalarının bitkiler tarafından besin elementi alımını artırarak kaliteye katkı sunan, kolay uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem olduğu görülmektedir. İki yıllık araştırma sonuçlarında SA ve Si-priming uygulamalarının daha etkin sonuçlar ortaya koyduğu görülse de toprakta etkinliğini sürdürmesi ve farklı mekanizmalara sahip olması göz önünde bulundurulduğunda PGPB-priming uygulamalarının uzun yıllar performansının incelenmesi bilimsel açıdan önemli olduğunu düşündüğümüz bir noktadır. Hatta her yıl uygulanmasının yanında ilk yıl uygulanarak bakiye etkilerinin toprak ve bitki kökenli araştırılması da tarımsal üretim ve bilimsel literatür açısından önem arz edebilecek niteliktedir.
- Bu araştırma kapsamında fosforlu gübre ve priming uygulamalarının mercimek tanesindeki antioksidan maddeler ve fenolik bileşikler üzerine etkileri de incelenmiştir. Araştırma kapsamında Si-priming uygulamasının tanedeki toplam antioksidan madde içeriğinin artmasına yol açtığı, SA-priming uygulamasının ise hem antioksidan madde hem de fenolik bileşiklerin artmasına imkân tanıdığı tespit edilmiştir. Mercimek tanesindeki antioksidan maddeler ve fenolik bileşikler açısından yürütülen çok sayıda araştırma olmasına rağmen genellikle spesifik antioksidanların veya flavonoidlerin izolasyonu, miktarı veya tanınması üzerinde durulmakta, uygulama pratiklerinin bu bileşiklerin sentezlenmesi, taneye taşınması veya uzaklaştırılması açısından etkili mekanizmaların anlaşılması üzerine araştırmaların noksanlığı göze çarpmaktadır. Araştırmamızdan elde edilen bulgular açıkça SA ve Si-priming uygulamalarının tanedeki antioksidan

maddelerin ve fenolik bileşiklerin konsantrasyonları üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu mekanizmanın nasıl işlediği üzerine yapılması gereken yeni araştırmaların moleküler ve genetik düzeyde sürdürülmesine ihtiyaç olduğu görülmektedir.

- Son olarak, priming uygulamalarının hem mercimekte hem de diğer bitki türlerinde bitki gelişimi, tane verimi ve kalitesi bakımından olumlu sonuçlar ortaya koyduğunu gösteren çok sayıda bilimsel araştırma bulunmasına rağmen pratikteki uygulaması yok denecek kadar düşük bir düzeydedir. Bu durumun başlıca nedenleri uygulamada gerekli bir takım bilgi ve deneyim noksanlığı, bir takım yeni alet-ekipman gereksinimi, ek iş gücü olarak görülmesi ve sonuçların çiftçi düzeyinde gerçekleşmemesinden kaynaklanan kuşkulardır. Bu nedenle, öncelikle uygulamaların kolaylaştırılması, geliştirilmesi ve çiftçi düzeyinde demonstrasyon çalışmalarının yapılması kritik bir önem arz etmektedir. Hatta, ön uygulaması yapılmış ve belirli bir süre raf ömrü kazandırılmış tohumluk materyallerin üreticiye doğrudan temin edilebileceği tohumlukların üretilmesi konusunda araştırmaların yürütülmesi gerektiği düşünülmektedir. Özellikle PGPB uygulanmış tohumların bahsi geçen şekilde üreticiye sunulmasını amaçlayan birtakım çalışmalar sürüyor olmasına rağmen raf ömrünün kısa olması ve bakteri strainlerinin etkilerinin zayıflaması şimdilik istenen düzeye gelinmesinin önünde duran en büyük engel olarak görülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abdi, N., Van Biljon, A., Steyn, C., Labuschagne, M.T., 2022. Salicylic acid improves growth and physiological attributes and salt tolerance differentially in two bread wheat cultivars, *Plants*, 11, 1853.
- Abid, A.U.M., Ali, I., Bashir, K., Naseem, W., Rauf, H.A., 2021. Nutrient priming in different maize cultivars and evaluation of vigour improvement under controlled conditions, *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series B: Biological Sciences*, 60 (2), 69-79.
- Açıkbaş, S. ve Özyazıcı, M.A., 2021. Silisyum tohum ön uygulamasının tuz stresine maruz bırakılan yem bezelyesi [*Pisum sativum* ssp. Arvense L. (poir.)]'nin çimlenme gelişimine etkisi, *Middle East International Conference on Contemporary Scientific Studies-V*, 27-28 Mart, Ankara, Türkiye, 148-158.
- Adams, F., 1980. Interactions of Phosphorus with Other Elements in Soils and in Plants, In: F.E. Khasawneh Chairman, E.C. Sample, E.J. Kamprath (Eds.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, 1st eds., Soil Science Society of America Inc., Alabama.
- Adhikary, S., Biswas, B., Chakraborty, D., Timsina, J., Pal, S., Tarafdar, J.C., Banerjee, S., Hossain, A., Roy, S., 2022. Seed priming with selenium and zinc nanoparticles modifies germination, growth, and yield of direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.), *Scientific Reports*, 12, 7103.
- Adnan, M., Abd-ur-Rahman, H., Asif, M., Hussain, M., Bilal, H.M., Adnan, M., Rehman, F., Ahmad, S., Khalid, M., 2020. Seed priming; An effective way to improve plant growth, *EC Agriculture*, 6 (6), 1-5.
- Adnan, M., Fahad, S., Khan, I.A., Saeed, M., Ihsan, M.Z., Saud, S., Riaz, M., Wang, D., Wu, C. 2019. Integration of poultry manure and phosphate solubilizing bacteria improved availability of Ca bound P in calcareous soils, 3 *Biotech*, 9, 368.
- Adnan, M., Fahad, S., Saleem, M.H., Ali, B., Mussart, M., Ullah, R., Amanullah, J., Arif, M., Ahmad, M., Shah, W.A., Romman, M., Wahid, F., Wang, D., Saud, S., Liu, K., Harrison, M.T., Wu, C., Danish, S., Datta, R., Muresan, C.C., Marc, R.A., 2022. Comparative efficacy of phosphorous supplements with phosphate solubilizing bacteria for optimizing wheat yield in calcareous soils, *Scientific Reports*, 12, 11997.
- Afshan, S., Ali, S., Bharwana, S.A., Rizwan, M., Farid, M., Abbas, F., Ibrahim, M., Mehmood, M.A., Abbasi, G.H., 2015. Citric acid enhances the phytoextraction of chromium, plant growth, and photosynthesis by alleviating the oxidative damages in *Brassica napus* L., *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 11679-11689.

- Afzal, I., Basra, S.M.A., Farooq, M., Nawazi, A., 2006. Alleviation of salinity stress in spring wheat by hormonal priming with ABA, salicylic acid and ascorbic acid, *International Journal of Agriculture & Biology*, 8 (1), 23-28.
- Agawane, R.B. and Parhe, S.D., 2015. Effect of seed priming on crop growth and seed yield of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill], *The Bioscan*, 10 (1), 265-270.
- Agboola, A.A., Ogunnusi, T.A., Dayo-Olagbende, O.G., Akpor, O.B., 2023. Growth promoting potential of phosphate solubilizing *Enterobacter cloaca* and *Enterobacter hormaechei* on maize and cowpea seedlings, *The Open Agriculture Journal*, 17, e187433152306010.
- Aghili, P., Imani, A.A., Shahbazi, H., Alaei, Y., 2012. Study of correlation and relationships between seed yield and yield components in lentil (*Lens culinaris* Medik.), *Annals of Biological Research*, 3 (11), 5042-5045.
- Ağsakallı, A. ve Olgun, M., 1999. Kırmızı mercimek Malazgirt – 89 çeşidinde en uygun ekim sıklığı tespiti, *Journal of Aegean Agricultural Research Institute*, 9 (1), 31-43.
- Ahmad, M.A., Khan, Q.U., Shahzad, H., 2022a. Response of rhizobacterial strains and organic amendments on chickpea growth, *Brazilian Journal of Biology*, 82, e261908.
- Ahmad, Z., Tariq, R.M.S., Ramzan, M., Bukhari, M.A., Raza, A., Iqbal, M.A., Meena, R.S., Islam, M.S., Sytar, O., Godswill, N.N., Wasaya, A., Singh, K., Hossain, A., Raza, M.A., Hasanuzzaman, M., Soysal, S., Erman, M., Çığ, F., Ceritoğlu, M., Açıkbaş, S., Uçar, Ö., Bilmez Özçınar, A., Kılıç, R., EL Sabagh, A., 2022b. Biological nitrogen fixation: An analysis of intoxicating tribulations from pesticides for sustainable legume production, In: M. Hasanuzzaman, G.J. Ahammed, K. Nahar (Eds.) *Managing Plant Production Under Changing Environment*, 1st eds., Springer, Singapore.
- Ahmed, E. and Holmström, S.J.M., 2014. Siderophores in environmental research: Roles and applications, *Microbial biotechnology*, 7, 196-208.
- Agostinho, F.B., Tubana, B.S., Martins, M.S., Datnoff, L.E., 2017. Effect of different silicon sources on yield and silicon uptake of rice grown under varying phosphorus rates, *Plants*, 6 (3), 35.
- Ajouri, A., Asgedom, H., Backer, M., 2004. Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167, 630-636.
- Akhtar, N., Prakash, N., Pandey, V.K., 2020. Technology interventions through cluster front line demonstration for enhancing yield of lentil under biotic stress and nutrient deficient soil, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, SP6, 251-254.

- Akiyama, H., Tsuruta, H., Watanabe, T., 2000. N₂O and NO emissions from soils after the application of different chemical fertilizers, *Chemosphere – Global Change Science*, 2 (3-4), 313-320.
- Al-Salama, Y., 2022. Effect of seed priming with ZnO nanoparticles and saline irrigation water in yield and nutrients uptake by wheat plants, *Environmental Sciences Proceedings*, 16 (1), 37.
- Alabay, F., 2019. Kışlık ve yazlık mercimek (*Lens culinaris* Medik.) ekiminde yabancı ot yoğunluğu ile verim ve kalite öğelerinin belirlenmesi, Yüksek lisans tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Alamzeb, M. and Inamullah, 2023. Phosphate solubilizing bacteria improve nodulation, yield and phosphorus uptake in chickpea, *Gesunde Pflanzen*, 75, 549-564.
- Alıcı, S., 1997. Harran ovası koşullarında farklı mercimek (*Lens culinaris* Medic.) çeşitlerinin morfolojik ve tarımsal karakterlerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, Yüksek lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa.
- Ali, A., Ahmad, B., Hussain, I., Ali, A., Shah, A., 2017. Effect of phosphorus and zinc on yield of lentil, *Pure and Applied Biology*, 6 (4), 1397-1402.
- Alotaibi, M.O., Alotibi, M.M., Eissa, M.A., Ghoneim, A.M., 2022. Compost and plant growth-promoting bacteria enhanced steviol glycoside synthesis in stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) plants by improving soil quality and regulating nitrogen uptake, *South African Journal of Botany*, 151 (Part A), 306-314.
- Amarowicz, R., Estrella, I., Hernández, T., Robredo, S., Troszyńska, A., Kosińska, A., Pegg, R.B., 2010. Free-radical scavenging capacity, antioxidant activity, and phenolic composition of green lentil (*Lens culinaris*), *Food Chemistry*, 121 (3), 705-711.
- Amin, M., Ahmad, R., Ali, A., Hussain, I., Mahmood, R., Aslam, M., Lee, D.J., 2016. Influence of silicon fertilization on maize performance under limited water supply, *Silicon*, 10, 177-183.
- Amini, R., 2013. Drought stress tolerance of barley (*Hordeum vulgare* L.) affected by priming with PEG, *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 20 (2), 803-808.
- Amirnia, R., Ghiyasi, M., Moghaddam, S.S., Rahimi, A., Damalas, C.A., Heydarzadeh, S., 2019. Nitrogen-fixing soil bacteria plus mycorrhizal fungi improve seed yield and quality traits of lentil (*Lens culinaris* Medik), *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19, 592-602.
- Anand, A., Nagarajan, S., Verma, A.P.S., Joshi, D.K., Pathak, P.C., Bhardwaj, J., 2012. Pre-treatment of seeds with static magnetic field ameliorates soil water stress in seedlings of maize (*Zea mays* L.), *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*, 49, 63-70.

- Anchra, S., Kaushik, M.K., Choudhary, J., Upadhyay, B., Meena, R.H., Saharan, V., Meena, R.S., Dhayal, S., 2023. Response of different phosphorus, sulphur and zinc levels on yield and economics of lentil cultivation in sub-humid region of Rajasthan, *Annals of Plant and Soil Research*, 25 (1), 133-138.
- Angumeenal, A.R. and Venkappayya, D., 2013. An overview of citric acid production, *LWT – Food Science and Technology*, 50 (2), 367-370.
- Anjum, F., Yaseen, M., Rasool, E., Wahid, A., Anjum, S., 2003. Water stress in barley (*Hordeum vulgare* L.) II. Effect on chemical composition and chlorophyll contents, *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 40 (1-2), 45-49.
- Anjum, M.Z., Hayat, S., Ghazanfar, M.U., Ahmad, S., Adnan, M., Hussain, I., 2020. Does seed priming with *Trichoderma* isolates have any impact on germination and seedling vigor of wheat, *International Journal of Botany Studies*, 5 (2), 65-68.
- Anonim, 2001. Tarımsal değerleri ölçme denemeleri teknik talimatı, yemeklik tane baklagiller tarımsal değerleri ölçme denemeleri-Mercimek (*Lens culinaris* Medik.), (<https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Tescil/Teknik%20Tali%20matlar/Yemeklik%20Tane%20Baklagiller/yemeklik%20tane%20baklagiller.pdf>), (Erişim tarihi: 07.11.2021)
- Anonim, 2013. Tigris mercimek çeşidine ait agronomik, morfolojik, verim, kalite ve teknolojik özellikler, (<https://arastirma.tarimorman.gov.tr/gaputaem/Belgeler/%C3%A7e%C5%9Fit%20belgeleri/t%C3%BCrk%C3%A7e/mercimek/tigris%20tr.pdf>), (Erişim tarihi: 01.11.2021)
- Anonim, 2015. Toprakta fiziksel analizler, (https://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller/Toprakta%20Fiziksel%20Analizler.pdf), (Erişim tarihi: 11.01.2024)
- Anonim, 2023a. Dünyada ve Türkiye’de yemeklik baklagil yetiştiriciliğinin durumu, (<https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20%C3%9Cr%C3%BCn%20Raporlar%C4%B1/2023%20%C3%9Cr%C3%BCn%20Raporlar%C4%B1/Baklagil%20%C3%9Cr%C3%BCn%20Raporu%202023-391%20TEPGE.pdf>), (Erişim tarihi: 10.01.2024)
- Anonim, 2023b. Tarımsal gübre ve ilaç kullanımına ait istatistiki veriler, (<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>), (Erişim tarihi: 05.11.2021)
- Anonim, 2023c. Siirt yöresine ait iklim verileri, (<https://www.mgm.gov.tr/>), (Erişim tarihi: 10.07.2023)
- Anonim, 2023d. Toprak mahsulleri ofisinin 2023 yılı tarımsal ürün alım fiyatları, (248ynamiextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/piyasabulteni/piyasabulteni_tr.pdf), (Erişim tarihi: 27.11.2023)

- Anonim, 2023e. Gübre tavsiyeleri, (249hrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/TOGRAKSU%20G%C3%9CBRE%20TAVS%C4%B0YE%20%20Verileri.pdf), (Erişim tarihi: 16.01.2024)
- Anonymous, 1988. An Economic Training Manual: From agronomic data to farmer recommendations. 1st ed. Mexico, USA: CIMMYT.
- Anuj, K., Brijesh, R., Sudhir, K., 2015. Effects of PGPR, sulphur, and some micronutrients on protein, carbohydrate, and fat contents in lentil (*Lens culinaris*), *Legume Research*, 38 (5), 707-709.
- Anwar, A., Yu, X., Li, Y., 2020. Seed priming as a promising technique to improve growth, chlorophyll, photosynthesis and nutrient contents in cucumber seedlings, *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48 (1), 116-127.
- Aquila, A.D. and Spada, P., 1992. Regulation of protein synthesis in germination wheat embryos under polyethylene glycol and salt stress, *Seed Science Research*, 2, 75-80.
- Aras, S., 2022. Cortical cells, xylem vessels, and chlorophyll biosynthesis improved by acetylsalicylic acid and sodium nitroprusside in peach leaves, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 59 (3), 409-417.
- Arif, M., Ali, S., Shah, A., Javed, N., Rashid, A., 2005. Seed priming maize for improving emergence and seedling growth, *Sarhad Journal of Agriculture*, 21 (4), 539-543.
- Artyszak, A., 2018. Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality-A literature review in Europe, *Plants*, 7 (3), 54.
- Artyszak, A., Gozdowski, D., Kucinska, K., 2014. The effect of foliar fertilization with marine calcite in sugar beet, *Plant, Soil and Environment*, 60, 413-417.
- Artyszak, A. and Kucińska, K., 2016. Silicon nutrition and crop improvement: Recent advances and future perspective. In: D.K. Tripathi, V.P. Singh, P. Ahmad, D.K. Chauhan, S.M. Prasad (Eds) *Silicon in Plants*, 1st edn., CRC Press.
- Aski, M., Mehra, R., Mishra, G.P., Singh, D., Yadav, P., Rai, N., Reddy, V.R.P., MB, A.K., Pandey, R., Singh, M.P., Gayacharan, Bansal, R., Tripathi, K., Udupa, S.M., Kumar, S., Sarker, A., Dikshit, H.K., 2022. Genotypic variation in root architectural traits under contrasting phosphorus levels in Mediterranean and Indian origin lentil genotypes, *PeerJ*, 10, e12766.
- Atar, B., Uygur, V., Sukuşu, E., 2020. Effects of priming with copper, zinc and phosphorus on seed and seedling composition in wheat and barley, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 104-111.
- Atchyuth, V., Chaurasia, A.K., Kiran, J.R., 2021. Impact of organic and inorganic seed priming methods on growth and yield attributes in lentil (*Lens culinaris* L.), *The Pharma Innovation Journal*, 10 (4), 1063-1065.

- Aydın, H., 1991. Diyarbakır koşullarında üç mercimek çeşidinde değişik sıra aralığı mesafelerinin bazı tarımsal özellikler üzerine etkileri, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Ayed, S., Othmani, A., Bouhaouel, I., Rasaa, N., Othmani, S., Amara, H.S., 2022. Effect of silicon (Si) seed priming on germination and effectiveness of its foliar supplies on durum wheat (*Triticum turgidum* L. Ssp. Durum) genotypes under semi-arid environment, *Silicon*, 14, 1731-1741.
- Azarnia, M., Biabani, A., Alamdari, E.G., Gholamalipour, E., Eisvand, H.R., 2020. Effects of seed priming with gibberellic, salicylic acids and mycorrhizal inoculation on lentil (*Lens culinaris* L.) yield and its components, *Legume Research*, 43 (4), 518-523.
- Azarnia, M., Biabani, A., Eisvand, H.R., Alamdari, E.G., Safikhani, S., 2016. Effect of seed priming with gibberellic acid and salicylic acid on germination characteristic and seed and seedlings physiological quality of lentil (*Lens culinaris* L.), *Iranian Journal of Seed Research*, 3 (1), 59-72.
- Azooz, M.M., 2009. Salt stress mitigation by seed priming with salicylic acid in two faba bean genotypes differing in salt tolerance, *International Journal of Agriculture & Biology*, 11(4), 343-350.
- Azzawi, W.A., Gill, M.B., Fatehi, F., Zhou, M., Acuña, T., Shabala, L., Yu, M., Shabala, S., 2021. Effects of potassium availability on growth and development of barley cultivars, *Agronomy*, 11, 2269.
- Baber, K., Jones, C., Miller, P., Lamb, P., Atencio, S., 2023. Lentil nitrogen fixation response to fertilizer and inoculant in the northern Great Plains, *Agronomy Journal*, 115(5), 2614-2630.
- Baccelli, I. and Mauch-Mani, B., 2016. Beta-aminobutyric acid priming of plant defense: The role of ABA and other hormones, *Plant Molecular Biology*, 91, 703-711.
- Baird, J.M., Walley, F.L., Shirliffe, S.J., 2010. Arbuscular mycorrhizal fungi colonization and phosphorus nutrition in organic field pea and lentil, *Mycorrhiza*, 20, 541-549.
- Bajehbaj, A.A., 2010. The effects of NaCl priming on salt tolerance in sunflower germination and seedling grown under salinity conditions, *African Journal of Biotechnology*, 9 (12), 1764-1770.
- Baker, A., Ceasar, S.A., Palmer, A.J., Paterson, J.B., Qi, W., Muench, S.P., Baldwin, S.A., 2015. Replace, reuse, recycle: improving the sustainable use of phosphorus by plants, *Journal of Experimental Botany*, 66 (12), 3523-3540.
- Barbieri, P., Starck, T., Voisin, A.S., Nesme, T., 2023. Biological nitrogen fixation of legumes crops under organic farming as driven by cropping management: A review, *Agricultural Systems*, 205, 103579.

