

T.C.

MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

SELENYUM UYGULAMALARININ FARKLI BUĞDAY
(*Triticum aestivum* L., *Triticum durum* Desf.)
GENOTİPLERİ ÜZERİNE ETKİSİ VE SELENYUMUN
KURAKLIK STRESİNE KARŞI KORUYUCU ROLÜNÜN
BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

SULTAN KÖŞKEROĞLU

NİSAN 2013

MUĞLA

T.C.

**MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**SELENYUM UYGULAMALARININ FARKLI BUĞDAY
(*Triticum aestivum* L., *Triticum durum* Desf.)
GENOTİPLERİ ÜZERİNE ETKİSİ VE SELENYUMUN
KURAKLIK STRESİNE KARŞI KORUYUCU ROLÜNÜN
BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

SULTAN KÖŞKEROĞLU

NİSAN 2013

MUĞLA

MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEZ ONAYI

Sultan KÖŞKEROĞLU tarafından hazırlanan **Selenyum Uygulamalarının Farklı Buğday (*Triticum aestivum* L., *Triticum durum* Desf.) Genotipleri Üzerine Etkisi ve Selenyumun Kuraklık Stresine Karşı Koruyucu Rolünün Belirlenmesi** başlıklı tezinin, 17/04/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Biyoloji Anabilim Dalı'nda doktora derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

TEZ SINAV JURİSİ

Prof. Dr. İbrahim YOKAŞ (**Jüri Başkanı-Danışman**)

Ortaca M.Y.O., Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Prof. Dr. Avni GÜVEN

Botanik A.B.D., Ege Üniversitesi, İzmir

Doç. Dr. Atilla Levent TUNA

Biyoloji A.B.D., Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Doç. Dr. Lale YILDIZ AKTAŞ

Botanik A.B.D., Ege Üniversitesi, İzmir

Yrd. Doç. Dr. Bülent YAĞMUR

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme A.B.D., Ege Üniversitesi, İzmir

İmza:

İmza:

İmza:

İmza:

İmza:

ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Prof. Dr. Hasan Sungur CİVELEK

Biyoloji Bölüm Başkanı

Muğla Üniversitesi, Muğla

Prof. Dr. İbrahim YOKAŞ

Danışman, Ortaca M.Y.O.,

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:

İmza:

Savunma Tarihi: 17/04/2013

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.



Sultan Köşkeroglu

17/04/2013

ÖZET

SELENYUM UYGULAMALARININ FARKLI BUĞDAY (*Triticum aestivum* L., *Triticum durum* Desf.) GENOTİPLERİ ÜZERİNE ETKİSİ VE SELENYUMUN KURAKLIK STRESİNE KARŞI KORUYUCU ROLÜNÜN BELİRLENMESİ

Sultan KÖŞKEROĞLU

Doktora Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim YOKAŞ

Nisan 2013, 180 sayfa

Selenyum (Se) kanser ve kardiyovasküler hastalıklar gibi çeşitli hastalıklara karşı koruyucu etkili özel bir besin elementidir ve selenyumun bazı formlarının oldukça etkili antikarsinojenik bileşikler arasında olduğuna inanılmaktadır. Tüm dünyada en fazla tüketilen tahıl olma özeliği ile buğday, ayrıca iyi bir Se kaynağı olarak gösterilmektedir. Bu bağlamda özellikle buğdayın selenyumca zenginleştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar önem kazanmaktadır. İnsanlar için öneminin yanı sıra, Se'un özellikle stres koşullarında bitki büyümesi üzerine iyileştirici etkisinin olduğu tartışılmaktadır.

Bu nedenlerle çalışma kapsamında, farklı uygulama yöntemleriyle (tohum-yaprak-toprak uygulamaları), bitkilerin Se miktarının iyileştirilmesi; buğday genotiplerinin Se biriktirme kapasitesinin araştırılması; Se'un, kuraklık stresi koşullarında, bitki büyümesine ve strese dayanıklılığa katkısının araştırılmasına yönelik saksı ve tarla denemeleri kurulmuştur. Çalışmada Ege Bölgesi'nde yaygın olarak yetiştirilen 3 ekmeklik (Basribey 95, Gönen 98, Meta 2002) buğday genotipi (*Triticum aestivum* L.) ve 3 makarnalık (Ege 88, Şölen 2002, GAP) buğday genotipi (*Triticum durum* Desf.) kullanılmıştır.

Çalışma sonuçlarına göre, selenyuma gösterdikleri tepkiler bakımından hem ekmeklik, hem de makarnalık buğday genotipleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur. Ancak bu farklılıkların, buğday tanesindeki selenyum konsantrasyonunu artırmak amacıyla yapılacak ıslah programlarında söz konusu buğday genotiplerini kullanmak için yetersiz ve düşük düzeyde olduğu görülmüştür.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar i) tohuma ve yaprağa Se uygulanarak tane Se konsantrasyonun zenginleştirilebilirliğine ii) ekmeklik ve makarnalık buğday genotipleri arasında Se alımı açısından fark olduğuna ve iii) bazı Se uygulamalarının bazı buğday genotiplerinde prolin içeriğini, antioksidatif enzim aktivitelerini (SOD, POX, CAT, APX ve GSH-Px), antioksidatif kapasiteyi arttırıp, lipid peroksidasyonu (MDA içeriği) ve hidrojen peroksit içeriğini azaltarak kuraklık stresi koşullarında buğday bitkileri üzerine koruyucu rolünün olabileceğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Selenyum, Ekmeklik Buğday, Makarnalık Buğday, Kuraklık Stresi, Antioksidatif Savunma Sistemi

ABSTRACT
THE EFFECT OF SELENIUM TREATMENTS ON DIFFERENT WHEAT
GENOTYPES (*Triticum aestivum* L., *Triticum durum* Desf.) AND
DETERMINATION OF SELENIUM's PROTECTIVE ROLE AGAINST
DROUGHT STRESS

Sultan KÖŞKEROĞLU

Ph. D. Thesis

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim YOKAŞ

April 2013, 180 pages

Selenium (Se) is one particular nutrient with high protective effect against different diseases such as cancer and cardiovascular diseases and it is widely believed that some forms of selenium (Se) are among the most effective anti-carcinogenic compounds. Studies conducted in different countries revealed that wheat is one of the best Se source for human beings. Wheat is, therefore, an important targeted stable food for enrichment (biofortification) with Se. Selenium is also believed to act protective roles in plants against different abiotic stress factors. However, various controversial results are available in literature regarding the protective roles of Se in plants.

In the present study, because of these reasons, pot and field experiments have been conducted to improve Se status of plants by different Se treatments (seed-leaf-soil); to screen various wheat genotypes for their Se accumulation and to understand better the protective role of Se in plants under drought stress conditions. Three bread (Basribey 95, Gönen 98, Meta 2002) wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) and three durum (Ege 88, Şölen 2002, GAP) wheat genotypes (*Triticum durum* Desf.), commonly cultivated in Aegean Region, have been used in the experiments.

Statistically significant differences were found among both bread and durum wheat genotypes regarding their response to Se addition. However, it was observed that these differences were low and not sufficient to use the wheat cultivars mentioned above in breeding studies aiming to increase the Se concentration in wheat grain.

The result of this thesis indicate that i) treating wheat genotypes with Se by seed and leaf treatment might be a practical approach to improve grain Se concentration, ii) there is difference between bread and durum wheat genotypes tested in the present study with regards to Se uptake, and iii) some Se treatments might have protective effect in some wheat genotypes through increasing proline content, antioxidative enzymes (SOD, POX, CAT, APX, and GSH-Px), antioxidative capacity and decreasing lipid peroxidation (MDA content) and hydrogen peroxide levels under drought stress conditions.

Keywords: Selenium, Bread Wheat, Durum Wheat, Drought Stress, Antioxidative
Defence System

Canım babama...

ÖNSÖZ

Doktora araştırmalarımnda değerli grş ve katkılarından yararlandığım, bana rahat bir çalışma ortamı sunan, tezimin her aşamasında çıkmaza düştüğüm zamanlarda hep yol gösterici olan, bilgileri ve engin tecrübeleri ile değerli görüşlerinden yararlandığım, daima örnek aldığım ve meslek hayatım boyunca örnek almaya devam edeceğim değerli hocam Prof. Dr. İbrahim YOKAŞ’a teşekkür ederim.

Derin bilgi birikimlerinden yararlandığım, çalışmamın her aşamasında bana hep destek olan ve çalışma süresince fikir ve katkılarından yararlanırken göstermiş oldukları hoşgörülerinden ötürü sayın hocalarım Prof. Dr. Avni GÜVEN ve Doç. Dr. A. Levent TUNA’ya teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan, hayatımın her aşamasında sevgisini, şefkatini ve ilgisini hiç eksik etmeyen babam Hikmet KÖŞKEROĞLU, annem Bahtiyar KÖŞKEROĞLU ve hep desteklerini gördüğüm kardeşlerim şevket KÖŞKEROĞLU ve Serkan KÖŞKEROĞLU’na teşekkür ederim.

Bu tez alışması BAP-2011/16 numaralı Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	5
1.2. Kaynak özetleri.....	7
1.2.1. Selenyumun tarihçesi ve özellikleri.....	7
1.2.2.Selenyum ve insan sağlığı.....	9
1.2.2.1. Selenyumun kimyasal formları ve metabolizması.....	9
1.2.2.2. Selenyumun biyolojik fonksiyonları.....	10
1.2.2.3. Selenyum eksikliğinin insan sağlığı üzerine etkileri.....	12
1.2.3. Toprakta selenyum.....	12
1.2.4. Bitkilerde selenyum.....	13
1.2.4.1. Bitkilerde selenyum alımı ve metabolizması.....	13
1.2.4.2. Bitkilerde selenobileşikler.....	15
1.2.4.3. Bitki stres fizyolojisinde selenyum.....	16
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	22
2.1. Malzeme.....	22
2.1.1. Bitki materyali.....	22
2.1.2. Toprak materyali.....	22
2.1.3. Selenyum.....	23
2.1.2.1. Sodyum Selenatın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	23
2.2.Yöntem.....	23
2.2.1. Saksı denemesi.....	23
2.2.2.Tarla Denemesi.....	26
2.2.3. Bitki Analizleri.....	28
2.2.3.1. Selenyum toksisite toleransı ve kuru madde.....	28
2.2.3.2. Makro ve mikro element içerikleri.....	28
2.2.3.3. Prolin ve klorofil içerikleri.....	29

2.2.3.4. Çözünebilir protein içerikleri.....	29
2.2.3.5. Antioksidatif enzim aktiviteleri.....	29
2.2.3.6. Antioksidatif kapasite (% DPPH radikal inhibisyonu) belirlenmesi.....	29
2.2.3.7. Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) ve lipid peroksidasyonu (MDA) içerikleri.....	29
2.2.3.8. İstatistiksel analizler.....	30
3. BULGULAR VE İRDELEME	31
3.1. Saksı Denemesi Analiz Bulguları.....	31
3.1.1. Ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin farklı selenyum uygulamalarına tepkilerinin belirlenmesi.....	31
3.1.1.1. Selenyum içerikleri, kuru madde ve selenyum toksisite toleransı.....	31
3.1.1.2. Makro ve mikro element içerikleri.....	36
3.1.1.3. Prolin ve klorofil içerikleri.....	47
3.1.1.4. Çözünebilir protein içerikleri.....	52
3.1.1.5. Antioksidatif enzim aktiviteleri.....	55
3.1.1.6. Antioksidatif kapasite (% DPPH radikal inhibisyonu).....	65
3.1.1.7. Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) ve lipid peroksidasyonu (MDA) içerikleri.....	67
3.1.2. Kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin farklı selenyum uygulamalarına tepkilerinin belirlenmesi.....	72
3.1.2.1. Selenyum içerikleri, kuru madde ve selenyum toksisitesi toleransı.....	72
3.1.2.2. Makro ve mikro element içerikleri.....	76
3.1.2.3. Prolin ve klorofil içerikleri.....	88
3.1.2.4. Çözünebilir protein içerikleri.....	92
3.1.2.5. Antioksidatif enzim aktiviteleri.....	94
3.1.2.6. Antioksidatif kapasite (% DPPH radikal inhibisyonu).....	106
3.1.2.7. Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) ve lipid peroksidasyonu (MDA) içerikleri.....	109
3.2. Tarla Denemesi Analiz Bulguları.....	113
3.2.1. Selenyum içerikleri, kuru madde selenyum toksisite toleransı ve 1000 tane ağırlıkları.....	113
3.2.2. Tane makro ve mikro element içerikleri.....	121
3.2.3. Prolin ve klorofil içerikleri.....	133

3.2.4. Çözünebilir protein içerikleri	137
3.2.5. Antioksidatif enzim aktiviteleri	139
3.2.6. Antioksidatif kapasitesi (% DPPH radikal inhibisyonu)	146
3.2.7. Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) ve lipid peroksidasyonu (MDA) içerikleri	148
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	152
KAYNAKLAR	156
ÖZGEÇMİŞ	179

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. İnsan yaşamı için gereksinim duyulan besin öğeleri.....	2
Çizelge 1.2. İnsanlar tarafından ihtiyaç duyulan temel mineral elementler.....	2
Çizelge 2.1. Tarla denemesi toprak materyalinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	22
Çizelge 3.1. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde selenyum içeriği ($\mu\text{g kg}^{-1}$) üzerine etkisi.....	33
Çizelge 3.2. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde kuru madde (g) üzerine etkisi.....	34
Çizelge 3.3. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde selenyum toksisite seviyeleri (%) üzerine etkisi.....	35
Çizelge 3.4. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde potasyum (K) içeriği (%) üzerine etkisi.....	38
Çizelge 3.5. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde kalsiyum (Ca) içeriği (%) üzerine etkisi.....	39
Çizelge 3.6. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde magnezyum (Mg) içeriği (%) üzerine etkisi.....	40
Çizelge 3.7. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde sodyum (Na) içeriği (%) üzerine etkisi.....	41
Çizelge 3.8. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde demir (Fe) içeriği (ppm) üzerine etkisi.....	43
Çizelge 3.9. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde bakır (Cu) içeriği (ppm) üzerine etkisi.....	44
Çizelge 3.10. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde mangan (Mn) içeriği (ppm) üzerine etkisi.....	45
Çizelge 3.11. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde çinko (Zn) içeriği (ppm) üzerine etkisi.....	46
Çizelge 3.12. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin prolin miktarı ($\mu\text{M g}^{-1}$ Y.A.) üzerine etkisi.....	49
Çizelge 3.13. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin klorofil içeriği (mg g^{-1} Y.A.) üzerine etkisi.....	50

Çizelge 3.14. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin çözünebilir protein miktarı (mg g^{-1} Y.A.) üzerine etkisi.....	54
Çizelge 3.15. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin antioksidatif kapasitesi (% DPPH radikal inhibisyonu) üzerine etkisi.....	66
Çizelge 3.16. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriği ($\mu\text{M g}^{-1}$ Y.A.) üzerine etkisi.....	68
Çizelge 3.17. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin lipid peroksidasyonu (nM g^{-1} Y.A.) üzerine etkisi.....	71
Çizelge 3.18. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde selenyum içeriği ($\mu\text{g kg}^{-1}$) üzerine etkisi.....	73
Çizelge 3.19. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde kuru madde (g) üzerine etkisi.....	74
Çizelge 3.20. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde selenyum toksisite seviyeleri (%) üzerine etkisi.....	75
Çizelge 3.21. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde potasyum (K) içeriği (%) üzerine etkisi.....	78
Çizelge 3.22. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde kalsiyum (Ca) içeriği (%) üzerine etkisi.....	79
Çizelge 3.23. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde magnezyum (Mg) içeriği (%) üzerine etkisi.....	80
Çizelge 3.24. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde sodyum (Na) içeriği (%) üzerine etkisi.....	81
Çizelge 3.25. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde demir (Fe) içeriği (ppm) üzerine etkisi.....	84
Çizelge 3.26. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde bakır (Cu) içeriği (ppm) üzerine etkisi.....	85
Çizelge 3.27. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde mangan (Mn) içeriği (ppm) üzerine etkisi.....	86

Çizelge 3.28. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde çinko (Zn) içeriği (ppm) üzerine etkisi.....	87
Çizelge 3.29. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin prolin miktarı ($\mu\text{M g}^{-1}$ Y.A.) üzerine etkisi.....	90
Çizelge 3.30. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin klorofil içeriği (mg g^{-1} Y.A.) üzerine etkisi.....	91
Çizelge 3.31. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin çözünebilir protein miktarı (mg g^{-1} Y.A.) üzerine etkisi.....	93
Çizelge 3.32. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin antioksidatif kapasitesi (% DPPH radikal inhibisyonu) üzerine etkisi.....	108
Çizelge 3.33. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriği ($\mu\text{M g}^{-1}$ Y.A.) üzerine etkisi.....	111
Çizelge 3.34. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin lipid peroksidasyonu (nM g^{-1} Y.A.) üzerine etkisi.....	112
Çizelge 3.35. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane selenyum içeriği (ppm) üzerine etkisi.....	116
Çizelge 3.36. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde kuru madde (g) üzerine etkisi.....	117
Çizelge 3.37. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde selenyum toksisite seviyeleri (%) üzerine etkisi.....	118
Çizelge 3.38. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin 1000 tane ağırlığı (g) üzerine etkisi.....	119
Çizelge 3.39. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane potasyum (K) içeriği (%) üzerine etkisi.....	123
Çizelge 3.40. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane kalsiyum (Ca) içeriği (%) üzerine etkisi.....	124
Çizelge 3.41. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane magnezyum (Mg) içeriği (%) üzerine etkisi.....	125
Çizelge 3.42. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane sodyum (Na) içeriği (%) üzerine etkisi.....	126
Çizelge 3.43. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane demir (Fe) içeriği (ppm) üzerine etkisi.....	127

Çizelge 3.44. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane bakır (Cu) içeriği (ppm) üzerine etkisi.....	128
Çizelge 3.45. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane mangan (Mn) içeriği (ppm) üzerine etkisi.....	129
Çizelge 3.46. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin çinko (Zn) içeriği (ppm) üzerine etkisi.....	130
Çizelge 3.47. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin prolin miktarı ($\mu\text{M g}^{-1}$ Y.A.) üzerine etkisi.....	135
Çizelge 3.48. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin klorofil içeriği (mg g^{-1} Y.A.) üzerine etkisi.....	136
Çizelge 3.49. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin çözünebilir protein içeriği (mg g^{-1} Y.A.) üzerine etkisi.....	138
Çizelge 3.50. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin antioksidatif kapasitesi (% DPPH radikal inhibisyonu) üzerine etkisi.....	147
Çizelge 3.51. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriği ($\mu\text{M g}^{-1}$ Y.A.) üzerine etkisi.....	149
Çizelge 3.52. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin lipid peroksidasyonu (nM g^{-1} Y.A.) üzerine etkisi.....	150

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil.1.1.	Bitkilerde selenyum alınımı ve metabolizması.....	14
Şekil 1.2.	Bitkilerde ROS süpürücü metabolik yollar.....	17
Şekil 1.3.	Stres altındaki bitkilerde Se ilavesinden sonra ROS üretimi ve sınırlandırılmasından sorumlu mekanizmalara genel bakış.....	19
Şekil 1.4.	Bitkilerde başlıca Se asimilasyonu yolları.....	21
Şekil 2.1.	Saksı denemesinden bir görüntü.....	25
Şekil 2.2.	Saksı denemesi alanından genel bir görüntü.....	25
Şekil 2.3.	Tarla denemesi başlangıcına ait bir görüntü.....	26
Şekil 2.4.	Tarla denemesi alanından genel bir görüntü.....	27
Şekil 2.5.	Tarla denemesi hasat öncesi genel bir görüntü.....	27
Şekil 3.1.	Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin SOD aktivitesi (Unit mg^{-1} protein) üzerine etkisi.....	56
Şekil 3.2.	Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin POX aktivitesi ($\Delta\text{A}470 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$) protein üzerine etkisi.....	60
Şekil 3.3.	Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin CAT aktivitesi ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ Y.A}$) üzerine etkisi.....	61
Şekil 3.4.	Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin APX aktivitesi (Unit $\text{g}^{-1} \text{ Y.A.}$) üzerine etkisi.....	62
Şekil 3.5.	Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin GSH-Px ($\text{nM mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$) üzerine etkisi.....	63
Şekil 3.6.	Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin SOD aktivitesi (Unit mg^{-1} protein) üzerine etkisi.....	95
Şekil 3.7.	Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin POX aktivitesi ($\Delta\text{A}470 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ protein}$) üzerine etkisi.....	98
Şekil 3.8.	Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin CAT aktivitesi ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ Y.A}$) üzerine etkisi.....	100
Şekil 3.9.	Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin APX aktivitesi (Unit $\text{g}^{-1} \text{ Y.A.}$) üzerine etkisi.....	102

Şekil 3.10. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin GSH-Px ($\text{nM mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$) üzerine etkisi.....	104
Şekil 3.11. Tarla denemesi yaprak selenyum uygulamasından bir görüntü.....	114
Şekil 3.12. Tarla denemesinden elde edilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotipleri tane örnekleri.....	121
Şekil 3.13. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin SOD aktivitesi ($\text{Unit mg}^{-1} \text{ protein}$) üzerine etkisi.....	141
Şekil 3.14. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin POX aktivitesi ($\Delta\text{A470 min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$) protein üzerine etkisi.....	142
Şekil 3.15. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin CAT aktivitesi ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ Y.A.}$) üzerine etkisi.....	143
Şekil 3.16. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin APX aktivitesi ($\text{Unit g}^{-1} \text{ Y.A.}$) üzerine etkisi.....	144
Şekil 3.17. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin GSH-Px ($\text{nM mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$) üzerine etkisi.....	145

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	Santigrat Derece
mM	Mili Molar
µM	Mikro Molar
ml	Mililitre
mg	Miligram
µl	Mikrolitre
µg	Mikrogram
MPa	Megapaskal
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit
O ₂ ^{·-}	Süperoksit Radikali
¹ O ₂	Singlet Oksijen
OH ⁻	Hidroksil Radikali
Se	Selenyum
Ca	Kalsiyum
K	Potasyum
Mg	Magnezyum
Na	Sodyum
Cu	Bakır
Fe	Demir
Mn	Mangan
Zn	Çinko
Se ⁺⁴	Selenit
Se ⁺⁶	Selenat
Na ₂ SeO ₄	Sodyum Selenat
SeMet	Selenomethionin
SeCys	Selenosistein
DMSe	Dimetilselenide
MeSeCys	Se-methilselenosistein
GGMeSeCys	γ-glutamil- Se-methilselenosistein
SeMM	Se-metilselenometionin
ATPS	ATP-sülfürlaz
SOD	Süperoksit Dismutaz

APX	Askorbat Peroksidaz
tAPX	Tilakoid Bağlı APX
POX	Peroksidaz
CAT	Katalaz
GSH-Px	Glutasyon Peroksidaz
MDA	Malondialdehit
MDAR	MDA Redüktaz
PSI	Fotosistem I
ROS	Reaktif Oksijen Türleri
NADPH	Nikotinamid Dinükleotid Fosfat
DHA	Dehidroaskorbat
DHAR	DHA redüktaz
GSSG	Okside Glutasyon
DNA	Deoksiribonükleik Asit
ATP	Adenozintrifosfat
BSA	Bovine Serum Albümin
EDTA	Etilen Diamin Tetraasetik Asit
NBT	p-nitro Blue Tetrazolium Klorür

1.GİRİŞ

Toplumu ve onu oluşturan bireylerin sağlıklı ve güçlü olarak yaşamasında, ekonomik ve sosyal yönden gelişmesinde, refah düzeyinin artmasında, huzurlu ve güvence altında varlığını sürdürebilmesinde yeterli ve dengeli beslenme temel koşullardan birisi belki de en önemlisidir (Anonymous, 2001). Beslenme, açlık duygusunu bastırmak, karın doyurmak ya da canının çektiği şeyleri yemek içmek değildir. Beslenme; sağlığı korumak, geliştirmek ve yaşam kalitesini yükseltmek için vücudun gereksinimi olan besin öğelerini yeterli miktarlarda ve uygun zamanlarda almak için bilinçli yapılması gereken bir eylemdir (Anonymous, 2004).

Bilimsel araştırmalarla, insanın yaşamı için 50'ye yakın besin öğesine gereksinimi olduğu (Çizelge 1.1) ve insanın, sağlıklı büyüme ve gelişmesi, sağlıklı ve üretken olarak uzun süre yaşaması için bu öğelerin (karbonhidrat, protein, yağ, vitaminler, mineraller, su) her birinden günlük ne kadar alınması gerektiği belirlenmiştir (Anonymous, 2004; Welch ve Graham, 2005). Bu öğelerin herhangi biri alınmadığında, gereğinden az ya da çok alındığında, büyüme ve gelişmenin engellendiği ve sağlığın bozulduğu bilimsel olarak ortaya konmuştur.

İnsan yaşamı için gereksinim duyulan 50'ye yakın besin öğesinin (Welch ve Graham, 2005) 20'den fazlasını mineral elementler oluşturmaktadır (Welch ve Graham, 2005; White ve Broadley 2005). Bunlardan bazılarını fazla miktarlarda ihtiyaç duyulurken Fe, Zn, Cu, I ve Se gibi diğer mineral elementlere ise eser miktarlarda ihtiyaç duyulmaktadır (Çizelge 1.2)

Dünyada, özellikle gelişmekte olan ülkelerde insanlarda başta Fe, Zn ve Se olmak üzere mikro element eksiklikleri ve buna bağlı ciddi sağlık sorunları çok yaygın biçimde ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar mikro element eksiklikleri probleminin dünya nüfusunun yarısını etkilediğini göstermektedir. Sorunun başlıca nedeni olarak da mikro elementlerce çok fakir olan tahıl kökenli gıdaların yoğun biçimde tüketilmesi gösterilmektedir (Çakmak vd. 2002).

Dünya’da yaklaşık 1 milyar insanın Se alımının yetersiz olduğu ve bu oranın Batı Avrupa gibi gelişmiş ülkeleri de kapsadığı bildirilmektedir (Combs, 2001). Selenyum eksikliği olan bitkisel kökenli gıdaların/yemlerin tüketilmesiyle selenyuma mutlak gereksinim duyan insan ve hayvanlarda önemli sağlık sorunları ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 1.1. İnsan yaşamı için gereksinim duyulan besin öğeleri (Welch ve Graham, 2005).

Su ve Enerji	Protein (Amino asitler)	Yağlar (Yağasitleri)	Makro elementler	Mikro elementler	Vitaminler
Su	Histidin	Linoleik asit	Na	Fe	A
Karbonhidratlar	İzolesin	Liolenik asit	K	Zn	D
	Lösin		Ca	Cu	E
	Lizin		Mg	Mn	K
	Metionin		S	I	C
	Metionin		P	B	B ₁ (thiamin)
	Fenilalain		Cl	Se	B ₂ (riboflavin)
	Treonin			Mo	B ₃ (pantotenik asit)
	Triptofan			Ni	B ₆
	Triptofan			Cr	Folik asit
	Valin			Si	Biotin
				As	Niasin
				Li	B ₁₂ (kobalamin)
				Sn	
				V	
				Co (B ₁₂ de)	

Çizelge 1.2. İnsanlar tarafından ihtiyaç duyulan temel mineral elementler (White ve Broadley, 2005).

Element	RDA*	RNI	UL	SUL
N	NS	NS	NS	NS
S	NS	NS	NS	NS
K (mg)	1600-3500	3500	NS	3700
Cl (mg)	750-3400	2500	NS	NS
Ca (mg)	1000-1200	700	2500	1500
P (mg)	700	550	4000	250
Na (mg)	500-2400	1600	<2400	NS
Mg (mg)	310-420	300	350	400
Fe (mg)	8-18	11.4	45	17
Zn (mg)	8-11	9.5	40	25
Mn (mg)	1.8-2.3	> 1.4	11	4
Cu (mg)	0.9	1.2	10	10
I (µg)	150	140	1100	500
Se (µg)	55	75	400	450
Mo(µg)	45	50-400	2000	NS
Cr (µg)	25-35	> 25	NS	NS
F (mg)	3-4	NS	10	NS
B (mg)	NS	NS	20	9.6
Ni (mg)	NS	NS	1000	260
V (mg)	NS	NS	1.8	NS
Si (mg)	NS	NS	NS	1500
As	NS	NS	NS	NS

*RDA: önerilen günlük alım miktarı; RNI: İngiltere günlük referans besin alımı;
UL: ABD tolere edilebilir üst alım seviyesi; SUL: İngiltere, güvenilir üst seviye;
NS: belirlenmemiş.

Değişik ülkelerde yapılan çalışmalar, insanların günlük Se alımında diyetteki gıda kaynaklarının önemli olduğunu göstermektedir. Tüketilen gıdalar Se bakımından fakir ise zamanla insanlarda Se eksikliği baş göstermektedir (Ellis ve Salt, 2003; Finley, 2005). Bitkisel kökenli gıdaların Se miktarı, yetiştiği toprağın Se miktarına bağlı olarak büyük değişkenlikler göstermektedir. Bu yüzden günlük Se alımı dünyanın değişik bölgelerinde büyük ölçüde farklılıklar sergilemektedir.

Diyet selenyumunun yetersizliği insan sağlığında geniş kapsamlı etkilere neden olmaktadır (Foster ve Sumar, 1997). Düşük selenyum seviyesi; hipertansiyon, kısırlık, kistik fibrosis, eklem iltihabı, kas bozuklukları, viral enfeksiyonlara karşı hassasiyet (Johnson vd. 2000), kardiyovasküler hastalıklar, tiroid fonksiyonu bozukluğu (guatr), depresyon ve kanser (özellikle kolon, prostat, akciğer ve diğer kanser türleri) (Brown ve Arthur, 2001; Combs ve Lu, 2001; Rayman, 2002) gibi hastalıklarla ilişkilendirilmektedir. Son yıllarda giderek kabul gören kanıya göre Se ayrıca savunma sisteminin kuvvetlenmesinde ve AIDS hastalığının önüne geçilmesinde de çok etkin olan bir mineral elementtir. Günde 200 µg Se kullanımının AIDS hastalarında çok olumlu sonuçlar verdiği bulunmuştur (Rayman, 2000). Hayvanlarda ise selenyum eksikliğinden dolayı beyaz kas hastalığı, iskelet bozuklukları, sığırlarda karaciğer nekrozu ve yavru da ölüm meydana gelmektedir (Kishchak, 1998).

Biyolojik yapılarda, Se'un proteinle birleşmesinden dolayı protein miktarı yüksek olan gıdalar genellikle Se bakımından zengindirler. Genellikle kırmızı et, balık, deniz ürünleri, sakatatlar (karaciğer, böbrek) selenyum açısından beyaz et, süt ürünleri ve tahıllara göre daha zengin gıdalardır (Şimşek vd. 2004). Fakat selenyumun bitkisel gıdalardaki formları hayvansal gıdalardaki formlarından genellikle daha yüksek biyoelverişliliğe sahiptir (Lyons vd. 2003).

Buğday ve buğday ürünleri insanların günlük Se alımının büyük bir bölümünü tek başına karşılamaktadır. Tarama çalışmaları, buğdayın yaygın tahıl ürünleri (buğday, çeltik, mısır arpa, yulaf) arasında en etkili Se akümülatörü olduğunu göstermiştir (Lyons vd. 2003). Türkiye geneline bakıldığında, tahıl ve tahıl ürünlerinin tüketimi ilk sırada yer almaktadır. Tahıl grubu tüketimini takiben ikinci sırada sebze tüketimi gelmektedir. Et ve et ürünleri protein açısından çok önemli gıda maddeleri olmasına rağmen Türkiye genelinde tüketim yüzdesi diğer gıda gruplarının tüketimleri içerisinde sadece %3'tür (Anonymous, 2001). Türk halkının beslenme durumuna

bakıldığında Türkiye’de temel besin ekmek ve diğer tahıl ürünleridir. Günlük enerjinin ortalama %44’ü sadece ekmekten, %58’i ise ekmek ve diğer tahıl ürünlerinden sağlanmaktadır (Pekcan, 2006).

Selenyumun insan ve hayvan sağlığı açısından taşıdığı kritik öneminden dolayı bitkilerdeki ve bitkisel kökenli gıdalardaki miktarının yüksek olması arzu edilmektedir. Buğdayın ve buğday ürünlerinin insanların günlük selenyum alımında önemli bir gıda kaynağı olması nedeniyle bu konu dünyada giderek önem kazanmaya başlamıştır. Günümüzde yetiştirilen buğdayların Se konsantrasyonunun çok düşük olması nedeniyle, buğdayların ya gübreleme (agronomic biofortification) yada ıslah yoluyla (genetic biofortification) selenyum bakımından zenginleştirilmesi tane selenyum konsantrasyonunun artırılmasında en etkili stratejiler olarak değerlendirilmektedir (Lyons vd. 2003).

Selenyum insanlar ve hayvanlar için önemli bir iz element iken (Combs ve Combs, 1986), yüksek bitkilerdeki önemi henüz açıklanamamıştır (Terry vd. 2000; Pallud vd. 1991). 1935 yılından sonra yapılan çalışmalarda, çeşitli çayır ve mera yem bitkileri ve dane yemler için Se’un önemli bir etkisinin olduğu ve eksikliğin veya fazlalığının bitki ve hayvanlarda çeşitli hastalık ve olumsuzluklara neden olduğu tespit edilmiştir. *Lactuca sativa* L. ve *Lolium perenne* L. ile yapılan çalışmalar yüksek Se konsantrasyonunun toksik, düşük Se konsantrasyonunun ise bitkilerde olumsuz etkiler sağlayabileceğini göstermiştir (Gjengedal ve Steinnes, 1990). Selenyum bitkilerde senesensin gecikmesini ve UV etkenliğinde gerçekleşen oksidatif strese karşı bitkilerin toleransının artırılmasını ve fidelerin gelişimini teşvik ettiğine dair çalışmalar bulunmaktadır (Hartikainen ve Xue, 1999; Xue vd. 2001).

Selenyum bir seleno enzim olan ve peroksitleri azaltmasıyla antioksidant kapasiteye sahip glutatyon peroksidazın (GSH-Px; EC 1.11.1.9) komponentidir (Flohe vd. 1973; Rotruck vd. 1973). Bununla birlikte bitkilerde gerekli element olarak rolü tartışmalıdır. Fakat GSH-Px enziminin yapısında yer almasından dolayı hem lipid peroksidasyonu azaltması hem de GSH-Px enzim aktivitesini arttırmasıyla selenyumun yüksek bitkilerde oksidatif strese karşı koruyucu rolünün işaret eden artan kanıtlar vardır (Hartikainen ve Xue, 1999; Hartikainen vd. 2000; Pennanen vd. 2002; Xue ve Hartikainen, 2000; Xue vd. 2001; Cartes vd. 2005). Patatesle yapılan çalışmalarda; selenyumun kloroplastlardaki oksidatif stresi hafifletebileceğinden bir antioksidan veya koruyucu mekanizmalarının aktivitesi olduğu öne sürülmüştür

(Seppa''nen vd. 2003). Nowak vd. (2004) buğday bitkisinde oksidoredüktaz enzimler üzerine selenyumun önemli etkisi olduğunu bulmuştur. Özellikle düşük selenyum konsantrasyonu ($0.05 \text{ mmol kg}^{-1}$ toprak), buğday bitkilerinde antioksidatif savunma sistemini olumlu etkilemiştir. Fakat yüksek konsantrasyonlar stresin neden olduğu olumsuz bitki cevaplarını arttırmıştır.