- Barua, R., Bhuiya, M.S.U., Kabir, M.M., Maniruzzaman, S., Ahmed, Z., 2011. Effects of Mimosa (*Mimosa invisa*) compost and phosphorus on the yield and yield components lentil (*Lens culinaris* L.), *The Agriculturists*, 9, 63-72.
- Barulina, H., 1930. Lentils of the USSR and other countries. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding Supplement*, 40, 265.
- Barupal, S., Sharma, R., Kumar, M., Dilta, B.S., Sarma, C.L., Verma, R., Singh, A.K., 2022. Seed priming: A effective method for enhancing seed quality and plant stand establishment in okra (*Abelmoschus esculentus* L.), *The Pharma Innovation Journal*, 11 (2), 1359-1364.
- Basavaraj, G.L., Murali, M., Lavanya, S.N., Amruthesh, K.N., 2019. Seed priming with biotic agents invokes defense response and enhances plant growth in pearl millet upon infection with *Magnaporthe grisea*, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21, 101279.
- Baziramakenga, R., Simard, R.R., Leroux, G.D. 1994. Effects of benzoic and cinnamic acids on growth, mineral composition, and chlorophyll content of soybean, *Journal of Chemical Ecology*, 20, 2821-2833.
- Bekker, T.F., Labuschagne, N., Avelling, T., Kaiser, C., Regnier, T., 2007. Accumulation of total phenolics due to silicon application in roots of avocado trees infected with *Phytophthora cinnamomi*, *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 30, 57-64.
- Belete, S., Bezabih, M., Abdulkadir, B., Tolera, A., Mekonnen, K., Wolde-maskel, E., 2019. Inoculation and phosphorus fertilizer improve food-feed traits of grain legumes in mixed crop-livestock systems of Ethiopia, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 279, 58-64.
- Belkadhi, A., De Haro, A., Soengas, P., Obregon, S., Cartea, M.A., Djebali, W., Chaïbi, W., 2013. Salicylic acid improves root antioxidant defense system and total antioxidant capacities of flax subjected to cadmium, *OMICS: A Journal of Integrative Biology*, 17 (7), 398-406.
- Beltran-Medina, I., Romero-Perdomo, F., Molano-Chavez, L., Gutierrez, A.Y., Silva, A.M.M., Estrada-Bonilla, G., 2023. Inoculation of phosphate-solubilizing bacteria improves soil phosphorus mobilization and maize productivity, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 126, 21-34.
- Berkova, V., Berka, M., Kameniarová, M., Kopecká, R., Kuzmenko, M., Shejbalová, Š., Abramov, D., Čičmanec, P., Frejlichová, L., Jan, N., Brzobohaty, B., Cerny, M., 2023. Salicylic acid treatment and its effect on seed yield and seed molecular composition of *Pisum sativum* under abiotic stress, *International Journal of Molecular Sciences*, 24, 5454.

- Bharadwaj, B., Mishegyan, A., Nagalingam, S., Guenther, A., Joshee, N., Sherman, S.H., Basu, C., 2023. Physiological and genetic responses of lentil (*Lens culinaris*) under flood stress, *Plant stress*, 7, 100130.
- Bi, J., Hou, D., Zhang, X., Tan, J., Bi, Q., Zhang, K., Liu, Y., Wang, F., Zhang, A., Chen, L., Liu, G., Liu, Z., Yu, X., Luo, L., 2021. A novel water-saving and drought-resistance rice variety promotes phosphorus absorption through root secreting organic acid compounds to stabilize yield under water-saving condition, *Journal of Cleaner Production*, 315, 127992.
- Biabani, A., Azarnia, M., Saboori, H., 2015. Effect of salicylic acid pretreatment and various planting depths on emergence and some morpho-physiological characteristics of lentil, *Iranian Journal of Pulses Research*, 6 (2), 31-46.
- Bibi, N., Shah, M.H., Khan, N., Al-Hashimi, A., Elshikh, M.S., Iqbal, A., Ahmad, S., Abbasi, A.M., 2022. Variations in total phenolic, total flavonoid contents, and free radicals' scavenging potential of onion varieties planted under diverse environmental conditions, *Plants*, 11, 950.
- Biçer, B.T. ve Şakar, D., 2003. Diyarbakır koşullarında yeşil mercimek hatlarının bazı morfolojik ve tarımsal karakterlerinin belirlenmesi, *Türkiye 5. Tarla Bitkileri Kongresi*, 13-17 Ekim, Diyarbakır, Türkiye, 508-510.
- Biçer, B.T. and Şakar, D., 2004. Evaluation of some lentil genotypes at different locations in Turkey, *International Journal of Agriculture & Biology*, 6 (2), 317-320.
- Biçer, B.T. ve Şakar, D., 2011. Mercimek (*Lens culinaris* Medik.) hatlarının verim ve verim özellikleri yönünden değerlendirilmesi, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15 (3), 21-27.
- Biju, S., Fuentes, S., Gupta, D., 2017. Silicon improves seed germination and alleviates drought stress in lentil crops by regulating osmolytes, hydrolytic enzymes and antioxidant defense system, *Plant Physiology and Biochemistry*, 119, 250-264.
- Bilal, S., Hazafa, A., Ashraf, I., Alamri, S., Siddiqui, M.H., Ramzan, A., Qamar, N., Sher, F., Naeem, M., 2021. Comparative effect of inoculation of phosphorus-solubilizing bacteria and phosphorus as sustainable fertilizer on yield and quality of mung bean (*Vigna radiata* L.), *Plants*, 10 (10), 2079.
- Bradford, K.J., Steiner, J.J., Trawatha, S.E., 1990. Seed priming influence on germination and emergence of pepper seed lots, *Crop Science*, 30 (3), 718-721.
- Bravin, M.N., Garnier, C., Lenoble, V., Gérard, F., Dudal, Y., Hinsinger P., 2012. Root-induced changes in pH and dissolved organic matter binding capacity affect copper dynamic speciation in the rhizosphere Geochem, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 84, 256-268.
- Bouallegue, A., Souissi, F., Nouairi, I., Souibgui, M., Abbes, Z., Mhadhbi, H., 2019. Physiological and biochemical changes modulated by seeds' priming of lentil

- (*Lens culinaris* L.) under salt stress at germination stage, *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 18 (5), 27-38.
- Cai, H., Chu, Q., Yuan, L., Liu, J., Chen, F., Mi, G., Zhang, F., 2012. Identification of quantitative trait loci for leaf area and chlorophyll content in maize (*Zea mays*) under low nitrogen and low phosphorus supply, *Molecular Breeding*, 30, 251-266.
- Canbolat, M., 2014. Kahramanmaraş koşullarında değişik mercimek (*Lens culinaris*) çeşitlerinde ekim sıklığının verim ve verim unsurları üzerine bir araştırma, Yüksek lisans tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş.
- Carpenter, S.R. and Bennett, E.M., 2011. Reconsideration of the planetary boundary for phosphorus, *Environmental Research Letters*, 6, 1-12.
- Ceritoğlu, M., 2019. Farklı ekim zamanlarında uygulanan vermikompostun mercimek (*Lens culinaris* Medik.)’te verim ve verim öğeleri üzerine etkisi, Yüksek lisans tezi, *Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Siirt.
- Ceritoğlu, M., Çığ, F., Erman, M., 2021. Determination of protocol for optimum PGPR-priming duration in lentil, *The 5th Symposium on EuroAsian Biodiversity*, 1-3 July, Kazakhstan, 190.
- Ceritoğlu, M. and Erman, M., 2020. Mitigation of salinity stress on chickpea germination by salicylic acid priming, *International Journal of Agriculture and Wildlife Science*, 6 (3), 582-591.
- Ceritoğlu, M. and Erman, M., 2021. Effect of silicon priming treatments on germination and some agronomic traits in lentil, 3. *International African Conference On Current Studies*, 27-28 February, Abomey-Calavi, Benin, 436-444.
- Cetner, M.D., Kalaji, H.M., Borucki, W., Kowalczyk, K., 2020. Phosphorus deficiency affects the I-step of chlorophyll a fluorescence induction curve of radish, *Photosynthetica*, 58, 671-681.
- Chahtane, H., Kim, W., Lopez-Molina, L., 2017. Primary seed dormancy: a temporally multilayered riddle waiting to be unlocked, *Journal of Experimental Botany*, 68, 857-869.
- Chandra, A. and Bhatt, R.K., 1998. Biochemical and physiological response to salicylic acid in relation to the systemic acquired resistance, *Photosynthetica*, 35, 255-258.
- Chao, W.L. and Alexander, M., 1982. Influence of soil characteristics on the survival of *Rhizobium* in soils undergoing drying, *Soil Science Society of America Journal*, 46 (5), 949-952.
- Che, J., Yamaji, N., Shao, J.F., Ma, J.F., Shen, R.F., 2016. Silicon decreases both uptake and root-to-shoot translocation of manganese in rice, *Journal of Experimental Botany*, 67 (5), 1535-1544.

- Chen, J., Engbersen, N., Stefan, L., Schmid, B., Sun, H., Schöb, C., 2021. Diversity increases yield but reduces harvest index in crop mixtures, *Nature Plants*, 7, 893-898.
- Chen, Y., Sun, Q., Tu, X., Chen, L., Han, W., Zhang, L., Duan, X., Liu, M., Zheng, H., 2023. Bio-inspired citric acid-based bimetallic photocatalyst for nitrogen fixation from air under ambient conditions, *Journal of Cleaner Production*, 392, 136314.
- Cheng, S., Jiang, J.W., Tan, L.T., Deng, J.X., Liang, P.Y., Su, H., Sun, Z.X., Zhou, Y., 2022. Plant growth-promoting ability of mycorrhizal fusarium strain KB-3 enhanced by its IAA producing *Endohyphal Bacterium*, *Klebsiella aerogenes*, *Frontiers in Microbiology*, 13, 855399.
- Chowdhury, M., Haque, A., Malek, A., Rasel, M., Ahamed, K.U., 2019. Genetic variability, correlation and path coefficient analysis for yield and yield components of selected lentil (*Lens culinaris* M.) genotypes, *Fundamental and Applied Agriculture*, 4(2), 769-776.
- Crippa, I., Barmejo, C., Esposito, M.A., Martin, E.A., Cravero, V., Liberatti, D., Anido, F.S.L., Cointy, E.L., 2009. Genetic variability, correlation and path analyses for agronomic traits in lentil genotypes, *International Journal of Plant Breeding*, 3(2), 76-80.
- Crusciol, C.A.C., Pulz, A.L., Lemos, L.B., Soratto, R.P., Lima, G.P.P., 2009. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato, *Crop Science*, 49 (3), 949-954.
- Cui, J.L., Zhao, Y.P., Chan, T.S., Zhang, L.L., Tsang, D.C., Li, X.D., 2020. Spatial distribution and molecular speciation of copper in indigenous plants from contaminated mine sites: Implication for phytostabilization, *Journal of Hazardous Materials*, 381, 121208.
- Cutt, J.R. and Klessig, D.F., 1992. Salicylic acid in plants. A changing perspective, *Pharmaceutical Technology*, 16, 25-34.
- Çadırcı, H.L., 1986. Mercimeğin çeşitli gelişme dönemlerinde topraktan kaldırdığı besin maddeleri ve büyümesi ile verim arasındaki ilişkiler, Yüksek lisans tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Çakmak, I., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302, 1-17.
- Çakmakçı, R., Dönmez, F., Aydın, A., Şahin, F., 2006. Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions, *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 14827.
- Çakmakçı, R., Erman, M., Kotan, R., Çığ, F., Karagöz, K., Sezen, M., 2010. Growth promotion and yield enhancement of sugar beet and wheat by application of plant growth promotion rhizobacteria, *Proceedings International Conference on Organic*

- Agriculture in Scope of Environmental Problems*, 3-7 February, Famagusta, Cyprus, 198-202.
- Çiftçi, C.Y. ve Adak, M.S., 2009. Yemelik tane baklagiller, H.H. Geçit ve ark. (Eds) Tarla Bitkileri, *Ankara Üniversitesi Basımevi*, Ankara.
- Çiftçi, V., 1998. Van koşullarında mercimeğin (*Lens culinaris* Medik.) fosforlu gübre ihtiyacının belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 4 (1), 12-15.
- Çiftçi, V., Kulaz, H., Geçit, H.H., 1998. Mercimekte (*Lens culinaris* L. Medik) özellikler arası ilişkiler ve path katsayısı analizi üzerine bir araştırma, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 4 (1), 8-11.
- Çiftçi, V. ve Ülker, M., 2001. Kışlık mercimeğin verim ve bazı verim öğelerinde adaptasyon ve stabilite analizleri, *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16 (3), 47-54.
- Çimrin, K.M., Togay, Y., Togay, N., Sönmez, F., 2008. Effects of different sulphur and pyrite levels on yield, yield componets and nutrients uptake of lentil (*Lens culinaris*), *Indian Journal of Agricultural Science*, 78 (6), 543-547.
- Çokkızgın, A., 2007. Güney ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinden toplanan bazı kırmızı mercimek (*Lens culinaris* Medik.) yerel genotiplerinin bitkisel ve tarımsal özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, Doktora tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Çokkızgın, A., Çölkesen, M., Kayhan, K., Aygan, M., 2005. Kahramanmaraş koşullarında değişik kışlık mercimek (*Lens culinaris* Medic.) çeşitlerinde verim ve verim özellikleri üzerine bir araştırma, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (2), 285-290.
- Çölkeşen, M., İdikut, L., Zulkadir, G., Çokkızgın, A., Girgel, Ü., Boylu, Ö.A., 2014. Determination of yield and yield components of various winter lentil genotypes (*Lens culinaris* Medic.) in Kahramanmaraş conditions, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1 (Special Issue-1), 1247-1253.
- Danir, S., Sharafi, S., Gholinezhad, E., 2019. Effect of different levels of drought stress and growth regulators on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), *Iranian Journal of Pulse Research*, 10 (1), 63-74.
- Das, S.K. and Jana, K., 2016. Effect of seed 255ynam-priming and urea spray on yield parameters, yield and quality of lentil (*Lens culinaris* Medikus), *Legume Research*, 39 (5), 830-833.
- Darabi, F., Hatami, A., Zare, M.J., 2014. Plant growth-promoting rhizobacteria improved growth, yield and yield components of lentil (*Lens culinaris* Medic) under shading growing conditions, *International Journal of Biosciences*, 4 (12), 346-352.

- Darabi, F., Hatami, A., Zare, M.J., Naseri, R., 2016. Investigation of important morphological traits and grain yield of lentil under shading and bio-priming, *Iranian Journal of Pulses Research*, 7 (1), 145-160.
- Datta, S.K., Sarker, M.A.R., Uddin, F.M.J., 2013. Effect of variety and level of phosphorus on the yield and yield components of lentil, *International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology*, 3 (1), 78-82.
- Daur, I., Sepetoğlu, H., Sindel, B., 2011. Dynamics of faba bean growth and nutrient uptake and their correlation with grain yield, *Journal of Plant Nutrition*, 34 (9), 1360-1371.
- De Vos, B., Lettens, S., Muys, B., Deckers, J.A., 2007. Walkley–Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty, *Soil Use and Management*, 23 (3), 221-229.
- Delahunty, A., Nuttall, J., Nicolas, M. Brand, J., 2018. Response of lentil to high temperature under variable water supply and carbon dioxide enrichment, *Crop and Pasture Science*, 69 (11), 1103-1112.
- Demirhan, M.H., 2006. Siirt ekolojik koşullarında bazı kışlık mercimek çeşitlerinin çeşit ve adaptasyon özellikleri üzerine araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van.
- Dhaliwal, S.S., Naresh, R.K., Mandal, A., Singh, R., Dhaliwal, M.K., 2019. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review, *Environmental and Sustainability Indicators*, 1 (2), 100007.
- Dikr, W. and Abayechaw, D., 2022. Effects of phosphorus fertilizer on agronomic, grain yield and other physiological traits of some selected legume crops, *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 12 (12), 1-13.
- Ding, W., Clode, P.L., Clements, J.C., Lambers, H., 2018. Effects of calcium and its interaction with phosphorus on the nutrient status and growth of three *Lupinus* species, *Physiologia Plantarum*, 163, 386-398.
- Ding, Y., Luo, W., Xu G., 2006. Characterisation of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice, *Annals of Applied Biology*, 149, 111-123.
- Dinkelaker, B., Römheld, V., Marschner, H., 1989. Citric acid excretion and precipitation of calcium citrate in the rhizosphere of white lupin (*Lupinus albus* L.), *Plant, Cell & Environment*, 12 (3), 285-292.
- Dissanayaka, D.M.S.B., Ghahremani, M., Siebers, M., Wasaki, J., Plaxton, W.C., 2021. Recent insights into the metabolic adaptations of phosphorus-deprived plants, *Journal of Experimental Botany*, 72 (2), 199-223.
- Dixit, G.P., Kumar, A., Parihar, A.K., 2017. Variability for harvest index and varieties, *Legume research*, 40 (6), 1093-1096.

- Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., Okon, Y., 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22, 10749.
- Doğan, Y., Togay, Y., Togay, N., Kulaz, H., 2014. Effect of humic acid and phosphorus applications on the yield and yield components in lentil (*Lens culinaris* Medic.), *Legume Research*, 37 (3), 316-320.
- Dona, W.H.G., Schoenau, J.J., King, T., 2020. Effect of starter fertilizer in seed-row on emergence, biomass and nutrient uptake by six pulse crops grown under controlled environment conditions, *Journal of Plant Nutrition*, 43 (6), 879-895.
- Donald, C.M., 1962. In search of yield, *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*, 28, 171-178.
- Drouillon, M. and Merckx, R., 2003. The role of citric acid as a phosphorus obilization mechanism in highly P-fixing soils, *Gayana Botanica*, 60 (1), 55-62.
- Dutta, A., Trivedi, A., Nath, C.P., Gupta, D.S., Hazra, K.K., 2022. A comprehensive review on grain legumes as climate-smart crops: Challenges and prospects, *Environmental Challenges*, 7, 100479.
- Efthimiadou, A., Katsenios, N., Chanioti, S., Giannoglou, M., Djordjevic, N., Katsaros, G., 2020. Effect of foliar and soil application of plant growth promoting bacteria on growth, physiology, yield and seed quality of maize under Mediterranean conditions, *Scientific Reports*, 10, 21060.
- El-Flaah, R.F., El-Said, R.A.R., Nassar, M.A., Hassan, M., Abdellaal, K., 2021. Effect of Rhizobium, nano silica and ascorbic acid on morpho-physiological characters and gene expression of POX and PPO in faba bean (*Vicia faba* L.) under salinity stress conditions, *Fresenius Environmental Bulletin*, 30 (6), 5751-5764.
- El-Haliem, M.S.A. and El-Mottaleb, H.M.A., 2023. Using phosphate solubilizing bacteria to enhance productivity of two lentil varieties, *Zagazing Journal of Agricultural Research*, 50 (1), 21-28.
- El-Tohamy, W.A., El-Abagy, H.M., Badr, M.A., Gruda, N., 2013. Drought tolerance and water status of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by citric acid application, *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 86, 212-216.
- Ellis, R.H. and Barret, S., 1994. Alternating temperatures and rate of seed germination in lentil, *Annals of Botany*, 74 (5), 519-524.
- Erbaş-Köse, Ö.D., Bozoğlu, H., Mut, Z., 2017. Yozgat koşullarında yetiştirilen yeşil mercimek genotiplerinin verimine ekim sıklığının etkisi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 20 (Özel sayı), 351-355.
- Erman, M., 1992. Van ekolojik koşullarında mercimeğin çeşit ve adaptasyon özellikleri üzerinde araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van.

- Erman, M., 1998. Van ekolojik koşullarında azotlu gübre dozları ve *Rhizobium* aşılmasının bazı kışlık mercimek çeşitlerinde verim ve verim ile ilgili karakterlere etkilerinin araştırılması, Doktora tezi, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van.
- Erman, M., Çığ, F., Bakırtaş, E., 2012. Farklı dozlarda humik asit ve rhizobium bakteri aşılmasının mercimekte verim, verim öğeleri ve nodülasyona etkileri, *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 5 (1), 64-67.
- Erman, M., Çığ, F., Ceritoğlu, F., Ceritoğlu, M., 2021. Evaluation of early stage traits as an indicator of genetic variation in winter lentil, *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 5 (3), 552-559.
- Erman, M., Çığ, F., Ceritoğlu, M., 2022a. Mercimekte çimlenme ve fide gelişimi üzerine optimum PGPB- priming protokolünün belirlenmesi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 62-70.
- Erman, M., Çığ, F., Ceritoğlu, M., 2022b. Van ekolojik koşullarında farklı mercimek çeşitlerinin adaptasyon özelliklerinin belirlenmesi, 5. *Uluslararası Fen Bilimleri ve İnovasyon Kongresi*, 11-12 November, Ankara, Türkiye, 231-241.
- Erman, M., Tepe, I., Bükün, B., Yergin, R., Taşkesen, M., 2008. Critical period of weed control in winter lentil under non-irrigated conditions in Turkey, *African Journal of Agricultural Research*, 3 (8), 523-530.
- Erman, M., Uçar, Ö., Soysal, S., Çığ, F., Ceritoğlu, M., Erden, Z., 2023. Mercimekte kadmiyum toksisitesinin iyileştirilmesinde silisyum ile tohum ön uygulamalarının etkisi, 5. *International Palandoken Scientific Studies Congress*, 18-19 March, Erzurum, Türkiye, 1027-1035.
- Erskine, W., Muehlbauer, F.J., Short, R.W., 1990. Stages of development in lentil, *Experimental Agriculture*, 26(3), 297-302.
- Erskine, W., Tufail, M., Russell, A., Tyagi, M.C., Rahman, M.M., Saena, M.C., 1993. Current and future strategies in breeding lentil for resistance to biotic and abiotic stresses, *Euphytica*, 73, 127-135.
- Eser, D., 1970. Türkiye’de yetiştirilen mercimek çeşitlerinin önemli morfolojik karakterleri üzerine araştırmalar, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, No. 383, 223-280.
- Etesami, H., 2020. Enhanced phosphorus fertilizer use efficiency with microorganisms, In: R. Meena (eds) *Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production*, 1st edn., Springer, Singapore.
- Etesami, H., Jeong, B.R., Glick, B.R., 2018. Silicon (Si): review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 881-896.

- Etesami, H., Jeong, B.R., Glick, B.R., 2021. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi, phosphate-solubilizing bacteria, and silicon to P uptake by plant, *Frontiers in Plant Science*, 12, 699618.
- Ezzat, Z.M., Shabaan, M., Hamdi, A., 2004. Effect of plant density on the performance of three new released lentil varieties, *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 83 (1), 167-175.
- Fageria, N.K., 2012. Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43 (16), 2063-2113.
- Farhat, M.B., Farhat, A., Bejar, W., Kammoun, R., Bouchaala, K., Fourati, A., Antoun, H., Bejar, S., Chouayekh, H., 2009. Characterization of the mineral phosphate solubilizing activity of *Serratia marcescens* CTM 50650 isolated from the phosphate mine of Gafsa, *Archives of Microbiology*, 191, 815-824.
- Farid, M., Ali, S., Saeed, R., Riawan, M., Bukhari, S.A.H., Abbasi, G.H., Hussain, A., Ali, B., Zamir, M.S.I., Ahmad, I., 2019. Combined application of citric acid and 5-aminolevulinic acid improved biomass, photosynthesis and gas 259 dynamics attributes of sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown on chromium contaminated soil, *International Journal of phytoremediation*, 21 (8), 760-767.
- Fariduddin, Q., Hayat, S., Ahmad, A., 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea*, *Photosynthetica*, 41, 281-284.
- Farooq, M., Aziz, T., Basra, S.M.A., Cheema, M.A., Rehman, H., 2008. Chilling tolerance in hybrid maize induced by seed priming with salicylic acid, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194 (2), 161-168.
- Farooq, M., Romdhane, L., Sulti, M.K.R.A., Rehman, A., Al-Busaidi, W.M., 2020. Morphological, physiological and biochemical aspects of osmopriming-induced drought tolerance in lentil, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206 (2), 176-186.
- Fatima, I., Hakim, S., Imran, A., Ahmad, N., Imtiaz, M., Ali, H., Islam, E., Yousaf, S., Mirza, M.S., Mubeen, F., 2022. Exploring biocontrol and growth-promoting potential of multifaceted PGPR isolated from natural suppressive soil against the causal agent of chickpea wilt, *Microbiological Research*, 260, 127015.
- Feng, K., Cai, T., Ding, T., Yan, H., Liu, X., Zhang, Z., 2019. Effects of potassium-solubilizing and photosynthetic bacteria on tolerance to salt stress in maize, *Journal of Applied Microbiology*, 126 (5), 1530-1540.
- Fernandez-Orozco, R., Zieliński, H., Piskula, M.K., 2003. Contribution of low-molecular-weight antioxidants to the antioxidant capacity of raw and processed lentil seeds, *Nahrung*, 47, 291-299.
- Ferrando, M.G., Barbazan, M.M., Garcia, F.O., Mallarino, A.P., 2020. Comparison of the ammonium acetate, Mehlich 3, and sodium tetraphenylboron as extractants to

- evaluate crop available potassium, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51 (8), 997-1005.
- Fiodor, A., Ajijah, N., Dziewit, L., Pranaw, K., 2023. Biopriming of seed with plant growth-promoting bacteria for improved germination and seedling growth, *Frontiers in Microbiology*, 14, 1142966.
- Gahoonia, T.S., Ali, O., Sarker, A., Nielsen, N.E., Rahman, M.M., 2006. Genetic variation in root traits and nutrient acquisition of lentil genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 643-655.
- Gahoonia, T.S., Asmar, F., Giese H., Gissel-Nielsen, G., Nielsen, N.E., 2000. Root-released organic acids and phosphorus uptake of two barley cultivars in laboratory and field experiments, *European Journal of Agronomy*, 12, 281-289.
- Gahoonia, T.S. and Nielsen, N.E., 1992. The effect of root induced pH changes on the depletion of inorganic and organic phosphorus in the rhizosphere, *Plant and Soil*, 143, 185-191.
- Ganguly, S., Roy, A., Murmu, S.K., Sagolsem, D., Sarkar, M., Sen, S., Das, D., Das, C., Chakraborty, P., Bhattacharyya, P.K., Nath, R., Tripathi, K., Sarker, A., Bhattacharyya, S., 2021. Variation in P-acquisition ability and acid phosphatase activity at the early vegetative stage of lentil and their validation on P-deficiency field, *Acta Physiologiae Plantarum*, 43, 109.
- Gent, M.P.N., Parrish, Z.D., White, J.C., 2005. Nutrient uptake among subspecies of *Cucurbita pepo* L. Is related to exudation of citric acid, *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130 (5), 782-788.
- Ghassemi-Golezani, K., Aliloo, A.A., Valizadeh, M., Moghaddam, M., 2008. Effects of hydro and osmo-priming on seed germination and field emergence of lentil (*Lens culinaris* Medik.), *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 36 (1), 29-33.
- Giacalone, A., Gianguzza, A., Orecchio, S., Piazzese, D., Dongarrà, G., Sciarrino, S., Varrica, D., 2005. Metals distribution in the organic and inorganic fractions of soil: A case study on soils from Sicily, *Chemical Speciation & Bioavailability*, 17 (3), 83-93.
- Gimbi, D.M. and Kitabakate, N., 2002. Changes in alpha-and beta-amylase activities during seed germination of African finger millet, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 53 (6), 481-488.
- Giri, G.S. and Schillinger, W.F., 2003. Seed priming winter wheat for germination, emergence, and yield, *Crop Science*, 43 (6), 2135-2141.
- Glick, B.R., 2003. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to cleanup the environment, *Biotechnology Advances*, 21, 383-393.

- Glick, B.R., 2012. Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications, *Scientifica*, 2012, 963401.
- Glick, B.R., 2020. Beneficial Plant-Bacterial Interactions (2nd edn), *Springer Nature Switzerland*, Cham.
- Gollojeh, K.S., Khomari, S., Shekzadeh, P., Sabaghnia, N., Molehbodini, M., 2020. The effect of foliar spray of nano silicone and salicylic acid on physiological traits and seed yield of spring rapeseed at water limitation conditions, *Crop Production*, 12 (4), 137-156.
- Granada, C.E., Passaglia, L.M.P., de Souza, E.M., Sperotto, R.A., 2018. Is phosphate solubilization the forgotten child of plant growth-promoting rhizobacteria? *Frontiers in Microbiology*, 9, 2054.
- Grauer, U.E. and Horst W.J., 1992. Modeling cation amelioration of aluminum phytotoxicity, *Soil Science Society of America Journal*, 56 (1), 166-172.
- Grzeszczuk, M. Salachna, P., Meller, E., 2018. Changes in photosynthetic pigments, total phenolic content, and antioxidant activity of *Salvia coccinea* Buc'hoz Ex Etl. Induced by exogenous salicylic acid and soil salinity, *Molecules*, 23, 1296.
- Güneş A., Inal, A., Alpaslan, M., Cicek, N., Guneri, E., Eraslan, F., Guzelordu, T., 2005. Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.), *Archives of Agronomy and Soil Science*, 51, 687-695.
- Guo, Y., Li, D., Liu, L., Sun, H., Zhu, L., Zhang, K., Zhao, H., Zhang, Y., Li, A., Bai, Z., Tian, L., Dong, H., Li, C., 2022. Seed priming with melatonin promotes seed germination and seedling growth of *Triticale hexaploide* L. under PEG-6000 induced drought stress, *Frontiers in Plant Science*, 13, 932912.
- Guzmán-Ortiz, F.A., Castro-Rosas, J., Gomez-Aldapa, C.A., Mora-Escobedo, R., Rojas-Leon, A., Rodriguez-Marin, M.L., Falfan-Cortes, R.N.; Roman-Gutierrez, A.D., 2019. Enzyme activity during germination of different cereals: A review, *Food Reviews International*, 35 (3), 177-200.
- Hakkoymaz, O., 2018. Konya ekolojik şartlarında farklı zamanlarda ekilen kışlık mercimek çeşitlerinin verim ve bazı fenolojik, morfolojik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. Doktora tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Hamdi, A., El-Ghareib, A.A. Shafey, S.A., Ibrahim, M.A.M., 2003. Genetic variability, heritability and expected genetic advance for earliness and seed yield from selection in lentil, *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 81, 1.
- Han, H., Baik, B.K., 2008. Antioxidant activity and phenolic content of lentils (*Lens culinaris*), chickpeas (*Cicer arietinum* L.), peas (*Pisum sativum* L.) and soybeans (*Glycine max*), and their quantitative changes during processing, *International Journal of Food Science & Technology*, 43, 1971-1978.

- Harris, D., Pathan, A.K., Gothkar, P., Joshi, A., Chivasa, W., Nyamudeza, P., 2001. On-farm seed priming: using participatory methods to revive and refine a key technology, *Agricultural Systems*, 69 (1-2), 151-164.
- Hasanuzzaman, M. and Fotopoulos, V., 2019. Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings: Implication in Plant Stress Tolerance and Enhancing Productivity in Crop Plants (1st edn), *Springer*, Singapore.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I.S., White, P., 2012. Functions of macronutrients. In: P. Marschner (ed) *Functions of Macronutrients, in Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 1st eds., Academic Press, San Diego.
- Hawtin, G.C., Rachie, K.O., Green, J.M., 1977. Breeding strategy dynamic nutritional improvement of pulses, In: J.H. Hulse, K.O. Rachie, L.W. Billingsley (Eds.) *Nutritional Standards and Methods of Evaluation for Food Legume Breeders*, 1st edn., IDRC Press, Ottawa.
- Hayrenzadeh, S., Gitari, H., Rahimi, A., Khiavi, H.K., Hosseinpour, A., 2021. The physiological properties of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in response to mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacterium under irrigation condition, *International Journal of Bioresource Science*, 8 (1), 1-14.
- Heitkötter, J., Niebuhr, J., Heinze, S., Marschner, B., 2017. Patterns of nitrogen and citric acid induced changes in C-turnover and enzyme activities are different in topsoil and subsoils of a sandy Cambisol, *Geoderma*, 292, 111-117.
- Helfenstein, J., Tamburini, F., von Sperber, C., Massey, M.S., Pistocchi, C., Chadwick, O.A., Vitousek, P.M., Kretschmar, R., Frossard, E., 2018. Combining spectroscopic and isotopic techniques gives a dynamic view of phosphorus cycling in soil, *Nature Communications*, 9, 3226.
- Henry, J.L., Slinkard, A.E., Hogg, T.J., 1994. The effect of phosphorus fertilizer on establishment, yield and quality of pea, lentil and faba bean, *Canadian Journal of Plant Science*, 75 (2), 395-398.
- Heydari, M. and Chaichi, M., 2023. Investigating the effect of seed priming on different indicators of emergence and yield of different wheat (*Triticum aestivum*) cultivars, *Journal of Crops Improvement*, 25 (2), 437-449.
- Holopainen, J.K., Virjamo, V., Ghimire, R.P., Blande, J.D., Julkunen-Tiitto, R., Kivimäenpää, M., 2018. Climate change effects on secondary compounds of forest trees in the northern hemisphere, *Frontiers in Plant Science*, 9, 1445.
- Hong-Qiang, Y. and Yu-Ling, J., 2005. Uptake and transport of calcium in plants, *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 31 (3), 227-234.
- Hongna, C., Leyuan, T., Junmei, S., Xiaori, H., 2021. Exogenous salicylic acid signal reveals an osmotic regulatory role in priming the seed germination of *Leymus*

- chinensis* under salt-alkali stress, *Environmental and Experimental Botany*, 188, 1044-98.
- Huang, S.S., Deng, J.S., Chen, H.J., Lin, Y.H., Huang, G.J., 2014. Antioxidant activities of two metallothionein-like proteins from sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam. 'Tainong 57') storage roots and their synthesized peptides, *Botanical Studies*, 55, 64-73.
- Hue, N.V., 1988. A possible mechanism for manganese phytotoxicity in hawaii soils amended with a low-manganese sewage sludge, *Journal of Environmental Quality*, 17 (3), 473-479.
- Hussain, J., Kashyap, P., Prusty, A.K., Dutta, D., Sharma, S.S., Panwar, A.S., Kumar, S., 2019. Effect of phosphorus fertilisation on growth, yield and quality of pea (*Pisum sativum*), *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89 (8), 1303-1307.
- Hussain, M., Shah, S.H., Nazir, M.S., 2002. Differential genotypic response to phosphorus application in lentil (*Lens culinaris* Medic), *International Journal of Agriculture & Biology*, 4 (1), 61-63.
- Hussain, S., Mumtaz, M., Manzoor, S., Shuxian, L., Ahmed, I., Skalicky, M., Brestic, M., Rastogi, A., Ulhassan, Z., Shafiq, I., Allakhverdiev, S.I., Khurshid, H., Yang, W., Liu, W., 2021. Foliar application of silicon improves growth of soybean by enhancing carbon metabolism under shading conditions, *Plant Physiology and Biochemistry*, 159, 43-52.
- Ibrahim, E.A., 2016. Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds, *Journal of Plant Physiology*, 192, 38-46.
- Iqbal, M.A., Khalid, M., Shahzad, S.M., Ahmad, M., Soleman, N., Akhtar, N., 2012. Integrated use of *Rhizobium leguminosarum*, plant growth promoting rhizobacteria and enriched compost for improving growth, nodulation and yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.), *Chilian Journal of Agricultural Research*, 72 (1), 104-110.
- Islam, A.T.M.T., Ullah, H., Himanshu, S.K., Tisarum, R., Cha-um, S., Datta, A., 2022. Effect of salicylic acid seed priming on morpho-physiological responses and yield of baby corn under salt stress, *Scientia Horticulturae*, 304, 111304.
- Islam, M.R., Nessa, B., Haque, M.H., Ahmed, J.U., 2009. Effect of soil flooding stress on morphology and yield of five lentil (*Lens culinaris* Medic.) genotypes, *The IUP Journal of Soil and Water Sciences*, 2 (3), 48-57.
- Ismail, M.A., Amin, M.A., Eid, A.M., Hassan, S.E.D., Mahgoub, H.A.M., Lashin, I., Abdelwahab, A.T., Azab, E., Gobouri, A.A., Elkelish, A., Fouda, A., 2021. Comparative study between exogenously applied plant growth hormones versus metabolites of microbial endophytes as plant growth-promoting for *Phaseolus vulgaris* L, *Cells*, 10, 1059.
- Israel, D.W., 1987. Investigation of the role of phosphorus in symbiotic dinitrogen fixation, *Plant Physiology*, 84 (3), 835-840.

- Jagdish, S. and Seema, S., 2021. Response of lentil (*Lens culinaris* Medik.) to potassium application under deficient soils, *Legume Research*, 44 (11), 1348-1352.
- Jain, H.K., 1971. New plant types in pulses, *Indian farming*, 21 (8), 9-10.
- Janeczko, A., Dziurka, N., Ostrowska, A., Koscielniak, J.B., Koscielniak, J., 2015. Improving vitamin content and nutritional value of legume yield through water and hormonal seed priming, *Legume Research*, 38 (2), 185-193.
- Jarpa-Parra, M., 2018. Lentil protein: A review of functional properties and food application. An overview of lentil protein functionality, *International Journal of Food Science & Technology*, 53 (4), 892-903.
- Janmohammadi, M., Sabaghnia, N., Ahadnezdah, A., 2015. Impact of silicon dioxide nanoparticles on seedling early growth of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes with various origins, *Agriculture & Forestry*, 61 (3), 19-33.
- Jayaprakasha, G.K. and Patil, B.S., 2007. In vitro evaluation of the antioxidant activities in fruit extracts from citron and blood orange, *Food Chemistry*, 101, 410-418.
- Jiajin, Z., Weixiang, W., Yun, L., Wu, X., Wang, X., 2010. Osmopriming-regulated changes of plasma membrane composition and function were inhibited by phenylarsine oxide in soybean seeds, *Journal of Integrative Plant Biology*, 51, 858-867.
- Jin, X., Chen, H., Shi, Y., Bai, L., Hou, L., Zhang, Y., 2021. Effect of citric acid seed priming on the growth and physiological characteristics of tomato seedlings under low phosphorus stress, *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 29 (7), 1159-1170.
- Jinal, H.N., Gopi, K., Kumar, K., Amaresan, N., 2021. Effect of zinc-resistant *Lysinibacillus* species inoculation on growth, physiological properties, and zinc uptake in maize (*Zea mays* L.), *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 6540-6548.
- Jindal, C., Khanna, V., Sharma, P., 2008. Impact of Rhizobium and PSB inoculation on P-economy, symbiotic parameters and yield of lentil (*Lens culinaris* Medikus), *Journal of Research, Punjab Agricultural University*, 45, 1-3.
- Jing, Y.X., Yan, J.N., He, H.D., Yang, D.J., Xiao, L., Zhong, T., Yuan, M., Cai, X.D., Li, S.B., 2014. Characterization of bacteria in the rhizosphere soils of *Polygonum Pubescens* and their potential in promoting growth and Cd, Pb, Zn uptake by *Brassica napus*, *International Journal of Phytoremediation*, 16 (4), 321-333.
- Jinger, D., Dhar, S., Dass, A., Sharma, V.K., Paramesh, V., Parihar, M., Joshi, E., Singhal, V., Gupta, G., Prasad, D., Vijayakumar, S., 2022. Co-fertilization of silicon and phosphorus influences the dry matter accumulation, grain yield, nutrient uptake, and nutrient-use efficiencies of aerobic rice, *Silicon*, 14, 4683-4697.