Bu noktada selenyumun bitkileri abiyotik stres koşullarından koruyabileceği düşünülmekte ve son yıllarda bu konuda çalışmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte yapılan çalışmaların sonuçlarından henüz net bir sonuç elde edilememiştir. İnsan sağlığı açısından bitkilerin selenyum içeriğinin arttırılmasına yönelik çalışmalar yanında selenyumun bitkileri stres koşullarında koruyucu rolü üzerine yapılan ve yapılacak olan çalışmaların da önemi büyüktür. Tüm bu koşullar değerlendirilerek bu tez çalışması; insanların günlük selenyum alımında büyük paya sahip olan ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin selenyum içeriğinin arttırılması ve bitki gelişimi açısından uygun selenyum uygulamalarının tespiti ve selenyumun kuraklık stresi koşullarında bitki gelişimi üzerine etkisinin değerlendirilmesi üzerinedir.

1.1. Amaç ve Kapsam

Selenyumun bitki gelişimi için gerekli olup olmadığı tartışma konusu olmakla birlikte insan ve hayvan sağlığı açısından bitkilerdeki ve bitkisel kökenli gıdalardaki miktarı önemlidir. İnsanlarda Se eksikliğinin ana nedeni olarak, tüketilen bitkisel kökenli gıdaların (özellikle buğdayın) Se bakımından fakir olması gösterilmektedir.

Dünyanın birçok bölgesinde insanların günlük selenyum ihtiyacını karşılanmasını sağlamak amacıyla besin maddelerinin selenyum içeriğinin arttırılması üzerine yapılan çalışmalar yapılmaya devam etmekte ve giderek önem kazanmaktadır. Bu amaçla özellikle tarımı yapılan kültür bitkilerinin selenyum içerikleri farklı gübreleme yöntemleriyle arttırılmaya çalışılmaktadır. Tüm dünyada en fazla tüketilen tahıl olma özeliği ile buğday, ayrıca iyi bir Se kaynağı olarak gösterilmektedir. Ülkemiz topraklarında ve bu topraklarda üretilen bitkisel gıdalardaki selenyum içeriğinin de insan beslenmesi açısından yetersiz olduğu düşünülürse, bu tarz çalışmaların yapılması gerekliliği artmaktadır.

Ülkemizde insanların besin kaynaklarının en önemlisi tahıllardır. Tahıllar arasında ise en fazla tüketileni buğday olarak bilinmektedir. Bu bağlamda özellikle buğdayın selenyumca zenginleştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar önem kazanmaktadır. Bitkilerde selenyum miktarını arttırmak için farklı gübreleme teknikleri kullanılmaktadır. Buğday bitkisinde selenyum içeriğinin arttırılması ve toksisite etkilerinin değerlendirilmesi açısından en uygun gübreleme uygulamasının tespiti tez çalışmasının temel noktalarından biridir.

İnsanlar için öneminin yanı sıra, selenyumun özellikle stres koşullarında bitki büyümesi üzerine iyileştirici etkisinin olduğu tartışılmaktadır. Selenyumun bitkilerde, özellikle stres koşullarında antioksidatif savunma sistemi üzerine olumlu etkisi olduğu bilinse de, bu konuda yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar hala tartışılmaktadır. Bu noktada selenyumun kuraklık stresi koşullarında buğday bitkisi gelişimi ve antioksidatif savunma sistemi üzerine etkisinin araştırılması çalışmanın diğer temelini oluşturmaktadır.

Kuraklık stresi bitkilerde fotosentetik karbon metabolizmasını ve elektron transport aktivitesini sınırlandırmakta ve bozmaktadır. Kuraklık stresinde bitkilerin su kaybını azaltmak için stomalarını kapatmasıyla, CO₂ girişinin engellenmesi sonucu, CO₂ fiksasyonu azalmaktadır. Stres koşullarında oluşan ve son yıllarda üzerinde en çok durulan zarar bu aşamada başlamaktadır. CO₂ fiksasyonunda kullanılmayan elektronlar ile absorbe edilen ışık enerjisi O₂'nin aktivasyonunda yani toksik O₂ radikallerin sentezlenmesinde kullanılmaktadır.

Bitkiler kendilerini toksik O₂ türevlerine karşı koruyan değişen miktarlarda antioksidantlara ve antioksidatif enzimlere sahiptirler. Süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon peroksidaz (GPX) ve katalaz (CAT) gibi enzimler ise bu radikallerin yok edilmesinde en etkin antioksidatif enzimler olarak bilinmektedir. Selenyumun antioksidatif savunma stresine olan etkisini değerlendirmek için hem normal koşullarda hem de kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinde selenyum uygulamalarının sayılan antioksidatif enzimler üzerine ve toksik oksijen türevlerinin neden olduğu lipid peroksidasyonu üzerine etkisinin olup olmadığının araştırılması önem taşımaktadır.

Tüm bu koşullar değerlendirilerek tez konusu; farklı selenyum uygulamalarının (gübreleme yöntemlerinin) Ege Bölgesi'nde yaygın olarak yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin selenyum alımı üzerine etkisi, çeşitlerin selenyum alımındaki farklılıklarının belirlenmesi ve kuraklık stresi koşullarında buğday bitkisi gelişimi ve antioksidatif savunma sistemi üzerine selenyumun etkisinin araştırılması üzerinedir. Bu noktada tez çalışmasının amacı; I) farklı uygulama yöntemleri (toprakdan, tohumla ve yaprakdan) ile ekmeklik (*Triticum aestivum* L.) ve makarnalık (*Triticum durum* Desf.) buğday genotiplerinin Se alımını arttırma açısından uygun yöntemi tespit etmek, II) genotipler arasında Se alımları açısından ayırım olup olmadığını ve çeşitlerin selenyum toleranslarını belirlemek ve III) Se uygulamalarının kuraklık stresi koşulları altında bitki gelişimi ve antioksidatif savunma sistemi üzerine etkisini araştırmak olarak belirlenmiştir..

1.2. Kaynak Özetleri

1.2.1. Selenyumun tarihçesi ve özellikleri

Selenyum (Se) elementi 1817 yılında İsveçli kimyacı Jons Jacob Berzelius tarafından bakırın ısıtılması sırasında ocakların duvarında kırmızı bir tabaka şeklinde fark edilmesinden sonra keşfedilmiş ve bu elemente ay anlamına gelen selenyum adı verilerek kimyasal yapısı tanımlanmıştır (Beale vd. 1990; Bingham vd. 2001).

Selenyum, atom numarası 34, atom kütlesi 78,96 olan bir ametaldir. Bununla beraber kendi grup elementlerinin aksine önemli biyolojik aktivitelere sahiptir (Marier ve Jaworski, 1983). Selenyumun atomik büyüklüğü, bağ enerjisi, iyonizasyon potansiyeli ve elektron affinitesi ile ilgili kimyasal özellikleri sülfüre oldukça benzemektedir. Bu oksidasyon durumları onun birkaç organik selenyum bileşkesinin aminoasitlerin ve sülfürün içerisinde şekillenmesini sağlar. En durağan oksidasyon durumları selenite (Se^{+4}) ve selenide (Se^{-2}) dir. Selenate (Se^{+6}) selenite kolayca indirgenebilen bir oksidanttır (Mc Graw- Hill, 1982).

20. yüzyılın ilk yarısında, selenyumun yüksek organizmlar için toksik bir element olduğu düşünülüyordu. Amerika Birleşik Devletleri'nin batı bölgelerindeki selenyum akümülatör bitkilerin (*Astragalus*, *Xylorrhiza*, *Oonopsis* ve *Stanleya*) tüketiminden

dolayı selenyum toksisitesi ilk olarak 1933'de çiftlik hayvanlarında tespit edildi (Oldfield, 1987).

Selenyumun canlı organizmalar için gerekli bir element olduğu, 1957 yılında Schwartz ve Foltz'un yaptığı deneysel çalışmalar sonunda belirlenmiştir (Nevland, 1982). Schwarz ve Foltz (1957) düşük konsantrasyonlarda tüketildiğinde selenyumun gerekli bir besin maddesi olduğunu bildirmişlerdir. Buna rağmen 1973 yılına kadar canlı bünyesindeki rolü tam olarak anlaşılamamıştır. 1973 yılında selenyumun intraselüler oksidatif hasarı önleyici fonksiyonlara sahip glutatyon peroksidaz (GSH-Px) enziminin bir bileşeni olduğu tespit edilmiştir (Rotruck vd. 1973). Selenyumun glutatyon peroksidaz enziminin yapısında keşfedilmesi, yiyeceklerdeki ve sağlıktaki öneminin anlaşılması yönüyle temel bir başlangıç olmuştur.

İnsan beslenmesinde selenyumun gerekliliğine dair direk kanıt 1979 yılında Çin'de bir araştırma grubu tarafından bulunmuştur. Bu çalışmada Çin'in Keshan bölgesinde selenyum eksikliğiyle ilgili Keshan hastalığı adı verilen ciddi bir patolojik hastalık belirlenmiştir (Keshan Disease Research Group, 1979).

1980'lerde selenyumun antioksidatif savunma sistemindeki rolünün yanında memeliler metabolizmasında birçok sürece katıldığıının işareti olan selenoproteinler keşfedilmiştir. Memelilerde selenoproteinlerin çeşitli fonksiyonları belirlenmiş ve insan beslenmesinde selenyumun rolü ortaya çıkarılmıştır. Bugün 30'dan fazla selenoprotein memelilerdeki hayati fizyolojik fonksiyonları ile bilinmektedir (Brown ve Arthur, 2007; Rayman, 2002).

Selenyum, bir antioksidan enzim olan glutathione peroksidaza bağlı esansiyel bir faktör olarak görev yapmasından dolayı hayvanlar ve insanlar için temel olan önemli elementlerden birisidir (Pehrson vd. 1993; Bianchi vd. 1984). Bu enzim (GSH Px) lipidlerin peroksidasyonunun neden olduğu zararlardan hücre membranını koruyan ve peroksitleri azaltma yeteneğine sahip bir antioksidanttır. Bu özelliğinden dolayı hücreyi, oksidant baskısından veya metabolizma süresince üretilen hücreyi parçalayıcı etkiye sahip olan, farklı türden serbest radikallerin çoğalmasını engelleyerek hücreyi bu tür bir baskıdan korumaktadır (Kessler, 1992). Antioksidanların kanser ve kalp hastalıklarını önlemekteki yararlarının anlaşılması, selenyumu son yıllarda ön plana çıkarmıştır (Zemmel, 1936; Shakhnov, 1954).

Selenyum proteinleri ve diğ er selenyum metabolitleri bağışıklık fonksiyonlarını kuvvetlendirmekte ve kanser riskini azaltmaktadır (Tinggi, 2003). Toprakları selenyum bakımından fakir yörelerde, selenyum açısından zengin yörelere kıyasla meme, akciğ er ve kalın bağırsak kanserlerinin görülme sıklığının arttığı gözlenmiştir (Tinggi, 2003). Elde edilen bilgiler selenyumun arsenik, kadmiyum, civa, gümüş ve talliumun toksisitesini azaltabileceğini, selenyumun toksisitesinin ise gümüş, germanyum ve tungusten tarafından giderilebileceğini ortaya koymaktadır (Parizek vd. 1974).

1.2.2. Selenyum ve insan sağlığı

1.2.2.1. Selenyumun kimyasal formları ve metabolizması

Selenyum besinlerde esas olarak organik formları olan selenomethionin, selenosistein ve Se-metilselenosistein olarak bulunur. İnorganik selenyum formları olan selenit ve selenat ise çok küçük miktarlarda ve daha nadir bulunmaktadır. Selenomethionin birçok selenyum zengin diyetle başlıca organik formdur. Vücutta selenyumun hem organik hem de inorganik formları selenoproteinlerin oluşumunda kullanılır (Shiobara vd. 1998). Selenyum kimyasal formlarına göre memeli sistemlerinde farklı noktalardan metabolik yollara girer.

Okside inorganik selenyum formlarının (selenit ve selenat) glutasyon (GSH) tarafından redüktif metabolizması metabolik yolun ara anahtarı olan hidrojen selenit (H_2Se) ile sonlanır. Besinlerde bulunan organik selenyum bileşikleri, selenoaminoasitler (selenomethiyonin (SeMet), selenosistein (SeCys) de H_2Se 'e metabolize olur (Esaki vd. 1982; Tanaka vd. 1985). Bu yüzden H_2Se selenyumun redüktif metabolizması ve metilasyonu arasında ara bileşiktir. H_2Se selenoproteinlerin sentezi için haberci olarak hizmet eder veya aşırı selenyumun detoksifikasyonu için metilasyona uğrar (Ip, 1991; Meuillet vd. 2004).

Diyetlerde ana organik selenyum formu olan SeMet, birçok farklı metabolik yola yönelir. İlk olarak, SeMet protein sentezi sırasında hücreler tarafından fark edilmez. Bu nedenle besin proteinlerinde SeMet, methionin sınırlı veya hiç olmadığında methionin yerine proteinlerin içerisine non-spesifik olarak dahil edilebilir (Letavayová vd. 2006). İkincisi, trans-selenasyon yoluyla SeMet, SeCys'e dönüştürülebilir ve daha sonra SeCys'in metabolik yolunu sürdürür (Esaki vd. 1982;

Combs, 2007). Son olarak SeMet, α,γ -liyaz (methioninase) enzimiyle metilselenol üretebilir (Meuillet vd. 2004) ve metilasyon yoluna ilerler.

Diğer organik selenyum formu olan SeCys de H_2Se 'e metabolize olur. Daha sonra selenofosfat sentetaz tarafından H_2Se 'in selenofosfata dönüşümü SeCys sentezini ve selenoproteinlere katılımını sağlar (Berry vd. 1993; Berry vd. 1994). Bu yolda, 21. aminoasit olan SeCys tüm selenoenzimlerde aktif katalitik bölge olur (Hatfield ve Gladyshev, 2002).

Se-metilselenosistein (CH_3SeCys) bazı besinlerde (*Allium* gibi) bulunur. SeMet'in aksine, proteinlere katılmaz, ama β -liyaz tarafından direk olarak metilselenola dönüştürülebilir (Foster vd. 1986). Benzer şekilde selenobetain, selenoseleninik asit ve metilselenosiyanat gibi sentetik selenyum bileşikleri de selenyum kemoprevensiyonunda anahtar ara metabolit olduğuna inanılan metilselenol üretme eğilimindedir (Combs ve Gray, 1998; Ip vd. 2000; El-Bayoumy ve Sinha, 2004).

1.2.2.2. Selenyumun biyolojik fonksiyonları

Selenyum bir çok biyokimyasal ve fizyolojik işlemlerde etkin rol alan bir elementtir. Örneğin koenzim-Q (mitokondrideki elektron taşıma sisteminin bir komponentidir) biyosentezi, zardan iyon akışının düzenlenmesi, keratinlerin bütünlüğünün korunması, antikor sentezinin uyarılması, glutatyon biyosentezinin aktivasyonu bunlardan bazılarıdır.

Bunun yanında selenyumun canlılarda diğer birçok biyolojik etkisi vardır. Selenyum protein içeriği bol olan yiyeceklerde doğal halde bulunmaktadır. Bunlar arasında deniz ürünleri (özellikle kabuklular), tahıllar, selenyum biriktiren bitkiler ve bazı mantarlar sayılabilir. Selenyum, E vitamini ile sinerjistik bir etki göstererek antioksidan etki gösterir (Shamberger, 1985). Kanser neden olan kimyasalları bloke ederek bunların kanserojen etkisini ortadan kaldırır (Lyi vd. 2005; McKenzie vd. 1998). Bilim adamları selenyumun savunma sistemindeki görevi ve antioksidan özelliği nedeni ile AIDS hastalığında etkili olabileceğini düşünmüşlerdir (Goldhaber, 2003). Selenyum vücudun tüm dokularında bulunmakla birlikte böbrek, karaciğer ve pankreasta daha yoğun olarak görülür. Se vücuda zarar veren serbest radikallerin oluşumunu engellemek suretiyle savunma sistemine yardımcı olur. Antikor üretiminde önemlidir. Doku elastikiyetinin korunmasında görev alır. Tiroit bezlerinin

normal fonksiyonu için de zorunlu bir maddedir (McKenzie vd. 1998; Derumeaux vd. 2003). Se bazı amino asitlerde kükürtün yerini alır. Yumurta ve sperm hücreleri çoğunlukla proteinden oluştuğu için kükürt, gelişen embriyolarda genetik işaretleyicileri değiştirebilir ve bütün sistemi kontrol dışına çıkarabilir. Selenyumun kükürt üzerindeki bu etkisi kükürt içeren amino asitlerin (metionin, sistein) metabolizmasını değiştirdiği için hücre bölünmesi ve büyümeyi etkiler (McDowell, 1992).

Yüksek selenyum seviyeleri üremeyi baskılar, organogenezi, protein sentezini ve nükleik asit sentezini yavaşlatır. Se bitkilerde metal dağılımını etkiler ve bazen de toksik elementlerin atılmasını hızlandırır (Rosenfeld ve Beath, 1964).

Serbest radikal olarak bilinen bileşikler oldukça reaktiftirler ve kontrol edilmezlerse hücre zarını bozarlar. Vitamin E ve GSH-Px serbest radikallerin bu zararlı etkisini engelleyen iki moleküldür. Vitamin E zararlı peroksitlerin oluşmasını engellemek suretiyle zararlarını ortadan kaldırır. GSH-Px ise peroksitler hücre zarlarına zarar vermeden önce bunları indirger. GSH-Px konsantrasyonu ve aktivitesi doğrudan selenyum durumuna bağlıdır. Hem selenyum ve hem de vitamin-E antioksidan olduğu için zarları oksidatif zarara karşı korurlar. Bu iki molekülünde aynı görevi yapması nedeniyle, ikisi arasında bir bağlantı olduğu düşünülmektedir (Bouyoucos, 1951).

Yapılan son araştırmalarda selenyumun 5'triiodotironin-deiodinaze enziminin yapısında da bulunduğu görülmüştür. 5'triiodotironin-deiodinaze, tiroksinin inaktif formunu aktif hale katalizleyen bir enzimdir. Tiroksin vücutta oldukça önemli görevleri bulunan bir hormondur. Selenyumun aktif tiroit hormonunun üretilmesinde gerekli bir element olduğu için eksikliğinde tiroit fonksiyonu bozuklukları ortaya çıkabilir (Arthur ve Beckett, 1994).

Selenyum ayrıca kadmiyum, gümüş gibi ağır metallerle reaktif olmayan kompleksler oluşturmak suretiyle vücudu korur. Prostoglandin sentezinde, esansiyel yağ asidi metabolizmasında, normal savunma tepkisindeki rolü bunlardan bazılarıdır (Richards, 1954).

1.2.2.3. Selenyum eksikliğinin insan sağlığı üzerine etkileri

Se eksikliği insanlarda, bazıları ölümcül olabilen oldukça geniş kapsamlı semptomlara yol açar. Buna ilişkin ilk kanıtlar 1979 yılında Çin’de bilim adamlarının Se eksikliği ile karakterize olan Keshan ve Kashin-Beck’s hastalığını bulmaları ile elde edildi. Keshan hastalığı kardiyojenik şoka ve bazı durumlarda konjestiv (kan göllenmesine neden olan) kalp yetmezliğine neden olabilen bir kardiyomiyopatidir (kalp kası patolojisi). Kronik durumlarda hasta çeşitli derecelerde kalp yetmezliği ve kalp büyümesi ile karşı karşıya kalır (Burk ve Levander, 1999; Groff vd. 1995). Keshan hastalığı genellikle çocukları ve genç bayanları etkilerken, Kashin-Beck’ s hastalığı erken gençlik döneminde etkisini gösterir. Bu hastalık çeşitli tiplerde osteoarthritis (kireçlenme) ile sonuçlanır. Hastalık genellikle sinirlerin ve kıkırdak doku hücrelerinin dejenerasyonu ile karakterizedir. Kıkırdak doku hücrelerinin harabiyeti, cücelik ve eklem bozukluğuna neden olur (Burk ve Levander, 1999). Se eksikliği semptomları; kas ağrıları, kilo kaybı, saç ve deride pigment kaybı, tırnak yataklarında beyazlamadır (Groff vd. 1995). Se eksikliği diğer elementlerle etkileşimden de meydana gelebilir. Kurşun (Pb) ile Se etkileşir ve elementin doku konsantrasyonunu belirgin şekilde azaltır. Bu olayın mekanizması tam olarak açıklanmamış olmakla birlikte, her iki elementin de sülfidril gruplarına bağlanıyor olmasından kaynaklandığına ilişkin görüşler öne sürülmektedir. Görünüşe göre, demir (Fe) ve bakır (Cu) da Se ile etkileşerek elementin dokuya alınımını engeller. Vücut azalmış metiyonin düzeyi ile karşı karşıya kaldığında bu açığı vücut proteinlerine selenometiyonin (SeMet) bağlayarak kapatır ve bu da vücutta erişilebilir serbest selenyum düzeyini düşürür (Burk ve Levander, 1999).

1.2.3. Toprakta selenyum

Birçok toprağın selenyum konsantrasyonu 0.01–2 mg kg⁻¹ arasında değişiklik gösterir (Kabata ve Pendias, 1992). Tekstür, pH ve toprakların redoks potansiyeli, bazı organik ve inorganik bileşiklerin varlığı, ana kaya çeşidi, toprak havalanması, iklim vb. etkenler bu elementin dağılımını ve besinsel durumunu etkilemektedir (Grandjean vd., 1992; Diplock, 1993; Luoma vd., 1995; Voutsas ve Samara, 1998, Spallholz, 1994).

Çin, Finlandiya ve Yeni Zelanda gibi toprak selenyum seviyelerinin çok düşük (<0.05 ppm) olduğu bazı bölgeler varken, diğer taraftan Batı ABD, Çin'in bazı bölgeleri, Fransa ve Almanya yüksek toprak selenyum statülerine (>5 ppm) sahiptir. Türkiye topraklarının ise diğer ülkelerden daha düşük selenyum konsantrasyonlarına sahip olduğu rapor edilmiş olmasına rağmen, bu konuda detaylı bilgi eksikliği bulunmaktadır (Sillandha, 1982; Iyengar ve Kollmer, 1986).

İyi dirençli asidik topraklarda selenit (Se^{+4}) yaygın selenyum formu iken, alkali ve iyi oksidize olmuş topraklarda selenat (Se^{+6}) esas olarak bulunmaktadır. Toprak yüzeyi tarafından selenit selenattan daha fazla adsorbe edilir (Barrow ve Whelan, 1989). Selenat sülfat gibi elektrostatik kuvvetlere dayalı spesifik olmayan mekanizmayla zayıfça adsorbe edilir. Selenit adsorbsiyonu ise fosfat adsorbsiyonuna benzeyen yüzey kompleksleşmesi gibi görünmektedir (Barrow ve Whelan, 1989; Neal vd. 1987). Bu nedenle selenat toprakta selenitten daha çözünür ve mobildir. Sonuç olarak selenat bitkiler için daha kullanılabilir fakat filtrasyona daha hassastır.

Bitkilere selenyumun biyoelverişliliği toprak nemi tarafından da etkilenmektedir. Düşük yağış koşullarında selenyum bitkiler için daha elverişlidir. Yüksek yağış ve toprak kompaksiyonu selenyumun bitkilere alınabilirliğini azaltır (Zhao vd. 2007; Gissel-Nielsen vd. 1984).

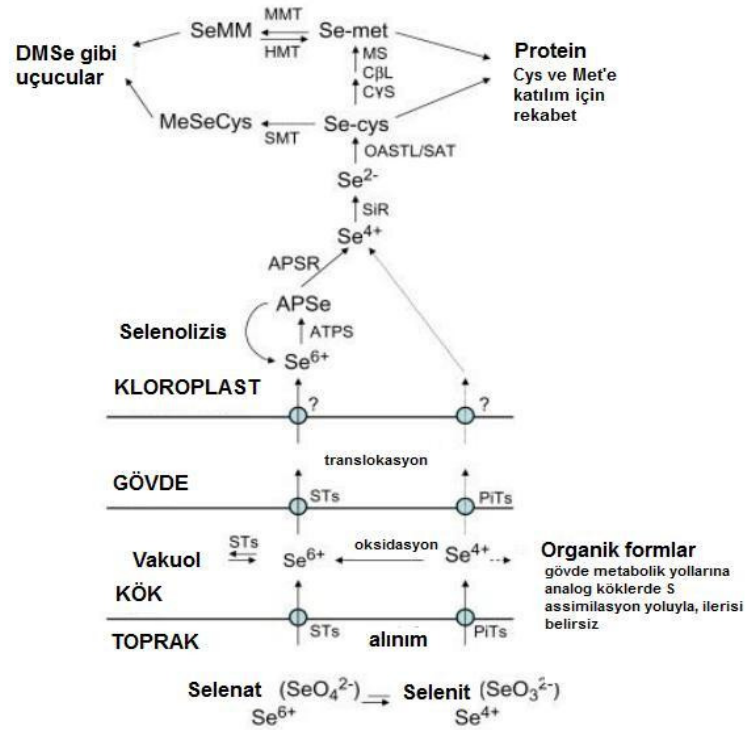
1.2.4. Bitkilerde selenyum

1.2.4.1. Bitkilerde selenyum alımı ve metabolizması

Bitkilerde selenyum alımı ve taşınımından sülfat ve fosfat taşıyıcılarının sorumlu olduğunu işaret eden artan kanıtlar mevcuttur. Selenatın genel olarak kök hücre membranlarında yer alan sülfat taşıyıcılarıyla topraktan alındığı kabul edilmektedir. Besin çözeltilerinde selenit ve fosfat rekabeti selenit alımında fosfat taşıyıcılarının rolünün olası işaretidir (Hopper ve Parker, 1999).

Selenat ve selenitin absorbsiyonunu takiben SeMet ve SeCys'e katılımı; sırasıyla ATP-sülfürilaz (ATPS), APS redüktaz (APSR), sülfid redüktaz (SiR), OAS (thiol) liyaz (OASTL) ve serin asetil transferaz (SAT), sistatyonin γ -sentetaz, β -liyaz ve methionin sentetaz (MS) enzimlerini gerektiren sülfat asimilasyon yolu tarafından gerçekleştirilir (Rotte ve Leustek, 2000).

SeCys metil transferaz (SMT) SeCys'i MeSeCys'e çevirir ve Se-metil-Se-methionin transferaz (MMT) SeMet'i Se-methylselenomethionin'e (SeMM) metiller. Bu ara bileşikler dimetilselenide (DMSe) gibi uçucu bileşiklerin üretimi için öncül maddeler olarak bitkileri selenyum toksisitesinden korurlar. Proteinler içerisine sistein ve methionin yerine SeCys ve SeMet non-spesifik aşırı katılımının bitkilerde selenyumun toksisitesinin ana nedeni olduğu düşünülmektedir (Brown ve Shrift, 1981). Gerekli olduğunda S-methylmethionin: homosistein S-methyltransferaz (HMT) SeMet'in yeniden oluşumunu katalizler (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Bitkilerde selenyum alınımı ve metabolizması (Sors vd., 2005)

Astragalus bisulcatus gibi selenyum hiperakümülatör bitkilerin selenyum akümüülasyonu ve selenyum toleransı yeteneği; proteinlere selenyum katılımını azaltmak için Se-methylselenosistein (MeSeCys), γ -glutamil- Se-methylselenosistein (GGMeSeCys) ve selenosistatinyonin gibi non-protein amino asit türevlerinin içerisine SeCys'in (SeMet öncülü) dönüşümüyle sınırlı SeMet üretimiyle ilişkilidir (Brown ve Shrift 1981; Burnell, 1981).

1.2.4.2. Bitkilerde selenobileşikler

Selenat, selenit, SeCys, SeMet, selenohomosistein, γ -glutamil selenosistationin, selenometionin, selenoksit, γ -glutamil-Se-metilselenosistein, selenosisteinselenik asit, Se-proponilselenosistein selenoksit, Se-metilselenometionin (SeMM), selenosistationin, dimetil diselenid, selenosinigrin, selenopeptid ve selenowaks tespit edilen bitki selenobileşikleridir (Whanger, 2002).

Bu bileşikler arasında SeMet buğdayda en çok bulunan (%56–83) selenyum bileşiğidir. Diğer selenobileşikler daha küçük oranlarda bulunurlar: selenat (%12–19), SeCys (%4–12), Se-metilselenosistein (%1–4) ve diğerleri (%4–26) (Whanger, 2002).

İnsanlar için besinlerde selenobileşiklerin biyoelverişliliği değişkendir. SeMet (bitkisel ve hayvansal kaynaklarda) ve SeCys (esas olarak hayvansal kaynaklarda) yüksek biyoelverişliliğe (>%90) sahipken, inorganik selenat ve selenitin (ek besinlerde olan) biyoelverişliliği %50 civarındadır (Thomson, 2004). Buğday tahılındaki selenyum insan için yüksek biyoelverişliliğe sahiptir. Farelerle yapılan bir beslenme denemesinde, buğdaydaki selenyum %83 biyoelverişliliğe sahipken, bu oran mantarlarda %5, tuna balığında %57 ve sığır böbreğinde %97 olarak bulunmuştur (Thomson, 2004). Bir beslenme çalışmasına göre; selenyumla zenginleştirilmiş buğday diyetiyle insanda 6 hafta içerisinde serum selenyum konsantrasyonu belirgin bir şekilde artarken, selenyumla zenginleştirilmiş balık tüketimiyle bu konsantrasyon dikkate değer bir artış göstermemiştir (Meltzer vd. 1993). Fox vd. (2005) stabil Se^{77} ve Se^{82} izotopları kullanarak insanlarda yaptıkları bir çalışmada selenyum absorpsiyonunun buğday (%81) ve sarımsakta (%78) balıkla (%56) karşılaştırıldığında belirgin bir şekilde yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Selenyumun yüksek biyoelverişliliği ve günlük besinsel tüketiminin fazlalığı ile buğday insanlarda dengesiz selenyum beslenmesinin üstesinden gelmek için oldukça önemli bir seçenektir. Bu sebeple bu çalışmada bitki materyali olarak günümüzde tüm dünyada ve ülkemizde olmak üzere günlük besin tüketimi içerisinde önemli yere sahip olan ekmeklik ve makarnalık buğday genotipleri seçilmiştir.

1.2.4.3. Bitki stres fizyolojisinde selenyum

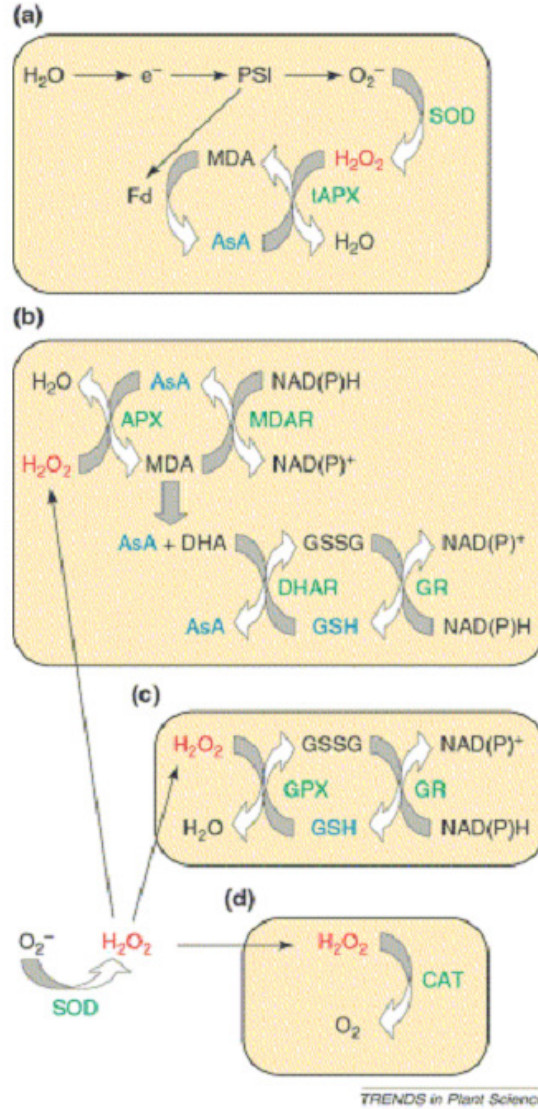
Mitokondri ve kloroplast gibi yüksek metabolik aktiviteli organeller süperoksit radikal ($O_2^{\bullet-}$), singlet oksijen (1O_2), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikal ($OH^{\bullet}$), gibi reaktif oksijen türleri (ROS) üretimi için yüksek potansiyele sahiptirler. Kuraklık, tuz stresi, ozon, yüksek ya da düşük sıcaklıklar gibi çevresel stres faktörleri fotosentetik karbon fiksasyonunu inhibe ederek ROS üretimini arttırmırlar. Stres koşulları altında fotosentetik CO_2 fiksasyonu sınırlanır, bu yüzden elektron akımı CO_2 yerine O_2 'i stimüle eder. (Foyer vd. 1997; Çakmak, 2000).

Bu sebeple kuraklık, soğuk, yüksek ışık, ağır metal stresi gibi çeşitli stresler bitkilerde ROS birikimi ile sonuçlanabilir. ROS'nin aşırı üretimi bitkilerde bir tehdit olarak algılanabilir, fakat ROS'nin stres cevabı ve savunma yollarının aktivasyonu için sinyal görevi yaptığına da inanılmaktadır (Mittler, 2002). ROS esas olarak süperoksit anyonu ($O_2^{\bullet-}$), hidrojen peroksit (H_2O_2), hidroksil serbest radikal ($OH^{\bullet}$), singlet oksijen (1O_2), metil radikal ($CH_3^{\bullet}$) ve lipid peroksidasyonu serbest radikallerini ($LOO^{\bullet}$, $ROO^{\bullet}$) içerir. Üretiminden sonra $O_2^{\bullet-}$ bitkilerde kendiliğinden veya enzim yardımıyla (süperoksit dismutaz-SOD) H_2O_2 'e dismutasyon ve daha sonra $OH^{\bullet}$ (oldukça aktif ve hücre membranının etkileyen) üretimi için H_2O_2 'le reaksiyona girecek olan Fe^{2+} (veya Cu^+) üretmek için Fe^{3+} (veya Cu^{2+})'le reaksiyona girme gibi bir dizi elektron transfer işlemini tetikler (Feng vd., 2013).

Yüksek konsantrasyonlarda, DNA zararı, lipid peroksidasyonu ve protein degradasyonuna sebep olduklarından ROS oldukça zararlıdır (Sun, 1990). ROS'nin oldukça yüksek sitotoksik ve reaktif özelliklerinden dolayı kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu sebeple yüksek bitkiler oksidatif zarardan hücrelerini korumak ve ROS'ni detoksifike etmek için etkin enzimatik ve non-enzimatik antioksidatif savunma sistemleriyle donatılmışlardır (Foyer vd. 1997; Foyer vd. 1994; Biehler ve Fock, 1996; Shao vd. 2006; Shao vd. 2005).

Genel olarak bitkilerde artan ROS seviyelerini dengelemek için antioksidanların iki tipi tetiklenir. İlki glutatyon (GSH), askorbat (AsA) ve tokoferol gibi düşük moleküler ağırlıklı maddelerdir. Diğerleri ise SOD, POX, CAT, APX, GSH-Px ve glutatyon redüktaz (GR) gibi enzimlerdir (Thompson vd., 1987; Lu, 1999; Hartikainen vd., 2000; Meharg ve Hartley-Whitaker, 2002; Cao vd., 2004; Asada,

2006). Antioksidanlar ROS ile direk olarak veya enzim katalizi yoluyla dolaylı olarak reaksiyona girebilirler.