- Johnson, S.E., Lauren, J.G., Welch, R.M., Duxbury, J.M., 2005. A comparison of the effects of micronutrient seed priming and soil fertilization on the mineral nutrition of chickpea (*Cicer arietinum*), lentil (*Lens culinaris*), rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*) in Nepal, *Experimental Agriculture*, 41 (4), 427-448.
- Jorge, G.L., Kisiala, A., Morrison, E., Aoki, M., Nogueira, A.P.O., Emery, R.J.N., 2019. Endosymbiotic *Methylobacterium oryzae* mitigates the impact of limited water availability in lentil (*Lens culinaris* Medik.) by increasing plant cytokinin levels, *Environmental and Experimental Botany*, 162, 525-540.
- Ju, W., Liu, L., Jin, X., Duan, C., Cui, Y., Wang, J., Fang L., 2020. Co-inoculation effect of plant-growth-promoting rhizobacteria and rhizobium on EDDS assisted phytoremediation of Cu contaminated soils, *Chemosphere*, 126724.
- Kaçar, B., 2015. Genel Bitki Fizyolojisi (1. Basım), *Nobel yayınevi*, Ankara.
- Kaçar, B. ve Katkat, A.V., 2021. Bitki Besleme, 8. Baskı, *Nobel yayınları*, Ankara.
- Kaçar, B., Katkat, A.V., Öztürk, Ş., 2005. Bitki fizyolojisi, 2. Baskı, *Nobel yayınevi*, Ankara.
- Kakiuchi, J. and Kamiji, Y., 2015. Relationship between phosphorus accumulation and dry matter production in soybeans, *Plant Production Science*, 18 (3), 344-355.
- Kalaycı, M., 2005. Örneklerle Jump kullanımı ve tarımsal araştırma için varyans analizi modelleri, *Eskişehir Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Yayınları*, No: 21, Eskişehir.
- Kalyani, M.S.R. and Math, G., 2021. Quality and economics of cowpea as influenced by genotypes, phosphorus levels and liquid based PSB, *International Journal of Chemical Studies*, 9 (1), 2796-2800.
- Kant, S., Pahuja, S.S., Pannu, R.K., 2004. Effect of seed priming on growth and phenology of wheat under late-sown conditions, *Tropical Science*, 44, 9-15.
- Kaplan, G., 2015. Türkiye’de tescil edilmiş bazı mercimek (*Lens culinaris* Medic.) çeşitlerinin Van koşullarında verim ve verim öğelerinin belirlenmesi, Yüksek lisans tezi, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van.
- Karacıl, B., 2015. Mercimek (*Lens culinaris* Medik.)’te topraktan ve yapraktan Fe ve Zn mikro element uygulamasının verim ve tanede mikro besin elementi içeriğine etkisi, Doktora tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır.
- Karadavut, U. and Kavurmacı, Z., 2013. Phenotypic and genotypic correlation for some characters in lentil (*Lens culinaris* Medik.), *Research Journal of Agriculture and Environmental Management*, 2 (1), 365-370.
- Karanam, P.V. and Vadez, V., 2010. Phosphorus coating on pearl millet seed in low P Alfisol improves plant establishment and increases stover more than seed yield, *Experimental Agriculture*, 46 (4), 457-469.

- Kardeş, H., 2019. Kırşehir ekolojik koşullarında ekim sıklığının bazı yeşil mercimek çeşitlerinde (*Lens culinaris* Medic.) verim ve verim öğeleri üzerine etkisi, Yüksek lisans tezi, *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırşehir.
- Kashyap, D. and Siddiqui, Z.A., 2021. Effect of silicon dioxide nanoparticles and *Rhizobium leguminosarum* alone and in combination on the growth and bacterial blight disease complex of pea caused by *Meloidogyne incognita* and *Pseudomonas syringae* pv. pisi, *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 54 (9-10), 499-515.
- Kasuhik, J. and Singh, R., 2022. Effect of levels of Vermi-compost and bio-fertilizers on growth and yield of organic lentil (*Lens culinaris* Medik), *The Pharma Innovation Journal*, 11 (2), 1688-1691.
- Kaur, S., Gupta, A.K., Kaur, N., 2005. Seed priming increases crop yield possibly by modulating enzymes of sucrose metabolism in chickpea, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191 (2), 81-87.
- Kaur, H., Hussain, S.J., Kaur, G., Poor, P., Alamri, S., Siddique, M.H., Khan, M.I.R., 2022. Salicylic acid improves nitrogen fixation, growth, yield and antioxidant defence mechanisms in chickpea genotypes under salt stress, *Journal of Plant Growth Regulation*, 41, 2034-2047.
- Kaya, C., Tuna, L., Higgs, D., 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions, *Journal of Plant Nutrition*, 29 (8), 1469-1480.
- Kayednezami, R., Balouchi, H., Yadavi, A., 2012. Effect of foliar application of salicylic acid on yield and yield components and some physiological traits of lentil (*Lens culinaris* Medik) varieties under salt stress, *Iranian Journal Pulses Research*, 3 (2), 97-110.
- Kayoumu, M., Iqbal, A., Muhammad, N., Li, X., Li, L., Wang, X., Gui, H., Qi, Q., Ruan, S., Guo, R., Zhang, X., Song, M., 2023. Phosphorus availability affects the photosynthesis and antioxidant system of contrasting low-P-tolerant cotton genotypes, *Antioxidants*, 12, 466.
- Keller, C., Rizwan, M., Davidian, J.C., Pokrovsky, O.S., Bovet, N., Chaurand, P., Meunier, J.D., 2015. Effect of silicon on wheat seedlings (*Triticum turgidum* L.) grown in hydroponics and exposed to 0 to 30 μ M Cu, *Planta*, 241, 847-860.
- Keşli, Y., 2009. Farklı hasat zamanları ve kükürt gübrelemesinin mercimeğin (*Lens culinaris* Medik.) verim, verim öğeleri ve aminoasit bileşimine etkisi, Doktora tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Khademi, Z., Jones, D.L., Malakouti, M.J., Asadi, F., 2010. Organic acids differ in enhancing phosphorus uptake by *Triticum aestivum* L.- effects of rhizosphere concentration and counterion, *Plant and Soil*, 334, 151-159.

- Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N., Barzegar, M., 2012. Evaluation of chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters and relationships between chlorophyll a, b and chlorophyll content index under water stress in *Olea europaea* cv. Dezful, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 68, 1154-1157.
- Khalid, M.F., Hussain, S., Anjum, M.A., Ejaz, S., Ahmad, M., Jan, M., Zafar, S., Zakir, I., Ali, M.A., Ahmad, N., Rao, M.J., Ahmad, S., 2019. Hydropriming for plant growth and stress tolerance. In: M. Hasanuzzaman and V. Fotopoulos (Eds.) *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings*, 1st Edn., Springer, Singapore.
- Khalil, S.K., Khan, S., Rahman, A., Khan, A.Z., Khalil, I.H., Amanullah, A., Wahab, S., Mohammad, F., Nigar, S., Zubair, M., Parveen, S., Khan, A., 2010. Seed priming and phosphorus application enhance phenology and dry matter production of wheat, *Pakistan Journal of Botany*, 42 (3), 1849-1856.
- Khan, E. and Gupta, M., 2018. Arsenic–silicon priming of rice (*Oryza sativa* L.) seeds influence mineral nutrient uptake and biochemical responses through modulation of Lsi-1, Lsi-2, Lsi-6 and nutrient transporter genes, *Scientific Reports*, 8, 10301.
- Khan, F., Siddique, A.B., Shabala, S., Zhou, M., Zhao, C., 2023. Phosphorus plays key roles in regulating plants' physiological responses to abiotic stresses, *Plants*, 12 (15), 2861.
- Khan, Z.S., Rizwan, M., Hafeez, M., Ali, S., Adrees, M., Qayyum, M.F., Khalid, S., Zia ur Rehman, M., Sarwar, M.A., 2020. Effects of silicon nanoparticles on growth and physiology of wheat in cadmium contaminated soil under different soil moisture levels, *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 4958-4968.
- Khorassani, R., Hettwer, U., Ratzinger, A., Steingrobe, B., Karlovsky, P., Claassen, N., 2011. Citramalic acid and salicylic acid in sugar beet root exudates solubilize soil phosphorus, *BMC Plant Biology*, 11, 121.
- Khoshr, B., Mitra, D., Nosratabad, A.F., Reyhanitabar, A., Mandal, L., Farda, B., Djebaili, R., Pellegrini, M., Guerra-Sierra, B.E., Senapati, A., Panneerselvam, P., Mohapatra, P.K.D., 2023. Enhancing manganese availability for plants through microbial potential: A sustainable approach for improving soil health and food security, *Bacteria*, 2 (3), 129-141.
- Kibido, T., Kunert, K., Makgopa, M., Greve, M., Vorster, J., 2019. Improvement of rhizobium-soybean symbiosis and nitrogen fixation under drought, *Food and Energy Security*, 9 (1), e177.
- Kim, S.A. and Guerinot, M.L., 2007. Mining iron: Iron uptake and transport in plants, *FEBS Letters*, 581 (12), 2273-2280.
- Kiprotich, K., Muoma, J., Omayio, D.O., Ndombi, T.S., Wekesa, C., 2023. Molecular characterization and mineralizing potential of phosphorus solubilizing bacteria colonizing common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizosphere in western Kenya, *International Journal of Microbiology*, 2023, 6668097.

- Koç, M., 2015. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ekolojik koşullarında bazı kırmızı mercimek (*Lens culinaris* Medik.) çeşit ve hatlarının önemli tarımsal özellikleri yönünden genotip x çevre interaksyonları ve stabilitelerinin belirlenmesi üzerine araştırmalar, Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Koç, A. and Akdeniz, H., 2019. Determination of yield and technological characteristics of some red lentil (*Lens culinaris* medic.) genotypes in Beyazkule-Ceylanpınar aqueous conditions, *Erciyes Journal of Agriculture and Animal Sciences*, 2 (2), 15-20.
- Kolay, B., Gürsoy, S., Özasan, C., Avşar, Ö., Süer, İ.E., Koç, M., 2020. Koruyucu toprak işleme yöntemlerinin uygulandığı buğday-mercimek münavebesinde farklı ilaçlama tekniklerinin etkinliğinin belirlenmesi, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24 (3), 359-371.
- Koski-Vahala, J., Hartikainen, H., Tallberg, P., 2001. Phosphorus mobilization from various sediment pools in response to increased pH and silicate concentration, *Journal of Environmental Quality*, 30 (2), 546-552.
- Kostic, L., Nikolic, N., Bosnic, D., Samardzic, J., Nikolic, M., 2017. Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low P acid soil conditions, *Plant and Soil*, 419, 447-455.
- Kothari, D., Pargaian, N., Tewari, L.M., Dikshit, H.K., Mishra, G.P., Aski, M.S., Bansal, R., Gupta, S., Kumar, S., Nair, R.M., 2023. Genetic variation for traits related to phosphorus use efficiency in *Vigna Species*, *Agronomy*, 13 (2), 305.
- Kuchlan, P. and Kuchlan, M.K., 2023. Effect of salicylic acid on plant physiological and yield traits of soybean, *Legume Research*, 46 (1), 56-61.
- Kumar, A., Maurya, B.R., Raghuwanshi, R., 2014. Isolation and characterization of PGPR and their effect on growth, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum* L.), *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 3 (4), 121-128.
- Kumar, A., Singh, U.M., Manohar, M., Gaur, V.S., 2015. Calcium transport from source to sink: understanding the mechanism(s) of acquisition, translocation, and accumulation for crop biofortification, *Acta Physiologiae Plantarum*, 37, 1722
- Kumar, B., Mehra, K.L., Sapra, R.L., 1983. An investigation on correlation pattern among yield components in lentil, *Lens Newsletter*, 10 (2), 10-12.
- Kumar, J., Basu, P.S., Srivastava, E., Chaturvedi, S.K., Nadarajan, N., Kumar, S., 2012. Phenotyping of traits imparting drought tolerance in lentil. *Crop and Pasture Science*, 63 (6), 547.
- Kumar, M., 2014. Influence of seed priming with urine, phosphorus and zinc on maize (*Zea mays* L.) yield in an acid soil of Northeast India, *Indian Journal of Hill Farming*, 27 (1), 78-80.

- Kumar, P., Agarwal, J.P., Chandra, S., 1993. Effect of inoculation, nitrogen and phosphorus fertilization on growth and yield of lentil, *Lens Newsletter*, 20 (1), 57-59.
- Kumar, R. and Chandra, R., 2008. Influence of PGPR and PSB on *Rhizobium leguminosarum* Bv. *Viciae* strain competition and symbiotic performance in lentil, *World Journal of Agricultural Sciences*, 4 (3), 297-301.
- Kumar, V., Pandita, S., Sidhu, G.P.S., Sharma, A., Khanna, K., Kaur, P., Bali, A.S., Setia, R., 2021. Copper bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: A comprehensive review, *Chemosphere*, 262, 127810.
- Kumari, M., Vasu, D., Ul-Hasan, Z., Dhurwe, U.K., 2009. Effects of PSB (Phosphate Solubilizing Bacteria) morphological on characters of *Lens culinaris* Medic. *Biological Forum – An International Journal*, 1 (2), 5-7.
- Küçükay, A.B., Şener, A., Kaya, M., 2019. Isparta koşullarında yetiştirilen kırmızı mercimek çeşitlerinin verim ve verim öğelerinin belirlenmesi, *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 7 (sp2), 97-102.
- Laishram, B., Singh, T.B., Devi, O.R., Khumukcham, P.S., Ngairangbam, H., 2023. Yield, economics, nutrient uptake and quality of lentil, (*Lens culinaris* L.) as influence by salicylic acid and potassium nitrate under rainfed condition, *Environment and Ecology*, 41 (3A), 1591-1596.
- Lambers, H., 2022. Phosphorus acquisition and utilization in plants, *Annual Review of Plant Biology*, 73, 17-42.
- Laranjeira, S., Reis, S., Torcato, C., Raimundo, F., Ferreira, L., Carnide, V., Fernandes-Silva, A., Marques, G., 2022. Use of plant-growth promoting rhizobacteria and mycorrhizal fungi consortium as a strategy to improve chickpea (*Cicer arietinum* L.) productivity under different irrigation regimes, *Agronomy*, 12 (6), 1383.
- Lätt, K., 2019. Mineral elements in clover- and grass forage in Sweden, Master thesis, *Swedish University Institute of Animal Nutrition and Management*, Uppsala, Switzerland.
- Lavakush, Yadav, J., Verma, J.P., Jaiswal, D.K., Kumar, A., 2014. Evaluation of PGPR and different concentration of phosphorus level on plant growth, yield and nutrient content of rice (*Oryza sativa*), *Ecological Engineering*, 62, 123-128.
- Lee, K.D., 2009. The low root zone temperature effects on nitrogen fixation, growth, and antioxidant responses of lentil inoculated with *Rhizobium leguminosarum*, *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 52, 688-693
- Lee, S.S. and Kim, J.H., 2000. Total sugars, α -amylase activity, and germination after priming of normal and aged rice seeds, *Korean Journal of Crop Science*, 45 (2), 108-111.

- Lhungdim, J., Chongtham, S.K., Koireng, R.J., Neupane, M.P., 2014. Seed invigoration and yield of lentil (*Lens culinaris* Medikus) through seed priming under different seeding rates, *Environment & Ecology*, 32 (2), 527-531.
- Li, D.P. and Wu, Z.J., 2008. Impact of chemical fertilizers application on soil ecological environment, *The Journal of Applied Ecology*, 19 (5), 1158-1165.
- Li, H., Chen, Z., Zhou, T., Liu, Y., Raza, S., Zhou J., 2018. Effects of high potassium and low temperature on the growth and magnesium nutrition of different tomato cultivars, *Horticultural Science*, 53, 710-714.
- Li, H., Wu, Y., Tang, W., Fang, B., Luo, P., Yang, L., Jiang, Q., 2022. A manganese-oxidizing bacterium-*Enterobacter hormaechei* strain DS02Eh01: Capabilities of Mn(II) immobilization, plant growth promotion and biofilm formation, *Environmental Pollution*, 309, 119775.
- Li, J., Pan, J., Najeeb, U., El-Beltagi, H.S., Huang, Q., Lu, H., Xu, L., Shi, B., Zhou, W., 2023. Promotive role of 5-aminolevulinic acid or salicylic acid combined with citric acid on sunflower growth by regulating manganese absorption, *Antioxidants*, 12 (3), 580.
- Li, Q., Ma, C., White, J.C., Xing, B., 2021. Effects of phosphorus ensembled nanomaterials on nutrient uptake and distribution in *Glycine max* L. under simulated precipitation, *Agronomy*, 11 (6), 1086.
- Li, Z., Xu, J., Gao, Y., Wang, C., Guo, G., Luo, Y., Huang, Y., Hu, W., Sheteiwy, M.S., Guan, Y., Hu, J., 2017. The synergistic priming effect of exogenous salicylic acid and H₂O₂ on chilling tolerance enhancement during maize (*Zea mays* L.) seed germination. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1153.
- Liang, G., 2022. Iron uptake, signaling, and sensing in plants, *Plant Communications*, 3 (5), 100349.
- Liu, A., Contador, C.A., Fan, K., Lam, H.M., 2018. Interaction and regulation of carbon, nitrogen, and phosphorus metabolisms in root nodules of legumes, *Frontiers in Plant Science*, 9, 1860.
- Liu, P., Yan, H., Xu, S., Lin, X., Wang, W., Wang, D., 2022b. Moderately deep banding of phosphorus enhanced winter wheat yield by improving phosphorus availability, root spatial distribution, and growth, *Soil and Tillage Research*, 220, 105388.
- Liu, W., Yin, D., Li, N., Hou, X., Wang, D., Li, D., Liu, J., 2016. Influence of environmental factors on the active substance production and antioxidant activity in *Potentilla fruticosa* L. and its quality assessment, *Scientific Reports*, 6, 28591.
- Liu, X., Quan, W., Bartels, D., 2022a. Stress memory responses and seed priming correlate with drought tolerance in plants: An overview, *Planta*, 255, 45.