Şekil 1.2. Bitkilerde ROS süpürücü metabolik yollar (Mittler, 2002) (a) Su-Su döngüsü (b) Askorbat-glutatyon döngüsü (c) GSH-Px döngüsü (d) CAT Kısaltmalar: DHA, dehidroaskorbat; DHAR, DHA redüktaz; Fd, ferredoksin; GR, glutatyon redüktaz; GSSG, okside glutatyon; MDA, monodehidroaskorbat; MDAR, MDA redüktaz; PSI, fotosistem I; tAPX, tilakoid bağlı APX; SOD, süperoksit dismutaz.

ROS süpürücü metabolik yol oksidatif zarara karşı korunmada fonksiyonel olan süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX), askorbat peroksidaz (APX), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GSH-Px) gibi antioksidant enzimleri içerir (Foyer

vd., 1994). SOD tüm hücrel komponentlerde (Şekil 1.2a), kloroplastlarda yeralan askorbat-glutasyon döngüsünde, sitosolde, mitokondride, apoplastta ve peroksizomlarda (Şekil 1.2b) bulunurken, GSH-Px (Şekil 1.2c) ve CAT peroksizomlarda fonksiyoneldir.

Enzimatik savunma sisteminden başka non-enzimatik savunma sistemi de bitki hücrelerini ROS'nden korumada oldukça önemlidir. Non-enzimatik antioksidatif savunma sistemi üyelerinden vitamin C (AsA)'nin bitki savunma sistemlerindeki asli rolü; APX aktivitesine katkıda bulunarak H_2O_2 toksisitesine karşı metabolik süreçleri korumaktır (Shao vd. 2006; Shao vd. 2005 ; Li ve Jin, 2007; Shao vd. 2008).

α -tokoferoller (vitamin E) tüm bitkilerde sentezlenen lipofilik antioksidantlardır. Lipidlerin doymamış çoklu açıl grupları ile etkileşime giren α -tokoferoller membranları stabilize ederler ve oksidatif stres ürünleri ile oluşan çeşitli ROS ve lipid bileşiklerini parçalarlar (Cvetkovska vd. 2005). Tokoferoller tarafından singlet oksijenin indirgenmesinde oldukça etkin bir mekanizmadır (Wu and Tang, 2004).

Yukarıda belirtildiği gibi glutasyon H_2O_2 seviyelerinin kontrolünde yer almaktadır (Shao vd. 2007). Ayrıca glutasyon ağır metal toksisitesi ve fitoşelatin sentezine katılmasıyla endojen ve eksojen kimyasallara karşı korunmada etkindir. Fitoşelatinler ağır metal detoksifikasyonundan sorumludurlar (Foyer ve Noctor, 2005).

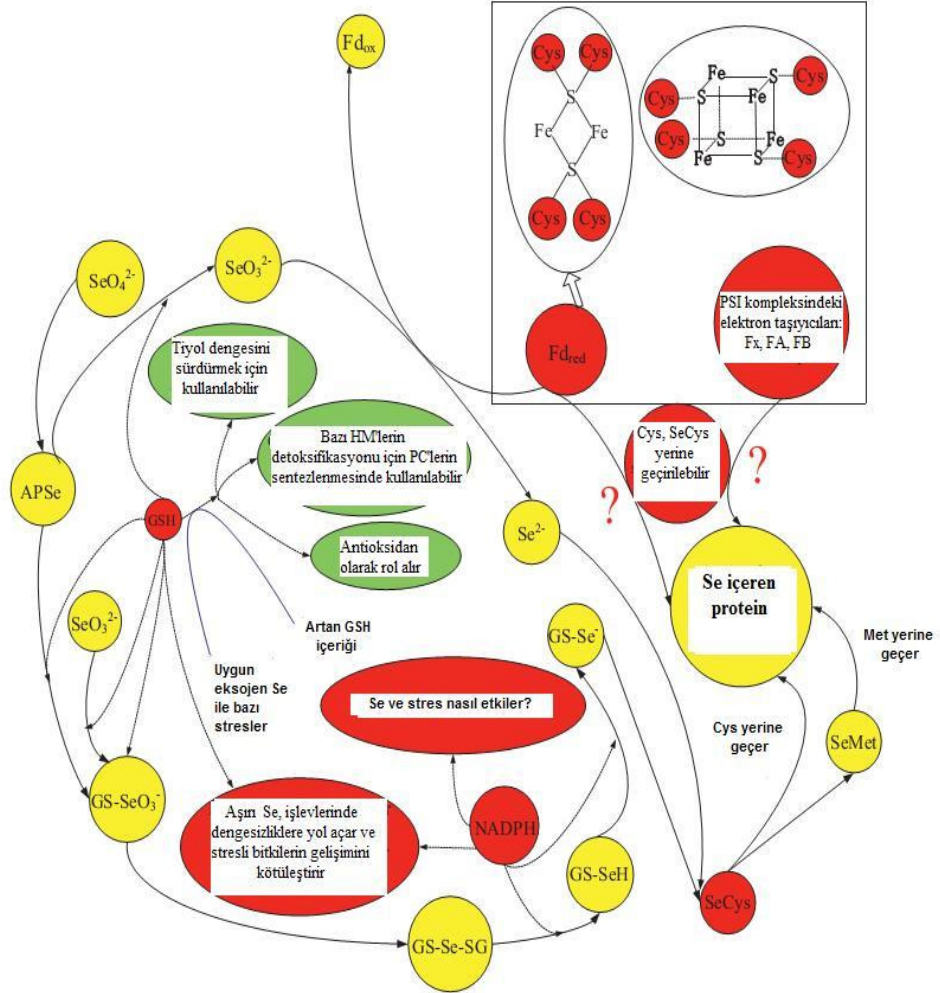
Direk ya da dolaylı olarak antioksidanları düzenlemesi ile Se, ROS'nin üretimini ve kısıtlanmasını kontrol edebilir. Se tarafından ROS seviyelerinin düzenlenmesi bitkilerde çevresel stresleri engellemede anahtar bir mekanizma olabilir. Se'un uygun dozları eklendiğinde $O_2^{\bullet-}$ seviyelerindeki azalış için üç olası mekanizma önerilmiştir. Bunlardan birincisi; $O_2^{\bullet-}$ 'in H_2O_2 'e kendiliğinden dismutasyonu (SOD enzimi tarafından katalizlenmeden) (Hartikainen vd., 2000 ve Cartes vd.,2010), , ikincisi Se bileşikleri tarafından $O_2^{\bullet-}$ ve $OH^{\bullet}$ radikallerinin direk sınırlandırılması (Xue vd.,1993) ve üçüncüsü ise antioksidatif enzimlerin aktivitelerinin düzenlenmesidir (Şekil 1.3.).

The diagram illustrates the ROS signaling pathway and its regulation. Key components and processes include:

- Oxygen Activation:** O_2 is converted to 1O_2 by light ($h\nu$) or to $O_2^{\cdot -}$ by various agents.
- Superoxide Metabolism:** $O_2^{\cdot -}$ can be converted to H_2O_2 by SOD (SOD-mediated dismutation) or to $HO_2^{\cdot}$ by NAD(P)H. $HO_2^{\cdot}$ can further react to form $O_2^{\cdot -}$ or $OH^{\cdot}$.
- Hydrogen Peroxide Metabolism:** H_2O_2 is converted to H_2O by GSH-Px or to $OH^{\cdot}$ by the Fenton reaction or light ($h\nu$).
- Hydroxyl Radical (OH•) Effects:** $OH^{\cdot}$ can lead to lipid peroxidation (LOO•, ROO•) in the thylakoid membrane, which is inhibited by selenite, selenate, and organic selenium. It can also lead to the formation of $OH^{\cdot}$ from H_2O_2 and $HO_2^{\cdot}$.
- Regulatory Factors:** Etilen, GSH-Px, Menthionin, and various selenium compounds (selenite, selenate, organic selenium) are involved in regulating the pathway.

Se'un bitkilerdeki esas rolü henüz çözülmemiş olsa da çalışmalar aşırı Se'un şiddetli ROS birikimine yol açtığını göstermektedir (Tamaoki vd., 2008; Freeman vd., 2010; Mroczek-Zdyrska ve Wójcik, 2011). Feng vd. (2013) yüksek seviyelerdeki Se'la artan ROS üretiminin, Se asimilasyonunda önemli rol alabilecek olan GSH, tiyoller (-SH), ferrodoksinler (Fd_{red}) ve/veya NADPH seviyelerindeki dengesizlikle kısmen ilgili olabileceğini önermişlerdir (Şekil 1.4). Çalışmada eğer bu maddeler Se asimilasyonu ROS sınırlama ihtiyacını karşılamada yetersiz ise, Se ilavesi ROS patlamasına ve bitki gelişim inhibisyonuna yol açabilir de denilmiştir. Örneğin; 50 µM Pb'a maruz kalan *Vicia faba* L. köklerinde 1.5 µM selenyumun hücre yaşama kabiliyeti ve -SH içeriğini arttırırken, 6 µM gibi daha yüksek Se seviyesinin O₂^{•-} seviyesini önemli derecede arttırıp hücre yaşama kabiliyeti ve -SH içeriğini azalttığı bulunmuştur (Mroczek-Zdyrska ve Wójcik, 2011).

Aşırı Se'a bağlı ROS cevapları türlere göre değişebilir. Paciolla vd. (2011) selenit uygulanan *Senecio scandens* L. yaprak disklerinde H₂O₂ seviyesinin belirgin şekilde arttığını ortaya çıkarmışlardır. Oysa aynı dozdaki selenat formundaki Se varlığında böyle bir artış görülmemiştir. Farklı Se türlerine ROS cevabındaki bu farklılıklar selenattan selenite indirgenmenin hız sınırlayıcı adımına atfedilebilir. Selenata maruz kalan bitkilerin (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L., *Brassica juncea* L., *Beta vulgaris* L. ve *Oryza sativa* L.) Se'u alıp toprak üstü kısımlara taşıdığı ve Se türlerinin selenat olarak kaldığını bildirilmiştir. Bununla birlikte, selenite maruz kalan bitkilerde Se esas olarak köklerde biriktirilir ve L-selenomethionin (SeMet) ve Se-Met benzeri türlere dönüştürülür (Zayed vd., 1998). Selenitin Se-Met benzeri türlere dönüşümü için ROS sınırlamasını engelleme ile sonuçlanan yüksek bir indirgenme potansiyeli gereklidir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Bitkilerde başlıca Se asimilasyonu yolları (Feng vd., 2013). Çoğunlukla bitkiler Se’u Se-Met ve Se-Cys’e dönüştürürler ve sonuç olarak S yerine proteinlere birleştirirler. Dolayısıyla bitkilerde Se toksisitesi oluşur. Bu süreç boyunca, bitkilerde Se’un değişen yararlı ve toksik etkilerini belirlemek için büyük olasılıkla GSH, S, Fd, ve NADPH çok önemli rol oynarlar.

Yüksek konsantrasyonlardaki toksisitesine rağmen son çalışmalar düşük konsantrasyonlarda selenyumun bitkiler için yararlı olabileceğini göstermektedir. Selenyum antioksidatif enzimlerin aktivitesini düzenleyerek ve oksidatif hasarın zararlı etkilerini azaltarak bitkilerde antioksidatif savunma sistemine katkıda bulunabilir (Xue vd. 2001). Bu yüzden selenyum bitkilerin savunma kapasitelerini arttıran bir antioksidatif faktör olabilir ve bu yüzden bitkilerin selenyum içeriklerini arttırmak çevresel streslere karşı bitki toleransını geliştirmede yeni bir yaklaşım olabilir. Tüm bu koşullar ve son çalışmalar değerlendirildiğinde selenyum da tüm bu savunma mekanizmalarının bazılarına katkıda bulunabilir.

2.MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

2.1.1. Bitki materyali

Çalışmada Ege Bölgesi'nde yaygın olarak yetiştirilen 3 ekmeklik (*Triticum aestivum* L.) 3 makarnalık (*Triticum durum* Desf.) olmak üzere toplam 6 genotip buğday kullanılmıştır. Çalışma materyali olan Ege Bölgesi'nde yaygın olarak kullanılan ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitleri Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiştir. Kullanılan buğday çeşitleri aşağıda verilmiştir:

Ekmeklik buğday genotipleri

Basribey 95

Gönen 98

Meta 2002

Makarnalık buğday genotipleri

Ege 88

Şölen 2002

GAP

2.1.2. Toprak materyali

Tarla denemesi Muğla ili Yerkesik ilçesinde 500 metrekarelik alanda kurulmuştur. Alandan alınan toprak materyalinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.1. Tarla denemesi toprak materyalinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametreler	Sonuçlar
pH	7.5
EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	675
Organik madde	1.94
Alınabilir P (mg kg^{-1})	14.32
Alınabilir Ca (mg kg^{-1})	2065
Alınabilir Mg (mg kg^{-1})	47
Alınabilir K (mg kg^{-1})	51
Alınabilir Na (mg kg^{-1})	85
Alınabilir Fe (mg kg^{-1})	0.77
Alınabilir Zn (mg kg^{-1})	0.08
Alınabilir Cu (mg kg^{-1})	0.17
Alınabilir Mn (mg kg^{-1})	1.94
Alınabilir Se ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	1.16

2.1.3. Selenyum

Saksı denemesinde selenyum sodyum selenat (Na_2SeO_4) formunda toprağa, yaprağa ve tohuma olmak üzere 3 farklı şekilde uygulanmıştır. Tarla denemesinde ise saksı denemesinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda tohum ve yaprak uygulamaları seçilmiştir.

2.1.2.1. Sodyum Selenatın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Sodyum selenat katı halde olup moleküler ağırlığı 188.94 olan bir bileşiktir. Bu molekül suda çözünebilme özelliğine sahiptir (20°C ta 83 g/200 g su) (Lyi vd., 2005). Sodyum selenattaki selenyum en yüksek oksidasyon seviyesindedir (+6) ve bu özelliği nedeniyle de alkalın ve diğer oksitleyici şartlar altında stabil bir konumdadır. Sodyum selenat alkalın suda selenyumun en sık görülen formudur.

2.2.Yöntem

2.2.1. Saksı denemesi

Saksı denemesi deneme deseni tesadüf bloklarına göre hazırlanmış ve denemede saksılara selenyum topraktan;

Se_0 : (Kontrol)

Se_1 : (0.2 mg Se L^{-1})

Se_2 : (1 mg Se L^{-1})

Se_3 : (5 mg Se L^{-1}) dozları şeklinde $\text{Na}_2\text{SeO}_4^{-2}$ formunda sıvı olarak,

Yapraktan Se çözeltisi şeklinde çiçeklenme başlangıcında ve bundan 10 gün sonra olmak üzere 2 kere;

Se_0 : (Kontrol)

Se_1 : (5 mg Se L^{-1})

Se_2 : (10 mg Se L^{-1})

Tohuma Se çözeltisini 12 saat boyunca emdirme şeklinde;

Se₀ : (Kontrol)

Se₁: (5 mg Se L⁻¹)

Se₂: (10 mg Se L⁻¹) konsantrasyonlarında uygulanmıştır.

Buğday genotiplerinin Se uygulamasına tepkisini ve Se'un kuraklık stresi koşullarında bitki gelişimi ve antioksidatif savunma sistemi üzerine olan etkisini tespit etmek amacıyla kuraklık stresi oluşturulmuştur. Kuraklık stresi uygulaması su kısıtlaması yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada yetiştirme ortamı olarak 1:1 oranında torf:kum karışımı kullanılmış ve 10 L'lik her bir saksıya 16.66 g 15:15:15 gübresi karıştırılmıştır. Buğday bitkilerine daha sonraki uygun dönemlerde azot ve demir gübrelemesi yapılmıştır.

09.05.2011 tarihinde Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen Basribey 95, Gönen 98, Meta 2002 olmak üzere 3 ekmeklik, Ege 88, Şölen 2002, GAP olmak üzere 3 makarnalık buğday genotipine ait tohumlar deneme planına uygun olarak saksılara ekilmiş ve 288 saksılık bir deneme kurulmuştur. Su stresi uygulaması bitkilerin gerçek yapraklarını vermesinden sonra yapılmıştır.

Denemede her saksıya 20 adet tohum ekilmiştir ve çimlenme sonrası her saksıda 10 bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Genotiplerin vejetatif kısım kuru madde verimi, Se toksisite toleransı ve Se konsantrasyonunu belirlemek için sapa kalkma döneminde 10 bitki kesilmiş ve kalan 5 bitki tane oluşumuna bırakılmıştır. Fakat tane oluşumu gerçekleşmemiştir. 22.07.2011 tarihinde deneme sonlandırılmıştır.



Şekil 2.1. Saksı denemesinden bir görüntü



Şekil 2.2. Saksı denemesi alanından genel bir görüntü

Hasat sonrası ve öncesi alınan örneklerde gövde kuru ağırlıklar, çözünebilir protein miktarı, SOD, CAT, APX, POX, GSH-Px enzim aktiviteleri, total antioksidan kapasite, hidrojen peroksit içeriği, lipid peroksidasyonu, klorofil, prolin içeriği,

makro (K, Ca, Mg ve Na) ve mikro (Fe, Cu, Mn ve Zn) element içeriği belirlenmiştir.

2.2.2.Tarla Denemesi

Saksı denemesinden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek tüm ekmeklik ve makarnalık genotipler ve iki selenyum uygulama yöntemi (tohum-yaprak) kullanılarak 27.11.2011 tarihinde Muğla ili Yerkesik ilçesinde 500 metrekarelik alanda her bir parsel 4 m² olmak üzere tesadüf bloklarına göre hazırlanan 90 parsellik bir tarla denemesi kurulmuştur.



Şekil 2.3. Tarla denemesi başlangıcına ait bir görüntü

Tarla denemesinde selenyum uygulamaları aşağıdaki gibidir:

Yapraktan Se çözeltisi şeklinde çiçeklenme başlangıcında ve bundan 10 gün sonra olmak üzere 2 kere;

Se₀ : (Kontrol)

Se₁: (5 mg Se L⁻¹)

Se₂: (10 mg Se L⁻¹)

Tohuma Se çözeltisini 12 saat boyunca emdirme şeklinde;

Se₀ : (Kontrol)

Se₁: (5 mg Se L⁻¹)

Se₂: (10 mg Se L⁻¹) konsantrasyonlarında Na₂SeO₄⁻² formunda uygulanmıştır.



Şekil 2.4. Tarla denemesi alanından genel bir görüntü



Şekil 2.5. Tarla denemesi hasat öncesi genel bir görüntü

Hasat sonrası ve öncesi alınan örneklerde gövde kuru ağırlıklar, çözünebilir protein miktarı, SOD, CAT, APX, POX, GSH-Px enzim aktiviteleri, total antioksidan kapasite, hidrojen peroksit içeriği, lipid peroksidasyonu, klorofil, prolin içeriği, makro (K, Ca, Mg ve Na) ve mikro (Fe, Cu, Mn ve Zn) element içeriği belirlenmiştir.

2.2.3. Bitki Analizleri

Saksı ve tarla denemesine ait bitki örneklerinde gövde kuru ağırlıklar, çözünebilir protein miktarı, SOD, CAT, APX, POX, GSH-Px enzim aktiviteleri, total antioksidan kapasite, hidrojen peroksit içeriği, lipid peroksidasyonu, klorofil, prolin içeriği, makro (K, Ca, Mg ve Na) ve mikro (Fe, Cu, Mn ve Zn) element içeriği belirlenmiştir. Kullanılan analiz yöntemleri aşağıda verilmektedir:

2.2.3.1. Selenyum toksisite toleransı ve kuru madde

Genotiplerin Se toksisitesine dayanıklılık ve duyarlılıklarını belirlemede Se toksisitesinden ileri gelen % Se toksisite toleransı kullanılmıştır. Bu amaçla genotiplerin Se toksisitesine dayanıklılığı ve duyarlılığı saptanırken aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$\% \text{ Se toksisite toleransı} = (\text{Se}_{\text{max}} \text{ Verim} / \text{Se}_0 \text{ Verim}) \times 100$$

Bu değer sıfıra ne kadar yaklaşırsa o genotip Se toksisitesine o kadar duyarlı, 100'e ne kadar yaklaşırsa Se toksisitesine o kadar dayanıklı olarak ifade edilmektedir (Harmankaya, 2009).

Kuru madde tespiti için vejetatif kısımlardan alınan örnekler 70 °C'ye ayarlanmış etüvde 48 saat süresince kurutulmuştur.

2.2.3.2. Makro ve mikro element içerikleri

Makro ve mikro besin elementi analizleri Kacar (1994)'a göre yapılmıştır. Makro elementlerden K, Ca, Mg ve Na, mikro elementlerden Fe, Cu, Mn ve Zn içerikleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar kuru madde ilkesine göre % ve ppm olarak verilmiştir.

Örneklerin selenyum içeriği ise AAS-240FS AA (Fast Sequential Atomic Absorption Spectrometer)'da belirlenmiştir.

2.2.3.3. Prolin ve klorofil içerikleri

Prolin içeriği Bates vd. (1973)'ne göre belirlenmiştir. Klorofil içeriği Strain ve Svec (1966)'e göre belirlenmiştir.

2.2.3.4. Çözünabilir protein içerikleri

Çözünabilir protein analizinde Bradford (1976) tarafından tanımlanan hızlı ve hassas protein belirlenmesi metodu kullanılmıştır.

2.2.3.5. Antioksidatif enzim aktiviteleri

SOD (E.C. 1.15.1.1) aktivitesi; Beauchamp ve Fridovich (1971) tarafından belirlenen, nitroblue tetrazoliumun fotokimyasal azalmayı inhibe etme yeteneğinin ölçümü ile analiz edilmiştir. POX (E.C. 1.11.1.7) aktivitesi; Chance ve Maehly (1955) metoduna göre guaiacol oksidasyonu kullanılarak belirlenmiştir. CAT (E.C. 1.11.1.6) aktivitesi; Aebi vd., 1983'e göre H₂O₂ kullanımı yoluyla yapılmıştır. APX (E.C. 1.11.1.11) aktivitesi; Bonnet vd. (2000)'ne göre askorbat oksidasyonu ile tespit edilmiştir. GSH-Px (E.C.1.11.1.9) aktivitesi Flohe' ve Gu'nzler (1984)'e göre belirlenmiş, enzim ekstraksiyonu ise Hartikainen vd. (2000)'e göre yapılmıştır.

2.2.3.6. Antioksidatif kapasite (% DPPH radikal inhibisyonu) belirlenmesi

Buğday genotiplerinin antioksidatif kapasitesi Sandoval vd. (2002) tarafından belirlenen DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) radikal parçalama metoduna göre belirlenmiştir.

2.2.3.7. Hidrojen peroksit (H₂O₂) ve lipid peroksidasyonu (MDA) içerikleri

Hidrojen peroksit içeriği Velikova vd. (2000)'ne göre belirlenmiştir. Lipid peroksidasyon ürünü olan malondialdehit (MDA) miktarı Madhava Rao ve Sresty (2000)'e göre analiz edilmiştir.

2.2.3.8. İstatistiksel analizler

Yapılan çalışmada “SPSS (14.0) Software” paket programı kullanılarak tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. Gruplar arası farklılığın $p < 0.05$ 'e göre istatistiksel anlamda farklı çıkması halinde bu farklılıkların gruplar arasındaki önemi için LSD (En Küçük Önemli Fark) testi kullanılmış ve sonuçlar ortalama değerler ve standart hataları ile birlikte verilmiştir. Antioksidatif enzim aktivitelerinin gösterildiği grafikler “Statistica 7” istatistik programında standart hatalarıyla birlikte hazırlanmış olup gruplar arası farklılığın $p < 0.05$ 'e göre istatistiksel anlamda farklı çıkması halinde bu farklılıkların gruplar arasındaki önemi için LSD (En Küçük Önemli Fark) testi kullanılmıştır. Antioksidatif enzim aktivitelerinin gösterildiği grafiklerde yer alan sütunların üzerinde yer alan farklı harfler $LSD_{0.05}$ testine göre elde edilen sonuçların birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. Saksı Denemesi Analiz Bulguları

Ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin farklı selenyum uygulamalarına tepkisi ve kuraklık stresi koşullarında selenyumun buğday genotipleri gelişimi ve antioksidatif savunma sistemi üzerine etkisini araştırmak amacıyla saksı denemesi kurulmuştur. Saksı denemesinden elde edilen örneklerde gövde kuru ağırlıklar, çözünebilir protein miktarı, SOD, CAT, APX, POX, GSH-Px enzim aktiviteleri, total antioksidan kapasite, hidrojen peroksit içeriği, lipid peroksidasyonu, klorofil, prolin içeriği, makro (K, Ca, Mg ve Na) ve mikro (Fe, Cu, Mn ve Zn) element içeriği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel analizleri ile birlikte aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin farklı selenyum uygulamalarına tepkilerinin belirlenmesi

3.1.1.1. Selenyum içerikleri, kuru madde ve selenyum toksisite toleransı

Farklı selenyum uygulamaların ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde selenyum içeriği, kuru madde verimi ve selenyum toksisite toleransı üzerine etkisi çizelge 3.1, çizelge 3.2 ve çizelge 3.3'te verilmiştir.

Ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinde tüm selenyum uygulamaları kontrole göre gövde selenyum içeriğini arttırırken, toprak uygulamalarındaki artış diğer uygulamalardan çok daha fazla olmuştur. Selenyum içeriği, uygulama konsantrasyonuna paralel olarak artış göstermektedir. Bununla birlikte Se₂ uygulamaları açısından yaprak uygulaması tohum uygulamasından, toprak uygulaması ise diğerlerinden daha fazla artışa sebep olmuştur. Tüm toprak uygulamaları selenyum içeriğinin diğer uygulamalardan çok daha fazla arttırmıştır. Toprak uygulamasının selenyum içeriği üzerine bu etkisi uygulama sıklığından

kaynaklanmıştır. Tohum uygulaması deneme başlangıcında 12 saat emdirme şeklinde bir defa, yaprak uygulaması deneme süresince belirlenen zamanlarda olmak üzere 2 defa yapılırken, toprak uygulamaları bitkilere besin çözültisi halinde sulama suyuna karıştırılarak deneme süresince gerçekleştirilmiştir.

Genotiplerin Se toksisitesine dayanıklılık ve duyarlılıklarını belirlemede Se toksisitesinden ileri gelen % Se toksisite toleransı kullanılmıştır. Bu değer sıfıra ne kadar yaklaşırsa o genotip Se toksisitesine o kadar duyarlı, 100'e ne kadar yaklaşırsa Se toksisitesine o kadar dayanıklı olarak ifade edilmektedir.

Çalışmamızda ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinde tohum ve yaprak uygulamalarında bitkilerde gövde kuru maddede azalma ve selenyum toksisitesi görülmemiştir. Toprak Se₂ uygulaması ekmeklik buğday genotiplerinden Basribey 95 ve makarnalık buğday genotiplerinden ise Şölen 2002'de selenyum toksisite toleransını diğer türlere göre düşürmekle birlikte deneme süresince selenyum toksisite belirtileri görülmemiştir. Toprak Se₃ uygulaması ise tüm genotiplerde selenyum toksisite toleransını düşürmüş, bu düşüş ekmeklik Basribey 95 ve makarnalık Şölen 2002'de daha belirgin olmuştur. Gövde selenyum toksisite toleransı sonuçlarına göre selenyum toksisitesine en duyarlı genotipler ekmeklik Basribey 95 ve makarnalık Şölen 2002'dir. Selenyum toksisitesine en toleransı türler ise, ekmeklik Gönen 98 ve makarnalık Ege 88 olmakla birlikte, Meta 2002 ve GAP genotipleri de selenyum toksisitesine toleranslıdır. Bununla birlikte, gövde selenyum içeriği de değerlendirildiğinde ekmeklik buğday genotipleri, makarnalık buğday genotiplerinden selenyum toksisiteye daha toleranslı bulunmuştur.

Çizelge 3.1. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde selenyum içeriği ($\mu\text{g kg}^{-1}$) üzerine etkisi

GENOTİPLER		GÖVDE SELENYUM İÇERİĞİ (µg kg ⁻¹)									
				Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması		
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	7.81	<0.001	31.03±2.65 f	60.05±2.75 e	80.09±3.82 d	61.05±2.65 e	144.16±4.56 d	228.26±4.22 c	402.46±9.23 b	647.74±9.19 a
	Gönen 98	4.57	0.001	39.04±2.85 f	93.04±3.45 e	104.11±3.96 e	86.09±3.89 e	208.23±4.92 d	339.38±4.99 c	712.81±9.88 b	1018.17±10.98 a
	Meta 2002	6.51	<0.0001	36.04±2.14 f	91.04±3.15 d	170.19±4.55 d	79.06±2.85 e	199.22±4.89 d	398.45±4.57 c	764.87±8.86 b	1315.51±11.23 a
MAKARNALIK	Ege 88	8.85	<0.0001	42.04±2.83 f	76.06±3.44 e	96.11±4.04 de	83.09±3.45 e	166.19±4.09 d	532.61±5.18 c	654.75±7.21 b	863.99±7.25 a
	Şölen 2002	4.63	0.001	40.04±2.96 f	65.05±3.75 e	93.10±4.95 de	75.08±3.25 e	138.15±4.87 d	397.45±3.76 bc	434.49±7.91 a	407.46±9.81 ab
	GAP	9.65	<0.0001	32.03±2.68 f	74.05±3.06 e	109.12±4.54 d	76.05±3.29 e	140.16±4.74 d	209.24±4.04 c	312.35±7.88 b	501.57±8.62 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.2. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeclik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde kuru madde (g) üzerine etkisi

		GÖVDE KURU MADDE (g)							
GENOTİPLER		Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması		
		Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	0.95±0.07	1.02±0.03	0.87±0.08	1.01±0.08	0.91±0.05	0.99±0.06	0.62±0.09	0.58±0.07
	Gönen 98	0.94±0.08	1.21±0.05	0.90±0.07	1.09±0.09	0.90±0.07	1.06±0.07	0.79±0.08	0.76±0.09
	Meta 2002	1.19±0.05	1.37±0.09	1.16±0.04	1.30±0.08	1.14±0.05	1.32±0.09	0.98±0.07	0.89±0.08
MAKARNALIK	Ege 88	0.81±0.04	1.11±0.05	0.82±0.06	0.92±0.07	0.74±0.04	0.87±0.06	0.68±0.05	0.59±0.06
	Şölen 2002	0.78±0.08	0.79±0.06	0.74±0.07	0.80±0.06	0.73±0.05	0.81±0.08	0.52±0.06	0.40±0.06
	GAP	0.89±0.06	1.13±0.09	0.83±0.06	1.02±0.05	0.82±0.07	0.95±0.08	0.73±0.07	0.61±0.07

Çizelge 3.3. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde selenyum toksisite seviyeleri (%) üzerine etkisi

GÖVDE SELENYUM TOKSİSİTE ORANI (%)									
GENOTİPLER		Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması		
		Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	100	107.76	91.64	106.71	96.71	105.26	66.26	61.76
	Gönen 98	100	128.74	96.31	116.16	96.64	113.59	84.25	81.86
	Meta 2002	100	115.95	97.66	109.52	96.42	111.66	82.857	75.42
MAKARNALIK	Ege 88	100	137.50	102.08	114.58	91.94	108.33	84.79	73.26
	Şölen 2002	100	102.17	95.79	103.26	94.42	104.71	67.10	51.37
	GAP	100	127.61	94.15	115.23	92.69	107.30	82.85	69.04

Artan dozlarda Se (sodyum selenat) uygulaması, hem ekmeklik hem de makarnalık buğday genotiplerinde uygulama dozlarına paralel olarak gövde Se miktarını önemli derecede artırmıştır. Önceki çalışmalarda da rapor edildiği gibi, sodyum selenatın toplam bitki Se konsantrasyonunu artırmada iyi bir kaynak olduğu görülmektedir. (Ducsay vd., 2007; Grant vd., 2007; Govasmark vd, 2008; Curtin vd., 2008 ve Ducsay vd., 2009). Çalışmamızdan da önceki çalışmalarla uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Buğday genotiplerinin selenyum içerikleri ve selenyum toksisite toleransları birlikte değerlendirildiğinde en uygun selenyum uygulama yöntemlerinin tohum ve yaprak uygulamaları olduğu görülmektedir. Smrkoj vd. (2006) fasulye bitkisinde (*Phaseolus vulgaris* L.) yaptıkları çalışmasının sonucunda, selenyum solusyonuna tohumların emdirilmesi yönteminin insan besini açısından yaprak uygulamasından daha uygun olabileceğini ve ayrıca bu yöntemle bitkilerin selenyum kapasitelerinin arttırılmasının yanında selenyum çevresel selenyum kirliliğinin de önüne geçilebileceğini bildirmişlerdir. Toprak selenyum uygulamaları buğday genotiplerinin gövde selenyum içeriğini diğer uygulamalardan çok daha fazla arttırmış olmakla birlikte, bitkilerde selenyum toksisite toleransının da en düşük olduğu uygulama yöntemidir. Ayrıca pratikte uygulama zorluğu da bitkilerin selenyum seviyelerini toprak uygulaması yöntemiyle arttırmanın uygun bir yöntem olmasını engellemektedir.

3.1.1.2. Makro ve mikro element içerikleri

Tohuma, yaprağa ve toprağa olmak üzere farklı konsantrasyonlarda uygulanan selenyumun ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin makro (K, Ca, Mg ve Na) ve mikro (Fe, Cu, Mn ve Zn) element kapsamları üzerine etkisi elementler, çeşitler, uygulamalar ve konsantrasyonlar bazında farklı etkiler göstermiştir.

Selenyum iyonları bitki dokularında besin elementlerinin birikimini, dağılımını, ve alımını etkiler. Bunların bazılarının (K, Na, Ca, Fe, Mg, Mn, Cu, Zn) konsantrasyonunu artırır veya azaltır. Bazı besin elementlerinin taşınımındaki değişikliğin bitki hormonlarının gözlemlenen semptomu ve selenyumun etkilerinden olduğu düşünülmektedir (Rosenfeld ve Beath, 1964).

Çalışmamızda yaprak makro besin elementlerinden K, Ca, Mg ve Na içeriği üzerine selenyum uygulamalarının etkisi araştırılmıştır. Selenyumun K üzerine olan etkisi değerlendirildiğinde; ekmeklik buğday genotiplerinden Basribey 95'te yaprak Se2 uygulaması, Gönen 98'de tohum Se1, yaprak Se2 ve toprak Se2 uygulamaları kontrole oranla yaprak K içeriğini istatistiki açıdan arttırırken, Meta 2002 ve makarnalık buğday genotiplerinin K içeriği üzerine Ege 88 genotipinde yaprak Se2 uygulamasındaki azalış dışında selenyum uygulamalarının herhangi bir etkisi olmamıştır (Çizelge 3.4).

Selenyum genel olarak hem ekmeklik hem de makarnalık genotiplerin Ca içeriğini arttırmıştır. Basribey 95 genotipinde en etkili uygulamalar tohum ve yaprak Se1 uygulamaları olmakla beraber toprak Se2 ve Se3 uygulamaları da kontrole oranla istatistiksel olarak yaprak Ca içeriğini arttırmıştır. Gönen 98'te ise sadece tohum Se1 uygulaması Ca içeriği üzerinde etkili olmuştur. Makarnalık genotiplerden Ege 88'de tohum Se2, yaprak Se1 ve Toprak Se2 uygulamaları, Şölen 2002'de sadece tohum Se2 uygulaması, GAP'ta ise yaprak ve toprak Se1 uygulamaları kontrole oranla yaprak Ca içeriğini arttırmıştır (Çizelge 3.5).