- Liu, Y., Wu, L., Baddeley, J.A., Watson, C.A., 2011. Models of biological nitrogen fixation of legumes. In: E. Lichtfouse, M. Hamelin, M. Navarrete, P. Debaeke (Eds.) *Sustainable Agriculture Volume 2*, 1st eds., Springer, Dordrecht.
- Liu, Y.H., Kumar, S., Kwag, J.H., Ra, C., 2013. Magnesium ammonium phosphate formation, recovery and its application as valuable resources: A review, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 88, 181-189.
- Loudari, A., Mayane, A., Zeroual, Y., Colinet, G., Oukarroum, A., 2022. Photosynthetic performance and nutrient uptake under salt stress: Differential responses of wheat plants to contrasting phosphorus forms and rates, *Frontiers in Plant Science*, 13, 1038672.
- Lu, Z., Wang, Y., Degryse, F., Huang, C., Hou, C., Wu, L., Jiang, R., McLaughlin, M.J., Zhang, F., 2022. Magnesium-fortified phosphate fertilizers improve nutrient uptake and plant growth without reducing phosphorus availability, *Pedosphere*, 32 (5), 744-751.
- Luthra, S.K. and Sharma, P.C., 1990. Corelation and Path analysis in lentil. *Lens Newsletter*, 17 (2), 5-8.
- Luyckx, M., Hausman, JF., Guerriero, G., Lutts, S., 2023. Silicon reduces zinc absorption and triggers oxidative tolerance processes without impacting growth in young plants of hemp (*Cannabis sativa* L.), *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 943-955.
- MacDonald, G.K., Bennett, E.M., Potter, P.A., Ramankutty, N. 2011. Agronomic phosphorus imbalances across the world's croplands, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 3086-3091.
- Maghsoudi, K., Emam, Y., Pessarakli, M., 2016. Effect of silicon on photosynthetic gas 271ynamics, photosynthetic pigments, cell membrane stability and relative water content of different wheat cultivars under drought stress conditions, *Journal of Plant Nutrition*, 39 (7), 1001-1015.
- Mahboob, W., Rehman, H., Basra, S.M.A., Afzal, I., Abbas, M.A., Naeem, M., Sarwar, M., 2015. Seed priming improves the performance of late sown spring maize (*Zea mays*) through better crop stand and physiological attributes, *International Journal of Agriculture & Biology*, 17, 491-498.
- Mairura, F., Mugendi, D., Mwanje, J., Ramisch, J., Mbugua, P., Chianu, J., 2007. Integrating scientific and farmers' evaluation of soil quality indicators in Central Kenya, *Geoderma*, 139, 134-143.
- Makwana, T. and Patel, V., 2022. Effect of seed priming with salicylic acid on Antioxidant potential and enzyme inhibitory activity of moth beans (*Vigna aconitifolia*), *Journal of Postharvest Technology*, 10 (1), 52-61.
- Malhotra, H., Vandana, H., Sharma, S., Pandey, R., 2018. Phosphorus nutrition: Plant growth in response to deficiency and excess. In: M. Hasanuzzaman, M. Fujita, H.

- Oku, K. Nahar, B. Hawrylak-Nowak (Eds.) *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*. 1st edn., Springer, Singapore.
- Mallhi, Z.I., Rizwan, M., Mansha, A., Ali, Q., Asim, S., Ali, S., Hussain, A., Alrokayan, S.H., Khan, H.A., Alam, P., Ahmad, P., 2019. Citric acid enhances plant growth, photosynthesis, and phytoextraction of lead by alleviating the oxidative stress in castor beans, *Plants*, 8, 525.
- Malik, A.I., Ailewe, T.I., Erskine, W., 2015. Tolerance of three grain legume species to transient waterlogging, *AoB Plants*, 7, plv040.
- Maqsood, M., Zamir, M.S.I., Ali, R., Wazid, A., Yousaf, N., 2000. Effect of different phosphorous levels on growth and yield performance of lentil (*Lens culinaris* Medik), *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3, 523-524.
- Martinez-Pacheco, M.M., Flores-Garcia, A., Venegas-Gonzalez, E., Cepeda-Villegas, M.A., 2011. Effect of citric acid on the proteolytic activity of *Zea mays* L., *Ciência e Agrotecnologia*, 35 (5), 908-915.
- Masciandaro, G., Macci, C., Peruzzi, E., Ceccanti, B., Doni, S., 2013. Organic matter–microorganism–plant in soil bioremediation: A synergic approach, *Reviews in Environmental Science and BioTechnology*, 12, 399-419.
- Masood, S., Zhao, X.Q., Shen, R.F., 2020. *Bacillus pumilus* promotes the growth and nitrogen uptake of tomato plants under nitrogen fertilization, *Scientia Horticulturae*, 272, 109581.
- Masrahi, A.S., Alasmari, A., Shahin, M.G., Qumsani, A.T., Oraby, H.F., Awad-Allah, M.M.A., 2023. Role of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria in improving yield, yield components, and nutrients uptake of barley under salinity soil, *Agriculture*, 13 (3), 537.
- Mateo, A., Mühlenbock, P., Rusterucci, C., Chang, C.C., Miszalski, Z., Karpinska, B., Parker, J.E., Mullineaux, P.M., Karpinski, S., 2004. Lesion Simulating Disease1 is required for acclimation to conditions that promote excess excitation energy, *Plant Physiology*, 136, 2818-2830.
- Materne, M. and Siddique, K.H.M., 2009. Agroecology and Crop Adaptation, In: W. Erskine, F.J. Muehlbauer, A. Sarker, B. Sharma (Eds.) *The Lentil: Botany, Production and Uses*, 1st edn., CAB International, Cambridge.
- Mauch-Mani, B., Baccelli, I., Luna, E., Flors, V., 2017. Defense priming: An adaptive part of induced resistance, *Annual Review of Plant Biology*, 68, 485-512.
- Mazhar, M.W., Ishtiaq, M., Maqbool, M., Akram, R., 2022. Seed priming with Calcium oxide nanoparticles improves germination, biomass, antioxidant defence and yield traits of canola plants under drought stress, *South African Journal of Botany*, 151 (Part A), 889-899.

- McCauley, A.M., Jones, C.A., Miller, P.R., Burgess, M.H., Zabinski, C.A., 2012. Nitrogen fixation by pea and lentil green manures in a semi-arid agroecoregion: effect of planting and termination timing, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 92, 305-314.
- McDonald, M.B., 2000. Seed priming. In: M. Black and J.D. Bewley (Eds.) *Seed Technology and Its Biological Basis*, 1st Edn., Sheffield Academic Press, Sheffield.
- McLaughlin, S.B. and Wimmer, R., 1999. Calcium physiology and terrestrial ecosystem processes, *New Phytologist*, 142, 373-417.
- Meena, M., Swapnil, P., Divyanshu, K., Kumar, S., Haris, S., Tripathi, Y.N., Zehra, A., Marwal, A., Upadhyay, S., 2020. PGPR-mediated induction of systemic resistance and physiochemical alterations in plants against the pathogens: Current perspectives, *Journal of Basic Microbiology*, 60 (10), 828-861.
- Mehrabanjoubani, P., Abdolzadeh, A., Sadeghipour, H.R., Aghdasi, M., 2015. Silicon affects transcellular and apoplastic uptake of some nutrients in plants, *Pedosphere*, 25 (2), 192-201.
- Melotto, M., Underwood, W., Koczan, J., Nomura, K, He, S.Y., 2006. Plant stomata function in innate immunity against bacterial invasion, *Cell*, 126, 969-980.
- Mfilinge, A., Mtei, K., Ndakidemi, P., 2014. Effect of Rhizobium inoculation and supplementation with phosphorus and potassium on growth and total leaf chlorophyll (Chl) content of bush bean *Phaseolus vulgaris* L., *Agricultural Sciences*, 5 (14), 52336.
- Mickky, B.M., 2022. Seed priming as a strategy to improve wheat productivity under abiotic stress: Global meta-analysis, *Journal of Plant Growth Regulation*, 41, 1397-1410.
- Miljakovic, D., Marinkovic, J., Tamindzic, G., Dordevic, V., Tintor, B., Milosevic, D., Ignjatov, M., Nikolic, Z., 2022. Bio-priming of soybean with *Bradyrhizobium japonicum* and *Bacillus megaterium*: strategy to improve seed germination and the initial seedling growth, *Plants*, 11 (15), 1927.
- Miraj, G., 2012. Response of maize to phosphorus seed priming, Ph.D. thesis, *The University of Agriculture, Peshawar Khyber Pakhtunkhwa*, Pakistan.
- Miraj, G., Shah, H.U., Arif, M., 2013. Priming maize (*Zea mays*) seed with phosphate solutions improves seedling growth and yield, *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 23 (3), 893-899.
- Mishra, B.K., Srivastava, J.P., Lal, J.P., Sheshshayee, M.S., 2016. Physiological and biochemical adaptations in lentil genotypes under drought stress, *Russian Journal of Plant Physiology*, 63, 695-708.
- Misra, N. and Saxena, P., 2009. Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress, *Plant Science*, 177 (3), 181-189.

- Misuthova, A., Slovakova, L., Kollarova, K., Vaculik, M., 2021. Effect of silicon on root growth, ionomics and antioxidant performance of maize roots exposed to As toxicity, *Plant Physiology and Biochemistry*, 168, 155-166.
- Mitran, T., Meena, R.S., Lal, R., Layek, J., Kumar, S., Datta, R., 2018. Role of soil phosphorus on legume production. In: R. Meena, A. Das., G. Yadav, R. Lal (Eds.) *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*, Springer, Singapore.
- Moenirad, A., Zeinali, E., Galeshi, S., Soltani, A., Eganepour, F., 2021. Investigation of fluorescence chlorophyll sensitivity, chlorophyll index, rate of chlorophyll (a, b), nitrogen concentration and nitrogen nutrition index under nitrogen and phosphorus nutrition in wheat, *Crop Production*, 14 (1), 1-18.
- Mohammadi, M., Fatimi, H., Majd, A., 2010. The comparative effects of salicylic acid and gibberellin on seed germination of the lentil (*Lens culinaris* L.), *Biology Journal*, 4 (4), 33-44.
- Moradi, S.A. and Mozafari, A., 2020. Investigation on the effect of seed priming with rhizobium bioinoculant and plant growth promoting rhizobacteria on chlorophyll, nutrients and grain yield in lentil under rainfed condition, *Plant Physiology*, 12 (41), 258-270.
- More, K.P., 1992. Determination of phosphorus in plant tissue by colorimeter. Plant analysis reference procedures 274dynamic Southern Region of the United States. Southern cooperative series bulletin no. 368, *The University of Georgia Crops and Soil Science Dept.* Athens, GA.
- Moretti, L.G., Crusciol, C.A.C., Kuramae, E.E., Bossolani, J.W., Moreira, A., Costa, N.R., Alves, C.J., Pascoaloto, I.M., Rondina, A.B.L., Hungria, M., 2019. Effects of growth-promoting bacteria on soybean root activity, plant development, and yield, *Agronomy Journal*, 112 (1), 418-428.
- Mowafy, A.M., Khalifa, S., Elsayed, A., 2023. *Brevibacillus deserti* YSK and *Rhizobium* MAP7 stimulate the growth and pigmentation of *Lactuca sativa* L., *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 21, 17.
- Muhammad, I., Kolla, M., Volker, R., Günter, N., 2015. Impact of nutrient seed priming on germination, seedling development, nutritional status and grain yield of maize, *Journal of Plant Nutrition*, 38 (12), 1803-1821.
- Munir, T., Rizwan, M., Kashif, M., Shahzad, A., Ali, S., Amin, A., Zahid, R., Alam, M.F.E., Imran, M., 2018. Effect of zinc oxide nanoparticles on the growth and Zn uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) by seed priming method, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 13 (4), 315-323.
- Murungu, F.S., Chiduza, C., Nyamugafata, P., Clark, L.J., Whalley, W.R., Finch-Savage, W.E., 2004. Effects of 'on-farm seed priming' on consecutive 274ynam sowing

- occasions on the emergence and growth of maize in semi-arid Zimbabwe, *Field Crops Research*, 89 (10), 49-57.
- Müftüoğlu, N.M., Türkmen, C., Çıkılı, Y., 2014. Toprak ve Bitkide Verimlilik Analizleri, 2. Basım, *Nobel yayınları*, Ankara.
- Najafabadi, M.Y. and Ehsanzadeh, P., 2017. Salicylic acid effects on osmoregulation and seed yield in drought-stressed sesame, *Agronomy Journal*, 109 (4), 1414-1422.
- Nare, L., Singh, T., Chack, S., Sahu, S., Golhani, P., 2022. Response of phosphorus levels and varieties on growth, yield and quality of lentil (*Lens culinaris* Medikus.), *The Pharma Innovation Journal*, 11 (8), 1796-1800.
- Nascimento, W.M., 2003. Muskmelon seed germination and seedling development in response to seed priming, *Crop Science*, 60 (1), 71-75.
- Nasrallah, A.K., Atia, M.A.M., Abd El-Maksoud, R.M., Kord, M.A., Fouad, A.S., 2022. Salt priming as a smart approach to mitigate salt stress in faba bean (*Vicia faba* L.), *Plants*, 11, 1610.
- Nasrollahzadeh, S., Mamnabi, S., Ghassemi-Golezani, K., Raei, Y., Weisany, W., 2023. PGPR and vermicompost with reduced chemical fertilizer enhances biodiesel production, nutrient uptake and improve oil composition of rapeseed grown under water deficit stress, *South African Journal of Botany*, 159, 17-25.
- Nedunchezhiyan, V., Velusamy, M., Subburamu, K., 2020. Seed priming to mitigate the impact of elevated carbon dioxide associated temperature stress on germination in rice (*Oryza sativa* L.), *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66 (1), 83-95.
- Nichiporovich, A.A., 1960. Photosynthesis and theory of obtaining high crop yields, *Field Crop Abstract*, 13, 169-175.
- Nicholls, J.W.F., Chin, J.P., Williams, T.A., Lenton, T.M., O'Flaherty, V., McGrath, J.W., 2023. On the potential roles of phosphorus in the early evolution of energy metabolism, *Frontiers in Microbiology*, 14, 1239189.
- Nile, S.H., Thiruvengadam, M., Wang, Y., Samyathan, R., Shariati, M.A., Rebezov, M., Nile, A., Sun, M., Venkidasamy, B., Xiao, J., Kai, G., 2022. Nano-priming as emerging seed priming technology for sustainable agriculture-recent developments and future perspectives, *Journal of Nanobiotechnology*, 20, 254.
- Niri, H.H., Tobeh, A., Gholipouri, A., Zakaria, R.A., Mostafaei, H., Somarin, S.J., 2010. Effect of nitrogen and phosphorous on yield and protein content of lentil in dryland condition, *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental*, 8 (2), 185-188.
- Nitu, R., Rajinder, K., Sukhminderjit, K., 2020. Zinc solubilizing bacteria to augment Soil Fertility – A Comprehensive Review, *International Journal of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine*, 8 (1), 38-44.

- Nivetha, N., Lavanya, A.K., Vikram, K.V., Asha, A.D., Sruthi, K.S., Bandeppa, S., Annapurna, K., Paul, S., 2021. PGPR-mediated regulation of antioxidants: prospects for abiotic stress management in plants. In: H.B. Singh, A. Vaishnav, R. Sayyed (Eds) *Antioxidants in Plant-Microbe Interaction*. Springer, Singapore.
- Nyachiro, J.M., Briggs, K.G., Hoddinott, J., Johnson-Flanagan, A.M., 2001. Chlorophyll content, chlorophyll fluorescence and water deficit in spring wheat. *Cereal Research Communications*, 29, 135-142.
- Nyoki, D. and Ndakidemi, P.A., 2014. Effects of phosphorus and *Bradyrhizobium japonicum* on growth and chlorophyll content of cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp), *American Journal of Experimental Agriculture*, 4, 1120-1136.
- Ohno, T. and Grunes D.L., 1985. Potassium-magnesium interactions affecting nutrient uptake by wheat forage, *Soil Science Society of America Journal*, 49, 685-690.
- Olsen, R.A. and Brown, J.C., 1980. Factors related to iron uptake by dicotyledonous and monocotyledonous plants. I. pH and reductant, *Journal of Plant Nutrition*, 2 (6), 629-645.
- Orduna, R.M., 2010. Climate change associated effects on grape and wine quality and production, *Food Research International*, 43 (7), 1844-1855.
- Owino-Gerroh, C. and Gascho, G.J., 2005. Effect of silicon on low ph soil phosphorus sorption and on uptake and growth of maize, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35 (15), 2369-2378.
- Öktem, A.G., 2016. Şanlıurfa koşullarında yetiştirilen bazı kırmızı mercimek (*Lens culinaris* Medik.) genotiplerinin verim ve verim öğelerinin belirlenmesi, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5 (1), 27-34.
- Öktem, A.G., Nacar, A.S., Öktem, A., 2017. Sıvı olarak toprağa uygulanan hümik asit miktarlarının kırmızı mercimek bitkisinde (*Lens culinaris* Medic.) verim ve bazı verim unsurlarına etkisi, *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26 (Özel Sayı), 119-124.
- Pakbaz, N., Barary, M., Mehrabi, A.A., Hatami, A., 2014. Effect of seed priming on growth and yield of lentil (*Lens culinaris* L.) genotypes under rainfed and supplemental irrigation conditions, *International Journal of Biosciences*, 5 (9), 131-139.
- Pakbaz, N., Barary, M., Mehrabi, A.A., Hatami, A., 2015. Effects of seed priming on morphophenological and yield characteristics of different lentil genotypes (*Lens culinaris* L.) under rain-fed and supplemental irrigation conditions, *Journal of Crop Ecophysiology*, 32 (4), 535-552.
- Palma, F., Lopez-Gomez, M., Tejera, N.A., Lluch, C., 2013. Salicylic acid improves the salinity tolerance of *Medicago sativa* in symbiosis with *Sinorhizobium meliloti* by preventing nitrogen fixation inhibition, *Plant Science*, 208, 75-82.

- Palmer, S.M., Winham, D.M., Oberhauser, A.M., Litchfield, R.E., 2018. Socio-ecological barriers to dry grain pulse consumption among low-income women: A mixed methods approach, *Nutrients*, 10 (8), 1108.
- Pancheva, T.V. and Popova, L.P., 1998. Effect of the salicylic acid on the synthesis of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in barley leaves, *Plant Physiology*, 152, 381-386.
- Pandey, A.K., Sengar, R.S., 2020. Effect of salt stress on salt tolerant indices of morpho-physiological traits and yield attributes of lentil (*Lens culinaris* Medik.), *International Journal of Chemical Studies*, 8 (1), 2292-2301.
- Pandey, M.K., Verma, A., Kumar, P., 2016. Effect of integrated phosphorus management on growth, yield and quality of lentil (*Lens culinaris*), *Indian Journal of Agricultural Research*, 50 (3), 238-243.
- Pang, J., Ryan, M.H., Lambers, H., Siddique, K.H.M., 2018. Phosphorus acquisition and utilisation in crop legumes under global change, *Current Opinion in Plant Biology*, 45 (Part B), 248-254.
- Paparella, S., Araújo, S.S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D., Balestrazzi, A., 2015. Seed priming: state of the art and new perspectives, *Plant Cell Reports*, 34, 1281-1293.
- Parikh, B. and Patel, V.H., 2018. Total phenolic content and total antioxidant capacity of common Indian pulses and split pulses, *Journal of Food Science and Technology*, 55, 1499-1507.
- Parveen, K. and Bhuiya, M.S.U., 2010. Effect of method of sowing and seed rate on the yield and yield components of lentil, *Journal of Agroforestry and Environment*, 4 (1), 155-157.
- Patel, V., Sengar, S.S., Singh, R.K., Singh, A.K., Kumar, R., Singh, O., 2020. Primary nutrient content and its uptake in little millet (*Panicum sumatrense*) as influenced by different nutrient management and seed priming, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9 (4), 1228-1233.
- Pati, S., Pal, B., Badole, S., Hazra, G.C., Mandal, B., 2016. Effect of silicon fertilization on growth, yield, and nutrient uptake of rice, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47 (3), 284-290.
- Patil, A.A., Durgude, A.G., Pharande, A.L., 2018. Effect of silicon application along with chemical fertilizers on nutrient uptake and nutrient availability for rice plants, *International Journal of Chemical Studies*, 6 (1), 260-266.
- Pena-Cabriaes, J.J., Alexander, M., 1983. Growth of Rhizobium in soil amended with organic matter, *Soil Science Society of America Journal*, 47 (2), 241-245.
- Penn, C.J. and Camberato, J.J., 2019. A critical review on soil chemical processes that control how soil ph affects phosphorus availability to plants, *Agriculture*, 9 (6), 120.