Selenyum uygulamaları genel olarak Mg içeriğini arttırmıştır. Basribey 95 genotipinde tohum uygulamaları, yaprak Se1 uygulaması toprak Se2 ve Se3 uygulamaları, Meta 2002 genotipinde tohum Se2 ve toprak Se1 uygulamaları kontrole oranla Mg içeriğini arttırmıştır. Gönen 98'te ise selenyum genel olarak Mg içeriğine etkisizken Toprak Se3 uygulaması kontrole oranla Mg içeriğini azaltmıştır. Makarnalık genotiplerde ise selenyum Ege 88 genotipinde Mg içeriğine etki etmezken, Şölen 2002'de tohum uygulamaları ve toprak Se1 uygulaması, GAP'ta tohum Se2 ve yaprak Se1 uygulamaları Mg içeriğini arttırmıştır (Çizelge 3.6).

Selenyum uygulamaları Na içeriği üzerine ekmeklik buğday genotiplerinden Basribey 95 dışındaki diğer ekmeklik ve makarnalık genotiplerde etkili olmamıştır. Basribey 95'te yaprak Se2 ve toprak Se3 uygulaması kontrole oranla istatistiksel olarak yaprak Na içeriğini arttırmıştır (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.4. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde potasyum (K) içeriği (%) üzerine etkisi

GÖVDE POTASYUM İÇERİĞİ (%)											
GENOTİPLER				Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması		
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	3.77	0.0132	1.60±0.31 b	2.00±0.21 ab	2.19±0.18 ab	1.90±0.25 ab	2.59±0.27 a	2.32±0.24 ab	2.02±0.16 ab	1.62±0.25 b
	Gönen 98	4.83	0.00438	1.41±0.75 bc	2.08±0.25 a	1.58±0.19 b	1.97±0.17 ab	2.18±0.25 a	1.52±0.25 b	2.43±0.36 a	2.48±0.15 a
	Meta 2002	2.48	0.00632	2.00±0.55 ab	2.1±0.34 ab	2.56±0.32 a	2.28±0.21 ab	2.39±0.41 ab	1.57±0.26 b	2.01±0.29 ab	2.29±0.39 ab
MAKARNALIK	Ege 88	1.75	0.0168	1.97±0.75 a	1.80±0.35 ab	2.10±0.41 a	2.01±0.26 a	1.36±0.35 b	1.98±0.29 a	1.92±0.28 a	1.90±0.37 a
	Şölen 2002	1.89	0.0138	1.81±0.65 ab	2.03±0.17 ab	2.57±0.26 a	1.96±0.33 ab	1.96±0.23 ab	1.92±0.28 ab	1.96±0.35 ab	2.40±0.19 a
	GAP	1.28	0.0321	2.17±0.70 a	2.6±0.26 a	2.11±0.15 a	2.51±0.35 a	1.97±0.25 a	2.18±0.37 a	2.27±0.19 a	2.03±0.22 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.5. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde kalsiyum (Ca) içeriği (%) üzerine etkisi

GENOTİPLER		GÖVDE KALSİYUM İÇERİĞİ (%)									
				Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması		
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	6.03	0.0014	0.27±0.03 c	0.82±0.17 a	0.50±0.09 bc	0.92±0.18 a	0.47±0.12 bc	0.36±0.07 b	0.48±0.11 bc	0.62±0.15 b
	Gönen 98	2.28	0.00821	0.48±0.11 b	0.62±0.15 a	0.49±0.12 b	0.51±0.08 b	0.25±0.07 bc	0.48±0.11 b	0.48±0.06 b	0.47±0.12 b
	Meta 2002	2.25	0.00849	0.47±0.07 b	0.48±0.08 b	0.80±0.15 a	0.49±0.12 b	0.47±0.11 b	0.67±0.16 ab	0.56±0.14 b	0.52±0.17 b
MAKARNALIK	Ege 88	3.75	0.0135	0.38±0.08 bc	0.62±0.15 ab	0.92±0.25 a	0.85±0.15 a	0.48±0.12 b	0.75±0.18 ab	0.93±0.18 a	0.80±0.21 ab
	Şölen 2002	1.38	0.028	0.49±0.12 b	0.64±0.09 ab	0.82±0.17 a	0.52±0.13 b	0.70±0.14 ab	0.72±0.17 ab	0.64±0.14 ab	0.75±0.12 ab
	GAP	2.96	0.0344	0.40±0.06 bc	0.92±0.15 ab	0.97±0.19 ab	1.11±0.14 a	0.79±0.16 b	1.08±0.21 a	0.79±0.13 b	0.90±0.20 ab

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.6. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde magnezyum (Mg) içeriği (%) üzerine etkisi

GENOTİPLER		GÖVDE MAGNEZYUM İÇERİĞİ (%)									
		Kontrol		Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması			
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	2.00	0.0119	0.22±0.03 b	0.32±0.06 a	0.34±0.08 a	0.35±0.06 a	0.23±0.06 b	0.24±0.05 b	0.31±0.05 a	0.22±0.07 a
	Gönen 98	2.01	0.0118	0.27±0.09 a	0.25±0.07 a	0.21±0.03 a	0.24±0.07 a	0.19±0.03 ab	0.24±0.07 a	0.18±0.03 ab	0.13±0.03 b
	Meta 2002	4.28	0.0077	0.14±0.06 b	0.19±0.04 ab	0.31±0.05 a	0.16±0.05 ab	0.17±0.03 ab	0.29±0.09 a	0.24±0.02 ab	0.19±0.04 ab
MAKARNALIK	Ege 88	1.96	0.0254	0.34±0.02 a	0.33±0.08 a	0.32±0.08 a	0.31±0.04 a	0.30±0.09 a	0.30±0.08 a	0.29±0.08 a	0.27±0.09 a
	Şölen 2002	3.49	0.00183	0.13±0.02 b	0.26±0.07 a	0.34±0.07 a	0.20±0.04 ab	0.23±0.03 ab	0.27±0.08 a	0.25±0.09 ab	0.19±0.05 ab
	GAP	2.845	0.0147	0.29±0.07 b	0.35±0.09 ab	0.40±0.09 a	0.47±0.08 a	0.29±0.08 b	0.31±0.09 ab	0.30±0.10 ab	0.28±0.06 b

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.7. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde sodyum (Na) içeriği (%) üzerine etkisi

GENOTİPLER		GÖVDE SODYUM İÇERİĞİ (%)									
		Kontrol		Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması			
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	4.42	0.0068	0.12±0.025 b	0.18±0.019 ab	0.17±0.021 ab	0.17±0.018 ab	0.21±0.023 a	0.18±0.018 ab	0.17±0.032 ab	0.21±0.031 a
	Gönen 98	4.234	0.00971	0.28±0.032 ab	0.32±0.025 a	0.29±0.028 ab	0.29±0.034 ab	0.30±0.035 ab	0.30±0.032 ab	0.31±0.033 ab	0.32±0.017 a
	Meta 2002	6.46	0.00252	0.11±0.023 ab	0.15±0.033 ab	0.12±0.026 ab	0.17±0.021 a	0.16±0.025 ab	0.16±0.015 ab	0.15±0.012 ab	0.14±0.023 ab
MAKARNALIK	Ege 88	4.264	0.00959	0.35±0.035 a	0.40±0.031 a	0.41±0.037 a	0.37±0.039 a	0.40±0.028 a	0.37±0.030 a	0.37±0.034 a	0.36±0.032 a
	Şölen 2002	5.781	0.00613	0.20±0.031 a	0.26±0.025 a	0.24±0.035 a	0.26±0.032 a	0.23±0.034 a	0.27±0.025 a	0.22±0.028 a	0.24±0.034 a
	GAP	4.608	0.00741	0.21±0.036 a	0.25±0.035 a	0.26±0.038 a	0.22±0.033 a	0.26±0.024 a	0.22±0.031 a	0.26±0.031 a	0.27±0.027 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Saksı denemesi ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde örneklerinde mikro besin elementlerinden Fe, Cu, Mn ve Zn içeriği üzerine selenyum uygulamalarının etkisi değerlendirilmiş ve sonuçlar çizelgelerde verilmiştir.

Selenyum uygulamaları ekmeklik genotiplerden Basribey 95'te Fe içeriği üzerine etkisizken, Gönen 98'te tohum Se2, yaprak Se1 ve gövde Se2 uygulamaları, Meta 2002'de tohum Se2 uygulaması kontrole oranla gövde Fe içeriğini arttırmıştır. Makarnalık genotiplerde ise selenyumun Fe içeriği üzerine etkisi 3 genotipte farklı etkiler göstermiştir. Ege 88'de selenyum Fe içeriğine etkisizken, Şölen 2002'de tohum Se1 uygulaması Fe içeriğini arttırmış, GAP'ta tohum uygulamaları ve yaprak Se2 uygulaması gövde Fe içeriğini kontrole oranla istatistiksel olarak azaltmıştır (Çizelge 3.8).

Selenyum uygulamaları Gönen 98, Ege 88 ve GAP genotiplerinin gövde Cu içeriği üzerine etki etmezken, ekmeklik genotiplerden Basribey 95 ve Meta 2002'de tohum Se1 uygulaması Cu içeriğini arttırmış, makarnalık genotiplerden Şölen 2002'de yaprak Se2 uygulaması ise Cu içeriğini kontrole oranla azaltmıştır (Çizelge 3.9).

Ekmeklik genotiplerden Basribey 95'te toprak Se3 uygulaması, Meta 2002'de tohum uygulamaları kontrole oranla gövde Mn içeriğini azaltırken, Gönen 98'de etkili olmamıştır. Bununla birlikte Gönen 98'de tohum, yaprak ve toprak Se2 uygulamaları tohum ve toprak Se1 uygulamalarına oranla gövde Mn içeriğini azaltmıştır. Makarnalık genotiplerden Ege 88'de toprak Se2 uygulaması, GAP'ta yaprak Se2, toprak Se2 ve Se3 uygulamaları kontrole oranla gövde Mn içeriğini azaltırken, Şölen 2002'de selenyum uygulamaları Mn içeriğine etkisiz olmuştur (Çizelge 3.10).

Ekmeklik genotiplerden Basribey 95 ve Meta 2002 dışındaki tüm genotiplerde Se uygulaması gövde Zn içeriğini azaltmıştır. Gönen 98'te yaprak ve toprak Se2, Ege 88'de toprak Se1 ve Se2, Şölen 2002'de toprak Se2, GAP'ta ise toprak Se3 uygulamaları kontrole oranla istatistiksel olarak gövde Zn içeriğini azaltmıştır (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.8. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde demir (Fe) içeriği (ppm) üzerine etkisi

GENOTİPLER		GÖVDE DEMİR İÇERİĞİ (ppm)									
		Kontrol			Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması		
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	1.47	0.0284	43.33±3.21 a	46.76±2.76 a	41.30±3.97 a	43.22±2.05 a	41.09±2.58 a	44.87±2.65 a	40.18±2.17 a	39.02±5.03 a
	Gönen 98	1.92	0.0133	35.91±2.97 b	47.00±2.85 ab	50.85±5.01 a	52.95±4.85 a	48.37±2.84 ab	51.62±1.95 ab	52.11±5.01 a	45.64±2.39 ab
	Meta 2002	4.29	0.0075	35.56±3.01 b	42.91±2.98 ab	57.99±5.32 a	44.62±3.75 ab	38.50±3.11 b	35.17±3.06 b	40.35±5.21 b	49.17±3.05 ab
MAKARNALIK	Ege 88	1.07	0.0455	35.10±2.51 ab	41.44±3.04 ab	44.55±5.21 a	41.23±2.46 ab	42.21±3.25 ab	39.16±2.27 ab	40.60±2.89 ab	40.04±2.08 ab
	Şölen 2002	6.20	0.0012	29.43±2.59 b	54.56±3.25 a	44.20±5.09 ab	36.78±3.35 ab	29.89±2.15 b	42.00±3.19 ab	41.05±2.95 ab	31.85±2.76 b
	GAP	1.73	0.0172	44.38±2.45 a	30.13±2.05 b	34.09±3.21 b	39.06±2.41 ab	32.62±2.08 b	35.87±3.25 ab	36.96±3.06 ab	36.15±2.89 ab

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.9. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde bakır (Cu) içeriği (ppm) üzerine etkisi

GENOTİPLER		GÖVDE BAKIR İÇERİĞİ (ppm)									
		Kontrol		Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması			
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	3.87	0.0119	13.54±1.15 b	24.08±2.31 a	14.40±1.58 ab	18.92±1.98 ab	19.35±2.12 ab	19.56±2.14 ab	13.11±1.25 b	10.96±1.12 b
	Gönen 98	3.35	0.0154	18.06±1.78 a	20.42±2.15 a	20.85±1.84 a	19.56±1.54 a	20.64±2.09 a	20.21±2.23 a	21.07±2.18 a	17.84±2.19 a
	Meta 2002	4.65	0.0052	12.25±1.89 b	21.71±2.36 a	18.70±2.11 ab	18.27±1.59 ab	16.77±1.87 ab	13.33±1.54 ab	12.25±1.63 b	9.46±1.13 b
MAKARNALIK	Ege 88	2.525	0.03803	17.84±1.53 a	15.91±1.47 a	15.05±1.69 a	14.83±1.86 a	14.19±1.28 a	15.05±1.27 a	14.62±1.59 a	13.97±1.26 a
	Şölen 2002	2.843	0.0395	15.05±1.45 ab	22.57±2.18 a	18.27±1.70 ab	12.68±1.68 ab	12.47±1.43 b	13.76±1.58 ab	13.97±1.76 ab	17.63±2.19 ab
	GAP	2.586	0.03758	16.98±2.05 a	14.40±1.51 a	14.19±1.28 a	16.98±1.64 a	14.83±1.57 a	14.19±1.83 a	14.62±1.54 a	13.76±1.59 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.10. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde mangan (Mn) içeriği (ppm) üzerine etkisi

GÖVDE MANGAN İÇERİĞİ (ppm)											
GENOTİPLER				Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması		
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	2.24	0.0341	69.81±3.23 ab	72.94±4.39 a	57.53±2.77 ab	72.41±3.88 a	60.58±3.22 ab	76.98±3.85 a	64.35±2.37 ab	57.56±3.04 b
	Gönen 98	1.104	0.0407	62.24±3.89 ab	64.62±3.67 a	50.00±2.89 b	62.10±2.99 ab	52.42±2.15 b	65.46±3.23 a	51.37±2.97 b	61.53±2.56 ab
	Meta 2002	4.69	0.0182	39.41±2.76 a	28.71±1.98 b	27.09±1.28 b	35.93±2.05 a	30.22±1.75 ab	33.72±2.18 ab	30.09±2.76 ab	35.37±2.75 a
MAKARNALIK	Ege 88	1.30	0.0312	51.93±2.67 a	45.17±2.78 ab	40.12±2.09 ab	45.32±1.93 ab	40.08±2.36 ab	39.98±2.36 ab	35.37±2.67 b	37.12±2.32 ab
	Şölen 2002	1.997	0.0468	52.95±2.08 ab	62.98±3.75 ab	77.11±3.76 a	58.84±2.83 ab	59.26±1.89 ab	59.83±3.68 ab	65.84±2.39 ab	60.14±4.01 ab
	GAP	3.217	0.0251	55.38±3.21 a	54.67±2.69 a	38.09±1.87 ab	40.54±2.45 ab	32.97±2.01 b	38.58±2.98 ab	36.92±2.13 b	36.53±2.01 b

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.11. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde çinko (Zn) içeriği (ppm) üzerine etkisi

GENOTİPLER		GÖVDE ÇİNKO İÇERİĞİ (ppm)									
				Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması		
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	1.24	0.0497	26.97±2.15 a	24.80±1.23 a	23.12±1.98 a	24.47±2.07 a	22.62±2.06 a	24.10±2.04 a	24.52±1.86 a	23.02±3.01 a
	Gönen 98	1.582	0.0211	23.07±1.53 a	20.77±2.04 ab	18.50±1.87 ab	22.20±2.13 a	15.77±2.56 b	16.92±1.57 ab	15.20±1.17 b	18.97±2.18 ab
	Meta 2002	1.26	0.0348	23.77±2.14 a	18.35±1.67 ab	17.05±2.06 ab	16.55±1.56 ab	19.72±2.06 ab	17.95±1.78 ab	19.20±2.65 ab	16.20±2.15 ab
MAKARNALIK	Ege 88	1.95	0.0127	28.67±2.09 a	27.45±1.85 a	26.4±2.18 a	21.80±1.95 ab	20.97±1.98 ab	18.92±2.14 b	17.97±2.34 b	21.85±2.54 ab
	Şölen 2002	2.95	0.0347	26.87±2.87 a	17.67±1.24 ab	22.05±1.88 ab	22.40±1.56 ab	18.37±1.87 ab	26.37±2.34 a	15.10±1.56 b	19.02±1.96 ab
	GAP	1.924	0.0114	23.50±1.89 a	22.85±1.94 a	19.97±2.05 ab	18.00±2.08 ab	17.95±1.29 ab	20.00±2.15 ab	20.77±2.67 ab	16.77±1.25 b

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Feng vd. (2009) *Pteris vittata* L.'da selenyum temel bitki besin elementlerinin alınımı üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada, kök ve yapraklarda besin çözeltisi ve toprakta artan selenyum konsantrasyonlarıyla Fe içeriğinin azaldığını, Ca içeriğinin besin çözeltisi uygulamasında artarken toprak selenyum uygulamasıyla azaldığını, Mg ve K içeriğinin 5 ppm'lik selenyum uygulamalarında artarken, üzerindeki uygulamalarda azaldığını bulmuşlardır. Aynı çalışmada selenyum uygulamaların etkisi değerlendirildiğinde; Mn içeriğinin 5 ppm'lik selenyum uygulamasında köklerde artıp üzeri uygulamalarda kontrolle aynı seviyelerde bulunduğunu, yapraklarda ise değişmediğini, Cu ve Zn içeriğinin köklerde azalırken, yapraklarda değişmediğini bulmuşlardır. Çalışmanın sonucunda selenyum tolerans mekanizmasında Ca, Mg ve K'un katılımının gerekli olabileceğine işaret edilmiştir. Selenyuma maruz kalan *Pteris vittata* L.'da lipid peroksidasyonu kapsamını etkilemek için önemli bir faktör olarak Fe'in rolü olabileceği de vurgulanmıştır. Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar bu çalışma sonuçlarının bazıları ile uyum göstermekle birlikte bazıları ile çelişmektedir. Fakat belirtilen çalışmada belirlenen element içerikleri bitkilerin kök ve yaprak kısımlarındadır. Ayrıca bitki çeşidi açısından besinsel element içerikleri ve onları etkileyen faktörler birbirinden farklı olabilmektedir. Buna rağmen selenyumun bitkilerde besin elementleri üzerine olan etkisinin belirlendiği çalışmalar kısıtlı olup, bu konuda yeni çalışmaların yapılması selenyumun bitki metabolizması için öneminin belirlenmesi açısından da önem taşımaktadır.

3.1.1.3. Prolin ve klorofil içerikleri

Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin yaprak prolin içeriği üzerine etkisi çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde selenyum uygulamaların prolin üzerine etkisinin tüm genotiplerde benzer olduğu görülmektedir. Tohum Se1 uygulaması kontrole oranla yaprak prolin içeriğini arttırırken, toprak Se3 uygulaması ise istatistiksel olarak bir azalmaya sebep olmuştur (Çizelge 3.12).

Prolin (Pro, P) proteinleri oluşturan 20 aminoasitten biridir. Diğer tüm aminoasitler birincil amin grubu taşımalarına rağmen, prolin, yan zincirindeki üç karbon atomu bir halka oluşturarak tekrar peptid bağındaki nitrojen atomuna bağlandığı için, birincil amin grubundan yoksundur (-NH₂). Prolin ve lizin, reaktif oksijen türleri

(ROS) üreten reaksiyonlara maruz kaldıklarında nonenzimatik hidroksilasyona uğrayabilirler. Reaktif oksijen türevlerinin hücre zarını tahrip etmesinden kaynaklanan osmotik dengesizliği prolin birikimi önler. Prolin birikimi tahribin indikatörü olarak da değerlendirilebilir (Demiral ve Türkan, 2005).

Bitki dokularında prolin birikiminin önemi henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Prolin birikimi bitki hücrelerinin stresten etkilendiği anlamına gelmekle birlikte bu birikimin hücreleri stres koşullarına adaptasyon için olduğu da bilinmektedir. Prolinin adaptasyona ilişkin rolü büyümenin devamından çok canlılığın sürdürülmesi ile ilişkilidir. Prolin, organizmada glutamattan glutamat-semialdehit üzerinden sentezlenir. Proteinlerin yapısına katılır. Prolin için önerilen koruyucu rollerden biri proteinlerin çözünürlüğünü artırmasıdır. Prolin sitoplazma ve organellerindeki ozmotik dengenin sağlanması için toksik olmayan ve çözünebilir organik maddelerden biridir (Zhu, 2001).

Çalışmamızda tohum Se1 uygulamasının tüm genotiplerde prolin içeriğini arttırması, koruyucu özelliklerinden birisi olan proteinlerin çözünürlüğünü arttırmasına bağlı olabilir. Toprak Se3 uygulamasındaki düşüşün ise bu uygulamanın buğday bitkilerinde yarattığı selenyum toksisitesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 3.12. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin prolin miktarı ($\mu\text{M g}^{-1}$ Y.A.) üzerine etkisi

GENOTİPLER		PROLİN MİKTARI (µM g ⁻¹ Y.A.)									
		Fp		Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması		
				Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	3.15	0.0273	74.12±5.48 b	94.68±2.96 a	68.00±2.87 b	86.50±5.01 ab	56.88±2.99 bc	78.84±4.56 b	62.40±3.49 b	50.32±2.76 c
	Gönen 98	3.33	0.0221	73.90±5.23 b	95.13±3.13 a	67.49±3.10 b	85.92±4.56 ab	56.66±3.31 bc	76.55±3.44 b	61.59±3.37 b	48.77±3.69 c
	Meta 2002	3.89	0.0116	70.80±5.16 b	96.67±4.23 a	66.68±2.95 b	85.84±4.35 ab	52.53±2.95 bc	75.89±3.47 b	61.15±2.99 b	47.89±2.74 c
MAKARNALIK	Ege 88	3.12	0.0281	70.44±3.67 b	87.61±5.36 a	65.13±3.29 ab	81.86±3.87 ab	52.31±2.36 bc	75.67±3.51 b	60.42±2.63 b	46.79±1.96 c
	Şölen 2002	3.97	0.0106	69.99±4.32 b	93.35±4.37 a	64.69±4.19 b	80.76±3.63 ab	51.65±2.25 bc	75.08±2.78 b	59.39±3.11 bc	43.69±2.18 c
	GAP	4.21	0.0082	69.78±3.98 b	91.14±3.94 a	62.92±3.94 b	80.38±4.51 ab	50.76±3.43 bc	74.78±3.08 b	57.84±3.88 bc	41.26±3.19 c

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.13. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin klorofil içeriği (mg g⁻¹ Y.A.) üzerine etkisi

KLOROFİL İÇERİĞİ (mg g ⁻¹ Y.A.)											
GENOTİPLER				Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması		
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	1.812	0.0049	3.33±0.54 a	3.59±0.18 a	3.62±0.49 a	3.74±0.60 a	3.54±0.65 a	3.18±0.27 a	3.65±0.54 a	3.44±0.35 a
	Gönen 98	2.324	0.0030	3.32±0.55 b	3.39±0.52 b	3.58±0.55 ab	4.03±0.47 a	3.80±0.35 ab	3.40±0.53 b	3.47±0.17 b	3.62±0.19 ab
	Meta 2002	3.701	0.0017	3.18±0.36 b	3.93±0.38 ab	3.87±0.47 ab	4.11±0.57 a	3.92±0.28 ab	3.60±0.48 ab	3.91±0.18 ab	3.92±0.25 ab
MAKARNALIK	Ege 88	2.787	0.0060	3.16±0.49 a	3.11±0.49 a	3.21±0.56 a	3.32±0.35 a	3.08±0.16 a	2.90±0.52 a	3.24±0.39 a	3.45±0.31 a
	Şölen 2002	3.779	0.0016	3.14±0.55 a	3.18±0.56 a	3.41±0.54 a	3.64±0.45 a	3.14±0.56 a	2.93±0.17 a	3.55±0.46 a	3.59±0.34 a
	GAP	1.438	0.0086	3.14±0.51 a	3.31±0.24 a	3.35±0.33 a	3.46±0.63 a	3.52±0.37 a	3.38±0.35 a	3.37±0.29 a	3.55±0.23 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Selenyum uygulamaları makarnalık genotiplerin klorofil içeriğine etki etmezken, ekmeklik genotiplerden Gönen 98 ve Meta 2002’de yaprak Se1 uygulaması yaprakların klorofil içeriğini arttırmıştır (Çizelge 3.13).

Molnárová ve Fargašová (2009) monokotil ve dikotil bitkilerin selenyum toksisite seviyelerini araştırdıkları çalışmada, tüm çalışılan bitkilerde genel olarak fotosentetik pigmentlerin (klorofil a, klorofil b ve karotenoid) selenyum uygulamalarıyla değişmediğini bulmuşlardır. Birçok araştırmacı klorofili fotosentetik pigmentlerin önemli bir parçası olarak belirtmektedir. Bununla birlikte yüksek seviyelerde selenyumun bir pro-oksidan olarak görev almasından dolayı klorofil içeriğini azaltabileceğini belirtmişlerdir (Molnárová ve Fargašová, 2009).

Hawrylak-Nowak (2013), hidrofonik koşullarda marul bitkisinde selenyum birikimi ve bitki gelişimi üzerine selenit ve selenatın etkisini araştırdıkları çalışmada besin çözeltisinde 15 µM selenyum uygulaması bitki gelişimi, fotosentetik pigment konsantrasyonu ve antioksidan seviyelerine olumsuz bir etkisi olmadan bitki selenyum içeriğini arttırabileceğini önermişlerdir.

Sharma vd. (2009) *Brassica napus* L.’ta yaptıkları çalışmada yapraklarda artan selenyum konsantrasyonunun klorofil içeriğinde belirgin artışlarla sonuçlandığını belirtmişlerdir. Selenyumun farklı formlarının ilave edildiği topraklarda yetişen bitkilerde klorofil içeriğindeki değişiklikler daha önceden yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir. (Mazzafera, 1998; Xue vd., 2001 ve Huang vd., 2005). Mazzafera (1998) sodyum selenit uygulamasıyla kahve bitkilerinde klorofil içeriğinin azaldığını bulmuşlardır. Bunun tam tersi bir sonuç, 5 µM selenyum uygulanan ıspanak ve domates bitkilerinde en yüksek klorofil içeriğinin bulunduğu çalışmada görülmektedir (Hawrylak ve Szymanska, 2004). Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar da yapılan birçok çalışma ile uyum gösterirken, bazıları ile çelişmektedir. Bununla birlikte selenyumun bitkilerin klorofil içeriği üzerine etkisi uygulanan selenyumun formu ve uygulama konsantrasyonuna göre değiştiğinden çalışmamızdaki sonuçlar buğday genotiplerinin klorofil içeriği üzerine olumlu etki yapan uygulama yöntemi ve konsantrasyonunu, ayrıca selenyumun klorofil içeriğinde etkin olduğu genotipi belirlemede önemli olabilir.

3.1.1.4. Çözünabilir protein içerikleri

Saksı denemesinden elde edilen örneklerde selenyum uygulamalarının bitkilerin protein kapsamlarına etkisinin belirlemek amacıyla yapraklarda çözünabilir protein analizi yapılmıştır. Sonuçlar çizelge 3.14’de verilmiştir. Buna göre tohum Se1 uygulaması birçok genotipte protein içeriğini kontrole oranla arttırmıştır. Toprak Se3 uygulaması ise ekmeklik genotiplerden Gönen 98’de ve makarnalık genotiplerin hepsinde bitkilerin çözünabilir protein içeriğini azaltmıştır.

Selenyum proteinlerdeki methionin yerine geçebilmektedir. Selenyumun selenosistein ve selenomethionin şeklinde sistein ve methionin yerine non-spesifik geçişi selenyum uygulanmış selenyum akümülatörü olmayan bitkilerde de meydana gelmektedir (Eustice vd., 1981). Fakat selenyumun bitkilerin protein kapsamı üzerine etkisi net olarak bildirilmemiştir.

Sharma vd. (2009) *Brassica napus* L.’ta yaptıkları çalışmada kolza yapraklarında selenyum uygulamalarına bağlı olarak protein içeriğinde kayda değer olmayan değişiklikler ve serbest amino asit içeriğinde ise belirgin bir artış bulunmuştur. Çeşitli selenyum konsantrasyonlarında artan amino asit içeriği protein olmayan selenoamino asitlerin sentezine bağlı olabileceği bildirilmiştir. Selenat uygulamalarıyla karşılaştırıldığında selenit uygulanan bitki yapraklarında toplam amino asit içeriğinin yüksek değerleri, hız sınırlayıcı bir adım olan ATP sülfürlaz tarafından selenat indirgenmesine bağlı olabilmektedir (Terry vd., 2000; Raspor vd., 2003). Peterson ve Butler (1962) selenyum akümülatör türlerin selenyumla proteinlerin birleşmesini engellemek vasıtasıyla bir mekanizma geliştirdiklerini önermişlerdir. Selenyum toleranslı türlerde selenyum engellemesi; selenometilselenosistein gibi nonprotein selenoamino asitlerin oluşumuna ve bu bileşiklerin sentezinin selenyumu SeCys ve SeMet oluşumundan uzaklaştırmasına bağlı olabilmektedir (Brown ve Shrift, 1981). *Brassica*’da yapılan çalışmada, yapraklardaki yüksek selenyum içerikleri kükürt metabolizmasına özgün mekanizmalarla uyum göstermektedir (Willey ve Wilkins, 2006). Çalışmada bitki yapraklarındaki yüksek selenyum konsantrasyonlarının, bu dokularda Semetilselenosistein, γ glutamilsemetilselenosistein ve Semetilselenomethionin gibi çeşitli olağan dışı metabolitlerin birikimi ile sonuçlanmış olabileceği belirtilmiştir (White vd., 2007). Ayrıca çalışmada, yüksek selenyum birikiminin gözlenen kimyasal

değişiklikleri açıklayabileceği fakat buna rağmen protein içeriğindeki böyle değişikliklerin ispatı olmadığı belirtilmiştir.

Buna rağmen çalışmamızdan elde edilen sonuçlara göre selenyum toksisite toleransının düşük olduğu uygulamalar bitkilerin protein içeriklerini azaltmış, ekmeklik buğday genotiplerinden Basribey 95 ve makarnalık buğday genotiplerinden Ege 88 ve GAP'ta tohum Se1 uygulaması yaprakların protein içeriğini arttırmıştır. Fakat yine de selenyumun bitkilerin protein içeriği üzerine olan etkisinin ve etki mekanizmalarının belirlenmesi için selenyumun katıldığı selenoamino asitlerin ve bu asitlerin hangi koşullarda proteinlere katıldığının belirlenmesine yönelik çalışmaların yapılması gereklidir.

Çizelge 3.14. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin çözünabilir protein miktarı (mg g⁻¹ Y.A.) üzerine etkisi

GENOTİPLER		ÇÖZÜNEBİLİR PROTEİN İÇERİĞİ (mg g ⁻¹ Y.A.)									
		F	p	Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması		
				Se0	Se1	Se2	Se1	Se2	Se1	Se2	Se3
EKMEKLİK	Basribey 95	6.47	<0.001	6.77±0.34 b	9.92±1.65 a	7.13±0.93 ab	8.07±1.32 ab	5.96±0.67 b	8.26±1.25 ab	5.54±0.97 b	5.27±0.90 b
	Gönen 98	5.90	0.001	7.74±0.69 ab	9.97±1.10 a	7.07±0.98 ab	9.00±1.48 a	7.94±0.89 ab	8.02±1.22 ab	6.45±1.13 bc	5.11±0.87 c
	Meta 2002	5.72	0.001	8.42±0.65 ab	10.13±0.99 a	8.99±1.13 ab	10.09±1.65 a	7.50±0.84 ab	7.95±1.20 ab	6.41±1.13 b	6.02±1.03 b
MAKARNALIK	Ege 88	9.93	<0.0001	5.38±0.73 bc	9.18±1.31 a	6.83±0.82 ab	8.58±1.41 a	5.48±0.62 bc	7.93±1.20 ab	4.33±0.76 c	4.90±0.84 c
	Şölen 2002	5.07	0.0035	7.34±0.86 ab	9.78±1.24 a	7.78±1.13 ab	9.46±1.56 a	7.41±0.83 ab	8.87±1.35 ab	6.22±1.10 bc	5.58±0.95 c
	GAP	8.02	<0.0001	6.31±0.80 bc	9.55±1.50 a	6.59±0.86 bc	8.42±1.39 ab	6.32±0.71 bc	6.84±1.04 b	5.06±0.89 c	4.32±0.74 c

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

3.1.1.5. Antioksidatif enzim aktiviteleri

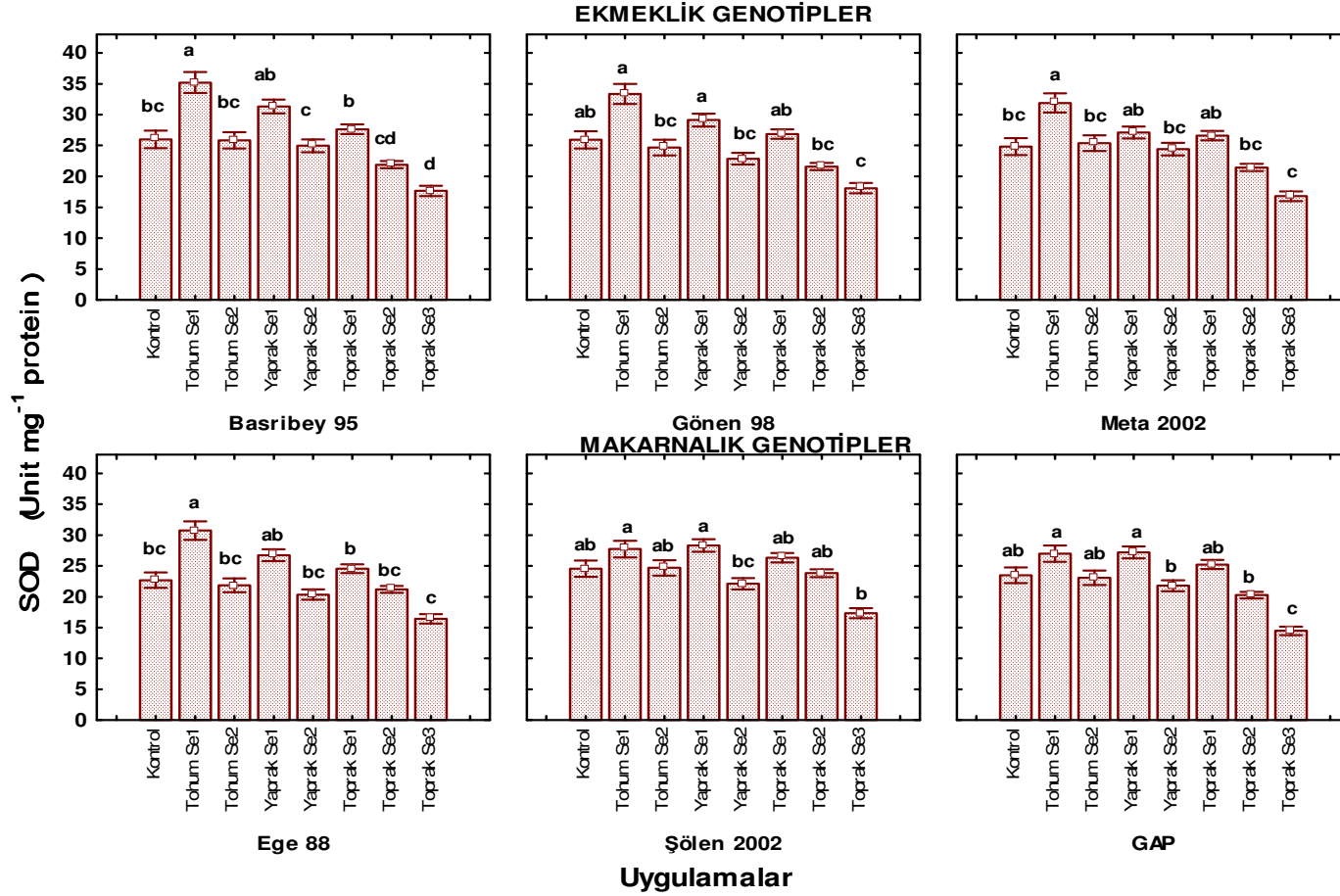
Saksı denemesi örneklerinde selenyum uygulamalarının bitkilerde antioksidatif savunma sisteminin temelini oluşturan antioksidatif enzimlerden SOD, POX, CAT, APX ve GSH-Px enzim aktiviteleri üzerine etkisi araştırılmış ve sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

Reaktif oksijen türlerinden biri olan süperoksit radikali ($O_2^{\cdot-}$) hemen tüm aerobik hücrelerde moleküler oksijenin (O_2) bir elektron alarak indirgenmesi sonucu oluşur. Hidrojen peroksit (H_2O_2), süperoksidin çevresindeki moleküllerden bir elektron alması veya moleküler oksijenin çevresindeki moleküllerden iki elektron alması sonucu oluşan peroksitin iki proton (H^+) ile birleşmesi sonucu meydana gelir (Özata, 2000) ve bu radikalın detoksifikasyonunda süperoksit dismutaz enzimi görev alır.

Süperoksit dismutaz (SOD, EC 1.15.1.1) süperoksit serbest radikalının hidrojen peroksit ve oksijene dönüşümünü katalizleyen bir enzimdir (Fridovich, 1986). SOD bütün aerobik organizmalarda ve aktifleşmiş oksijen üreten bütün hücre alt yapılarında bulunduğu için oksidatif strese karşı savunmada merkezi bir rolünün olduğu bilinmektedir (Bowler vd., 1992). Ayrıca SOD'un bazı bitki türlerinin apoplastik alanlarında da var olduğu rapor edilmiştir (Vanacker vd., 1998; Lyons vd., 1999).

Çalışmamızda SOD aktivitesi üzerine selenyum uygulamalarının etkisi değerlendirildiğinde; Gönen 98 dışındaki tüm genotiplerde tohum Se1 uygulaması bitkilerin SOD aktivitesi üzerinde olumlu etki gösterirken, Basribey 95, Gönen 98 ve GAP'ta toprak Se3 uygulaması kontrole oranla SOD aktivitesini düşürmüştür (Şekil 3.1).

Hartikainen vd., (2000) *Lolium perenne* bitkisinde yaptıkları çalışmada, SOD enzim aktivitesi üzerinde selenyumun ilk dönem ürününde azalışa, ikinci dönem ürününde 10 mg kg⁻¹ selenyum uygulamasıyla istatistiksel olarak belirgin bir artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızda selenyumun SOD aktivitesi üzerine etkisi genotipler ve uygulama konsantrasyonları bazında değişiklik göstermektedir. Fakat genel olarak SOD aktivitesi üzerine en etkili uygulama 10 ppm'lik tohum uygulaması olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin SOD aktivitesi (Unit mg⁻¹ protein) üzerine etkisi

SOD enzimi süperoksit radikali H_2O_2 'e kadar indirgemektedir. Bu sebeple bitki hücrelerinde POX, CAT ve APX olmak üzere H_2O_2 'i indirgeyen 3 antioksidatif enzim bulunmaktadır.

Peroksidazlar (POX, EC 1.11.1.17) hidrojen vericisi olarak birçok organik ve inorganik substratı kullanarak H_2O_2 'nin indirgenmesini katalizleyerek antioksidan savunma sistemine katkı sağlamaktadırlar. Bununla birlikte peroksidazların birçok fizyolojik olayla ilişkili olduğu ve metabolizmada aktif bir rol oynadığı belirlenmiştir. Stres altındaki bitkilerde peroksidaz aktivitesinin arttığı bilinmektedir (Gaspar vd.1991).

Selenyum uygulamaları genel olarak genotiplerin POX aktivitesi üzerine etki etmemiştir. Bununla birlikte ekmeklik genotiplerden tohum Se1 uygulaması Meta 2002 ve GAP'ta kontrole oranla POX aktivitesini arttırırken, toprak Se3 uygulaması makarnalık genotiplerden Ege 88 ve Şölen 2002'de düşürmüştür (Şekil 3.2).

Katalaz (CAT, EC 1.11.1.6) yüksek konsantrasyonlardaki H_2O_2 'nin iki elektronunu kullanarak su ve oksijene indirgenmesini katalizleyen tetramerik demir porfirin içeren yüksek molekül ağırlığına sahip bir enzimdir. Aynı zamanda katalaz, düşük H_2O_2 konsantrasyonlarında alkoller, askorbat ve fenol içeren indirgenmiş substratları kullanarak peroksidatif aktivite gösterebilir (Chaudiere ve Ferrari- Iliou, 1999).

Farklı selenyum uygulamalarının genotiplerinin CAT aktivitesi üzerine etkisi değerlendirildiğinde, tüm makarnalık genotiplerde ve ekmeklik genotiplerden Meta 2002'de tohum Se1 uygulamasının enzim aktivitesini arttırdığı ve toprak Se3 uygulamasının sadece Ege 88'de kontrole oranla istatistiksel olarak azalttığı gözlemlenmektedir (Şekil 3.3).

Hidrojen peroksiti indirgerken substrat olarak askorbatı kullanan enzimler olan askorbat peroksidazlar (APX, EC 1.11.1.11) bitki hücrelerinin sitoplazma ve kloroplastlarındaki H_2O_2 'nin temizlenmesinde etkilidirler (Dalton vd. 1987; Asada, 1992). Askorbat peroksidaz (APX) hidrojen peroksidin suya katalizlenmesinde gerçekleşen reaksiyon zincirinin ilk enzimidir. Bu reaksiyon mitokondride, kloroplastta, sitosolde, peroksizomlarda gerçekleşebilir. Askorbik asidin oksidasyonu iki basamaktan oluşur. İlk oluşum monodehidroaskorbatır daha sonra dehidroaskorbat meydana gelir. Monodihidroaskorbat, askorbat peroksidaz reaksiyonunun ilk ürünüdür. NADPH'a bağımlı olarak monodehidroaskorbat

redüktaz tarafından askorbata indirgenir ya da spontane bir reaksiyonla dihidroaskorbat oluşur. Dihidroaskorbat pH değişimlerinde oldukça kararsızdır. DHAR dehidroaskorbatın askorbata redüklenmesi reaksiyonunda elektron alıcısı olarak redükte glutationu kullanır (Cicerali, 2004).

Genotiplerin APX aktivitesi üzerine selenyumun etkisi Gönen 98 ve Basribey 95 toprak Se3 uygulaması dışında bulunmamıştır. Bu uygulamalar bu iki genotipin APX aktivitesinin kontrole oranla azalmasına sebep olmuştur (Şekil 3.4).

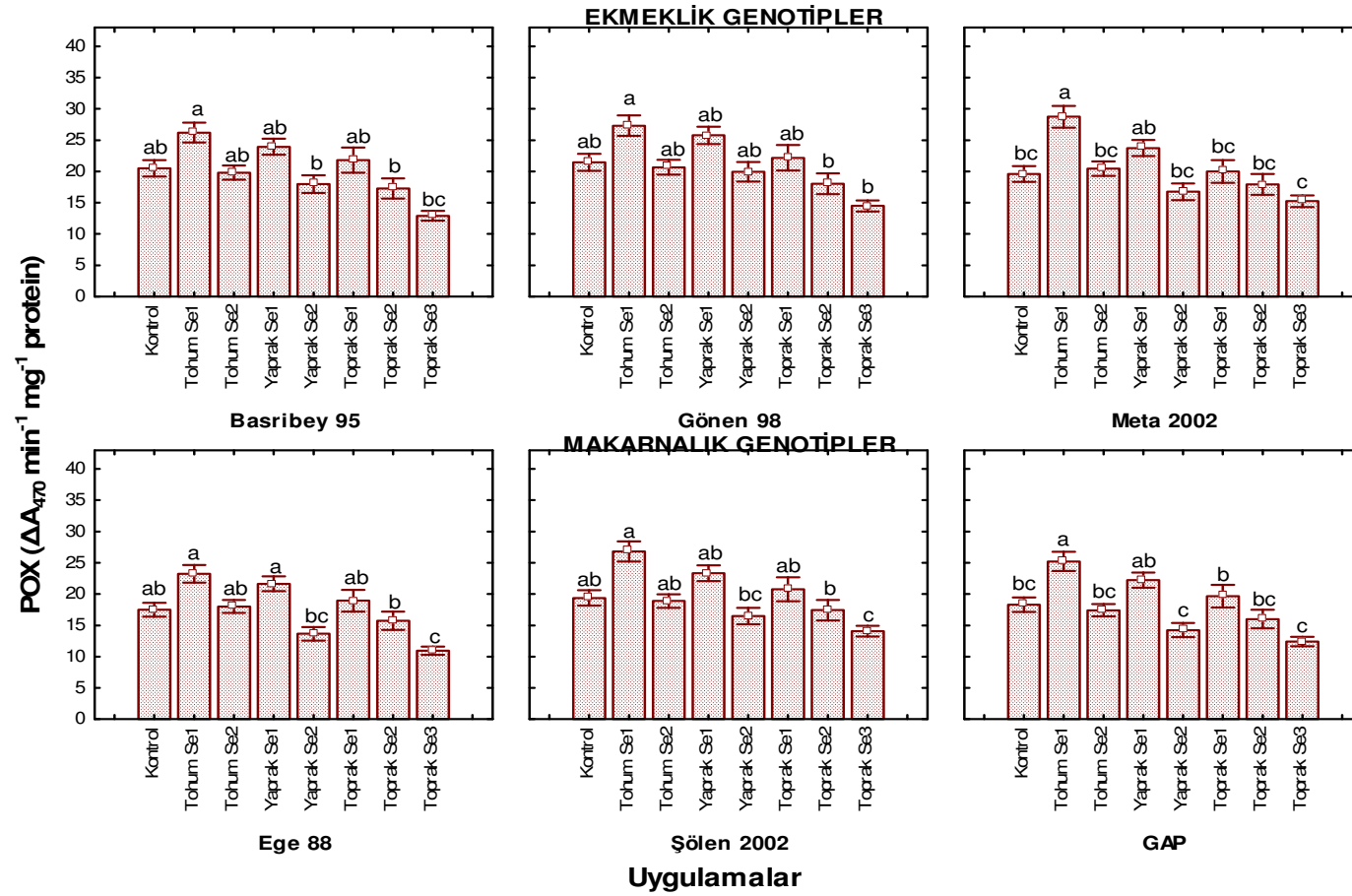
Mora vd. (2008) *Trifolium repens* bitkisinde kök selenyum konsantrasyonunda artış sonucunda POX ve APX enzim aktivitesinde belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir. Kök selenyum seviyesi ($511 \pm 30 \mu\text{g kg}^{-1}$ K.A.) serbest radikal indirgeme aktivitesi ve düşük lipid peroksidasyonunda sorumlu bir enzim olan POX aktivitesinde önemli artışlar bulmuşlardır. POX enzim aktivitesindeki bu artışın hidrojen peroksit üretiminin artışıyla ilgili olduğunu bildirmişlerdir. Diğer taraftan kök selenyum seviyesi $428 \pm 28 \mu\text{g kg}^{-1}$ K.A.'a kadar APX aktivitesinin arttığını, bu seviyenin üzerine çıktığı zaman enzim aktivitesinin inhibe olduğunu bildirmişlerdir.

Bitkiler reaktif oksijen türlerini azaltmak veya yok etmek için çeşitli koruyucu mekanizmalara sahiptirler. Bunlardan biri de SOD, POX, APX, CAT ve GSH-Px enzimlerini içeren enzimatik antioksidan sistemdir. Bu enzimlerin her biri stressiz koşullarda da bir fonksiyona sahiptir. Akbulut ve Çakır (2010)'ın arpa bitkisindeki çalışmalarda selenyumun antioksidatif enzim aktivitesi üzerine etkisinin konsantrasyon ile bağlantılı olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte çalışmada selenyumun SOD enzim aktivitesine etkisi görülmezken, CAT ve APX aktivitesini arttırdığı bildirilmiştir. *Spirulina plantensis*'de yapılan çalışmada $80\text{-}250 \text{ mg L}^{-1}$ arasında değişen selenyum uygulamaları ile GSH-Px, SOD, POX, ve CAT aktivitelerinde belirgin artışlar bulunmuştur (Chen vd., 2008).

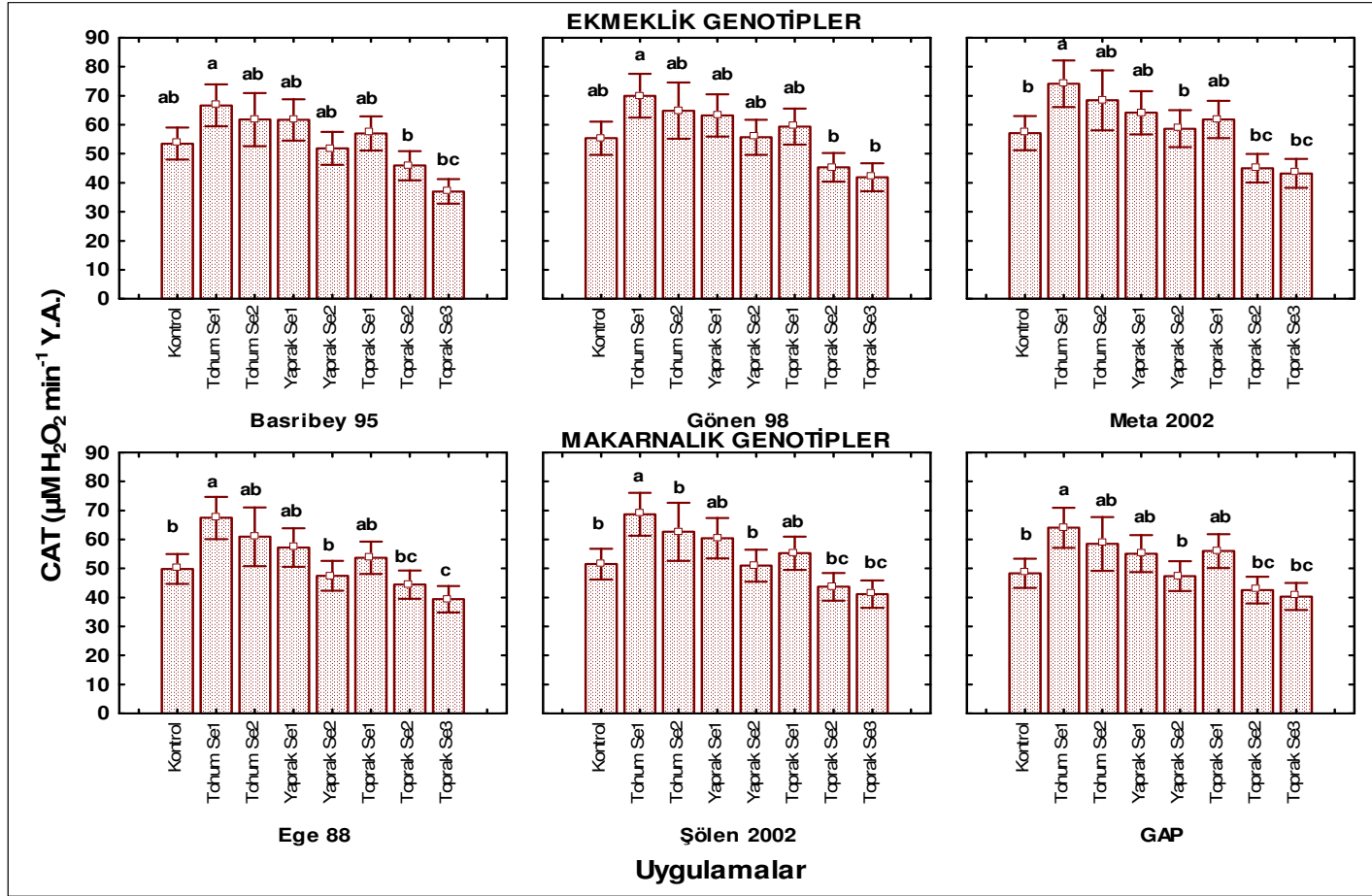
Nowak vd. (2004) toprak ve bitkilerdeki oksidoredüktif enzimlerin aktiviteleri üzerine selenyumun etkisini araştırdıkları çalışmada selenyumun hem toprak hem de bitkide enzim aktiviteleri üzerinde belirgin değişiklikler yaptığını bulmuşlardır. Çalışmada, hem selenyum konsantrasyonuna hem de enzime bağlı olduğundan değişikliklerin doğasının net olarak belirlenmeyebileceği belirtilmiştir. Yaptıkları sera çalışması sonuçlarına göre $0.05 \text{ mmol kg}^{-1}$ selenyum uygulaması bitkilerde hem peroksidaz hem de katalaz aktivitelerinde artış meydana getirmiştir. $0.15 \text{ mmol kg}^{-1}$

selenyum uygulamasında CAT aktivitesi azalmış, POX enzim aktivitesi ise artmışken, en yüksek selenyum uygulamasında ($0.45 \text{ mmol kg}^{-1}$) her iki enzim aktivitesinde de azalma gözlenmiştir.

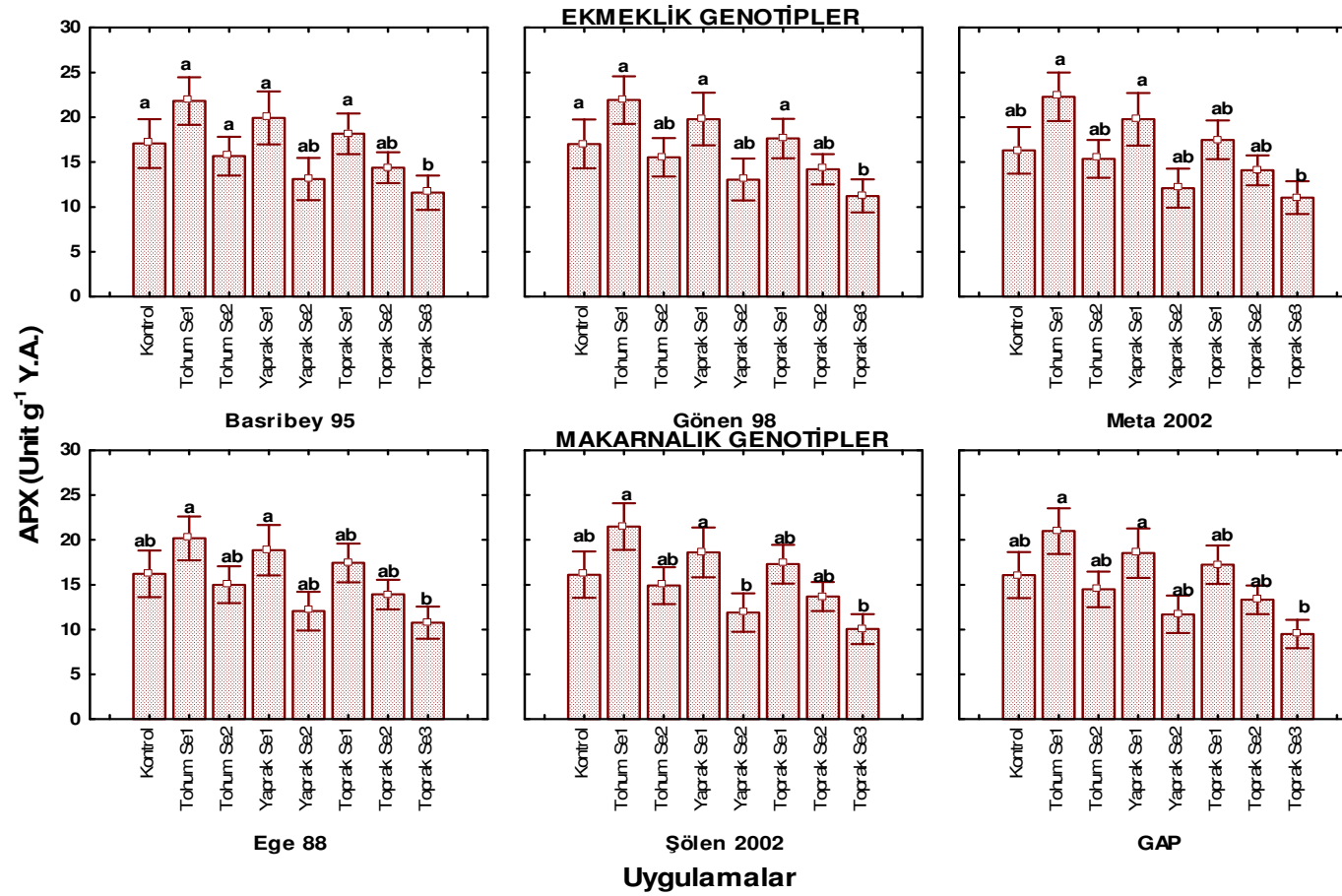
Çalışmamızla diğer araştırmacıların çalışmaları karşılaştırıldığında, buğday bitkisinde genotipe de bağlı olmak koşulu ile düşük selenyum konsantrasyonlarının antioksidatif savunmayı pozitif olarak etkilerken, yüksek konsantrasyonların stres cevaplarını tetiklediği genellenebilir. Bu yüzden, yüksek selenyum konsantrasyonları pro-oksidan olarak dikkate alınabilir.



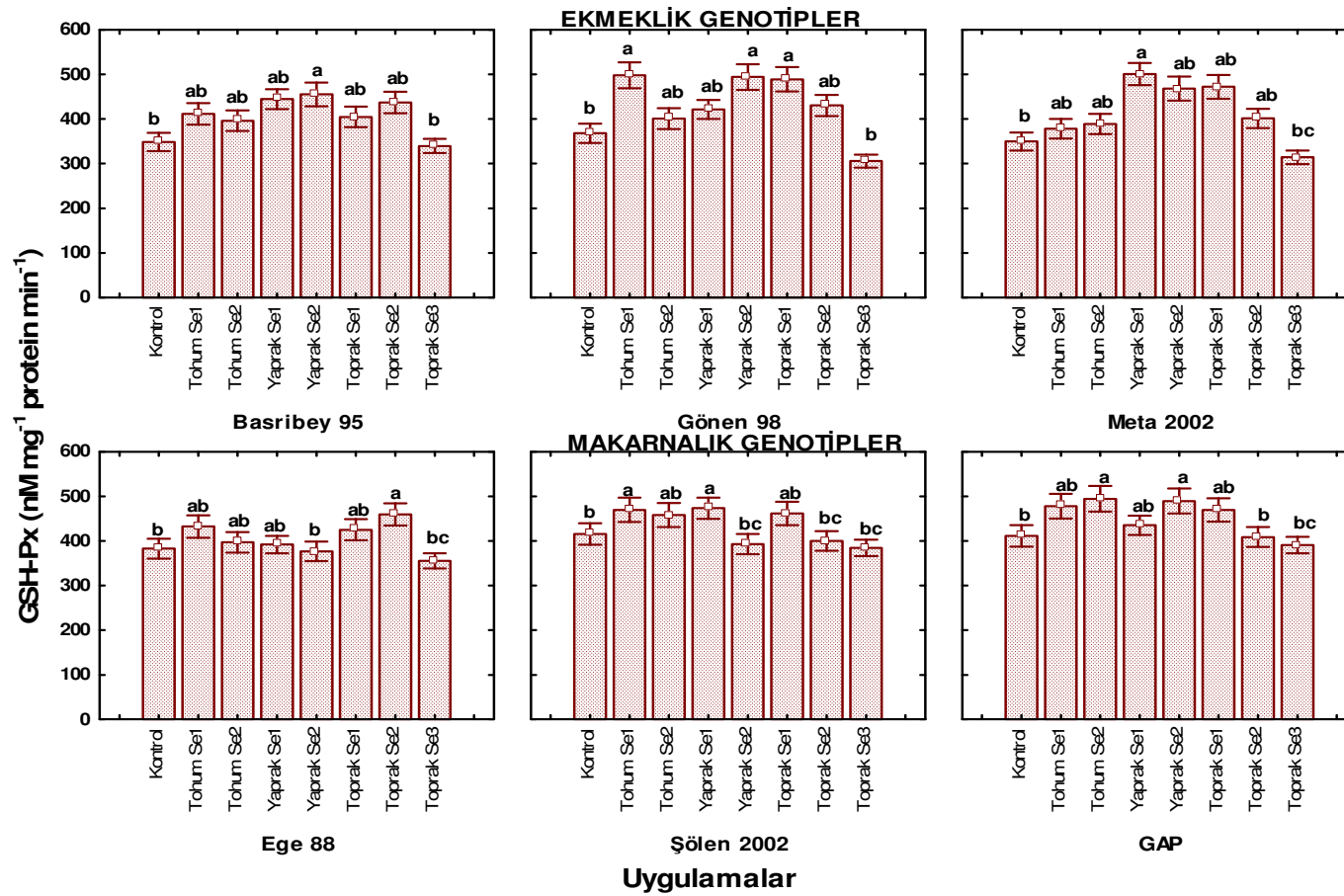
Şekil 3.2. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin POX aktivitesi ($\Delta A_{470} \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ protein}$) üzerine etkisi



Şekil 3.3. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin CAT aktivitesi ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ Y.A.}$) üzerine etkisi



Şekil 3.4. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin APX aktivitesi (Unit g⁻¹ Y.A.) üzerine etkisi



Şekil 3.5. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin GSH-Px (nM mg⁻¹ protein min⁻¹) üzerine etkisi

GSH-Px hücreleri reaktif oksijen türlerinin neden olduğu hasarda korumak için organik peroksit ve hidrojen peroksitlerin miktarının azaltılmasını katalizler. Bu enzimin fonksiyonel olabilmesi için katalitik bölgesinde selenyum (SeCys) içermesi gereklidir (Stadtman, 1990).

Selenyum GSH-Px enziminin (EC 1.11.1.9) bir bileşenidir. Bitki hücrelerinde GSH-Px aktivitesi ilk olarak Drotar vd.'nin 1985 yılında yaptıkları çalışmada ortaya konulmuştur. Daha sonra, selenyum bağımlı GSH-Px , *Thalassiosira pseudonana* diatomunda (Price ve Harrison, 1988) ve bir yeşil alg olan *Chlamydomonas reinhardtii*'de bulunmuştur (Yokota vd., 1988). Shigeoka vd., (1991) tarafından *Chlamydomonas*'tan izole edilen GSH-Px, memelilerdekine çok benzerdir. Takeda vd. (1997) *Chlamydomonas* hücrelerinde selenyum içeren ortamda dışsal hidrojen peroksitin öncelikle GSH-Px tarafından ortadan kaldırılırken, selenyum olmadan dışsal hidrojen peroksitin %40'ının APX ve kalanının ise CAT tarafından indirgendığını bildirmişlerdir.

Bu sebeple çalışmamızda selenyumun GSH-Px enzimi aktivitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Saksı denemesi yaprak örneklerinde Selenyum uygulamalarının GSH-Px aktivitesi üzerine etkisi değerlendirildiğinde; diğer enzimlerden farklı olarak hiçbir uygulama enzim aktivitesini kontrole oranla azaltmamıştır. Bununla birlikte Basribey 95'te tohum Se1 ve yaprak Se2, Gönen 98'te tohum Se1, yaprak Se2 ve toprak Se1 Meta 2002'de yalnızca yaprak Se, Ege 88'te toprak Se2, Şölen 2002'de tohum Se1 ve yaprak Se1, GAP'ta ise tohum Se2 ve Yaprak Se2 uygulamaları GSH-Px enzim aktivitesini kontrole göre istatistiksel olarak arttırmıştır (Şekil 3.5).

Hartikainen vd. (2000) *Lolium perenne* bitkisinde yaptıkları çalışmada hidrojen peroksit ve lipid peroksitleri indirgeyen enzim olan GSH-Px enzimi aktivitesinin selenyum ilavesi ile belirgin şekilde arttığını bulmuşlardır.

Kontrollü çevresel koşullarda *Lolium perenne* ve marulda (Hartikainen ve Xue 1999; Ríos vd., 2008 ve Xue ve Hartikainen 2000), patatest (Turakainen vd., 2004) ve *Arabidopsis*'de (White vd., 2004) yapılan çalışmalarda selenyum gübrelemesinin bitki gelişimini tetiklediği bildirilmiştir. Gelişim ve verim artışı hidrojen peroksiti detoksifike eden ve stres direncini geliştiren GSH-Px ve askorbat gibi selenatın tetiklediği antioksidan üretimine bağlı olabilir (Xue ve Hartikainen 2000 ve Ríos vd.,

2008). Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar önceki çalışmalarla uyum göstermektedir.

3.1.1.6. Antioksidatif kapasite (% DPPH radikal inhibisyonu)

Son yıllarda farklı bitkilerin antioksidan kapasitelerini belirlemek için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler farklı radikaller veya oksidan olarak iyonik metallerin kullanarak pro-oksidan maddeleri indirgeme yeteneklerine göre ölçülmektedir (Schleiser vd., 2002). Çalışmamızda antioksidatif kapasite bileşiklerini belirlemekte kullanılan yöntem, bu analiz yöntemlerinden biri olan DPPH'dır.

Selenyum uygulamaları makarnalık buğday genotiplerinden Şölen 2002 dışındaki tüm genotiplerde yaprak antioksidatif kapasitesi üzerine olumlu etkide bulunmuştur. Bu etkinin en belirgin olduğu genotipler ekmeklik Gönen 98 ve makarnalık GAP olmuştur. Gönen 98, Meta 2002, Ege 88'de toprak Se3 uygulaması dışındaki tüm uygulamalar bitkilerin antioksidatif kapasitelerini kontrole göre arttırmıştır. Basribey 95 genotipinde tohum Se2, toprak ve yaprak Se1 uygulamaları kontrole göre antioksidatif kapasiteyi artırırken, diğer uygulamalar istatistiksel olarak etkili olmamıştır. Meta 2002'de en etkili uygulamalar tohum, yaprak ve toprak Se1 uygulamaları daha sonra ise sırasıyla toprak Se2, tohum Se2 ve yaprak Se2 uygulamalarıdır. Ege 88'de tohum uygulamaları, yaprak Se1 ve toprak Se2 uygulaması genotipin antioksidatif kapasitesini kontrole oranla arttırmıştır (Çizelge 3.15).

Rı'os vd., (2008) marul bitkisinde yaptıklarında çalışmada selenat ve selenit formunda uygulanan selenyumun antioksidatif kapasiteyi (DPPH inhibisyonunu) tetiklediğini ve bunun en yüksek selenyum konsantrasyonunda daha etkili olduğunu bulmuşlardır. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar da marul bitkisinde yapılan çalışma ve buna benzer çalışmalar (Hartikainen vd., 2000; Lee vd., 2001; Xue vd., 2001 vd Ligan vd.,2005) ile uyum göstermektedir.

Çizelge 3.15. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin antioksidatif kapasitesi (% DPPH radikal inhibisyonu) üzerine etkisi

GENOTİPLER		ANTİOKSİDATİF KAPASİTE (% DPPH radikal inhibisyonu)									
				Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması		
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	3.24	0.025	21.32±1.35 b	32.67±2.08 ab	35.23±2.15 a	38.55±1.94 a	31.56±1.67 ab	38.75±2.09 a	31.27±1.68 ab	25.64±1.53 b
	Gönen 98	6.60	0.0009	23.55±2.13 c	51.63±2.34 a	48.78±2.18 a	55.77±1.48 a	46.50±1.74 ab	45.89±1.99 ab	48.65±2.03 a	34.91±2.01 bc
	Meta 2002	8.05	0.0003	25.65±1.78 c	58.51±1.87 a	51.63±1.87 ab	59.23±1.58 a	42.81±1.87 b	57.41±1.94 a	52.34±2.14 ab	30.11±2.14 c
MAKARNALIK	Ege 88	9.42	0.0001	20.34±2.01 bc	38.79±2.19 a	41.59±1.47 a	41.23±2.21 a	34.77±1.56 ab	35.23±1.58 ab	37.54±1.88 a	29.01±1.66 b
	Şölen 2002	7.44	0.0005	21.56±1.96 ab	25.39±1.67 a	26.55±2.10 a	27.05±2.16 a	29.80±2.11 a	23.45±1.76 ab	25.79±1.34 a	21.09±1.86 ab
	GAP	9.40	0.0001	20.78±1.45 bc	45.90±1.95 a	49.33±2.06 a	48.88±1.97 a	51.28±2.07 a	47.65±1.84 a	49.00±1.49 a	39.51±1.77 ab

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

3.1.1.7. Hidrojen peroksit (H_2O_2) ve lipid peroksidasyonu (MDA) içerikleri

Biyolojik sistemlerde hidrojen peroksidin asıl üretimi, süperoksidin ($O_2^{\bullet-}$) dismutasyonu ile olur. İki süperoksit molekülü, süperoksidin dismutasyonu reaksiyonunda iki proton alarak hidrojen peroksit ve moleküler oksijeni oluştururlar. Bu reaksiyon, radikal olmayan ürünler meydana geldiğinden dismutasyon reaksiyonu olarak bilinir, ya spontan gerçekleşir ya da süperoksit dismutaz (SOD) enzimi tarafından katalizlenir. Hidrojen peroksit bir serbest radikal olmadığı halde reaktif oksijen türleri (ROS) kapsamına girer ve serbest radikal biyokimyasında önemli bir rol oynar. Çünkü Fe^{2+} veya diğer geçiş metallerinin varlığında Fenton reaksiyonu sonucu, süperoksit radikalının ($O_2^{\bullet-}$) varlığında Haber-Weiss reaksiyonu sonucu en reaktif ve zarar verici serbest oksijen radikali olan hidroksil radikali ($OH^{\bullet}$) oluşturur (Özata, 2000; Onat vd., 2002).

Süperoksit radikalının lipid solubilitesi sınırlı olduğu halde hidrojen peroksit lipid çözünürüdür. Bu nedenle hidrojen peroksit kendisinin olduğu yerden uzakta olan fakat Fe^{2+} içeren membranlarda hasar oluşturabilir (Türkan vd., 2005).