- Perez-Labrada, F., Benavides-Mendoza, A., Juárez-Maldonado, A., Solís-Gaona, S., González-Morales, S., 2023. Effects of citric acid and humic-like substances on yield, enzyme activities, and expression of genes involved in iron uptake in tomato plants, *Horticulturae*, 9, 630.
- Perez-Labrada, F., Benavides-Mendoza, A., Valdez-Aguilar, L.A., Robledo-Torres, V., 2016. Citric acid in the nutrient solution increases the mineral absorption in potted tomato grown in calcareous soil, *Pakistan Journal of Botany*, 48 (1), 67-74.
- Pezeshkpour, P., Amiri, R., Namdari, A., 2023. Study of agronomic traits and their relationship in promising lentil lines under rain-fed conditions, *Environmental Stresses in Crop Science*, 16 (1), 35-51.
- Phares, C.A., Amoakwan, E., Danguah, A., Afrifa, A., Beway, L.R., Frimpong, K.A., 2022. Biochar and NPK fertilizer co-applied with plant growth promoting bacteria (PGPB) enhanced maize grain yield and nutrient use efficiency of inorganic fertilizer, *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100434.
- Plesniar, M., Kastori, R., Petrovic, N., Pankovic, D., 1994. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence in sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaves as affected by phosphorus nutrition, *Journal of Experimental Botany*, 45 (7), 919-924.
- Podile, A.R. and Kishore, G.K., 2006. Plant growth promoting rhizobacteria, S.S. Gnanamanickam (Ed) *Plant Associated Bacteria*, 1st edn., Springer, Dordrecht.
- Pramod, S., Arun, B., Rajesh, K., 2022. Influence of seed biopriming with microbial inoculants on seed quality parameters in soybean [*Glycine max* (L.) merrill], *Legume Research*, 45 (9), 1171-1177.
- Prasad, M., Srinivasan, R., Chaudhary, M., Choudhary, M., Jat, L.K., 2019. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable agriculture: Perspectives and challenges, *Food Security and Environmental Management*, 2019, 129-157.
- Printz, B., Lutts, S., Hausman, J.F., Sergeant, K., 2016. Copper trafficking in plants and its implication on cell wall dynamics, *Frontiers in Plant Science*, 7, 601.
- R Core Team, 2018. R Core TeamR: A language and environment for statistical computing URL, *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria.
- Raghothama, K.G., 2005. Phosphorus and plant nutrition: An overview, In: T. Sims, A.N. Sharpley (Eds.) *Phosphorus: Agriculture and the Environment*, 1st edn., Wiley, USA.
- Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, K., Bally, J., Job, C., Job, D., 2012. Seed germination and vigor, *Annual Review of Plant Biology*, 63, 507-533
- Rakshit, A. and Singh, H.B., 2018. Advances in Seed Priming. A. Rakshit, H.B. Singh (Eds) *Springer*, Singapore.

- Rampal, P. and Mphil, 2018. An analysis of protein consumption in India through plant and animal sources, *Food and Nutrition Bulletin*, 39 (4), 564-580.
- Ranade-Malvi, U., 2011. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium, *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 24 (1), 106-109.
- Rasheed, M., Jilani, G., Shah, I.A., Najeeb, U., Iqbal, T., 2010. Improved lentil production by utilizing genetic variability in response to phosphorus fertilization, *Plant and Soil Sciences*, 60, 485-493.
- Rashid, A. and Bughio, N., 1993. Evaluating internal phosphorus requirement of rapeseed, chickpea, lentil, and wheat by seed analysis, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24 (11-12), 1359-1369.
- Ray, H., Bett, K., Tar'an, B., Vandenberg, A., Thavarajah, D., Warkentin, T., 2014. Mineral micronutrient content of cultivars of field pea, chickpea, common bean, and lentil grown in Saskatchewan, Canada, *Crop Science*, 54 (4), 1698-1708.
- Recena, R., Garcia-Lopez, A.M., Delgado, A., 2021. Zinc uptake by plants as affected by fertilization with Zn sulfate, phosphorus availability, and soil properties, *Agronomy*, 11 (2), 390.
- Reddy, K.V., Reshma, S.R., Jareen, S., Nagaraju, M., 2012. Exposure of greengram seeds (*Vigna radiata* var. *radiata*) to static magnetic fields: effects on germination and alfa-amylase activity, *Research Journal of Seed Science*, 5, 106-114.
- Reddy, P.P., 2012. Bio-priming of seeds. In: P.P. Reddy (Ed.) *Recent Advances in Crop Protection*. Springer, New Delhi, 83-90.
- Reddy, Y.N., Umesha, C., Sanodiya, L.K., 2022. Effect of phosphorus and sulphur levels on growth and yield of lentil (*Lens culinaris* L.), *Environment Conservation Journal*, 23 (3), 313-319.
- Reges dos Santos, A., Melo, Y.L., Fernandes de Oliveira, L., Cavalcante, I.E., Ferraz, R.L.S., Sa, F.V.S., Feitosa de Lacerda, C., Soares de Melo, A., 2022. Exogenous silicon and proline modulate osmoprotection and antioxidant activity in cowpea under drought stress, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22, 1692-1699.
- Rehman, A., Nadeem, F., Farooq, M., 2021. Role of seed priming in root development and crop production, In: Z. Rengel, I. Djalovic (Eds.) *The Root Systems in Sustainable Agricultural Intensification*, John Wiley & Sons Ltd.
- Rehman, H., Nawaz, Q., Basra, S.M.A., Afzal, I., Yasmeen, A., Hassan, F., 2014. Seed priming influence on early crop growth, phenological development and yield performance of linola (*Linum usitatissimum* L.), *Journal of Integrative Agriculture*, 13 (5), 990-996.

- Reis, S., Pavia, I., Carvalho, A., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Lima-Brito, J., 2018. Seed priming with Iron and zinc in bread wheat: effects in germination, mitosis and grain yield, *Protoplasma*, 255, 1179-1194.
- Reithmaier, G.M.S., Knorr, K.H., Arnhold, S., Planer-Friedrich, B., Schaller, J., 2017. Enhanced silicon availability leads to increased methane production, nutrient and toxicant mobility in peatlands, *Scientific Reports*, 7, 8728.
- Ren, X.M., Guo, S.J., Tian, W., Chen, Y., Han, H., Chen, E., Li, B.L., Li, Y.Y., Chen, Z.J., 2019. Effects of plant growth-promoting bacteria (PGPB) inoculation on the growth, antioxidant activity, Cu uptake, and bacterial community structure of rape (*Brassica napus* L.) grown in Cu-contaminated agricultural soil, *Frontiers in Microbiology*, 10, 1455.
- Rengel, Z., 1990. Manganese uptake and transport in plants, In: A.Sigel, H. Sigel (eds.) *Metal Ions in Biological Systems 280ynami 37 Manganese and its role in biological processes*, 1st edn., Marcel Dekker Inc., New York.
- Rezakhani, L., Motesharezadeh, B., Tehrani, M. M., Etesami, H., Hosseini, H.M., 2019a. Effect of silicon and phosphate-solubilizing bacteria on improved phosphorus (P) uptake is not specific to insoluble P-fertilized sorghum (*Sorghum bicolor* L.) plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39, 239-253.
- Rezakhani, L., Motesharezadeh, B., Tehrani, M.M., Etesami, H., Hosseini, H.M., 2019b. Phosphate–solubilizing bacteria and silicon synergistically augment phosphorus (P) uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) plant fertilized with soluble or insoluble P source, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 173, 504-513.
- Rezakhani, L., Motesharezadeh, B., Tehrani, M.M., Etesami, H., Hosseini, H.M., 2022. The effect of silicon fertilization and phosphate-solubilizing bacteria on chemical forms of silicon and phosphorus uptake by wheat plant in a calcareous soil, *Plant and Soil*, 477, 259-280.
- Rezakhani, L., Motesharezadeh, B., Tehrani, M.M., Etesami, H., Hosseini, H.M., 2020. Effect of silicon and phosphate-solubilizing bacteria on improved phosphorus (P) uptake is not specific to insoluble p-fertilized sorghum (*Sorghum bicolor* L.) plants, *Journal of Plant Growth Regulation*, 39, 239-253.
- Rhaman, M.S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C.C., Murata, Y., Hasanuzzaman, M., 2021. Seed priming with phytohormones: An effective approach dynamic mitigation of abiotic stress, *Plants*, 10 (1), 37.
- Rhaman, M.S., Rauf, F., Tania, S.S., Khatun, M., 2020. Seed priming methods: Application in field crops and future perspectives, *Asian Journal of Research in Crop Science*, 5 (2), 8-19.
- Rhaman, M.S., Tania, S.S., Imran, S., Rauf, F., Kibria, M.G., Ye, W., Hasanuzzaman, M., Murata, Y., 2022. Seed priming with nanoparticles: An emerging technique for improving plant growth, development, and abiotic stress tolerance, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22, 4047-4062.

- Roberts, E.H., 1988. Temperature and seed germination, *Symposia of the Society for Experimental Biology*, 42, 109-132.
- Rodenas, R., Martínez, V., Nieves-Cordones, M., Rubio, F., 2019. High external K⁺ concentrations impair Pi nutrition, induce the phosphate starvation response, and reduce arsenic toxicity in *Arabidopsis* plants, *International Journal of Molecular Sciences*, 20, 2237.
- Roholla, S., 2011. Zinc in crop production and interaction with phosphorus, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5, 1503-1509.
- Ruttanaruangboworn, A., Chanprasert, W., Tobunluepop, P., Onwimol, D., 2017. Effect of seed priming with different concentrations of potassium nitrate on the pattern of seed imbibition and germination of rice (*Oryza sativa* L.), *Journal of Integrative Agriculture*, 16, 605-613.
- Sabaghnia, N. and Janmohammadi, M., 2014. Effect of nano-silicon particles application on salinity tolerance in early growth of some lentil genotypes, *Annales Biologia*, 69 (2), 39-55.
- Sakthivel, G., Jeberson, S., Singh, N.B., Sharma, R., Kumar, S., Jalaj, V.K., Sinha, B., Singh, N.O., 2019. Genetic variability, correlation and path analysis in lentil germplasm (*Lens culinaris* Medik), *The Pharma Innovation Journal*, 8 (6), 417-420.
- Samad, A., Khan, M.J., Shah, Z., Jan, M.T., 2014. Determination of optimal duration and concentration of zinc and phosphorus for priming wheat seed, *Sarhad Journal of Agriculture*, 30 (1), 27-34.
- Sandeep, S., Harvendra, S., Seema, S., Jagpal, S., Kumar, S.V., 2014. Effect of integrated use of rock phosphate, molybdenum and phosphate solubilizing bacteria on lentil (*Lens culinaris*) in an alluvial soil, *Indian Journal of Agronomy*, 59 (3), 433-438.
- Sandhu, J.S. and Singh, S., 2007. History and orijin. S.S. Yadav, D. McNeil, P.C. Stevenson (eds.) *Lentil: An Ancient Crop for Modern Times*. Springer, Dordrecht.
- Santos, S.R., Silva, D.B., Alleoni, L.R.F., Graziotti, P.H., 2017. Citric acid influence on soil phosphorus availability, *Journal of Plant Nutrition*, 40 (15), 2138-2145.
- Saravanakumar, D., Lavanya, N., Muthumeena, B., Raguchander, T., Suresh, S., Samiyappan, R., 2008. *Pseudomonas fluorescens* enhances resistance and natural enemy population in rice plants against leaf folder pest, *Journal of Applied Entomology*, 132, 46979.
- Sarkar, M.M., Mukherjee, S., Mathur, P., Roy, S., 2022. Exogenous nano-silicon application improves ion homeostasis, osmolyte accumulation and palliates oxidative stress in *Lens culinaris* under NaCl stress, *Plant Physiology and Biochemistry*, 192, 143-161.

- Sarker, A., Erskine, W., Sharma, B., Tyagi, M.C., 1999. Inheritance and linkage relationship of days to flower and morphological loci in lentil (*Lens culinaris* Medikus subsp. *culinaris*), *Journal of Heredity*, 90 (2), 270-275.
- Sarker, B.C. and Karmoker, J.L., 2009. Effects of phosphorus deficiency on the root growth of lentil seedlings grown in rhizobox, *Bangladesh Journal of Botany*, 38 (2), 215-218.
- Sarker, B.C. and Karmoker, J.L., 2011. Effects of phosphorus deficiency on accumulation of biochemical compounds in lentil (*Lens culinaris* Medik.), *Bangladesh Journal of Botany*, 40 (1), 23-27.
- Sarvar, G., Abbas, G., Asghar, M.J., 279. Genetic study for quantitative traits in F5 generation of lentil (*Lens culinaris* Medik.), *Journal of Agricultural Research*, 48 (3), 279-288.
- Saxena, M.C., 2009. Plant morphology, anatomy and growth habit, In: W. Erskine, F.J. Muehlbauer, A. Sarker, B. Sharma (Eds.) *The Lentil: Botany, Production and Uses*, 1st edn., CAB International, Cambridge.
- Sattari, S.Z., Bouwman, A.F., Giller, K.E., van Ittersum, M.K., 2012. Residual soil phosphorus as the missing piece in the global phosphorus crisis puzzle, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 6348-6353.
- Savci, S., 2012. Investigation of effect of chemical fertilizers on environment, *APCBEE Procedia*, 1, 287-292.
- Schachtman, D.P., Reid, R.J., Ayling, S.M., 1998. Phosphorus uptake by plants: From soil to cell, *Plant Physiology*, 116 (2), 447-453.
- Schaller, J., Faucherre, S., Joss, H., Obst, M., Goeckede, M., Planer-Friedrich, B., Peiffer, S., Gilfedder, B., Elberling, B., 2019. Silicon increases the phosphorus availability of Arctic soils, *Scientific Reports*, 9, 449.
- Schoenau, J.J. and O'Halloran, I.P., 2007. Sodium bicarbonate-extractable phosphorus, In: M.R. Carter, E.G. Gregorich (Eds.) *Soil Sampling and Methods of Analysis*, 1st edn., Lewis Publishers.
- Sebastian, A. and Prasad, M.N.V., 2018. Exogenous citrate and malate alleviate cadmium stress in *Oryza sativa* L.: Probing role of cadmium localization and iron nutrition, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 166, 21-222.
- Seggewiss, B. and Jungk A., 2010. Influence of potassium 282dynamics at the soil-root interface on magnesium uptake of plants, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 151, 91-96.
- Sehgal, A., Sita, K., Kumar, J., Kumar, S., Singh, S., Siddique, K.H.M., Nayyar, H., 2017. Effects of drought, heat and their interaction on the growth, yield and photosynthetic function of lentil (*Lens culinaris* Medikus) genotypes varying in heat and drought sensitivity, *Frontiers in Plant Science*, 8, 1776.

- Sehli, W.M., Kallala, N., Jaleli, K., Bouallegue, A., Mhadhbi, H., 2020. Monopotassium phosphate (KH_2PO_4) and salicylic acid (SA) as seed priming in *Vicia faba* L. and *Vicia sativa* L., *Bioscience Journal*, 36 (6), 2078-2091.
- Sen, A. and Puthur, J.T., 2020. Seed priming-induced physiochemical and molecular events in plants coupled to abiotic stress tolerance: An overview, In: M.A. Hossain, F. Liu, D.J. Buritt, M. Fujita, B. Huang (Eds.) *Priming-Mediated Stress and Cross-Stress Tolerance in Crop Plants*, 1st edn., Academic Press.
- Senaratna, T., Touchell, D., Bumm, E., Sixon, K., 2000. Acetyl salicylic (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean tomato plants. *Plant Growth Regulation*, 30, 157-161.
- Sepetoğlu, H., 1988. Mercimekte çeşit ve bitki sıklığının büyüme ve verim üzerine etkisi, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19 (2), 71-76.
- Sepetoğlu, H., 2002. Yemeklik dane baklagiller, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ders kitabı: 24/4, *Ofset Basımevi*, İzmir, Türkiye.
- Seyyedi, S.M., Khajeh-Hosseini, M., Moghaddam, R.R., Shahandeh, H., 2015. Effects of phosphorus and seed priming on seed vigor, fatty acids composition and heterotrophic seedling growth of black seed (*Nigella sativa* L.) grown in a calcareous soil, *Industrial Crops and Products*, 74, 939-949.
- Seyyedi, S.M., Moghaddam, R.R., Khajeh-Hosseini, M., Shahandeh, H., 2017. Improving of seed quality of black seed (*Nigella sativa* L.) by increasing seed phosphorus content in a calcareous soil, *Journal of Plant Nutrition*, 40 (2), 197-206.
- Shabaan, M., Asghar, H.N., Zahir, Z.A., Zhang, X., Sardar, M.F., Li, H., 2022. Salt-tolerant PGPR confer salt tolerance to maize through enhanced soil biological health, enzymatic activities, nutrient uptake and antioxidant defense, *Frontiers in Microbiology*, 13, 901865.
- Shabbaj, I.I., Madany, M.M.Y., Tammar, A., Balkhyour, M.A., AbdElgawad, H., 2021. Silicon dioxide nanoparticles orchestrate carbon and nitrogen metabolism in pea seedlings to cope with broomrape infection, *Environmental Science: Nano*, 8, 1960-1977.
- Shah, H., Jalwat, T., Arif, M., Miraj, G., 2012. Seed priming improves early seedling growth and nutrient uptake in mungbean, *Journal of Plant Nutrition*, 35, 805-816.
- Shah, N.H., Hafeez, F.Y., Arshad, M., Malik, K.A., 2000. Response of lentil to *Rhizobium leguminosarum* bv. *Viciae* strains at different levels of nitrogen and phosphorus, *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 40 (1), 93-98.
- Shah, Z., Haq, I., Rehman, A., Khan, A., Afzal, M., 2013. Soil amendments and seed priming influence nutrients uptake, soil properties, yield and yield components of

- wheat (*Triticum aestivum* L.) in alkali soils, *Soil Science and Plant Nutrition*, 59 (2), 262-270.
- Sharma, M., Saleh, D., Charron, J.B., Jabaji, S., 2020. A crosstalk between *Brachypodium* root exudates, organic acids, and *Bacillus velezensis* B26, a growth promoting bacterium, *Frontiers in Microbiology*, 11, 575578.
- Sharma, P.K., Chaurasia, A.K., Mishra, S.N., 2017. Effect of organic and inorganic seed priming on seed quality parameters in lentil (*Lens culinaris* M.) seeds, *The Pharma Innovation Journal*, 6 (10), 18-21.
- Sharma, S.B., Sayyed, R.Z., Trivedi, M.H., Gobi, T.A., 2013. Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils, *SpringerPlus*, 2, 587.
- Sharma, V., Paswan, S.K., Singh, V.K., Khandagale, S., 2014. Correlation and path coefficient analysis of economically important traits in lentil (*Lens culinaris* Medik.) germplasm, *The Bioscan*, 9 (2), 819-822.
- Shelar, V.R., Shaikh, R.S., Nikam, A.S., 2008. Soybean seed quality during storage: A review, *Agricultural Reviews*, 29 (2), 125-131.
- Sheteiwy, M.S., Dong, Q., An, J., Song, W., Guan, Y., He, F., Huang, Y., Hu, J., 2017. Regulation of ZnO nanoparticles-induced physiological and molecular changes by seed priming with humic acid in *Oryza sativa* seedlings, *Plant Growth Regulation*, 83, 27-41.
- Shirinzadeh, A., Soleimanzadeh, H., Shirinzadeh, Z., 2013. Effect of seed priming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on agronomic traits and yield of barley cultivars, *World Applied Sciences Journal*, 21 (5), 727-731.
- Shrestha, R., Turner, N.C., Siddique, K.H.M., Turner, D.W., Speijers, J., 2006. A water deficit during pod development in lentils reduces flower and pod numbers but not seed size, *Australian Journal of Agricultural Research*, 57 (4), 427-438.
- Shine, M.B., Guruprasad, K.N., Anand, A., 2011. Enhancement of germination, growth, and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field, *Bioelectromagnetics*, 32, 474-484.
- Siddiqui, A., Dawar, S., Zaki, M.J., Hamid, N., 2011. Role of ultra violet (UV-C) radiation in the control of root infecting fungi on groundnut and mung bean, *Pakistan Journal of Botany*, 43, 2221-2224.
- Singh, A.V. and Prasad, B., 2014. Enhancement of plant growth, nodulation and seed yield through plant growth promoting rhizobacteria in lentil (*Lens culinaris* Medik cv. VL125), *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3 (6), 614-622.
- Singh, A.V., Prasad, B., Goel, R., 2018. Plant growth promoting efficiency of phosphate solubilizing *Chryseobacterium* sp. PSR 10 with different doses of N and P

- fertilizers on lentil (*Lens culinaris* var. PL-5) growth and yield, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7 (5), 2280-2289.
- Singh, A.V., Prasad, B., Shah, S., 2011. Influence of phosphate solubilizing bacteria for enhancement of plant growth and seed yield in lentil, *Journal of Crop and Weed*, 7 (1), 1-4.
- Singh, D., Khare, A., Singh, S., 2017b. Effect of phosphorus and molybdenum nutrition on yield and nutrient uptake in lentil (*Lens culinaris* L.), *Annals of Plant and Soil Research*, 19 (1), 37-41.
- Singh, K.K., Srinivasarao, C., Ali, M., 2005. Root growth, nodulation, grain yield, and phosphorous use efficiency of lentil as influenced by phosphorus, irrigation, and inoculation, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36, 1919-1929.
- Singh, N. and Singh, G., 2016. Response of lentil (*Lens culinaris* Medikus) to phosphorus-A review, *Agricultural Reviews*, 37 (1), 27-34.
- Singh, P., Pandey, A.K., Khan, A.H., 2017a. Effect of seed priming on growth, physiology and yield of lentil (*Lens Culinaris* Medie) Cv. Ndl-1, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, SP1, 717-719.
- Singh, T.P., 1977. Harvest index in lentil (*Lens culinaris* Medik.), *Euphytica*, 26, 833-839.
- Singh, V., Ali, J., Singh, H., Singh, J., 2016. Effect of sources of phosphorus and biofertilizer on yield, nutrient uptake and quality of lentil, *Annals of Plant and Soil Research*, 18 (1), 14-17.
- Singh, V., Parashar, A.K., Mehta, V.S., Singh, V., 1991. Soil sulphur status and response of lentil to sulphur in relation to calcium, *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 39 (4), 727-729.
- Sirisuntornlak, N., Ullah, H., Sonjaroon, W., Arirob, W., Anusontpornperm, S., Datta, A., 2021. Effect of seed priming with silicon on growth, yield and nutrient uptake of maize under water-deficit stress, *Journal of Plant Nutrition*, 44 (13), 1869-1885.
- Sital, J.S., Kaur, K., Sharma, S., Sandhu, J.S., Singh, S., 2011. Effect of *Rhizobium* inoculation, phosphorus and nitrogen supplements on protein quality in developing lentil (*Lens culinaris*) seeds, *Indian Journal of Agricultural Biochemistry*, 24, 17-22.
- Slaymaker, D.H., Navarre, D.A., Clark, D., del Pozo, O., Martin, G.B., Klessig, D.F., 2002. The tobacco salicylic acid-binding protein 3 (SABP3) is the chloroplast carbonic anhydrase, which exhibits antioxidant capacity and plays a role in the hypersensitive response, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, 11640-11645.
- Smil, V., 2000. Phosphorus in the environment: Natural flows and human interferences, *Annual Review of Environment and Resources*, 25, 53-88.