Selenyum uygulamalarından bazıları ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin yaprak H_2O_2 içeriğini kontrole oranla azaltmıştır. Ekmeklik Basribey 95’de tohum, yaprak ve toprak Se1 uygulamaları, Gönen 98 ve Meta 2002’de toprak Se1 ve Se3 uygulamaları dışındaki uygulamalar, H_2O_2 içeriğinin azalmasında istatistiksel olarak etkin olan uygulamalardır. Makarnalık genotiplerden Ege 88’de tohum Se1 ve toprak Se2 uygulamaları, Şölen 2002’de yalnızca toprak Se3 uygulaması, GAP’ta ise tohum ve yaprak Se2 uygulamaları dışındaki uygulamalar H_2O_2 içeriğinin azaltılmasında istatistiksel olarak etkin olmayan uygulamalardır (Çizelge 3.16). Selenyumun buğday bitkilerinde hidrojen peroksit içeriğine sebep olması, hidrojen peroksidin detoksifikasyonunda görev alan enzimlerin aktivitesini artırması ile ilgiliyken, hidrojen peroksit içeriğinin artışına sebep olan uygulamalarda selenyumun toksisite etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 3.16. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriği (µM g⁻¹ Y.A.) üzerine etkisi

GENOTİPLER		H ₂ O ₂ İÇERİĞİ (µM g ⁻¹ Y.A)									
		Kontrol			Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması		
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	11.85	0.0001	41.39±2.19 a	27.43±1.26 b	30.75±2.34 ab	28.64±1.44 b	31.65±2.45 ab	27.03±1.86 b	33.46±2.19 ab	46.02±2.56 a
	Gönen 98	10.81	0.0001	46.67±3.12 a	25.92±1.63 b	29.54±2.27 b	28.03±2.32 b	29.84±2.65 b	39.49±2.43 ab	30.45±1.97 b	49.08±2.65 a
	Meta 2002	7.77	0.0003	39.49±2.66 a	22.31±1.39 b	25.32±1.64 b	25.62±1.84 b	27.13±2.34 b	32.86±2.56 ab	27.43±1.63 b	41.60±1.76 a
MAKARNALIK	Ege 88	12.31	0.0001	42.15±1.79 a	29.84±2.14 b	37.08±1.95 ab	34.67±1.76 ab	36.48±1.81 ab	35.17±2.53 ab	31.65±2.05 b	42.90±2.68 a
	Şölen 2002	10.89	0.0001	37.03±1.67 b	23.21±1.78 b	27.43±1.54 b	25.92±1.86 b	32.26±1.73 ab	30.15±2.71 ab	26.83±2.04 b	51.55±2.84 a
	GAP	14.35	<0.0001	43.66±1.89 a	24.42±1.85 bc	30.15±1.77 b	27.43±2.31 bc	30.45±2.54 b	35.87±2.55 ab	44.01±2.84 a	45.01±2.35 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Lipid peroksidasyonu, organizmada oluşan kuvvetli oksitleyici bir radikalın membran yapısında bulunan çoklu doymamış yağ asidi zincirindeki metilen gruplarından bir hidrojen atomu uzaklaştırması ile başlamaktadır. Lipid peroksidasyonunu başlatan başlıca radikal, hidroksil radikalidir. Lipid peroksidasyonu membran yapı ve bütünlüğünün bozulması, oluşan serbest radikallerin, çeşitli hücre bileşenleri üzerine etkisi ve son ürünlerin sitotoksik etkileri gibi farklı yollarla hücre hasarına neden olmaktadır (Halliwell ve Chirico, 1993).

Lipid peroksidasyonu sonucunda ortaya çıkan çeşitli aldehitlerden en iyi bilinenleri Malondialdehit (MDA) ve 4-hidroksinonenal (HNE)'dir. Bu bileşikler ya hücresel olarak metabolize olurlar ya da başlangıçta etkili oldukları bölgeden difüze olup hasarı hücrenin diğer bölümlerine yayarlar (Halliwell ve Chirico, 1993). Malondialdehit (MDA), yağ asidi oksidasyonunun spesifik ya da kantitatif bir indikatörü olmamakla beraber lipid peroksidasyonunun derecesiyle iyi korelasyon gösterir. Bu nedenle biyolojik materyalde malondialdehit (MDA) ölçülmesi lipid peroksit seviyelerinin indikatörü olarak kullanılır (Feibo vd., 2003). Tez çalışmasında da lipid peroksidasyon seviyelerinin tespiti amacıyla MDA ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızda toprak selenyum uygulamaları dışındaki uygulamalar buğday genotiplerinin lipid peroksidasyonu seviyelerini kontrol düzeyinde tutmuştur. Gönen 98, Meta 2002 ve Şölen 2002'de toprak Se² ve Se³, diğer genotiplerde ise sadece toprak Se³ uygulamaları lipid peroksidasyon seviyelerini kontrole oranla istatistiksel olarak arttırmıştır (Çizelge 3.17).

Xue vd., (2001) senesens aşamasındaki marul bitkisinde yaptıkları çalışmada senesensle lipid peroksidasyonunun arttığını ve selenyum uygulamalarıyla bu seviyelerde küçük bir azalma olduğunu göstermişlerdir

Rı'os vd., (2008) marul bitkisinde yaptıkları çalışmada, 120 µM selenyumun uygulamasının MDA içeriğinde artışa, 5 µM selenyumun uygulamasının ise azalmaya sebep olduğunu bulmuşlardır. Dolayısıyla düşük konsantrasyonlarda selenyum uygulamaları MDA içeriğini düşürürken, yüksek konsantrasyonlarda selenyum lipid peroksidasyonunu tetiklemektedir.

Hartikainen vd., (2000) *Lolium perenne* bitkisinde yaptıkları çalışmada, ilk üründe selenyumun çok düşük ve düşük konsantrasyonlarda (0.1 ve 1 mg kg⁻¹) lipid

peroksidasyonunu azalttığını ikinci dönem ürününde ise düşük selenyum uygulamasıyla artış olduğunu bulmuşlardır. Sonuç olarak *Lolium perenne* bitkisinin gelişiminde selenyumun düşük dozlarda antioksidan, yüksek dozlarda ise pro-oksidan olarak çift yönlü etki gösterdiğini bildirmişlerdir. Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar selenyum ve lipid peroksidasyonu arasındaki etkileşimin belirlendiği çalışmalar ile uyum göstermektedir. Ekmeklik ve makarnalık buğday genotipleri arasında farklılıklar bulunsa da genel olarak toprak Se2 ve Se3 uygulamalarının lipid peroksidasyonunu tetiklediği görülmekte olduğundan bu uygulamaların bitkilerde selenyumun pro-oksidan olarak rol aldığı uygulamalar olarak nitelendirilebileceği düşünülmektedir.

Çizelge 3.17. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin lipid peroksidasyonu (nM g⁻¹ Y.A.) üzerine etkisi

LİPİD PEROKSİDASYONU (nM g ⁻¹ Y.A.)											
GENOTİPLER		Kontrol			Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		Toprak Uygulaması		
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	Se ₃
EKMEKLİK	Basribey 95	16.87	<0.0001	0.91±0.12 b	0.95±0.22 b	1.02±0.26 b	1.05±0.27 b	1.56±0.17 ab	1.11±0.18 ab	1.97±0.12 ab	2.19±0.32 a
	Gönen 98	14.88	<0.0001	0.86±0.15 b	0.93±0.18 ab	0.98±0.24 ab	0.99±0.31 ab	1.31±0.16 a	1.01±0.15 ab	1.88±0.17 a	1.96±0.19 a
	Meta 2002	7.75	0.0004	0.74±0.10 b	0.85±0.15 b	0.84±0.16 b	0.90±0.17 ab	1.09±0.22 ab	0.91±0.11 ab	1.31±0.21 a	1.38±0.11 a
MAKARNALIK	Ege 88	17.33	<0.0001	0.99±0.21 b	1.15±0.13 ab	1.23±0.18 ab	1.21±0.15 ab	1.83±0.24 a	1.05±0.21 ab	1.73±0.11 ab	2.75±0.21 a
	Şölen 2002	11.84	<0.0001	0.77±0.19 b	0.86±0.23 b	0.91±0.14 ab	1.07±0.15 ab	1.00±0.29 ab	0.89±0.19 b	1.56±0.18 a	1.71±0.16 a
	GAP	24.32	0.0001	0.81±0.17 b	0.91±0.19 b	1.00±0.13 b	1.01±0.11 b	1.19±0.20 b	1.46±0.16 ab	1.78±0.14 ab	2.82±0.47 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

3.1.2. Kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin farklı selenyum uygulamalarına tepkilerinin belirlenmesi

3.1.2.1. Selenyum kapsamları, kuru madde ve selenyum toksisitesi toleransı

Kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde selenyum içeriği selenyum uygulamaları ve uygulama konsantrasyonları ile doğru orantılı olarak artış göstermiştir. Tüm genotiplerde gövde selenyum içeriğinin en yüksek olduğu uygulamalar toprak uygulamalarıdır. En yüksek gövde selenyum içerikleri ekmeklik buğday genotiplerinden Gönen 98 ve Meta 2002’de toprak Se3 uygulamasında bulunmuştur. Bununla birlikte kuraklık stresi koşullarında makarnalık buğday genotiplerinden GAP’ta toprak Se2 uygulaması diğer makarnalık genotiplere oranla selenyum içeriğini kontrole göre çok daha fazla arttırmıştır (Çizelge 3.18).

Saksı denemesinde normal koşullarda yetiştirilen buğday genotiplerinin selenyum içeriği ile kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen buğday genotiplerinin selenyum içeriği açısından selenyum uygulamaları açısından bir fark bulunmamıştır. Bununla birlikte normal koşullarda yaprak Se2 uygulaması, tohum Se2 uygulamasından selenyum içeriğini arttırmada daha etkinken, kuraklık stresi koşullarında istatistiksel olarak böyle bir ayrım görülmemektedir.

Kuraklık stresi koşullarında gövde kuru madde ve selenyum toksisite toleransı toprak Se2 ve Se3 uygulamaları dışındaki uygulamalarda kontrolle aynı seviyelerdedir. Ekmeklik buğday genotiplerinden Meta 2002’de ve makarnalık genotiplerden GAP’ta toprak selenyum uygulamaları da gövde selenyum toksisite toleransını etkin biçimde düşürmemiştir. Fakat Basribey 95 ve Şölen 2002’de kuraklık uygulamasıyla birlikte toprak Se2 ve toprak Se3 uygulamaları selenyum toksisite toleransını düşürmede diğer genotiplerden daha etkin bulunmuştur (Çizelge 3.19 ve 3.20).

Kuraklık stresi sonuçları normal koşullarda selenyum etkisinin araştırılmasından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında selenyum toksisitesi açısından ekmeklik ve makarnalık buğday genotipleri arasında selenyum toksisite toleransı seviyelerinde belirgin bir fark göstermediği görülmektedir. Oysa normal koşullarda ekmeklik buğday genotiplerinin genel olarak selenyum toksisite toleranslarının makarnalık buğday genotiplerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Çizelge 3.18. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde selenyum içeriği ($\mu\text{g kg}^{-1}$) üzerine etkisi

		GÖVDE SELENYUM İÇERİĞİ ($\mu\text{g kg}^{-1}$)					
		GENOTİPLER					
		EKMEKLİK			MAKARNALIK		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
F		6.99	4.538	11.51	5.474	6.83	3.921
p		0.001	0.0016	<0.0001	0.0026	0.0019	0.0034
UYGULAMALAR	Kontrol (Se_0)	31.03±2.65 f	39.04±2.85 f	36.04±2.14 f	32.03±2.68 f	40.04±2.96 f	42.04±2.83 f
	Su stresi (S.S.)	36.04±2.14 f	48.05±3.52 f	37.04±2.55 f	35.04±2.25 f	42.04±2.83 f	43.04±3.45 f
	S:S+Tohum Se_1	51.05±3.65 e	61.07±4.15 e	58.06±3.67 e	57.06±3.55 e	50.05±2.75 e	75.06±3.25 e
	S:S+Tohum Se_2	117.13±4.46 d	170.19±5.51 d	151.17±4.37 d	140.16±4.41 d	131.15±4.07 d	172.19±3.78 d
	S:S+Yaprak Se_1	56.06±2.44 e	78.08±4.97 e	68.07±2.82 e	59.06±3.85 e	59.067±3.85 e	76.08±4.74 e
	S:S+Yaprak Se_2	122.14±4.03 d	185.21±5.28 d	198.22±3.77 d	184.21±5.16 d	112.12±3.88 d	159.18±5.29 d
	S:S+Toprak Se_1	282.32±5.43 c	399.45±5.89 c	345.39±4.68 c	216.24±6.84 c	328.37±4.72 c	515.59±5.23 c
	S:S+Toprak Se_2	340.39±5.89 b	550.63±6.25 b	686.78±5.89 b	344.39±6.56 b	401.46±5.12 b	751.86±6.37 a
	S:S+Toprak Se_3	593.68±6.34 a	909.04±7.42 a	1006.15±8.16 a	549.63±8.14 a	485.55±7.78 a	705.81±6.08 ab

* $\text{LSD}_{0.05}$ testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.19. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde kuru madde (g) üzerine etkisi

		GÖVDE KURU MADDE (g)					
		GENOTİPLER					
		EKMEKLİK			MAKARNALIK		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	0,95±0.08	0,94±0.05	1,19±0.07	0,81±0.06	0,78±0.05	0,89±0.05
	Su stresi (S.S.)	0,92±0.07	0,93±0.06	1,17±0.06	0,80±0.05	0,74±0.08	0,87±0.06
	S:S+Tohum Se ₁	0,96±0.06	1,12±0.06	1,30±0.08	0,93±0.06	0,78±0.06	0,94±0.05
	S:S+Tohum Se ₂	0,86±0.08	0,92±0.09	1,15±0.09	0,77±0.06	0,69±0.06	0,85±0.07
	S:S+Yaprak Se ₁	0,98±0.09	1,17±0.09	1,41±0.10	0,98±0.07	0,78±0.07	0,98±0.08
	S:S+Yaprak Se ₂	0,69±0.07	0,90±0.07	1,18±0.08	0,73±0.06	0,68±0.05	0,86±0.06
	S:S+Toprak Se ₁	0,97±0.06	1,08±0.08	1,34±0.07	0,98±0.08	0,79±0.06	1,00±0.08
	S:S+Toprak Se ₂	0,64±0.06	0,72±0.07	1,01±0.06	0,67±0.07	0,48±0.06	0,76±0.06
	S:S+Toprak Se ₃	0,56±0.05	0,68±0.06	0,97±0.06	0,57±0.08	0,46±0.05	0,70±0.05

Çizelge 3.20. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde selenyum toksisite seviyeleri (%) üzerine etkisi

		GÖVDE SELENYUM TOKSİSİTE ORANI (%)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	100	100	100	100	100	100
	Su stresi (S.S.)	97.65	99.51	98.85	99.01	96.07	98.67
	S:S+Tohum Se ₁	101.13	119.54	109.72	115.62	100.41	105.77
	S:S+Tohum Se ₂	91.27	98.33	97.21	96.23	89.73	95.98
	S:S+Yaprak Se ₁	103.28	125.47	118.49	121.46	100.09	110.38
	S:S+Yaprak Se ₂	72.85	96.36	99.53	91.25	87.63	97.61
	S:S+Toprak Se ₁	102.23	115.55	113.42	121.74	102.34	112.48
	S:S+Toprak Se ₂	68.22	77.58	85.27	83.44	61.76	85.67
	S:S+Toprak Se ₃	59.54	72.49	81.65	71.56	59.55	79.42

Ayrıca normal koşullarda yetiştirilen buğday genotiplerinden ekmeklik Gönen 98, makarnalık Ege 88 diğer genotiplere göre selenyum toksisitesine daha toleranslı iken, kuraklık stresi koşullarında ekmeklik Meta 2002 ve makarnalık GAP genotipleri selenyuma daha toleranslı bulunmuştur. Kuraklık stresi koşulları altında yetişen buğday genotiplerinin selenyum toksisite toleranslarındaki böyle bir değişim, Meta 2002 ve GAP buğday genotiplerinin kuraklık stresi koşullarına ve bu koşullarda selenyum uygulamalarına daha toleranslı olabileceğini ve selenyumun bu genotiplerde kuraklık stresinin zararlı etkilerinden bitkileri koruyabileceğine dair bir kanıt olabilir.

3.1.2.2. Makro ve mikro element içerikleri

Kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinden Gönen 98 ve Ege 88’de tohum Se1 uygulaması K içeriğini kontrole oranla arttırırken, kuraklık stresi koşullarında ve diğer selenyum uygulamalarında K içeriğinde herhangi bir değişiklik olmamıştır (Çizelge 3.21). Normal sulama koşullarında yetiştirilen buğday genotiplerinde ise makarnalık buğday genotiplerinde Ege 88 yaprak Se2 uygulamasındaki azalma dışında selenyum uygulamaları ile K içeriği değişmezken, ekmeklik genotiplerde Meta 2002 genotipi dışındaki genotiplerde bazı selenyum uygulamaları bitkilerin K içeriğini arttırmıştır.

Kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde Ca içeriği üzerine etkisi çizelge 3.22’de verilmiştir. Kuraklık stresi uygulaması tüm genotiplerde kontrole karşılaştırıldığında gövde Ca içeriği üzerine etkisizdir. Bununla birlikte bazı genotiplerde, selenyum uygulamaları bazıları Ca içeriğini arttırmıştır. Ekmeklik genotiplerden Basribey 95’de tohum Se1, Meta 2002’de tohum Se2 ve yaprak Se1 uygulamaları gövde Ca içeriğini arttırırken, Gönen 98’de kuraklık stresi ve selenyum uygulamalarının etkisi görülmemiştir. Makarnalık genotiplerden Ege 88’de tohum Se2 ve toprak Se1 uygulamaları, Şölen 2002’de tohum Se1 uygulaması ve GAP’ta tohum ve yaprak Se2, toprak Se1 uygulamaları gövde Ca içeriğini kontrole oranla istatistiksel olarak arttırmıştır.

Kuraklık stresi koşullarında buğday genotiplerinin Ca içeriği üzerine olan etkisine benzer etkiler normal koşullarda yetiştirilen buğday genotiplerinde de bulunmuştur. Fakat kuraklık stresine maruz kalan ekmeklik buğday genotiplerinden Gönen 98’de

selenyumun gövde Ca içeriği üzerine etkisi bulunmamışken, bazı selenyum uygulamaları normal koşullarda bu genotipin de Ca içeriğini arttırmıştır.

Kuraklık stresi uygulaması Basribey 95, Meta 2002 ve Ege 88’de gövde Mg içeriğini kontrole oranla istatistiksel olarak arttırırken, diğer genotiplerde etkisiz olmuştur (Çizelge 3.23). Kuraklık stresi ve selenyum uygulamaları genel olarak genotiplerin Mg içeriğini arttırmıştır. Ekmeklik buğday genotiplerinden Basribey 95’de toprak Se1 ve Se3 dışındaki uygulamalar, Meta 2002’de toprak Se3 dışındaki uygulamalar kontrole göre Mg içeriğinde artışa sebep olmuştur. Gönen 98’de ise kuraklık stresi ve selenyum uygulamalarının Mg içeriği üzerine herhangi bir etkisi bulunmamıştır. Makarnalık genotiplerden sadece GAP’ta tohum selenyum uygulamaları, Şölen 2002’de tohum Se1 uygulaması Mg içeriği üzerine etkindir. Ege 88’de ise kuraklık stresi uygulaması kontrole oranla Mg içeriğini arttırırken, selenyum uygulamaları kuraklık stresi uygulamasına oranla Mg içeriğini azaltmış olup kontrolle aynı seviyelerde bulunmuştur.

Normal koşullarda yetiştirilen buğday genotiplerinin Mg içeriği üzerine etkisi kuraklık stresi koşullarından farkı ekmeklik Gönen 98’de toprak Se3 uygulamasındaki azalış ve makarnalık genotiplerden Ege 88’de selenyum uygulamalarının etkisinin görülmemesidir.

Kuraklık stresi ve selenyum uygulaması ekmeklik buğday genotiplerinden Gönen 98 ve makarnalık genotiplerden Ege 88’de gövde Na içeriği üzerine kontrole göre etkisiz bulunmuştur. Basribey 95’de yaprak Se1, Meta 2002’de yaprak Se2, Şölen 2002’de toprak Se3 ve GAP’ta toprak Se3 uygulamaları Na içeriğini arttırmıştır. Kuraklık stresi uygulaması Meta 2002 genotipi dışındaki genotiplerde Na içeriği üzerine etkisizdir (Çizelge 3.24). Normal sulama koşullarında ise selenyum uygulamaları ekmeklik Basribey 95 genotipi dışındaki genotiplerde gövde selenyum içeriği üzerine etkisiz bulunmuştur.

Çizelge 3.21. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde potasyum (K) içeriği (%) üzerine etkisi

		GÖVDE POTASYUM İÇERİĞİ (%)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
F		3.422	2.787	1.105	1.591	1.511	1.544
p		0.0144	0.0338	0.0404	0.0196	0.0222	0.0408
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	1.60±0.27 b	1.42±0.26 b	2.01±0.28 ab	1.98±0.34 b	1.82±0.33 ab	2.18±0.40 a
	Su stresi (S.S.)	2.40±0.41 ab	2.32±0.43 ab	1.80±0.19 ab	2.02±0.35 b	2.74±0.49 a	2.15±0.39 a
	S:S+Tohum Se ₁	2.60±0.44 a	2.56±0.47 a	1.96±0.21 ab	2.73±0.47 a	2.48±0.44 a	2.21±0.41 a
	S:S+Tohum Se ₂	2.65±0.45 a	1.94±0.36 ab	2.11±0.31 ab	2.48±0.43 ab	2.34±0.42 a	2.25±0.42 a
	S:S+Yaprak Se ₁	2.13±0.36 ab	1.71±0.31 ab	2.14±0.36 ab	2.82±0.49 a	2.25±0.40 a	2.55±0.47 a
	S:S+Yaprak Se ₂	2.13±0.35 ab	1.87±0.34 ab	2.62±0.32 a	2.40±0.42 ab	2.68±0.48 a	2.15±0.36 a
	S:S+Toprak Se ₁	1.85±0.32 ab	1.79±0.33 ab	1.98±0.29 ab	2.31±0.40 ab	2.23±0.40 a	2.34±0.43 a
	S:S+Toprak Se ₂	1.84±0.31 ab	2.28±0.42 ab	2.31±0.33 ab	2.06±0.36 b	2.31±0.41 a	1.98±0.29 a
	S:S+Toprak Se ₃	1.68±0.29 b	1.84±0.34 ab	2.11±0.28 ab	2.30±0.40 ab	1.99±0.36 ab	2.00±0.31 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.22. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde kalsiyum (Ca) içeriği (%) üzerine etkisi

		GÖVDE KALSİYUM İÇERİĞİ (%)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
F		12.16	1.302	3.884	8.592	4.174	3.242
p		<0.0001	0.0303	0.00801	<0.0001	0.00564	0.0182
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	0.27±0.04 bc	0.49±0.09 ab	0.48±0.08 b	0.39±0.06 bc	0.49±0.07 b	0.40±0.07 b
	Su stresi (S.S.)	0.50±0.08 b	0.60±0.11 ab	0.62±0.11 ab	0.63±0.10 b	0.79±0.11 ab	0.64±0.12 ab
	S:S+Tohum Se ₁	1.00±0.16 a	0.73±0.13 a	0.64±0.12 ab	0.79±0.12 ab	0.86±0.12 a	0.64±0.10 ab
	S:S+Tohum Se ₂	0.83±0.13 ab	0.72±0.07 a	0.82±0.14 a	0.93±0.14 a	0.73±0.10 ab	0.84±0.16 a
	S:S+Yaprak Se ₁	0.47±0.11 b	0.55±0.15 ab	0.83±0.11 a	0.62±0.15 b	0.67±0.07 ab	0.69±0.11 ab
	S:S+Yaprak Se ₂	0.57±0.13 ab	0.71±0.14 a	0.70±0.15 ab	0.77±0.08 ab	0.63±0.10 ab	0.86±0.14 a
	S:S+Toprak Se ₁	0.70±0.07 ab	0.68±0.14 ab	0.61±0.12 ab	0.92±0.07 a	0.53±0.09 b	0.87±0.12 a
	S:S+Toprak Se ₂	0.82±0.10 ab	0.74±0.12 a	0.53±0.09 ab	0.54±0.09 bc	0.73±0.11 ab	0.70±0.13 ab
	S:S+Toprak Se ₃	0.68±0.09 ab	0.66±0.08 ab	0.48±0.10 b	0.48±0.12 bc	0.66±0.08 ab	0.71±0.16 ab

* LSD_{0.05} testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.23. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde magnezyum (Mg) içeriği (%) üzerine etkisi

		GÖVDE MAGNEZYUM İÇERİĞİ (%)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
F		6.352	1.814	11.09	4.981	5.09	22.17
p		0.000565	0.046	<0.0001	0.00225	0.00201	<0.0001
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	0.22±0.027 c	0.28±0.033 a	0.14±0.017 c	0.34±0.057 b	0.23±0.021 b	0.29±0.011 b
	Su stresi (S.S.)	0.39±0.048 a	0.28±0.034 a	0.24±0.024 b	0.46±0.051 a	0.29±0.033 ab	0.27±0.014 b
	S:S+Tohum Se ₁	0.35±0.033 a	0.26±0.029 a	0.32±0.029 ab	0.32±0.048 b	0.33±0.029 a	0.38±0.019 a
	S:S+Tohum Se ₂	0.32±0.041 ab	0.24±0.038 a	0.32±0.035 ab	0.32±0.034 b	0.31±0.035 ab	0.37±0.021 a
	S:S+Yaprak Se ₁	0.27±0.024 ab	0.25±0.025 a	0.34±0.041 a	0.28±0.031 bc	0.29±0.041 ab	0.31±0.015 ab
	S:S+Yaprak Se ₂	0.29±0.035 ab	0.25±0.041 a	0.32±0.025 ab	0.29±0.045 bc	0.33±0.039 a	0.34±0.012 ab
	S:S+Toprak Se ₁	0.24±0.028 bc	0.24±0.035 a	0.28±0.032 ab	0.29±0.041 bc	0.27±0.028 ab	0.35±0.019 ab
	S:S+Toprak Se ₂	0.28±0.041 b	0.24±0.031 a	0.25±0.021 b	0.26±0.039 bc	0.29±0.036 ab	0.33±0.017 ab
	S:S+Toprak Se ₃	0.26±0.036 bc	0.24±0.023 a	0.20±0.027 bc	0.20±0.035 c	0.26±0.040 ab	0.34±0.020 ab

* LSD_{0.05} testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.24. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde sodyum (Na) içeriği (%) üzerine etkisi

		GÖVDE SODYUM İÇERİĞİ (%)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
F		5.688	1.21	2.217	1.022	4.746	4.581
p		0.00108	0.04185	0.0166	0.0455	0.00292	0.00351
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	0.12±0.020 b	0.28±0.025 a	0.11±0.016 b	0.35±0.045 ab	0.19±0.024 b	0.21±0.027 b
	Su stresi (S.S.)	0.12±0.021 b	0.30±0.031 a	0.19±0.021 a	0.38±0.051 ab	0.21±0.032 ab	0.29±0.033 ab
	S:S+Tohum Se ₁	0.20±0.031 ab	0.32±0.038 a	0.16±0.015 ab	0.36±0.049 ab	0.23±0.035 ab	0.33±0.037 ab
	S:S+Tohum Se ₂	0.19±0.029 ab	0.28±0.023 a	0.18±0.027 ab	0.42±0.061 ab	0.26±0.028 ab	0.37±0.041 ab
	S:S+Yaprak Se ₁	0.22±0.033 a	0.30±0.032 a	0.16±0.029 ab	0.40±0.046 ab	0.23±0.036 ab	0.36±0.039 ab
	S:S+Yaprak Se ₂	0.19±0.027 ab	0.29±0.029 a	0.19±0.031 a	0.46±0.058 a	0.26±0.027 ab	0.36±0.024 ab
	S:S+Toprak Se ₁	0.15±0.023 ab	0.28±0.026 a	0.17±0.019 ab	0.39±0.043 ab	0.26±0.033 ab	0.35±0.028 ab
	S:S+Toprak Se ₂	0.12±0.025 b	0.30±0.019 a	0.18±0.026 ab	0.42±0.041 ab	0.29±0.031 ab	0.36±0.023 ab
	S:S+Toprak Se ₃	0.13±0.032 b	0.30±0.021 a	0.17±0.030 ab	0.40±0.054 ab	0.33±0.038 a	0.39±0.043 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Kuraklık stresi ve selenyum uygulamaları bazı genotipler dışında ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde Fe içeriği üzerine etkisizdir (Çizelge 3.25). Ekmeklik genotiplerden yalnızca Meta 2002’de tohum uygulamaları kontrole göre Fe içeriğini arttırmış ve bu artış tohum Se2 uygulamasında daha belirgin olmuştur. Makarnalık genotiplerde ise durum ekmekliklerden farklıdır. Ege 88’de diğer selenyum uygulamaları Fe içeriği üzerine etkisizken, toprak Se3 uygulaması kontrole oranla istatistiksel olarak azaltmıştır. GAP’ta ise toprak Se3 uygulaması dışında yaprak Se1 uygulaması da kontrole göre gövde Fe içeriğini azaltmıştır. Şölen 2002’de ise kuraklık stresi ve selenyum uygulamalarının gövde Fe içeriği üzerine istatistiksel olarak herhangi bir etkisi bulunmamıştır.

Kuraklık stresine maruz kalmayan ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinde ise Meta 2002 dışında ekmeklik Gönen 98 genotipinde de bazı selenyum uygulamaları bitkilerin Fe içeriğini arttırmıştır. Makarnalık genotiplerden Ege 88’de kuraklık stresi koşullarından farklı olarak selenyumun Fe içeriği üzerine etkisi görülmezken, Şölen 2002’de tohum Se1 uygulaması Fe içeriğini arttırmıştır.

Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin Cu içeriği üzerine etkisi genotipler bazında farklılık göstermektedir (Çizelge 3.26). Ekmeklik genotiplerden Basribey 95’de tohum Se1 uygulaması, Meta 2002’de tohum Se1 ve Se2 uygulamaları kontrole göre gövde Cu içeriğini arttırırken, Gönen 98’de selenyum uygulamalarının herhangi bir etkisi gözlenmemiştir. Makarnalık genotiplerde selenyum uygulamalarının herhangi bir etkisi olmamıştır. Kuraklık stresi uygulamasının normal koşullardaki selenyum uygulamalarından farkı ise Şölen 2002’de gövde Cu içeriğini arttırmış olup diğer genotiplerde kontrolle karşılaştırıldığında kuraklık stresi uygulamasının istatistiksel olarak herhangi bir etkisinin görülmemesidir.

Kuraklık stresi uygulaması ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin Mn içeriğini etkilememiştir (Çizelge 3.27). Kuraklık stresi koşullarında selenyum uygulamaları değerlendirildiğinde; ekmeklik Gönen 98 ve Meta 2002’de tohum Se1 uygulaması buğday bitkilerin gövde Mn içeriğini kontrole ve kuraklık stresi koşullarına göre arttırmıştır. Ekmeklik buğday genotiplerinin üçünde de tohum Se1 uygulaması kuraklık stresi uygulamasına kıyasla Mn içeriğini arttırmıştır. Bu noktada kuraklık stresi ve selenyum uygulamalarının normal koşullardaki selenyum

uygulamalarından farkı belirgindir. Çünkü Meta 2002 genotipinde normal koşullardaki selenyum uygulamalarından bazıları Mn içeriğini azaltmıştır.

Makarnalık Ege 882de yaprak Se1 uygulaması Mn içeriği üzerinde olumlu etkiye sahipken, Şölen 2002’de tohum Se2 dışındaki uygulamalar kontrole karşılaştırıldığında Mn içeriğini azaltmıştır. GAP genotipinde ise kuraklık stresi ve selenyum uygulamalarını Mn içeriği üzerine etkisi olmamıştır. Normal koşullarda yetiştirilen makarnalık buğday genotiplerinden Şölen 2002’de Mn içeriği değişmezken, Ege 88 ve GAP’ta bazı selenyum uygulamaları Mn içeriğini azaltarak kuraklık stresi koşullarındaki selenyum uygulamalarından farklı etki göstermiştir.

Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen buğday genotiplerinin Zn içeriği üzerine etkisi, ekmeklik genotiplerden Basribey 95 ve Gönen 98’de gözlenmemiştir. Meta 2002’de ise toprak Se3 uygulaması kontrole ve kuraklık stresi koşullarına göre gövde Zn içeriğini azaltmıştır. Makarnalık genotiplerden Ege 88’de toprak Se1 ve Se3 uygulamaları, GAP ve Şölen 2002’de tüm selenyum uygulamaları kontrole oranla Zn içeriğini istatistiksel olarak azaltmıştır. Kuraklık stresi uygulamasının ekmeklik genotiplerde gövde Zn içeriği üzerine bir etkisi olmazken, makarnalık Şölen 2002 ve GAP’ta azalmaya sebep olmuştur (Çizelge 3.28). Normal koşullarda ise selenyum uygulamalarının bazılarında ekmeklik Gönen 98 genotipinde Zn içeriğinde azalma görülürken, makarnalık genotiplerdeki azalmalar kuraklık stresi koşullarındaki gibi tüm selenyum uygulamalarında görülmemiştir.

Se tarafından bazı temel elementlerin alımı ve yeniden dağılımının düzenlenmesinin ilgili antioksidanların reaktivasyonu, ROS seviyelerinin azalması ve bitki stres toleransını geliştirmek için önemli bir mekanizma olduğuna inanılır (Feng vd., 2013). Bununla birlikte stres koşulları altındaki bitkilerde temel elementlerin alımı üzerine Se’un etkileri hakkındaki bilgi yetersizdir. Bitkilerde S asimilasyonu ve alımı üzerine Se’un etkileri S ve Se’un kimyasal özelliklerindeki benzerliklerden dolayı yoğun olarak araştırılmıştır. Bazı durumlarda ve bazı bitki türlerinde uygun Se seviyeleri desteğiyle S alımı teşvik edilmiştir (Feng vd., 2013). Şu ana kadar, bitkiler Se ve çevresel streslere maruz kaldığında temel element konsantrasyonlarındaki değişiklikleri belirlemek için yapılan çok az sayıda çalışma vardır.

Çizelge 3.25. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde demir (Fe) içeriği (ppm) üzerine etkisi

		GÖVDE DEMİR İÇERİĞİ (ppm)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
F		1.561	2.159	2.871	3.944	2.163	14.51
p		0.04796	0.03994	0.03	0.00745	0.0383	<0.0001
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	43.33±3.53 a	35.91±2.87 a	35.56±3.10 c	35.11±2.55 ab	29.44±3.16 a	44.38±3.19 a
	Su stresi (S.S.)	40.64±4.21 a	38.05±3.11 a	41.30±2.89 bc	36.61±2.31 ab	35.11±4.21 a	41.30±2.99 ab
	S:S+Tohum Se ₁	46.73±2.96 a	36.37±2.98 a	47.57±3.45 b	35.67±2.89 ab	34.13±2.78 a	42.32±3.21 ab
	S:S+Tohum Se ₂	44.21±4.32 a	38.43±2.87 a	64.54±3.56 a	45.05±2.37 a	27.23±3.78 a	39.03±2.75 ab
	S:S+Yaprak Se ₁	43.86±3.75 a	41.44±3.32 a	39.13±3.23 bc	36.96±2.76 ab	36.54±4.35a	35.60±3.56 b
	S:S+Yaprak Se ₂	40.78±2.31 a	38.68±3.12 a	40.11±3.78 bc	37.45±2.16 ab	37.59±3.89 a	25.38±2.45 bc
	S:S+Toprak Se ₁	49.21±3.28 a	37.31±2.95 a	44.87±3.75 bc	37.59±2.25 ab	32.03±4.07 a	44.73±3.05 a
	S:S+Toprak Se ₂	39.69±4.05 a	36.79±2.78 a	39.69±2.98 bc	37.94±2.34 ab	37.24±4.11 a	42.14±2.78 ab
	S:S+Toprak Se ₃	42.00±3.51 a	37.59±3.11 a	36.19±2.78 bc	34.16±2.71 b	35.42±3.75 a	34.13±3.19 b

* LSD_{0.05} testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.26. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde bakır (Cu) içeriği (ppm) üzerine etkisi

		GÖVDE BAKIR İÇERİĞİ (ppm)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
F		3.129	2.528	2.453	3.739	11.92	1.839
p		0.0372	0.0388	0.0443	0.00959	<0.0001	0.0135
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	13.55±2.11 b	18.06± 2.11 ab	12.26±2.19 bc	17.85±2.03 ab	15.05±1.85 b	16.99±2.74 ab
	Su stresi (S.S.)	19.14±2.78 ab	20.00±2.19 a	16.34±1.87 ab	13.55±1.62 b	24.51±2.11 a	18.92±3.05 ab
	S:S+Tohum Se ₁	21.07±3.05 a	21.07±2.23 a	20.43±2.01 a	16.56±1.98 ab	22.58±1.93 ab	21.29±3.11 a
	S:S+Tohum Se ₂	13.98±2.55 b	20.43±2.31 a	20.21±2.13 a	20.00±1.95 a	12.90±1.67 bc	17.63±2.84 ab
	S:S+Yaprak Se ₁	18.92±2.34 ab	21.50±2.45 a	16.34±1.96 ab	20.64±2.16 a	20.00±2.05 ab	17.85±2.53 ab
	S:S+Yaprak Se ₂	17.85±2.49 ab	21.29±2.41 a	18.49±3.01 ab	20.43±1.87 a	13.12±1.56 bc	18.06±2.11ab
	S:S+Toprak Se ₁	16.99±3.07 ab	18.92±2.13 ab	15.48±2.89 ab	16.56±1.78 ab	14.62±1.45 b	15.70±2.88 ab
	S:S+Toprak Se ₂	15.70±2.43 ab	17.85±2.34 ab	13.76±1.96 ab	16.34±1.65 ab	15.70±1.63 b	13.12±2.81 b
	S:S+Toprak Se ₃	16.34±3.09 ab	14.62±1.80 b	17.85±1.29 ab	16.34±1.72 ab	12.90±1.89 bc	17.42±2.76 ab

* LSD_{0,05} testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.27. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde mangan (Mn) içeriği (ppm) üzerine etkisi

		GÖVDE MANGAN İÇERİĞİ (ppm)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
F		20.5	26.58	10.7	26.08	14.4	32.01
p		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	69.80±1.44 ab	62.20±3.78 bc	39.40±2.08 bc	51.90±2.78 b	84.40±2.31 a	55.30±2.66 ab
	Su stresi (S.S.)	60.50±1.25 b	62.40±4.12 bc	49.90±2.52 b	58.80±3.11 ab	71.70±1.97 ab	38.20±1.84 bc
	S:S+Tohum Se ₁	76.00±1.76 a	94.50±5.43 a	75.70±2.78 a	53.70±4.05 ab	68.00±1.86 b	62.40±3.00 a
	S:S+Tohum Se ₂	56.80±1.33 bc	74.90±3.67 b	42.30±2.11 bc	46.80±4.34 bc	75.90±2.07 ab	51.40±2.47 ab
	S:S+Yaprak Se ₁	78.90±2.11 a	62.80±4.55 bc	42.60±2.39 bc	65.50±3.24 a	61.00±1.48 bc	51.60±2.48 ab
	S:S+Yaprak Se ₂	55.50±1.99 bc	58.10±3.89 c	34.30±2.43 bc	49.40±2.89 bc	64.40±1.75 bc	45.70± 2.20 b
	S:S+Toprak Se ₁	65.90±1.67 ab	75.00±4.51 b	39.20±2.66 bc	50.60±3.87 b	54.10±2.19 bc	48.80±2.35 ab
	S:S+Toprak Se ₂	55.50±1.45 bc	69.10±3.95 bc	38.20±3.18 bc	44.70±4.10 bc	46.00±2.41 c	47.40±2.28 ab
	S:S+Toprak Se ₃	45.60±1.68 c	62.50±3.55 bc	29.80±2.19 c	46.40±3.91 bc	84.40±2.15 a	38.00±1.83 bc

* LSD_{0.05} testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.28. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde çinko (Zn) içeriği (ppm) üzerine etkisi

		GÖVDE ÇİNKO İÇERİĞİ (ppm)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
F		1.656	1.001	1.139	4.761	7.502	3.2
p		0.02722	0.0468	0.0385	0.00287	0.00203	0.0192
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	26.98±3.74 a	23.08±3.72 a	23.78±2.87 a	28.68±2.62 a	26.88±3.10 a	23.50±2.51 a
	Su stresi (S.S.)	20.43±3.59 a	17.75±2.86 ab	22.63±3.05 a	24.08±3.88 ab	13.70±2.55 b	13.88±2.25 b
	S:S+Tohum Se ₁	22.78±3.21 a	22.03±3.55 a	22.00±2.11 a	24.53±3.51 ab	12.68±2.75 b	13.95±1.76 b
	S:S+Tohum Se ₂	22.33±3.45a	18.40±2.97 ab	20.43±1.89 a	16.13±2.98 bc	10.53±2.48 bc	13.43±1.93 b
	S:S+Yaprak Se ₁	21.75±3.78 a	21.33±3.18 a	22.03±2.33 a	20.33± 3.67 ab	14.00±2.65 b	13.75±1.56 b
	S:S+Yaprak Se ₂	22.33±4.11 a	20.65±3.35 a	20.88±3.15 a	15.63±2.39 bc	13.50±2.43 b	13.43±2.13 b
	S:S+Toprak Se ₁	23.80±4.09 a	19.70±2.87 a	22.43±3.23 a	18.55± 3.56 b	13.63±2.21 b	14.50±2.04 b
	S:S+Toprak Se ₂	24.00±3.12 a	20.78±3.44 a	17.90±1.90 ab	20.35±3.74 ab	12.68±2.19 b	13.05±2.09 b
	S:S+Toprak Se ₃	21.58±3.51a	17.83±2.91 ab	15.88±1.85 b	18.20±2.52 b	11.98±2.01 b	12.73±2.74 b

* LSD_{0,05} testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

3.1.2.3. Prolin ve klorofil içerikleri

Kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin prolin içeriği üzerine selenyumun etkisi ekmeklik Gönen 98 ve Meta 2002 ve makarnalık GAP dışındaki genotiplerde olmamıştır. Kuraklık stresi uygulaması genotiplerin prolin içeriğinde istatistiksel olarak bir değişim yaratmamıştır. Gönen 98’de tohum Se2 uygulaması, Meta 2002’de ise tohum Se2 ve toprak Se3 uygulamaları bitkilerin prolin içeriğini arttırmıştır. Makarnalık genotiplerden GAP’ta selenyum uygulamalarıyla prolin içeriğinde artış daha belirgindir. Bu genotipte tohum Se2, yaprak Se1, toprak Se2 ve Se3 uygulamaları yaprak prolin içeriğinde kontrolle karşılaştırıldığında artışa sebep olmuştur (Çizelge 3.29). Bu sonuçlar normal koşullarda yetiştirilen buğday genotiplerinin selenyum uygulamalarında prolin içeriği ile ilgili elde edilen sonuçlardan belirgin farklılıklar göstermektedir. Normal koşullarda yetiştirilen tüm buğday genotiplerinde tohum Se1 uygulaması prolin içeriğini artırırken, toprak Se3 uygulaması azaltmıştır. Kuraklık stresi koşullarında selenyum uygulamaları ile prolin içeriğindeki bu farklı değişimler, prolinin kuraklık stresi koşullara adaptasyonda bitkilere yardımcı olabileceği ya da selenyum toksisitesi ile bağdaştırılabilir.

Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde prolin birikimi oldukça yaygın bir bitki cevabıdır (Yancey vd., 1982 ve Alexieva vd., 2001). Prolinin membran hasarı ve protein denaturasyonunu engellemek için hidroksil radikali indirgeyicisi olarak fonksiyonel olabileceği düşünülmektedir (Ain-Lhout vd., 2001).

Xiaoqin vd. (2009) buğday bitkilerinde selenyumun kuraklık stresine etkisini araştırdıkları çalışmada, kuraklık stresinin, kuraklık stresi koşullarında bitkilere ekolojik bir adaptasyon sağlayabilen serbest prolin içeriğini ve POX, CAT aktivitelerini belirgin şekilde arttırdığını bulmuşlardır.

Kuznetsov vd. (2003), kuraklık stresine maruz kalan buğday bitkilerinde selenyumun su statüsü ve koruyucu etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, daha önce böyle bir etkisi görülmeyen selenyumun prolin biyosentezini ve peroksidaz üretimini arttırdığını ve intraselüler aktif oksijen türlerinin konsantrasyonunu azaltarak bir antioksidan etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca selenyum uygulamaları ile yaprakların su içeriğinde hafif bir artış bulunmuştur. Araştırmacılar bunun, düşük su potansiyeline sahip toprak çözeltisinde, selenyumun bitkiler için bir antioksidan

olmasa da bitki dokularındaki su içeriğini yeterince yüksek seviyelerde tutarak bitkilerin su statülerini düzenlediğinin kanıtı olabileceğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar buna sebep olan olası mekanizmaları ise (1) selenyumun transpirasyon oranında ve akut su eksikliği koşullarında su kaybında dikkate değer bir azalma yaratması veya (2) kök sisteminde su alım kapasitesinde artışa sebep olması olarak açıklamışlardır. Çalışmada ayrıca stres koşullarının tetiklediği prolin birikimini selenyumun azalttığı da bulunmuştur. Çalışmamız genel olarak bu çalışma ile uyum göstermiş olmakla birlikte, selenyum stres koşullarında değişmeyen prolin içeriğini arttırarak kuraklık stresi koşullarına bitkinin adaptasyonuna yardımcı olmuş gibi görünmektedir. Bu noktada da prolin içeriğindeki artışların selenyumun neden olduğu toksisite ile ilgili olmadığı düşünülebilir.

Kuraklık stresi uygulamaları ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin klorofil içeriğini etkilememiştir. Ekmeklik buğday genotiplerinden Basribey 95 ve Gönen 98’de, makarnalık genotiplerden Ege 88 ve Şölen 2002’de kuraklık stresi ve selenyum uygulamaların kontrolle karşılaştırıldığında genotiplerin klorofil içeriğinde istatistiksel anlamda bir değişikliğe sebep olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte tohum Se₂, yaprak Se₂ ve toprak Se₂ uygulamaları ekmeklik Meta 2002’de ve makarnalık GAP’ta klorofil içeriğinin artmasına sebep olmuştur (Çizelge 3.30).

Normal koşullarda yetiştirilen bazı ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinde selenyum uygulamalarıyla klorofil içeriğindeki değişimler kuraklık stresine maruz kalanlardan bazı farklılıklar göstermektedir. Çünkü kuraklık stresi ve selenyum uygulamalarından farklı olarak, normal koşullardaki bazı selenyum uygulamalarında, ekmeklik Gönen 98 genotipinde de klorofil içeriği artmış, fakat makarnalık genotiplerde selenyum uygulamalarının klorofil içeriği üzerine herhangi bir etkisi gözlenmemiştir. Makarnalık buğday genotiplerinden GAP’ta bazı selenyum uygulamalarının bitkilerin yaprak klorofil içeriğini arttırması bu genotipin kuraklık stresine daha dayanıklı olduğunun ve selenyum uygulamalarının genotipin kuraklık stresine toleransında etkin olabileceğinin bir kanıtı olabilir.

Çizelge 3.29. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin prolin miktarı ($\mu\text{M g}^{-1}$ Y.A.) üzerine etkisi

		PROLİN MİKTARI ($\mu\text{M g}^{-1}$ Y.A.)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
		F	1.336	1.15	1.33	1.583	11.20
		p	0.0288	0.0379	0.0291	0.01779	<0.0001
UYGULAMALAR	Kontrol (Se_0)	74.12 $\pm$ 5.48 a	73.90 $\pm$ 5.23 b	70.80 $\pm$ 5.16 b	70.44 $\pm$ 3.67 a	69.99 $\pm$ 4.32 a	69.78 $\pm$ 3.98 b
	Su stresi (S.S.)	79.81 $\pm$ 3.28 a	75.45 $\pm$ 3.21 b	87.53 $\pm$ 4.93 ab	69.22 $\pm$ 3.01 a	70.79 $\pm$ 2.09 a	73.61 $\pm$ 4.11 ab
	S:S+Tohum Se_1	80.55 $\pm$ 4.32 a	79.59 $\pm$ 2.98 ab	86.01 $\pm$ 3.67 ab	71.50 $\pm$ 2.99 a	75.89 $\pm$ 1.93 a	74.51 $\pm$ 4.01 ab
	S:S+Tohum Se_2	83.24 $\pm$ 3.45 a	89.46 $\pm$ 4.35 a	91.35 $\pm$ 3.95 a	73.78 $\pm$ 3.29 a	80.99 $\pm$ 2.89 a	77.02 $\pm$ 3.21 a
	S:S+Yaprak Se_1	78.81 $\pm$ 2.98 a	84.52 $\pm$ 3.59 ab	87.31 $\pm$ 4.36 ab	68.48 $\pm$ 4.30 a	69.90 $\pm$ 3.78 a	78.39 $\pm$ 3.59 a
	S:S+Yaprak Se_2	70.82 $\pm$ 3.13 a	75.67 $\pm$ 3.71 b	80.20 $\pm$ 5.03 ab	64.56 $\pm$ 5.05 a	65.26 $\pm$ 4.10 a	75.29 $\pm$ 3.48 ab
	S:S+Toprak Se_1	81.23 $\pm$ 4.01 a	77.15 $\pm$ 3.87 ab	86.93 $\pm$ 4.94 ab	72.08 $\pm$ 4.82 a	79.03 $\pm$ 3.76 a	75.04 $\pm$ 4.16 ab
	S:S+Toprak Se_2	76.57 $\pm$ 3.56 a	80.64 $\pm$ 4.19 ab	87.25 $\pm$ 3.79 ab	76.73 $\pm$ 3.89 a	79.85 $\pm$ 3.41 a	78.94 $\pm$ 5.17 a
	S:S+Toprak Se_3	73.04 $\pm$ 3.82 a	78.48 $\pm$ 5.13 ab	89.73 $\pm$ 4.31 a	68.86 $\pm$ 4.07 a	80.29 $\pm$ 3.99 a	77.71 $\pm$ 4.51 a

* $\text{LSD}_{0.05}$ testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.30. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin klorofil içeriği (mg g⁻¹ Y.A.) üzerine etkisi

		KLOROFİL İÇERİĞİ (mg g ⁻¹ Y.A.)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
F		1.219	1.119	1.853	1.705	4.178	9.05
p		0.0343	0.0306	0.0132	0.01683	0.00561	<0.0001
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	3.33±0.54 a	3.32±0.55 a	3.18±0.36 b	3.16±0.49 a	3.14±0.55 a	3.14±0.51 b
	Su stresi (S.S.)	2.68±0.53 a	2.97±0.36 a	3.56±0.50 ab	2.85±0.20 a	2.93±0.57 a	3.52±0.40 ab
	S:S+Tohum Se ₁	3.05±0.83 a	3.24±0.38 a	3.21±0.24 ab	3.09±0.36 a	3.07±0.68 a	3.46±0.27 ab
	S:S+Tohum Se ₂	3.09±0.46 a	3.04±0.20 a	4.24±0.23 a	3.39±0.29 a	3.49±0.25 a	4.19±0.26 a
	S:S+Yaprak Se ₁	3.08±0.85 a	3.28±0.24 a	3.24±0.40 ab	3.12±0.37 a	3.10±0.27 a	3.50±0.17 ab
	S:S+Yaprak Se ₂	3.05±0.88 a	3.39±0.48 a	4.06±0.12 a	3.24±0.36 a	3.34±0.40 a	4.01±0.38 a
	S:S+Toprak Se ₁	3.27±0.37 a	3.26±0.40 a	3.12±0.32 b	3.11±0.19 a	3.09±0.13 a	3.08±0.20 b
	S:S+Toprak Se ₂	3.26±0.22 a	3.61±0.27 a	4.33±0.29 a	3.46±0.47 a	3.56±0.42 a	4.28±0.60 a
	S:S+Toprak Se ₃	2.46±0.65 a	2.73±0.47 a	3.27±0.45 ab	2.61±0.59 a	2.69±0.43 a	3.24±0.59 b

* LSD_{0.05} testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Akbulut ve akır (2010) arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkisinin selenyum fitotoksitesini ve selenyumun antioksidan sisteme etkisinin araştırdıkları çalışmada yaprak dokularında selenyumun 2 ppm üzerine çıktığında klorofil içeriğini azalttığını bulmuşlardır.

Xue vd. (2001) senesens aşamasındaki marul bitkisinde yaptıkları çalışmada yüksek selenyum seviyelerinin senesense uğrayan bitkilerde total klorofil ve su içeriğinin artmasına neden olduğunu bildirmişlerdir.

Selenyumun bitkilerin klorofil içeriği üzerine yapılan çalışmalar farklı sonuçlar göstermektedir. Fakat bu farklılık selenyumun uygulama konsantrasyonundan ve bitki dokularında selenyum akümülasyon seviyelerinden kaynaklanmaktadır. Çalışmamızda genel olarak selenyumun klorofil üzerine etkisi olmazken, 10 ppm'lik selenyum uygulamaları kuraklık stresi koşullarında ekmeklik Meta 2002'de ve makarnalık GAP'ta klorofil içeriğinin artmasına sebep olmuştur.

3.1.2.4. Çözünebilir protein içerikleri

Kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin çözünebilir protein içeriği üzerine selenyum uygulamalarının istatistiksel olarak herhangi bir etkisi olmamıştır. Aynı zamanda kontrolle karşılaştırıldığında hiç bir genotipte kuraklık stresi uygulaması çözünebilir protein içeriğine etki etmemiştir (3.31).

Normal koşullarda yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin protein içeriğine olan etkisi ise hemen hemen tüm genotiplerde görülmektedir. Genel olarak hem ekmeklik hem de makarnalık buğday genotiplerinin protein içeriğini tohum Se1 ve yaprak Se1 uygulamaları arttırırken, toprak Se3 uygulaması ise azaltmıştır. Kuraklık stresi koşullarında en azından hiçbir uygulamada protein içeriğinde bir azalma meydana gelmemesi, kuraklık stresi koşullarında normal koşullarla karşılaştırıldığında bitkilerin protein içeriği üzerinde olumlu etki oluşturması selenyumun ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin kuraklık stresine adaptasyonunda etkili olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte kuraklık stresi uygulamasıyla, kuraklık stresine maruz kalan buğday bitkilerinin protein içeriği arasında istatistiksel olarak bir fark olmaması selenyumun kuraklık stresi koşullarında bitkilerin protein içeriği üzerinde etkisiz olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.31. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin çözünebilir protein miktarı (mg g⁻¹ Y.A.) üzerine etkisi

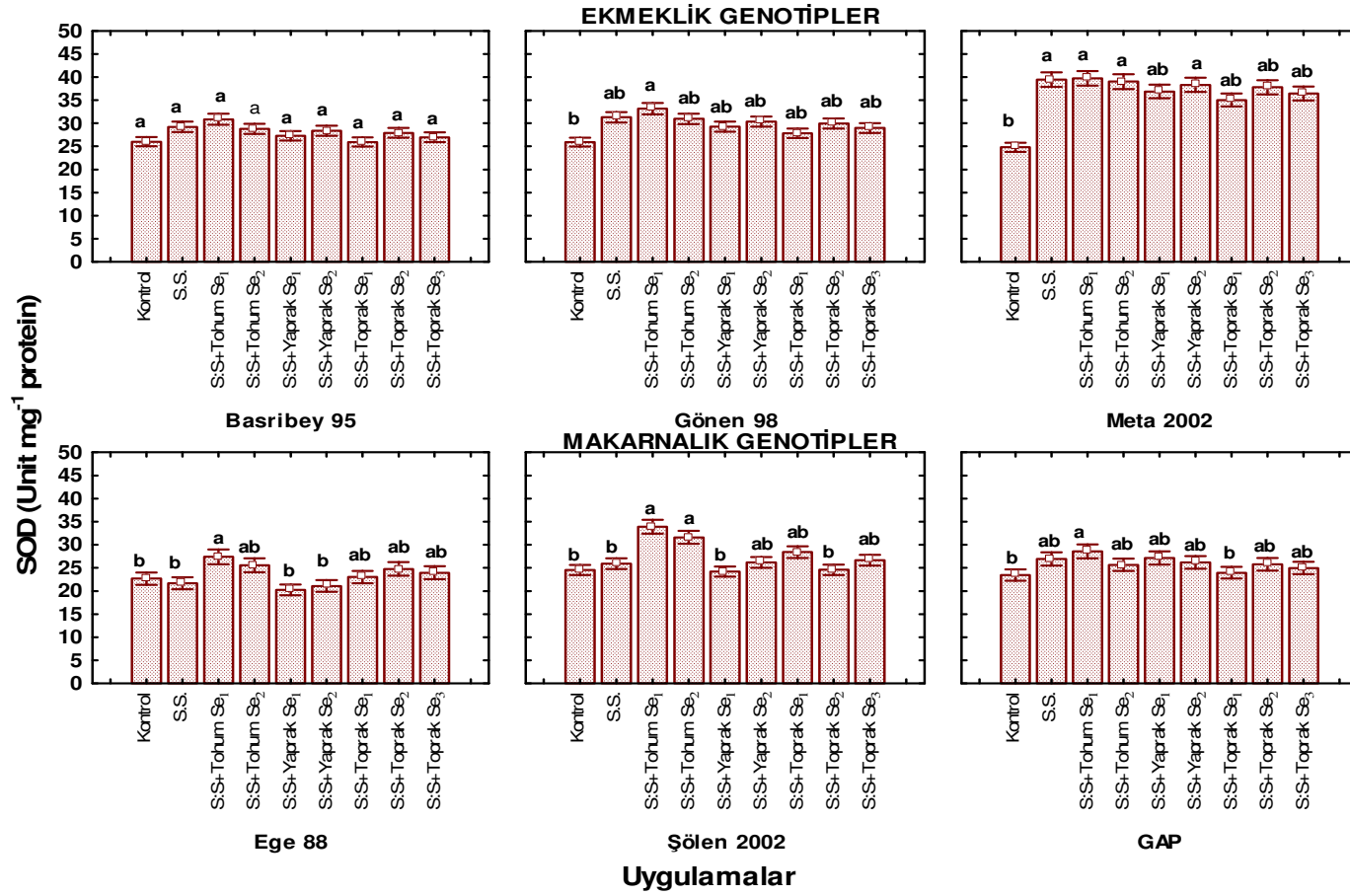
		ÇÖZÜNEBİLİR PROTEİN İÇERİĞİ (mg g ⁻¹ Y.A.)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
F		2.188	2.729	4.476	2.643	2.812	2.485
p		0.024	0.015	0.0067	0.016	0.013	0.019
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	6.77±0.99 a	7.74±1.27 a	8.42±1.13 ab	5.38±1.15 a	7.34±1.18 a	6.31±1.25 a
	Su stresi (S.S.)	6.37±0.87 a	6.82±0.93 a	8.60±1.23 ab	4.73±0.88 a	5.65±1.01 a	5.87±0.98 a
	S:S+Tohum Se ₁	7.81±0.69 a	8.40±1.12 a	10.56±0.94 a	6.93±0.69 a	5.58±0.94 a	7.23±1.09 a
	S:S+Tohum Se ₂	6.93±1.11 a	7.45±0.84 a	9.39±0.86 ab	6.14±0.77 a	7.61±0.89 a	6.41±0.88 a
	S:S+Yaprak Se ₁	7.77±0.69 a	8.33±0.96 a	10.49±0.92 a	5.76±1.12 a	6.89±0.91 a	7.16±0.92 a
	S:S+Yaprak Se ₂	6.91±0.88 a	7.38±0.89 a	9.32±0.87 a	5.13±0.85 a	6.12±0.78 a	6.37±1.08 a
	S:S+Toprak Se ₁	6.80±0.93 a	7.29±0.67 a	9.19±0.63 a	6.03±0.63 a	7.45±0.94 a	6.28±1.15 a
	S:S+Toprak Se ₂	6.19±0.68 a	6.64±0.94 a	8.37±0.76 ab	5.49±0.91 a	5.45±0.77 a	5.72±0.76 a
	S:S+Toprak Se ₃	5.45±1.15 a	5.85±0.85 a	7.36±0.75 b	4.84±0.83 a	5.99±0.69 a	5.04±0.85 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

3.1.2.5. Antioksidatif enzim aktiviteleri

Bitkiler çevresel streslere maruz kaldıklarında, reaktif oksijen türlerinin üretimi bitkilerde gelişimin azalmasına neden olarak önemli hasarlara yol açar (Kong vd., 2005 ve Yao ve Liu, 2007). Bununla birlikte, çevresel stresler altında bitkiler, antioksidatif enzim aktivitelerini ve antioksidan içeriklerini arttırarak bazı koruyucu mekanizmalar oluştururlar. Bitkilerde stres koşullarında artan miktarlarda üretilen reaktif oksijen türlerinin verdiği hasarlardan koruyan antioksidatif enzimlerden bazıları SOD, POX, CAT, APX ve GSH-Px'tir ve çalışmamızda kuraklık stresi ve selenyum uygulamalarının bu enzim aktiviteleri üzerine etkileri belirlenmiştir.

Kuraklık stresi uygulaması Meta 2002 genotipi dışındaki genotiplerde SOD enzim aktivitesine etki etmemiştir. Meta 2002 genotipinde ise tohum Se1 uygulaması kontrole oranla enzim aktivitesini arttırmıştır. Basribey 95 genotipinde selenyum ve kuraklık uygulamaları SOD aktivitesi üzerine etkisizdir. Gönen 98, Şölen 2002 ve GAP genotiplerinde tohum Se1, Meta 2002'de tohum Se1, tohum ve yaprak Se2 uygulamaları enzim aktivitesi üzerine kontrolle karşılaştırıldığında olumlu etkide bulunmuştur (Şekil 3.6). Normal koşullarda yetiştirilen buğday genotiplerinde ise selenyumun olumlu etkisi genel olarak bazı genotiplerde tohum ve yaprak Se1 uygulamalarında görülmüş olup toprak Se3 uygulaması tüm genotiplerde enzim aktivitesini olumsuz etkilemiştir. Selenyumun kuraklık stresi koşullarında SOD enzim aktivitesi ile ekmeklik buğday genotiplerinin hepsinde ve makarnalık GAP genotipinde kuraklık stresi uygulamasıyla karşılaştırıldığında herhangi bir etkisi görülmemişken, normal koşullarla karşılaştırıldığında genel olarak selenyum uygulamalarıyla enzim aktivitesinde bir azalma olmamış ve selenyumun SOD aktivitesini kontrol ve kuraklık stresi uygulaması seviyelerinde tutmuştur. Bu yönüyle selenyumun kuraklık stresi koşullarında ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin SOD aktivitesi üzerinde olumlu etkisinin olduğu söylenebilir. Özellikle makarnalık buğday genotiplerinden Ege 88 ve Şölen 2002'de bazı selenyum uygulamalarıyla, kuraklık stresi uygulamasına göre SOD aktivitesindeki istatistiksel olarak belirgin artışın, selenyumun kuraklık stresinde enzim aktivitesi üzerine olan olumlu etkisinin net bir kanıtı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.6. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin SOD aktivitesi (Unit mg⁻¹ protein) üzerine etkisi

Buna rağmen Se varlığında bitkiler çeşitli olumsuz çevresel koşullar altında strese maruz kaldığında SOD enziminin ($O_2^{\bullet-}$ 'i indirgeyerek H_2O_2 üreten) aktivitesindeki değişimlerin karmaşık olduğu bulunmuştur. Feng vd. (2013), literatürlerde bildirilen önceki çalışmaların sonuçları ile karşılaştırıldığında, Se'a maruz kalan bitkilerde SOD aktivitesini kontrol eden üç ana faktörün olabileceğini bildirmişlerdir. Birinci faktör stresin seviyesidir. Düşük stres seviyelerinde, bir bitkideki antioksidatif kapasite bitkinin normal gelişimini sağlayabilmesi için yeterli olmalıdır. ROS üretimi ve sınırlandırılması böylece GSH-Px gibi antioksidanlar tarafından çok iyi kontrol edilebilir ve $O_2^{\bullet-}$ 'in kendiliğinden indirgenmesi ve azalan SOD ihtiyacı ile sonuçlanır (Hartikainen vd., 2000). Bununla birlikte, şiddetli bir stres altında aşırı derecede ROS ($O_2^{\bullet-}$) üretilecektir ve SOD aktivitesi gereklidir. Örneğin; Hartikainen vd. (2000) Se ilavesiyle genç *Lolium perenne* bitkisinde SOD aktivitesinin azaldığını, fakat daha yaşlı (senesens stresi) *Lolium perenne* bitkilerinde ise SOD aktivitesinin arttığını gözlemlemişlerdir. Benzer sonuçlar Xue vd. (2001)'nin marul bitkisinde yaptıkları çalışmada da bulunmuştur. Çeşitli yazarlar, Al stresli *Lolium perenne* (Cartes vd., 2010), ışık stresli patates (*Solanum tuberosum* L.) (Seppänen vd., 2003), su stresli *Trifolium repens* L. (Wang, 2011) gibi birçok strese maruz kalmış bitkide Se ilavesinden sonra SOD aktivitesinin arttığını da gözlemlemişlerdir.

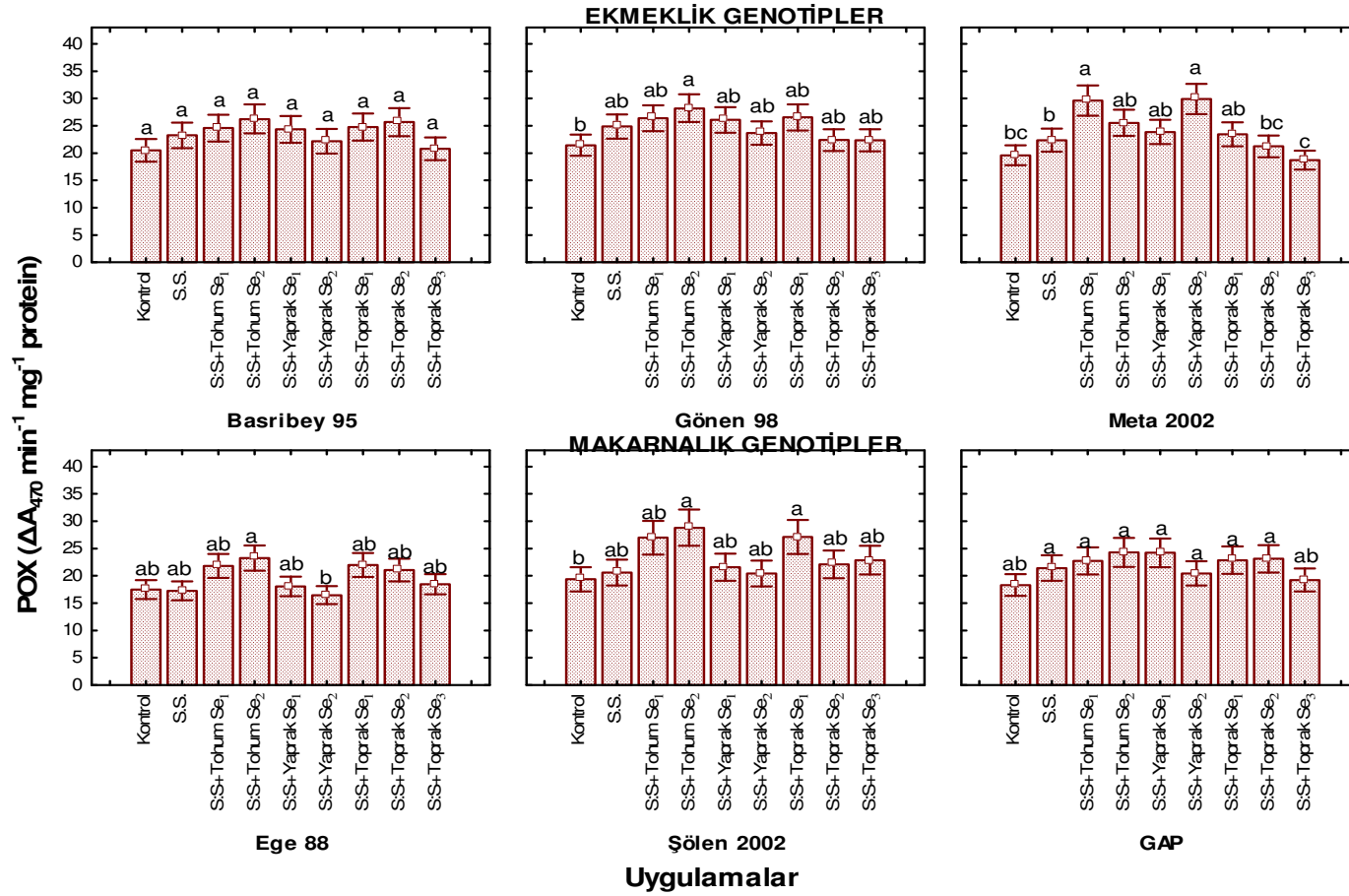
Se'a maruz kalan bitkilerde SOD aktivitesini etkileyen ikinci faktör, Se uygulamasının dozudur. Örneğin; Cartes vd. (2010), 0.2 mM Al'a maruz kalan *Lolium perenne* bitkisinde 2 μ M Se (selenit) ilavesiyle SOD aktivitesinde belirgin şekilde azalmaya, 10 μ M Se'un artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir. SOD aktivitesindeki artış Se toksisitesine bağlı olarak aşırı $O_2^{\bullet-}$ üretiminden kaynaklanabilir. Feng ve Wei (2012)'nin Se akümülatör *Pteris vittata* L.'da yaptıkları çalışmada da buna benzer olarak düşük Se seviyelerinde (≤ 2 mg L⁻¹) SOD aktivitesinin inhibe edildiği, fakat yüksek Se seviyelerinde (≥ 5 mg L⁻¹) ise arttığı gösterilmiştir.

Son faktör ise Fe, Mn, Cu ve Zn gibi SOD kofaktörlerinin konsantrasyonlarındaki değişiklikleri içerir. Örneğin; ışık stresli patates bitkilerinde kloroplast CuZn-SOD transkripsiyonunun 0.3 mg L⁻¹ Se (H_2SeO_3) ilavesiyle azalırken, mitokondriyal Mn-SOD transkripsiyonunda belirgin bir değişiklik olmadığı bulunmuştur (Seppänen vd., 2003).

SOD aktivitesine ilaveten, POX, CAT, ve APX enzimleri gibi diğer antioksidan enzimler de bitkilere çevresel stres faktörlerin verdiği zararları azaltmak için Se kullanıldığında fonksiyonel olabilirler. Bu sebeple çalışmamızda selenyumun kuraklık stresi koşullarında etkisini belirlemek amacıyla ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin POX, CAT, ve APX enzimleri üzerine selenyum uygulamalarının etkisi de değerlendirilmiştir.

POX enzim aktivitesi kontrolle karşılaştırıldığında hiçbir genotipte kuraklık stresi uygulamasıyla istatistiksel olarak değişmemekle birlikte ekmeklik buğday genotiplerinden Gönen 98’de tohum Se2 uygulaması, Meta 2002’de tohum Se1 ve yaprak Se2 uygulamaları enzim aktivitesini arttırmıştır. Meta 2002’de toprak Se3 uygulaması, kontrole göre POX aktivitesini etkilemezken, kuraklık stresi uygulamasına göre azaltmıştır. Makarnalık buğday genotiplerinden sadece Şölen 2002’de tohum Se2 uygulaması kontrole göre POX aktivitesini arttırırken, kuraklık stresine göre istatistiksel olarak bir etkide bulunmamıştır (Şekil 3.7).