- Sonkurt, M. and Çığ, F., 2019. The effect of plant growth-promoting bacteria on the development, yield and yield components of bread (*Triticum aestivum* L.) and durum (*Triticum durum*) wheats, *Applied Ecology and Environmental Research*, 17 (2), 3877-3896.
- Sonnante, G., Hammer, K., Pignone, D., 2009. From the cradle of agriculture a handful of lentils: History of domestication, *Rendiconti Lincei*, 20, 21-37.
- Solaiman, Z., Colmer, T., Loss, S., Thomson, B., Siddique, K., 2007. Growth responses of cool-season grain legumes to transient waterlogging, *Australian Journal of Agricultural Research*, 58 (5), 406-412.
- Solouki, H., Kafi, M., Nabati, J., Ahmadi, M.J., Nezami, A., Ahmady, R.S., 2023. Seed biopriming and plant growth-promoting bacteria improve nutrient absorption and dry matter production of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) plants, *South African Journal of Botany*, 162, 296-303.
- Sonet, R.A., Ali, M.H., Amin, A.K.M.R., Haque, M.N., Masum, S.M., 2020. Influence of phosphorus levels on growth and yield of four lentil varieties, *Bangladesh Agronomy Journal*, 23 (1), 29-36.
- Soysal, S., 2021. Yield of spring grown chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different doses of soil applied phosphorus in an agroecology of semi-arid highlands with mediterranean climate, *Legume Research*, 44 (11), 1328-1332.
- Soudée, E. and Péra J., 2000. Mechanism of setting reaction in magnesia-phosphate cements *Cement and Concrete Research*, 30, 315-321.
- Sözen, Ö. ve Karadavut, U., 2017. Bazı yeşil mercimek genotiplerinde dane verimi ve verim komponentleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi, *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26 (1), 104-110.
- Stangoulis, J.C.R. and Knez, M., 2022. Biofortification of major crop plants with iron and zinc – achievements and future directions, *Plant and Soil*, 474, 57-76.
- Stegelmeier, A.A., Rose, D.M., Joris, B.R., Glick, B.R., 2022. The use of PGPB to promote plant hydroponic growth, *Plants*, 11, 2783.
- Suarez-Estrella, F., Jurado, M.M., Lopez-Gonzalez, J.A., Toribio, A., Martinez-Gallardo, M.R., Estrella-Gonzalez, M.J., Lopez, M.J., 2023. Seed priming by application of *Microbacterium* spp. strains for control of *Botrytis cinerea* and growth promotion of lettuce plants, *Scientia Horticulturae*, 313, 111901.
- Subedi, K.D. and Ma, B.L., 2005. Seed priming does not improve corn yield in a humid temperate environment, *Agronomy Journal*, 97 (1), 211-218.
- Şehirali, S., 1988. Yemeklik Dane Baklagiller, 314, *Ankara Üniversitesi Basım evi*, Ankara.

- Tahir, M., Lindeboom, N., Baga, M., Vandenberg, A., Chibbar, R., 2011. Composition and correlation between major seed constituents in selected lentil (*Lens culinaris* Medik) genotypes, *Canadian Journal of Plant Science*, 91 (5), 825-835.
- Tairo, E.V. and Ndakidemi, P.A., 2013. *Bradyrhizobium japonicum* inoculation and phosphorus supplementation on growth and chlorophyll accumulation in soybean (*Glycine max* L.), *American Journal of Plant Sciences*, 4 (12), 40398.
- Taliman, N.A., Dong, Q., Echigo, K., Raboy, V., Saneoka, H., 2019. Effect of phosphorus fertilization on the growth, photosynthesis, nitrogen fixation, mineral accumulation, seed yield, and seed quality of a soybean low-phytate line, *Plants*, 8, 119.
- Tambal, H.A.A., Erskine, W., Baalbaki, R., Zaiter, H., 2000. Relationship of flower and pod numbers per inflorescence with seed yield in lentil, *Experimental Agriculture*, 36 (3), 369-378.
- Tamindzic, G., Ignjatov, M., Miljakovic, D., Cervenski, J., Milosevic, D., Nikolic, Z., Vasiljevic, S., 2023. Seed priming treatments to improve heat stress tolerance of garden pea (*Pisum sativum* L.), *Agriculture*, 13 (2), 439.
- Tek, H., 2022. Diyarbakır koşullarında çinko gübresinin mercimek (*Lens culinaris* Medic.) çeşitlerinde verim ve verim ile ilgili özelliklere olan etkisinin belirlenmesi, Yüksek lisans tezi, *Mardin Artuklu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mardin.
- Temel, N., 1999. Van ekolojik koşullarında farklı dozlardaki azotlu ve fosforlu gübreler ile bakteri aşılamanın (*Rhizobium leguminosarum*) kışlık kırmızı Fırat-87 (*Lens culinaris* Medik.) mercimek çeşidinin verim ve verim öğelerine etkilerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, Doktora tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van.
- Temel, N., Eymirli, S., Aksoy, E., Arslan, F., Tetik, Ö., 2012. Kırmızı mercimek (*Lens culinaris* Medic.)’te sorun olan canavar otu (*Orobancha aegyptiaca* Pers. ve *O. crenata* Forsk.) mücadelesinde en uygun ekim zamanı ve çeşidin belirlenmesi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 22 (2), 99-107.
- Theologidou, G.S., Ipsilantis, I., Tsialtas, I.T., 2023. Phosphorus effects on four lentil cultivars grown on alkaline Mediterranean soil, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 125, 1-14.
- Thiruvengadam, M., Kim, S.H., Chung, I.M., 2015. Exogenous phytohormones increase the accumulation of health-promoting metabolites, and influence the expression patterns of biosynthesis related genes and biological activity in chinese cabbage (*Brassica rapa* spp. *pekinensis*), *Scientia Horticulturae*, 193, 136-146.
- Timofeeva, A.M., Galyamova, M.R., Sedykh, S.E., 2022. Bacterial Siderophores: classification, biosynthesis, perspectives of use in agriculture, *Plants*, 11 (22), 3065.
- Togay, N. ve Anlarsal, A.E., 2008a. Van koşullarında farklı bitki sıklıklarının ve ekim şekillerinin mercimek (*Lens culinaris* Medic.)’de verim ve verim öğelerine etkisi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18 (1), 35-47.

- Togay, N ve Engin, M., 2000. Van koşullarında sıra aralığı ve serpmek ekimin mercimek (*Lens culinaris* Medic.) çeşitlerinde verim ve verim öğelerine etkisi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 6 (4), 11-15.
- Togay, N., Togay, Y., Cimrin, K.M., Turan, M., 2008a. Effects of rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus applications on yield, yield components and nutrient uptakes in chickpea (*Cicer arietinum* L.), *African Journal of Biotechnology*, 7 (6), 776-782.
- Togay, Y., 2002. Farklı çinko ve fosfor dozlarının mercimek (*Lens culinaris* Medic.)’de verim ve verim öğelerine etkisi, Doktora tezi, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van.
- Togay, Y. ve Anlarsal, A.E., 2008b. Farklı çinko ve fosfor dozlarının mercimek (*Lens culinaris* Medic.)’de verim ve verim öğelerine etkisi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18 (1), 49-59.
- Togay, Y., Togay, N., Dogan, Y., 2008b. Research on the effect of phosphorus and molybdenum applications on the yield and yield parameters in lentil (*Lens culinaris* Medic.), *African Journal of Biotechnology*, 7 (9), 1256-1260.
- Toklu, F., 2015. Effects of different priming treatments on seed germination properties, yield components and grain yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.), *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43 (1), 153-158.
- Toklu, F., Biçer, B.T., Karaköy, T., 2009. Agro-morphological characterization of the Turkish lentil landraces, *African Journal of Biotechnology*, 8 (17), 4121-4127.
- Toklu, F., Özkan, H., Karaköy, T., Coyne, C.J., 2017. Evaluation of advanced lentil lines for diversity in seed mineral concentration, grain yield and yield components, *Journal of Agricultural Sciences*, 23 (2), 213-222.
- Tomar, M., Chaplor, P.C., Choudhary, J., Meena, R.H., Patidar, R., Somota, A.K., 2022. Effect of salicylic acid and biochar on nutrient content and uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed condition, *Biological Forum – An International Journal*, 14 (3), 613-616.
- Trujillo-Reyes, J., Vilchis-Nestor, A.R., Majumdar, S., Peralta-Videa, J.R., Gardea-Torresdey, J.L., 2013. Citric acid modifies surface properties of commercial CeO₂ nanoparticles reducing their toxicity and cerium uptake in radish (*Raphanus sativus*) seedlings, *Journal of Hazardous Materials*, 263 (Part2), 677-684.
- Tu, C., Zheng, C.R., Chen, H.M., 2000. Effect of applying chemical fertilizers on forms of lead and cadmium in red soil, *Chemosphere*, 41 (1-2), 133-138.
- Tuiwong, P., Lordkaew, S., Veeradittakit, J., Jamjod, S., Prom-u-thai, C., 2022. Seed priming and foliar application with nitrogen and zinc improve seedling growth, yield, and zinc accumulation in rice, *Agriculture*, 12, 144.

- Tullu, A., Kusmenoglu, I., McPhee, K.E., Muehlbauer, F.J., 2001. Characterization of core collection of lentil germplasm for phenology, morphology, seed and straw yields, *Genetic Resources and Crop Evolution*, 48, 143-152.
- Turk, M.A., Tawaha, A.M., El-Shatnawi, M.K.J., 2003. Response of lentil (*Lens culinaris* Medik) to plant density, sowing date, phosphorus fertilization and ethephon application in the absence of moisture stress, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189 (1), 1-6.
- Tuesi, C.L., 2019. The effects of citric acid on pH and nutrient uptake in *Triticum aestivum*, *IdeaFest: Interdisciplinary Journal of Creative Works and Research from Humboldt State University*, 3 (16), 40-44.
- Tusei, C.L., 2019. The effects of citric acid on pH and nutrient uptake in *Triticum aestivum*, *Interdisciplinary Journal of Creative Works & Research from Humboldt State University*, 3, 31-35.
- Uçar, Ö., Soysal, S., Çığ, F., Erman, M., Ceritoğlu, M., Toprak, Ç.C., 2023. Mercimekte kurşun (PB) toksisitesinin silisyum ön uygulamaları ile azaltılması, 5. *International Palandoken Scientific Studies Congress*, 18-19 March, Erzurum, Türkiye, 1050-1059.
- Unni, A. and Debbarma, V., 2022. Response of nitrogen and phosphorus on growth and yield of lentil (*Lens culinaris* medik.), *International Journal of Plant & Soil Science*, 34 (21), 328-334.
- Urbano, G., López-Jurado, M., Aranda, P., Vidal-Valverde, C., Porres, T.J., 2000. The role of phytic acid in legumes: Antinutrient or beneficial function? *Journal of Physiology and Biochemistry*, 56, 283-294.
- Urbano, G., Porres, J.M., Frias, J., Vidal-Valverde, C., 2007. Nutritional value. S.S. Yadav, D. McNeil, P.C. Stevenson (eds.) *Lentil: An Ancient Crop for Modern Times*. Springer, Dordrecht.
- Uzunova, A.N. and Popova, L.P., 2000. Effect of salicylic acid on leaf anatomy and chloroplast ultrastructure of barley plants, *Photosynthetica*, 38, 243-250.
- Ülgen, N. ve Yurtseven, N., 1995. Türkiye gübre ve gübreleme rehberi, 3. Basım, Teknik yayın No: 151, *Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü yayınları*, Ankara.
- Vidal-Valverde, C., Frias, J., Valverde, S., 1992. Effect of processing on the soluble carbohydrate content of lentils, *Journal of Food Protection*, 55 (4), 301-304.
- Vidal-Valverde, C., Frias, J., Estrella, I., Gorospe, M.J., Ruiz, R., Bacon, J., 1994. Effect of processing on some antinutritional factors of lentils, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42 (10), 2291-2295.
- Vahedi, R., Rasouli-Sadaghiani, M.H., Barin, M., Vetukuri, R.R., 2022. Effect of biochar and microbial inoculation on P, Fe, and Zn bioavailability in a calcareous soil, *Processes*, 10 (2), 343.

- Vaid, S.K., Kumar, B., Sharma, A., Shukla, A.K., Srivastava, P.C., 2014. Effect of zn solubilizing bacteria on growth promotion and zn nutrition of rice, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14 (4), 889-910.
- Vashisth, A. and Nagarajan, S., 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field, *Journal of Plant Physiology*, 167, 149-156.
- Verma, G., Yadav, D.D., Pandey, H.P., Yadav, A., Sachan, R., Yadav, S., 2022. Effect of fertility levels and biofertilizers on growth parameters, root architecture and quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.), *International Journal of Plant & Soil Science*, 34 (17), 61-67.
- Vilkinson, S.R., Welch, R.M., Mayland, H.F., Grunes, D.L., 1990. Magnesium in plants: Uptake, distribution, function, and utilization by man and animals. In: H. Sigel, A. Sigel (eds.) *Metal Ions in Biological Systems*, 1st edn., Marcel Dekker Inc., New York.
- Vlachostergios, D.N., Noulas, C., Kargiotidou, A., Baxevanos, D., Tigka, E., Pankou, C., Kostoula, S., Beslemes, D., Irakli, M., Tziouvalekas, M., Lithourgidis, A., Tokatlidis, I., Dordas, C., Mavromatis, A., 2021. Identification of the optimum environments for the high yield and quality traits of lentil genotypes evaluated in multi-location trials, *Sustainability*, 13, 8247.
- Wang, F., Han, W., Chen, S., Dong, W., Qiao, M., Hu, C., Liu, B., 2020. Fifteen-year application of manure and chemical fertilizers differently impacts soil ARGs and microbial community structure, *Frontiers in Microbiology*, 11, 62.
- Wang, N. and Daun, J.K., 2006. Effects of variety and crude protein content on nutrients and anti-nutrients in lentils (*Lens culinaris*), *Food Chemistry*, 95 (3), 493-502.
- Wang, L., Wang, W., Miao, Y., Peters, M., Schultze-Kraft, R., Liu, G., Chen, Z., 2023. Development of transgenic composite *Stylosanthes* plants to study root growth regulated by a β -expansin gene, *SgEXPB1*, under phosphorus deficiency, *Plant Cell Reports*, 42, 575-585.
- Wang, Q., Kong, X.P., Zhang, B.H., Wang, J., 2017. Adsorption of Zn (II) on the kaolinite surfaces in aqueous environment: A combined DFT and molecular dynamics study, *Applied Surface Science*, 414, 405-412.
- Wang, X., Gao, Y., Zhang, H., Shao, Z., Sun, B., Gao, Q., 2020. Enhancement of rhizosphere citric acid and decrease of $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio by root interactions facilitate N fixation and transfer, *Plant and Soil*, 447, 169-182.
- Warne, T., Ahmed, S., Shanks, C.B., Miller, P., 2019. Sustainability dimensions of a North American lentil system in a changing World, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 88.

- White, B., Tubana, B.S., Babu, T., Mascagni, H., Agostinho, F., Datnoff, L.E., Harrison, S., 2017. Effect of silicate slag application on wheat grown under two nitrogen rates, *Plants*, 6, 47.
- Wiraguna, E., Malik, A.I., Erskine, W., 2017. Waterlogging tolerance in lentil (*Lens culinaris* Medik. subsp. *culinaris*) germplasm associated with geographic origin, *Genetic Resources and Crop Evolution*, 64 (3), 579-586.
- Wu, C., Luo, Y., Zhang L., 2010a. Variability of copper availability in paddy fields in relation to selected soil properties in southeast China, *Geoderma*, 156 (3-4), 200-206.
- Wu, Z., Fernandez-Lima, F.A., Russell, D.H., 2010b. Amino acid influence on copper binding to peptides: Cysteine versus arginine, *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 21 (4), 522-533.
- Xiao, J.X., Zhu, Y.A., Bai, W.L., Liu, Z.Y., Tang, L., Zheng, Y., 2021. Yield performance and optimal nitrogen and phosphorus application rates in wheat and faba bean intercropping, *Journal of Integrative Agriculture*, 20 (11), 3012-3025.
- Xie, K., Cakmak, I., Wang, S., Zhang, F., Guo, S., 2021. Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants, *The Crop Journal*, 9 (2), 249-256.
- Xie, Y., Niu, X., Niu, J., 2016. Effect of phosphorus fertilizer on growth, phosphorus uptake, seed yield, yield components, and phosphorus use efficiency of oilseed flax, *Agronomy Journal*, 108 (3), 1257-1266.
- Xing, D., Li, X., Wang, Yi, Deng, S., Jin, C., Zhao, Y., Guo, L., 2023. The comprehensive impact of phosphorus sources on microalgae biochemical metabolism and phosphorus transformation, *Journal of Water Process Engineering*, 51, 103477.
- Xu, B.J., Yuan, S.H., Chang, K.C., 2007. Comparative analyses of phenolic composition, antioxidant capacity, and color of cool season legumes and other selected food legumes, *Journal of Food Science*, 72 (2), 167-177.
- Yari, L., Aghaalikani, M., Khazaei, F., 2010. Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of bread wheat (*Triticum aestivum* L.), *ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science*, 5 (1), 1-6.
- Yeşilbaş, C., 2015. Van koşullarında organik ve inorganik gübrelemenin mercimekte (*Lens culinaris* Medic.) verim ve bazı verim öğeleri üzerine etkisi, Yüksek lisans tezi, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van.
- Yıldırım, E., Turan, M., Guvenc, I., 2008. Effect of foliar salicylic acid applications on growth, chlorophyll, and mineral content of cucumber grown under salt stress, *Journal of Plant Nutrition*, 31, 593-612.

- Yıldırım, S., 2022. Farklı sıra arası mesafelerin mercimek çeşitlerinde verim ve verim öğelerine etkileri, Yüksek lisans tezi, *Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Siirt.
- Yorğun, Y., 2022. Van koşullarında farklı azot ve çinko dozlarının kışlık kırmızı mercimeğin (*Lens culinaris* Medic.) verim ve verim öğeleri üzerine etkisi, Yüksek lisans tezi, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van.
- Zafar, M., Abbasi, M.K., Khan, M.A., Khaliq, A., Sultan, T., Aslam, M., 2012. Effect of plant growth-promoting rhizobacteria on growth, nodulation and nutrient accumulation of lentil under controlled conditions, *Pedosphere*, 22 (6), 848-859.
- Zafar-ul-Hye, M., Akbar, M.N., Iftikhar, Y., Abbas, M., Zahid, A., Fahad, S., Datta, R., Ali, M., Elgorban, A.M., Ansari, M.J., Danish, S., 2021. Rhizobacteria inoculation and caffeic acid alleviated drought stress in lentil plants, *Sustainability*, 13 (17): 9603.
- Zaib, S., Zubair, A., Abbas, S., Hussain, J., Ahmad, I., Shakeel, S.N., 2023. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) reduce adverse effects of salinity and drought stresses by regulating nutritional profile of barley, *Applied and Environmental Soil Science*, 2023, 7261784.
- Zakeri, H., Schoenau, J., Vandenberg, A., Aligodarz, M.T., Bueckert, R.A., 2015. Indirect estimations of lentil leaf and plant N by SPAD chlorophyll meter, *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Agronomy*, 2015, 748074.
- Zaman, M.W., Main, M.A.K., Rahman, M.M., 1989. Variability and correlation study in local germplasm of lentil in Bangladesh, *Lens Newsletter*, 16 (1), 17-19.
- Zarei, M., Saleh-Rastin, N., Alikhani, H.A., Aliasgharzadeh, N., 2006. Responses of lentil to co-inoculation with phosphate-solubilizing rhizobial strains and arbuscular mycorrhizal fungi, *Journal of Plant Nutrition*, 29 (8), 1509-1522.
- Zawdie, T. and Hassen, E., 2021. Review on effects of phosphorus fertilizer rates on growth, yield components and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), *Journal of Current Research in Food Science*, 2 (1), 34-39.
- Zeidan, M.S., 2007. Effect of organic manure and phosphorus fertilizers on growth, yield and quality of lentil plants in sandy soil, *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3 (6), 748-752.
- Zeng, F., Mallhi, Z.I., Khan, N., Rizwan, M., Ali, S., Ahmad, A., Hussain, A., Alsahli, A.A., Alyemeni, M.N., 2021. Combined citric acid and glutathione augments Lead (Pb) stress tolerance and phytoremediation of castorbean through antioxidant machinery and Pb uptake, *Sustainability*, 13, 4073.
- Zhang X., Huang G., Bian X., Zhao Q., 2013. Effects of root interaction and nitrogen fertilization on the chlorophyll content, root activity, photosynthetic characteristics of intercropped soybean and microbial quantity in the rhizosphere, *Plant, Soil and Environment*, 59, 80-88.

- Zhong, Y., Tian, J., Li, X., Liao, H., 2023. Cooperative interactions between nitrogen fixation and phosphorus nutrition in legumes, *New Phytologist*, 227 (3), 734-745.
- Zulkadir, G., Çölkesen, M., Çokkızgın, A., Girgel, Ü., Tanrıkulu, A., Canbolat, M., Güneş, M., 2015. Kahramanmaraş koşullarında farklı mercimek (*Lens culinaris* Medic.) genotiplerinde bitki sıklığının verim ve verim unsurlarına etkisinin araştırması, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 19 (3), 135-143.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa CERİTOĞLU

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Gazi Osman Paşa Lisesi, TOKAT	2006
Üniversite	: Tokat Gazi Osman Paşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü	2014
Yüksek Lisans	: Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı	2019
Doktora	: Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı	2024

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2018- ...	Siirt Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI : Yemeklik Tane Baklagiller

YABANCI DİLLER : İngilizce

YAYINLAR
SCI, SSCI, AHCI ve SCI-E
Kapsamındaki Dergilerde Yayınlanmış Makaleler

1. **Ceritoglu, M.**, Ceritoglu, F., Erman, M., Bektas, H., 2020. Root system variation of pulse crops at early vegetative stage, *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(4), 2182-2197.
2. **Ceritoglu, M.**, Erman, M., Ceritoglu, F., Bektas, H., 2021. The response of grain legumes to vermicompost at germination and seedling stages, *Legume Research*, 44(8), 936-941.
3. Bice Ataklı, S., Şahin, S., **Ceritoglu, M.**, Çağatay, H.F., 2022. Vermicompost enhances the effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi, cowpea development and nutrient uptake, *Legume Research*, 45(11), 1406-1413.
4. Erman, M., Çığ, F., Yıldız, F., **Ceritoglu, M.**, 2022. Plant growth promoting bacteria enhances photosynthesis, nodulation and root system architecture in lentil under lead toxicity, *Journal of Central European Agriculture*, 23(3), 582-591.
5. **Ceritoğlu, M.**, Erman, M., Çığ, F., Ceritoğlu, F., Uçar, Ö., Soysal, S., EL Sabagh, A., 2023. Enhancement of root system architecture, seedling growth, and germination in lentil under salinity stress by seed priming with silicon and salicylic acid, *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(5), 4481-4491.

ULUSLARARASI İNDEKSLER ve ULAKBİM-TR DİZİN
Tarafından Taranan Dergilerde Yayınlanmış Makaleler

1. **Ceritoglu, M.**, Şahin, S., Erman, M., 2018. Effects of Vermicompost on Plant Growth and Soil Structure, *Journal of Food Agriculture and Environment*, 32(3), 607-615.
2. **Ceritoglu, M.**, Şahin, S., Erman, M., 2019. Vermikompost Üretim Tekniği ve Üretimde Kullanılan Materyaller, *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 230-236.
3. Şahin, S., **Ceritoğlu, M.**, Kartal, H., 2019. The effects of vermicompost and phosphorus on the development of soybean plant, *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 11(4), 1-5.

4. **Ceritoglu, M.**, Erman, M., Yıldız, F., 2020. Effect of salinity on germination and some agro-morphological traits in chickpea seedlings, *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 4(1), 82-96.
5. **Ceritoglu, M.**, Erman, M., 2020. Mitigation of salinity stress on chickpea germination by salicylic acid priming, *International Journal of Agriculture and Wildlife Science*, 6(3), 582-591.
6. **Ceritoglu, M.**, Erman, M., 2020. Effect of vermicompost application at different sowing dates on some phenological, agronomic and yield traits in lentil, *Journal of International Environmental Application & Science*, 15(3), 158-166.
7. **Ceritoglu, M.**, Erman, M., 2020. Determination of some agronomic traits and their correlation with yield components in cowpea, *Selcuk Journal of Agricultural Science*, 34(2), 154-161.
8. Erman, M., Çiğ, F., Ceritoglu, F., **Ceritoglu, M.**, 2021. Evaluation of early stage traits as an indicator of genetic variation in winter lentil, *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 5(3), 552-559.
9. **Ceritoglu, M.**, Erman, M., Çiğ, F., Şahin, S., Acar, A., 2021. Bitki gelişimi ve stres toleransının geliştirilmesi üzerine sürdürülebilir bir strateji: Priming tekniği, *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 8(3), 374-389.
10. Çiğ, F., Erman, M., **Ceritoglu, M.**, 2021. Combined application of microbial inoculation and biochar to mitigate drought stress in wheat, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(Special issue), 3528-3538.
11. Çiğ, F., Erman, M., Inal, B., Bektas, H., Sonkurt, M., Mirzapour, M., **Ceritoglu, M.**, 2022. Mitigation of drought stress in wheat by bio-priming by PGPB containing ACC deaminase activity, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 53(1), 51-57.
12. Erman, M., Çiğ, F., **Ceritoglu, M.**, 2022. Mercimekte çimlenme ve fide gelişimi üzerine optimum PGPB- priming protokolünün belirlenmesi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 62-70.

KİTAP BÖLÜMÜ

(Uluslararası Yayınevi Tarafından Yayınlanan Kitaplarda)

1. Sabagh, A., Hossain, A., Islam, M.S., Iqbal, M.A., Fahad, S., Ratnasekera, D., Azeem, F., Wasaya, A., Sytar, O., Kumar, N., Llanes, A., Erman, M., **Ceritoğlu, M.**, Arslan, H., Arslan, D., Hussain, S., Mubeen, M., Ikram, M., Meena, R.S., Gharib, H., Waraich, E., Nasim, W., Liu, L., Saneoka, H., 2020. Consequences and Mitigation Strategies of Heat Stress for Sustainability of Soybean (*Glycine max* L. Merr.) Production under the Changing Climate, In: A. Hossain (ed.) *Plant Stress Physiology*, 1st eds., IntechOpen.
2. Şahin, S., **Ceritoğlu, M.**, 2020. A critical step towards vermicompost production: Choosing appropriate earthworm species, In: A.M. Bozdoğan, M.F. Baran (eds.) *Theory and Research in Agriculture, Forestry and Aquaculture*, 1st eds., *Gece Publishing*, Ankara.
3. Şahin, S., **Ceritoğlu, M.**, 2020. Sustainability of soil organic matter. In: M.F. Baran (ed.) *New Approaches and Applications in Agriculture*, 1st eds., *Iksad Publication*, Ankara.
4. Bozoğlu, H., **Ceritoğlu, M.**, 2021. Abiotic stresses effects on grain composition and quality in edible legumes, In: M. Erman (ed.) *Grain Legumes under Abiotic Stress: Yield, Quality, Enhancement and Acclimatization*, 1st eds., *Iksad Publication House*, Ankara.
5. Erman, M., **Ceritoglu, M.**, 2021. Role of seed priming in abiotic stress tolerance in grain legumes, In: M. Erman (ed.) *Grain Legumes Under Abiotic Stress: Yield, Quality, Enhancement and Acclimatization*, 1st eds., *Iksad Publication*, Ankara.
6. Erman, M., **Ceritoglu, M.**, Soysal, S., 2021. A sustainable and effective strategy in salinity stress management: PGPB-priming, In: F. Çiğ (ed) *Bacterial Practices in Agriculture*, 1st eds., *Iksad Publication*, Ankara.
7. Soysal, S., Erman, M., Çiğ, F., **Ceritoglu, M.**, 2021. Microorganisms infecting lentil (*Lens culinaris* Medik.) for atmospheric nitrogen fixation, In: F. Çiğ (ed) *Bacterial Practices in Agriculture*, 1st eds., *Iksad Publication*, Ankara.
8. Ahmad, Z., Tariq, R.M.S., Ramzan, M., Bukhari, M.A., Raza, A., Iqbal, M.A., Meena, R.S., Islam, M.S., Sytar, O., Ntsefong, G.N., Wasaya, A., Singh, K., Hossain, A., Raza, M.A., Hasanuzzaman, M., Soysal, S., Erman, M., Çiğ, F., **Ceritoglu, M.**, Açıkbaş, S., Uçar, Ö., Özçınar, A.B., Kılıç, R., EL Sabagh, A.,

2022. Biological nitrogen fixation: An analysis of intoxicating tribulations from pesticides for sustainable legume production. In: M. Hasanuzzaman, G.J. Ahammed, K. Nahar (Eds.) *Managing Plant Production Under Changing Environment*, 1st eds., Springer, Singapore.
9. Erman, M., **Ceritoğlu, M.**, 2022. Allviation of phosphorus in organic agriculture by phosphorus solubilizing bacteria. In: T. Akar, I. Daşdemir, I. Cengizler (Eds.) *Current Research in Agriculture, Forestry and Aquaculture*, 1st eds., Gece Publishing, Ankara.
10. **Ceritoğlu, M.**, Erman, M., 2022. Enrichment of vermicompost by plant growth promoting bacteria. In: T. Akar (ed.) *Research & Reviews in Agriculture, Forestry and Aquaculture*, 1st edn., Gece Publishing, Ankara.
11. **Ceritoğlu, M.**, Soysal, S., 2023. Bitkisel üretimde salisilik asitin rolü ve fosfor alımı üzerine etkisi, In: F. Çığ, S. Soysal (Eds.) *Tarla Bitkilerinde Yetiştiricilik, Islah ve Yenilikçi Uygulamalar*, 1st eds., Iksad Publications.
12. **Ceritoğlu, M.**, Erman, M., 2023. Sürdürülebilir tarımda vermikompost kullanımının rolü, In: F. Çığ, S. Soysal (Eds.) *Tarla Bitkilerinde Yetiştiricilik, Islah ve Yenilikçi Uygulamalar*, 1st eds., Iksad Publications.
13. Uçar, Ö., Soysal, S., **Ceritoğlu, M.**, 2023. Field crop cultivation in the Southeastern Anatolia region in Türkiye, In: F.D. Bilgin (Edn) *Emerging Trends in Agriculture and Veterinary Sciences*, 1st eds., Iksad Publications.
14. Çığ, F., Özek, R., Erman, M., Soysal, S., Uçar, Ö., Erden, Z., **Ceritoğlu, M.**, Toprak, Ç.C., Özbey, S., Raza, M.A., Lone, J.A., Abro, S., Arshad, M., Efe, M., 2024. Nano-Priming as seed priming technology for sustainable agriculture, In: A. Kumar, A. Elsabagh (Eds.) *Nanotechnology for Agriculture: A Potential Tool for Abiotic Stress Tolerance*, 1st eds., Apple Academic Press.

ULUSLARARASI BİLİMSEL TOPLANTILARDA SUNULAN SUNULU BİLDİRİLER

1. **Ceritoglu, M.**, Şahin, S., Erman, M., 2018. Effect of vermicompost applicaitons on growth and phosphorus uptake of corn (*Zea mays* L.). In: *1. International agricultural science congress*, 9-12 Mayıs, Van, Poster bildirisi.
2. **Ceritoglu, M.**, Şahin, S., 2018. Soya bitkisinin gelişimi üzerine vermikompostun etkileri, In: *1.Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Kongresi*, Aralık 24-25, İstanbul, pp. 348-354.

3. **Ceritoğlu, M.**, Erman, M., 2019. Tane baklagillerin ekim nöbetinde kullanılmasının önemi, In: *6. International Congress on Mathematic, Engineering and Natural Science*, 8-10 Mart, Adana, pp. 396-404.
4. **Ceritoğlu, M.**, Erman, M., 2019. Organik tarımda mikrobiyolojik gübre kullanımının önemi, In: *6. International Congress on Mathematic, Engineering and Natural Science*, 8-10 Mart, Adana, pp. 405-411.
5. **Ceritoğlu, M.**, Erman, M., 2019. Kurak koşullarda yetiştirilen börülcede azot dozlarının klorofil içeriği, tane verimi ve bazı morfolojik özellikler üzerine etkileri, In: *International Conference on Agriculture and Rural Development II*, 27-29 Eylül, Kiev, pp. 2-7.
6. **Ceritoglu, M.**, Erman, M., 2021. Effect of silicon priming treatments on germination and some agronomic traits in lentil, In: *3. International African Conference on Current Studies*, 27-28 February, Abomey-Calavi, Benin, pp. 436-444.
7. **Ceritoglu, M.**, Çiğ, F., Erman, M., 2021. Role of microbial diversity and priming time on effectiveness of bio priming in lentil, In: *Abstract book of The 5th Symposium on EuroAsian Biodiversity*, July 1-3, Kazakhstan, p. 190.
8. Erman, M., **Ceritoglu, M.**, Çiğ, F., 2021. Seed priming with inorganic phosphorus (KH_2PO_4) enhances germination characteristics and seedling vigor in lentil, In: *ISTANBUL International Modern Scientific Research Congress-II*, December 23-25, Istanbul, pp. 500-507.
9. **Ceritoglu, M.**, Çiğ, F., Erman, M., 2021. Influence of different concentrations of boric acid and priming time on barley germination and seedling growth, *ISTANBUL International Modern Scientific Research Congress-II*, December 23-25, Istanbul, pp. 409-416.
10. **Erman, M.**, Çiğ, F., Ceritoglu, M., 2022. Observation of inhibitory effects of rising lead concentrations on germination characteristic and seedling growth in lentil, In: *Cukurova 8th International Scientific Researches Conference*, 15-17 April, Adana, pp. 647-652.
11. Erman, M., Çiğ, F., **Ceritoglu, M.**, Özek, R., 2022. Effects of different nickel concentrations on the germination characteristics and seedling growth characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.), In: *Cukurova 8th International Scientific Researches Conference*, 15-17 April, Adana, pp. 640-646.

12. Çığ, F., Özek, R., Erman, M., Uçar, Ö., Soysal, S., **Ceritoğlu, M.**, 2023. Tarımsal atıkların biyokömür olarak değerlendirilmesi, In: 5. *Uluslararası Palandöken Bilimsel Çalışmalar Kongresi*, 18-19 Mart, Erzurum, pp. 1043-1049.
13. Erman, M., Uçar, Ö., Soysal, S., Çığ, F., **Ceritoğlu, M.**, Erden, Z., 2023. Mercimekte kadmiyum toksisitesinin iyileştirilmesinde silisyum ile tohum ön uygulamalarının etkisi, In: 5. *Uluslararası Palandöken Bilimsel Çalışmalar Kongresi*, 18-19 Mart, Erzurum, pp. 1027-1035.
14. Uçar, Ö., Soysal, S., Çığ, F., Erman, M., **Ceritoğlu, M.**, Toprak, Ç.C., 2023. Mercimekte kurşun (pb) toksisitesinin silisyum ön uygulamaları ile azaltılması, In: 5. *Uluslararası Palandöken Bilimsel Çalışmalar Kongresi*, 18-19 Mart, Erzurum, pp. 1050-1059.

GÖREV ALINAN PROJELER

1. EL Sabagh, A., Erman, M., Çığ, F., **Ceritoglu, M.**, Uçar, Ö., Soysal, S., Kılıç, R., Özek, R., 2021. Buğdayda Cd, Pb ve Ni kaynaklı Ağır Metal Stresinin Bitki Gelişimini Teşvik Edici Bakteriler ile İyileştirilmesi, *Siirt Üniversitesi BAP*, 2021-SİÜZİR-047, 2021-2023 (Araştırmacı).
2. Erman, M., M., Çığ, F., EL Sabagh, A., **Ceritoglu, M.**, Soysal, S., Ceritoglu, F., Kılıç, R., Özek, R., 2022. Biyo-Priming tekniğinin mercimekte kuraklık stresinin azaltılması üzerine etkilerinin araştırılması, *Siirt Üniversitesi BAP*, 2022-SİÜZİR-012, 2021-2023 (Araştırmacı).
3. Çığ, F., Erman, M., **Ceritoglu, M.**, 2022. Tohuma priming uygulamalarının farklı fosfor seviyelerine bağlı olarak mercimekte (*Lens culinaris* L.) bitki gelişimi, tane verimi ve kalitesi üzerine etkilerinin incelenmesi, *Siirt Üniversitesi BAP*, 2022-SİÜFEB-026, 2021-2023 (Araştırmacı).
4. **Ceritoglu, M.**, Erman, M., 2022. Tohuma priming uygulamalarının farklı fosfor seviyelerine bağlı olarak mercimekte (*Lens culinaris* L.) bitki gelişimi, tane verimi ve kalitesi üzerine etkilerinin incelenmesi, *TÜBİTAK-TOVAG*, 222O210, 2021-2023 (Yürütücü).
5. Çığ, F., **Ceritoğlu, M.**, Uçar, Ö., Soysal, S., 2023. Arpada kuraklık toleransının iyileştirilmesi üzerine biyo-priming uygulamalarının ve bitki gelişim düzenleyicilerin rolü, *TÜBİTAK-TOVAG*, 123O212, 2023-devam ediyor (Araştırmacı).