Normal koşullarda yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin POX enzim aktivitesi üzerine selenyumun olumlu etkisi ise sadece Meta 2002 ve GAP’ta gözlenmiştir. Bununla birlikte toprak Se3 uygulaması makarnalık buğday genotiplerinden Ege 88 ve Şölen 2002’de enzim aktivitesini kontrole göre olumsuz yönde etkilemiştir. Kuraklık stresi koşullarında sadece ekmeklik Meta 2002’de selenyum tohum Se1 ve yaprak Se2 uygulamaları ve makarnalık Şölen 2002’de tohum Se2 ve toprak Se1 uygulamaları kuraklık uygulamasına oranla bitkilerin POX aktivitesini istatistiksel olarak arttırmıştır. Dolayısıyla selenyumun bu genotiplerde kuraklık stresi koşullarına bitki adaptasyonundaki etkisi belirgindir. Bununla birlikte Meta 2002 toprak Se3 uygulaması dışında, diğer tüm genotiplerde ve tüm selenyum uygulamalarında POX aktivitesi kontrol ve kuraklık stresi uygulamaları seviyelerinde kalmış ve bu açıdan normal koşullarda yetiştirilen bitkilerdeki selenyum uygulamalarının etkisinden farklılık göstermiştir.



Şekil 3.7. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin POX aktivitesi ($\Delta A_{470} \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ protein}$) üzerine etkisi

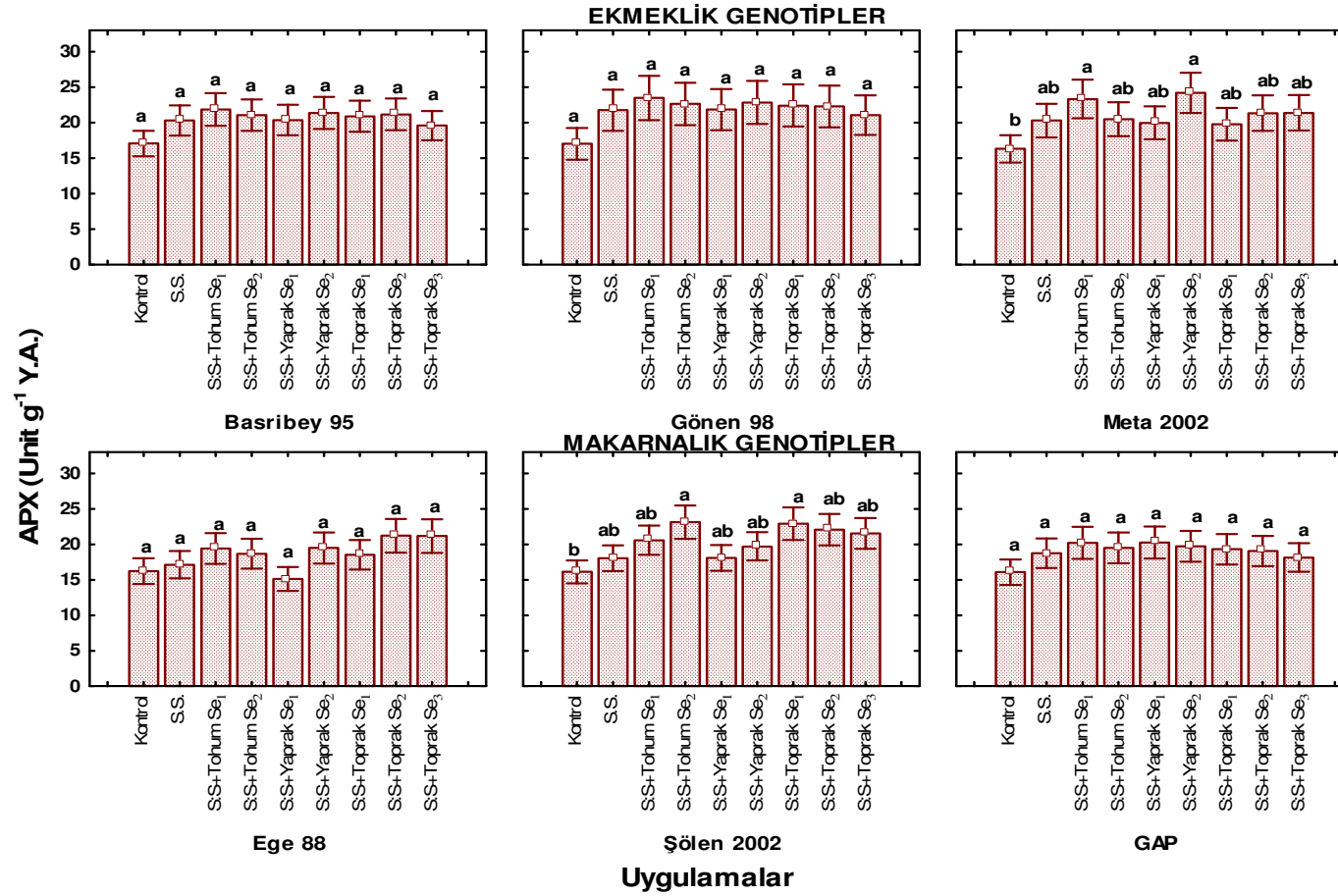
Kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik buğday genotiplerinden Basribey 95'in CAT aktivitesi üzerine kuraklık stresi ve selenyum uygulamalarının istatistiksel olarak bir etkisi olmadığı görülmektedir. Gönen 98 genotipinde ise tohum selenyum uygulamaları kontrole göre enzim aktivitesini arttırmış fakat kuraklık stresi uygulamasına göre herhangi bir etkiye bulunmamıştır. Meta 2002 genotipinde tohum Se1 uygulaması hem kontrole hem de kuraklık stresi uygulamasına oranla CAT enzim aktivitesini istatistiksel olarak arttırmıştır. Makarnalık genotiplerden Ege 88 ve Şölen 2002'de kuraklık stresi ve selenyum uygulamaları CAT aktivitesi üzerinde herhangi bir değişikliğe sebep olmazken, GAP'ta tohum ve yaprak Se1 uygulamaları enzim aktivitesini arttırmıştır (Şekil 3.8). Normal sulama koşullarında yetiştirilen buğday genotiplerinde ise tüm makarnalık genotiplerde ve ekmeklik genotiplerden Meta 2002'de tohum Se1 uygulamasının enzim aktivitesini arttırdığı ve toprak Se3 uygulamasının sadece Ege 88'de kontrole oranla istatistiksel olarak azalttığı gözlemlenmektedir. Selenyumun CAT aktivitesine olumlu etkisi, kuraklık stresi uygulamasıyla karşılaştırıldığında sadece ekmeklik Meta 2002 genotipinde görülmektedir. Kuraklık stresi ve selenyum uygulamalarının etkisiz olduğu tek genotip ise ekmeklik Basribey 95 ve makarnalık Şölen 2002 genotipleridir.

Xiaoqin vd. (2009) buğday bitkisinde yaptıkları çalışmada kuraklık stresi koşullarında CAT ve POX aktivitesinin belirgin şekilde arttığını, normal koşullarda selenyumun CAT ve POX enzim aktivitesini etkilemediğini, ayrıca selenyum ve kuraklık stresi birlikte uygulanmasının enzim aktivitelerini değiştirdiğini bulmuşlardır. Ayrıca çalışmada, normal koşullar altında selenyum ilavesinin biyomas akümüasyonu için elverişli bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada kuraklık stresi ile karşılaştırıldığında kuraklık stresi ve ekstra selenyum ilavesi kombinasyonunun kök aktivitesini belirgin şekilde arttırdığı bulunmuş ve bunun selenyum uygulamasıyla kuraklık stresine maruz kalan buğday bitkilerinin strese direncinin artacağına işaret ettiği belirtilmiştir.

Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin APX aktivitesi üzerine etkisi şekil 'de verilmiştir. Kuraklık stresi ve selenyum uygulamaları ekmeklik Basribey 95, Gönen98 ve makarnalık Ege 88 ve GAP'ta APX enzim aktivitesini etkilememiştir. Ekmeklik Meta 2002 genotipinde tohum Se1 ve yaprak Se2 uygulamaları, makarnalık genotiplerden Şölen 2002'de tohum Se2 ve toprak Se1 uygulamaları kontrole göre APX aktivitesini arttırırken, kuraklık stresi uygulamasına göre bir değişikliğe sebep olmamıştır (Şekil 3.9).

Normal koşullarda yetiştirilen buğday genotiplerinin APX aktivitesi üzerine selenyumun etkisi ise Gönen 98 ve Basribey 95 toprak Se3 uygulaması dışında bulunmamıştır. Bu uygulamalar bu iki genotipin APX aktivitesinin kontrole oranla azalmasına sebep olmuştur. Normal koşullar ve kuraklık stresi koşullarında selenyumun buğday genotiplerinin APX aktivitesi üzerine etkisinde küçük farklılıklar görülmesine rağmen, kuraklığa maruz kalan buğday genotiplerinde APX aktivitesi, kuraklık stresi uygulamasıyla karşılaştırıldığında selenyum uygulamaları ile değişmemiştir.

APX'ın ROS'nin iyi yönde değişimi için sinyal veren bir enzim olarak fonksiyonel olduğuna inanılırken, esas olarak peroksizomlarda yer alan CAT aşırı ROS seviyelerinin kaldırılmasından sorumlu olabilir (Mittler, 2002). Stres altındaki bitkilerde özellikle CAT aktivitesi olmak üzere Se'un bu iki enzimi de belirgin şekilde reaktif ettiği gözlemlenmiştir (Yao vd., 2009a,b; Djanaguiraman vd., 2010; Yao vd., 2010a,b; Hasanuzzaman vd., 2011; Yao vd., 2011; Malik vd., 2012). Bu yüzden, bu çalışmalarda APX ve CAT enzimlerinin aktivitelerindeki artışın aşırı ROS üretimini işaret edebileceğini söylemek makul görünmektedir. Bununla birlikte Se ilavesi ile enzim aktivitelerindeki artışlar Se'un aşırı ROS üretimi durumlarında bitkileri zarardan korumada etkin olabileceğini de akla getirmektedir.

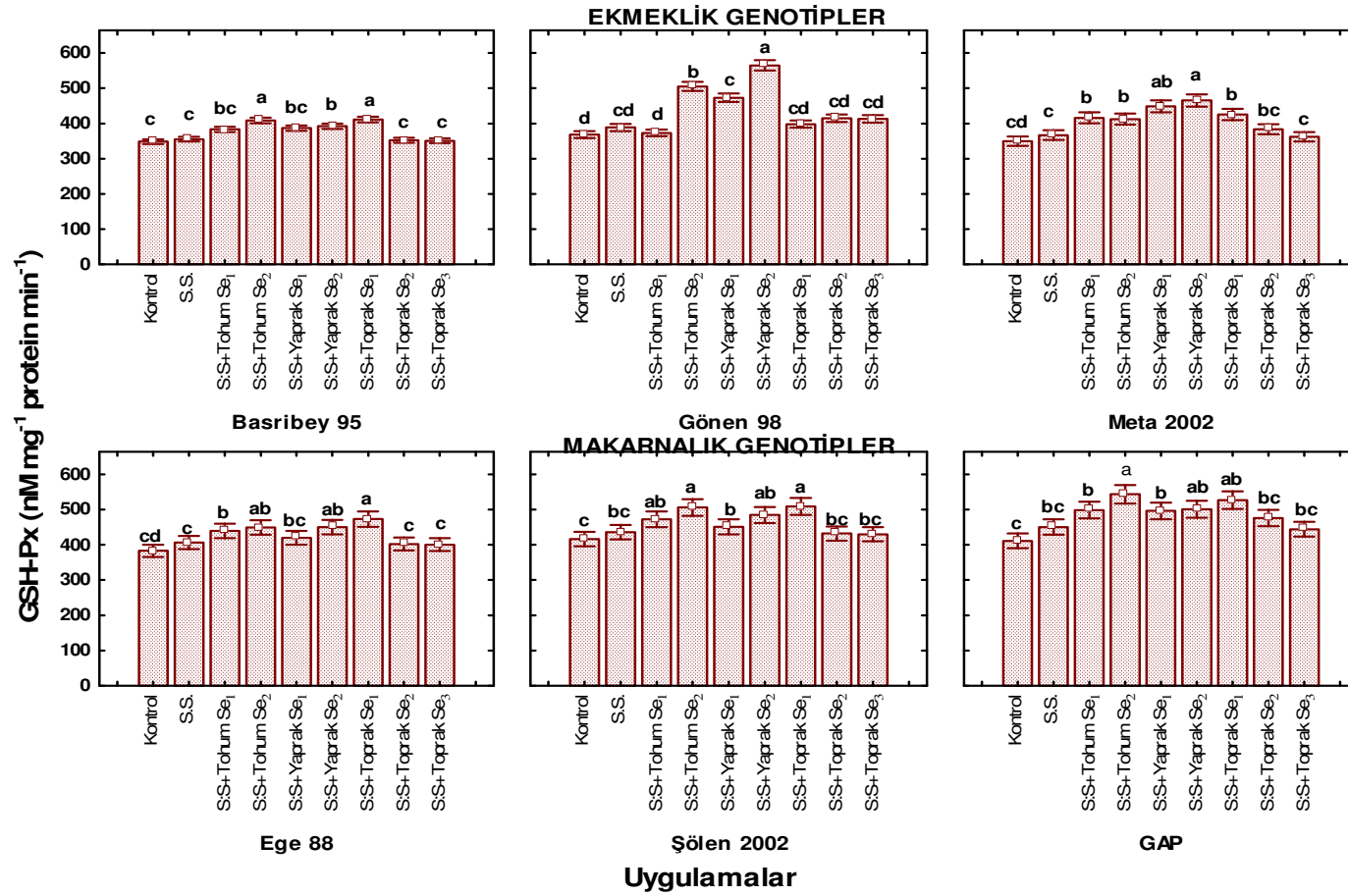


Şekil 3.9. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin APX aktivitesi (Unit g⁻¹ Y.A.) üzerine etkisi

Kuraklık stresi koşullarında ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin GSH-Px aktiviteleri selenyum uygulamaları ile genel olarak artış göstermiştir. Kuraklık stresi uygulaması hiçbir genotipte GSH-Px aktivitesi üzerine etkide bulunmamıştır. Ekmeklik Basribey 95 genotipinde tohum Se2, yaprak Se2 ve toprak Se1 uygulamaları kontrole ve kuraklık stresi uygulamasına göre yaprak GSH-Px aktivitesini arttırmış olup, tohum ve toprak uygulaması bu artışta daha etkin bulunmuştur. Gönen 98’de tohum Se2, yaprak Se1 ve Se2 uygulamaları GSH-Px aktivitesini arttırırken, yaprak Se2 uygulamasındaki artış diğer uygulamalardan oldukça fazladır. Meta 2002’de toprak Se2 ve Se3 uygulamaları dışındaki tüm uygulamalar genotipin GSH-Px aktivitesini arttırırken, artışın en fazla olduğu uygulama yaprak Se2 uygulamasıdır. Makarnalık genotiplerin hepsinde toprak Se2 ve Se3 uygulamaları dışındaki tüm uygulamalar kontrole kıyasla enzim aktivitesinde etkili olmuştur. Kuraklık stresi koşullarına göre ise tohum Se2 ve toprak Se1 uygulamaları istatistiksel olarak GSH-Px enzim aktivitesini arttırmışlardır (Şekil 3.10).

Normal koşullarda yetiştirilen buğday genotiplerinde ise selenyum uygulamaları diğer enzimlerden farklı olarak hiçbir uygulamayla GSH-Px enzim aktivitesi kontrole oranla azalmamış, fakat bazı uygulamalarda kontrol seviyelerinde kalmıştır. Kuraklık stresine maruz kalan buğday genotiplerinde genel anlamda benzer sonuçlar elde edilse de, selenyumun enzim aktivitesi üzerine etkisi daha belirgindir. Ayrıca diğer dört enzimden farklı olarak tüm genotiplerde bazı selenyum uygulamaları kuraklık stresi uygulamasına oranla yaprakların GSH-Px aktivitesini arttırmıştır. Bu nedenle, selenyum uygulamasının kuraklık stresi koşullarında en etkili olduğu enzim GSH-Px olarak belirlenmiştir ve kuraklığa maruz kalan bitkilerde selenyum uygulamasının, GSH-Px enzim aktivitesini arttırarak strese karşı bitki direncini arttırmada etkin olabileceği düşünülmektedir.

Stres altındaki bitkilerde Se ilavesi antioksidanların seviyelerini veya aktivitelerini etkileyebilir ve böylece ROS seviyelerini düzenlenebilir. GSH-Px bitkilerde GSH’ın yardımıyla H₂O₂ ve lipid peroksitlerin güçlü bir indirgeyicisidir. Farklı çevresel streslere maruz kalan çeşitli bitkilerde Se tarafından büyük ölçüde ve kuvvetlice aktive edilen GSH-Px’in anahtar bir enzim olduğuna inanılır (Feng vd., 2013).



Şekil 3.10. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin GSH-Px (nM mg⁻¹ protein min⁻¹) üzerine etkisi

Se yokluğunda *Chlamydomonas* hücrelerinde dışsal H_2O_2 'in APX ve CAT enzimleri ile sınırlandırılır. Bununla birlikte Se varlığında, H_2O_2 APX ve CAT yerine esas olarak GSH-Px tarafından indirgenir (Takeda vd., 1997). Hartikainen vd. (2000) farklı Se seviyeleri uygulanan hem genç hem de daha yaşlı *Lolium perenne* bitkilerinde GSH-Px aktivitesinin etkin bir şekilde arttığını bildirmişlerdir. Cd stresi (Filek vd., 2008), tuz stresi (Hasanuzzaman vd., 2011) ve kuraklık stresi (Hasanuzzaman ve Fujita, 2011) gibi çeşitli stres faktörlerine maruz kalan bitkilerde Se uygulaması ile GSH-Px enzimin aktivasyonu gözlemlenmiştir. Se varlığında GSH-Px enziminin aktivitesindeki artış bitkilerde oksidatif stresi önlemede bu enzim için Se'un özgün bir rolünün olduğunun göstergesi olarak önerilir (Feng vd., 2013).

Bitkilerde kuraklık stresinin meydana getirdiği oksidatif etki serbest radikallerin, özellikle reaktif oksijen türlerinin [süperoksit molekülü ($O_2^{\bullet-}$), singlet oksijen (1O_2), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikallerini ($OH^{\bullet}$)] oluşumunu içerir. Serbest radikaller, eşleşmemiş elektron içeren moleküller olup oldukça reaktiftirler. Bu radikaller; plazma membranı, mitokondri, ER membranlarında da oluşabilir (McKersie ve Leshem, 1994). Bununla beraber, suyun kısıtlı olduğu periyotlarda, vejetatif bitki dokularında oksidatif stresin en yaygın nedeni kloroplastta gerçekleşen ışık-klorofil etkileşimleri diye düşünülmektedir (Farrant, 2000). Su kısıtlı hale gelirken, bitki daha fazla su kaybetmemek için, genelde, stomalarını kapatır; bu da fotosentezle fiksasyon için gerekli CO_2 'nin alımının kısıtlanmasına neden olur. Bu durum; fotosentetik aparatın reaksiyon merkezlerindeki enerjinin aşırılığına neden olur (Stuhfauth vd., 1990). Bu durumda; $NADP^+$ (fotosentezdeki e^- akseptörü) kısıtlı hale gelir ve ferrodoksin $NADP^+$ yerine oksijeni redükler; böylece, fotosistem I (PSI)'in elektronları O_2 'ye transferi sonucunda reaktif $O_2^{\bullet-}$ radikali üretilir (Mehler reaksiyonu) (Tambussi vd., 2000).

Birçok türde kuraklık stresi altında artan $O_2^{\bullet-}$ oluşum hızı; lipid peroksidasyonuna, yağ asidi doygunluğuna ve sonuçta membranların bütünüyle zarar görmesine neden olur (Sgherry vd., 1996). Süperoksitin kendisi fazla reaktif değildir ve daha çok H_2O_2 ve daha sonra $OH^{\bullet}$ oluşturmak suretiyle etkili olur (Halliwell ve Gutteridge, 1989). Hidrojen peroksit Calvin döngüsünün birçok enziminin inaktivasyonuna yol açmaktadır (Charles ve Halliwell, 1980; Kaiser, 1979). Süperoksit ve hidrojen peroksitin $OH^{\bullet}$ radikalini oluşturmak üzere tepkimesi sırasında (Haber-Weiss reaksiyonu), artan demir ya da bakır gibi diğer geçiş metalleri, bu reaksiyonları

hızlandırmak suretiyle oksidatif hasarı daha da arttırabilir (Fenton reaksiyonu) (Smirnoff, 1993). Bunların yanı sıra, fotosistem II (PS II)'deki suyu parçalayan bölgede de serbest radikal oluşabilir. Bitkilerde, oksidatif zararın yol açtığı yıkıcı etkilerle mücadele etmek için; yağda çözünen ve membrana bağlı antioksidanlar [doğrudan lipid peroksidasyonunun serbest radikallerini (triplet klorofil ve 1O_2) gideren α -tokoferol, β - karoten], suda çözünen antioksidantlar [$O_2^{\bullet-}$ ve H_2O_2 'nin detoksifikasyonunda rol oynayan glutatyon ve askorbat] ve enzimatik antioksidantlar; süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POX), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon peroksidaz (GSH-Px) ve glutatyon redüktaz (GR)]'dan oluşan karmaşık bir antioksidant koruyucu sistemine sahiplerdir. Kuraklık stresine maruz kalan bitkiler antioksidant savunma sistemlerin bazılarının ya da tamamının aktivasyonu ile oksidatif stresin üstesinden gelebilirler (Jung, 2004; Srivalli vd., 2003; Ramachandra vd., 2004 ve Pinheiro vd., 2004).

Çevresel streslere maruz kalan bitkilerde gelişimin engellenmesine neden olan reaktif oksijen türlerinin üretimi önemli zararlara neden olmaktadır (Kong vd.,2005; Yao ve Liu, 2007). Bununla birlikte stres koşullarında antioksidan enzim aktivitelerini ve antioksidan kapasitelerini artırma yoluyla bazı koruyucu mekanizmalara da sahiptirler. Xiaoqin vd. (2009) buğday bitkilerinde selenyumun kuraklık stresine etkisini araştırdıkları çalışmada, kuraklık stresinin, kuraklık stresi koşullarında bitkilere ekolojik bir adaptasyon sağlayabilen POX, CAT aktivitelerini belirgin şekilde arttırdığını bulmuşlardır. Diğer taraftan kuraklık stresi uygulaması ile karşılaştırıldığında, selenyum ve kuraklık stresi uygulaması kombinasyonunun her iki enzim aktivitesini belirgin şekilde arttırdığı, fakat bu artış biyomas birikiminde kuraklık stresi etkilerini gidermediği de aynı çalışmada belirtilmiştir.

3.1.2.6. Antioksidatif kapasite (% DPPH radikal inhibisyonu)

Kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin antioksidatif kapasiteleri üzerine kontrolle karşılaştırıldığında kuraklık stresi uygulamasının istatistiksel olarak bir etkisi olmamıştır (Çizelge 3.32). Fakat selenyum uygulamaları kuraklık stresi koşullarında buğday genotiplerinin antioksidatif kapasitelerini arttırmıştır. Ekmeklik buğday genotiplerinden Basribey 95'de sadece yaprak Se1, makarnalık genotiplerden Şölen 2002'de sadece yaprak Se2 uygulaması kontrol ve kuraklık stresi koşullarına göre antioksidatif kapasiteyi

arttırırken, diğer genotiplerde selenyum uygulamalarının çoğu etkin olmuştur. Gönen 98’de toprak Se2 ve Se3 uygulamaları dışındaki tüm uygulamalar, Meta 2002’de toprak Se3 dışındaki tüm uygulamalar, Ege 88’de tüm uygulamalar ve GAP’ta toprak Se3 uygulaması dışındaki tüm uygulamalar buğday bitkilerinin antioksidatif kapasitelerini kontrole göre istatistiksel olarak arttırmıştır.

Ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin antioksidatif kapasiteleri üzerine selenyum uygulamalarının etkisi normal koşullar ve kuraklık stresi koşullarında genel olarak birbirine benzer olmakla birlikte, normal koşullarda makarnalık Şölen 2002’de selenyumun antioksidatif kapasitesi üzerine etkisi görülmezken, kuraklık stresinde görülmüştür. Kuraklık stresiyle karşılaştırıldığında selenyumun antioksidatif kapasite üzerine etkili olduğu genotipler ekmeklik Basribey 95 ve tüm makarnalık buğday genotipleridir.

Jianzhou vd. (2013) kışlık buğday bitkilerinde yaptıkları çalışmada farklı gelişim aşamalarında selenyum uygulamalarının bazı derecelerde oksidan stresi azaltarak antioksidan kapasitelerini arttırdıklarını ve 20 ve 30 mg Se L⁻¹ arasında değişen selenyum uygulamalarının bu açıdan en iyi selenyum uygulamaları olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada ayrıca bu konsantrasyonlardaki selenyum uygulamalarının GSH-Px enzim aktivitesini belirgin derecede arttırdığı ve H₂O₂ içeriğini önemli ölçüde azalttığı da belirtilmiştir. Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar ekmeklik ve makarnalık buğday genotipleri ve selenyum uygulamalarıyla uygulama konsantrasyonları açısından değişiklik göstermekle birlikte bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile uyum göstermektedir.

Çizelge 3.32. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin antioksidatif kapasitesi (% DPPH radikal inhibisyonu) üzerine etkisi

		ANTİOKSİDATİF KAPASİTE (% DPPH radikal inhibisyonu)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
F		31.30	24.86	18.91	6.197	6.796	8.715
p		<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.000654	0.000375	<0.0001
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	21.32 b	23.55 bc	25.65 b	20.34 c	21.56 b	20.78 d
	Su stresi (S.S.)	22.56 b	31.78 ab	44.14 ab	25.87 bc	23.01 b	25.43 cd
	S:S+Tohum Se ₁	28.34 ab	59.12 a	57.58 a	42.17 a	25.78 b	62.45 a
	S:S+Tohum Se ₂	27.03ab	55.85a	59.63 a	45.94 a	26.96 b	51.67 b
	S:S+Yaprak Se ₁	35.52 a	56.86 a	58.41 a	45.45 a	27.47 b	67.03 a
	S:S+Yaprak Se ₂	23.17 ab	53.24 a	49.45 a	46.77 a	38.26 a	56.33 b
	S:S+Toprak Se ₁	24.73 ab	52.54 a	56.31 a	47.38 a	23.81 b	50.07 b
	S:S+Toprak Se ₂	22.86 b	45.70 ab	50.45 a	40.49 a	26.19 b	54.41 b
	S:S+Toprak Se ₃	26.95 ab	29.97 b	44.78 ab	29.02 b	21.42 b	26.51cd

* LSD_{0,05} testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Xiaoqin vd. (2009) buğday bitkilerinde selenyumun kuraklık stresine etkisini araştırdıkları çalışmada, kuraklık stresi altında buğday bitkilerine ekstra selenyum ilavesinin bitkilerin antioksidan seviyesini arttırdığını bulmuşlardır. Ayrıca çalışmada normal sulama koşullarında selenyum uygulamasının buğday bitkilerinin biyomas birikimi için faydalı olduğu da vurgulanmıştır.

3.1.2.7. Hidrojen peroksit (H_2O_2) ve lipid peroksidasyonu (MDA) içerikleri

Toprak Se3 uygulaması dışındaki selenyum uygulamaları kuraklık stresi koşullarında kontrole oranla artış gösteren H_2O_2 içeriğini kontrol seviyeleri ve hatta bazı genotiplerde kontrol seviyelerinin de altına düşürmüşlerdir. Ekmeklik genotiplerden Meta 2002’de selenyum uygulamaları ile H_2O_2 içeriğindeki azalış en belirgin olanıdır. Makarnalık genotiplerden ise Şölen 2002 tohum Se1 uygulaması ve GAP tohum Se1, yaprak Se2 uygulamalarında H_2O_2 içeriği kontrol seviyelerinin altına düşerek en etkin uygulamalar olmuştur (Çizelge 3.33). Kuraklık stresi ve normal koşullar karşılaştırıldığı selenyum uygulamalarının H_2O_2 içeriği üzerine etkisi kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde daha belirgindir. Bununla birlikte normal koşullardan farklı olarak kuraklık stresi koşullarında toprak Se3 uygulaması makarnalık GAP genotipi dışındaki genotiplerde kontrole oranla istatistiksel olarak artış göstermiştir.

Normal koşullar altında bitki hücrelerinde ROS üretimi örneğin; kloroplastlarda $240 \mu M s^{-1}$ ’den az $O_2^{\bullet-}$ ve $0,5 \mu M H_2O_2$ gibi düşük konsantrasyonlarda kalmaktadır. Buna rağmen stres koşullarında, bahsedilen seviyeler $240-720 \mu M s^{-1} O_2^{\bullet-}$ ve $5-15 \mu M H_2O_2$ olmak üzere artış gösterirler (Mittler, 2002). Gelişim ortamına selenyumun küçük miktarlarda ilavesi, çeşitli çevresel streslere maruz kalan bitkilerde özellikle $O_2^{\bullet-}$ ve/veya H_2O_2 ’in olmak üzere aşırı ROS üretimini azaltabilir (Feng vd., 2013).

Cartes vd. (2010) selenitin *Lolium perenne* köklerinde esas olarak $O_2^{\bullet-}$ ’in H_2O_2 ’e kendiliğinden dismutasyonunu artırma yoluyla Al kaynaklı oksidatif stresi azalttığını gözlemlemişlerdir. Mroczek-Zdyrska ve Wójcik (2011) düşük doz selenyumun ($1,5 \mu M Na_2SeO_3$) Pb stresine maruz kalan *Vicia faba* L. köklerinde $O_2^{\bullet-}$ seviyelerini azalttığını bulmuşlardır. Cd stresi altındaki kırmızı deniz alginde $50 \mu M Se$ ’un (Na_2SeO_3) ROS ($O_2^{\bullet-}$ ve H_2O_2) birikimini azaltarak Cd toksisitesini etkin şekilde iyileştirdiği gözlemlenmiştir (Kumar vd., 2012). 400 ve $600 \mu M Cd$ ’a maruz bırakılan *Brassica napus* bitkilerinin kullanıldığı bir denemede $2 \mu M Se$ (Na_2SeO_4)

ilavesinin bitki kök ve gövdelerinde H_2O_2 birikimini azalttığını bulunmuştur (Filek vd., 2008). Yüksek sıcaklığa ($O_2^{\bullet-}$ ve H_2O_2) maruz bırakılan *Sorghum bicolor* (L.) Moench (Na_2SeO_4 ; Djanaguiraman vd., 2010), kuraklık ve tuz stresi altındaki (H_2O_2) kolza bitkileri (Na_2SeO_4 ; Hasanuzzaman vd., 2011; Hasanuzzaman ve Fujita, 2011) ve As stresi (H_2O_2) altındaki *Phaseolus aureus* Roxb.'ta (Malik vd., 2012) olduğu gibi diğer streslere maruz bırakılan bitkilerde de Se ilavesine bağlı ROS seviyelerindeki azalışlar gözlemlenmiştir. Çalışmamızdan elde edilen H_2O_2 içeriği sonuçları, yapılan çalışmalar ile genel olarak uyum göstermektedir.

Kuraklık stresi koşullarında tüm genotiplerin lipid peroksidasyon seviyeleri kontrole kıyasla artmıştır. Basribey 95 genotipinde selenyum uygulamalarının lipid peroksidasyon seviyelerine herhangi bir etkisi olmazken, Gönen 98'de yaprak Se2, toprak Se2, Se3 uygulamaları dışındaki uygulamalar kuraklık stresi uygulamasına göre lipid peroksidasyon seviyelerini düşürmüştür. Meta 2002'de ise toprak Se2 ve Se3 uygulamaları dışındaki tüm uygulamalar lipid peroksidasyon seviyelerini düşürürken, tohum Se2 uygulaması bu düşüşte diğerlerinden etkin olarak kontrol seviyelerine yaklaştırmıştır. Makarnalık Ege 88 genotipinde tohum Se1, Se2 ve yaprak Se1 uygulamaları, Şölen 2002'de tohum, yaprak ve toprak Se1 uygulamaları, GAP'ta ise toprak Se3 uygulaması dışındaki tüm uygulamalar lipid peroksidasyon seviyelerini kuraklık stresi uygulamasına oranla azaltmışlardır (Çizelge 3.34). Normal koşullarda ise toprak selenyum uygulamaları dışındaki uygulamalar buğday genotiplerinin lipid peroksidasyonu seviyelerini kontrol düzeyinde tutmuştur. Kuraklık stresine maruz kalan buğday genotiplerinde ise toprak Se3 uygulamaları kontrole oranla lipid peroksidasyon seviyelerini arttırmış olup kuraklık stresi uygulamasına oranla ise istatistiksel olarak bir etki göstermemiştir.

Çizelge 3.33. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriği (µM g⁻¹ Y.A.) üzerine etkisi

		H ₂ O ₂ İÇERİĞİ (µM g ⁻¹ Y.A.)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
F		6.96	8.71	5.36	12.35	7.05	16.37
p		0.0023	0.0017	0.0015	<0.0001	0.0019	<0.0001
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	41.39±2.19 b	46.67±3.12 b	39.49±2.66 b	42.15±1.79 b	37.03±1.67 b	43.66±1.89 b
	Su stresi (S.S.)	60.74±1.86 a	58.48±2.39 a	51.95±2.56 a	56.85±2.18 a	57.34±2.45 a	64.07±2.14 a
	S:S+Tohum Se ₁	32.88±1.34 bc	25.07±2.03 c	26.74±2.33 c	35.76±2.21 bc	27.82±1.83 c	29.27±2.25 c
	S:S+Tohum Se ₂	36.86±2.03 bc	31.40±1.96 bc	20.35±1.08 c	34.44±1.78 bc	32.88±1.34 bc	36.14±2.81 bc
	S:S+Yaprak Se ₁	34.33±1.77 bc	23.59±1.56 c	23.71±1.69 c	41.55±1.93 b	31.07±2.03 bc	32.88±2.34 bc
	S:S+Yaprak Se ₂	37.93±1.86 bc	35.76±2.21 bc	22.52±2.73 c	35.72±2.58 bc	38.67±2.06 b	26.50±2.42 c
	S:S+Toprak Se ₁	32.40±1.86 bc	37.33±2.66 bc	29.38±2.28 bc	42.15±2.28 b	36.14±1.81 b	38.99±2.37 bc
	S:S+Toprak Se ₂	40.10±2.85 b	36.50±2.42 bc	32.88±2.34 bc	37.93±2.86 bc	32.16±11.2 bc	42.75±2.79 b
	S:S+Toprak Se ₃	65.16±2.17 a	58.83±2.22 a	49.86±2.92 a	51.42±3.03 a	61.79±2.99 a	53.95±3.09 ab

* LSD_{0.05} testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.34. Farklı selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin lipid peroksidasyonu (nM g⁻¹ Y.A.) üzerine etkisi

		LİPİD PEROKSİDASYONU (nM g ⁻¹ Y.A)					
		EKMEKLİK GENOTİPLER			MAKARNALIK GENOTİPLER		
		Basribey 95	Gönen 98	Meta 2002	Ege 88	Şölen 2002	GAP
F		5.699	18.69	5.357	12.32	7.008	16.37
p		0.00107	<0.0001	0.0015	<0.0001	0.0003	<0.0001
UYGULAMALAR	Kontrol (Se ₀)	0.91±0.12 b	0.86±0.15 c	0.74±0.10 c	0.99±0.21 c	0.77±0.19 c	0.81±0.17 c
	Su stresi (S.S.)	2.67±0.16 a	2.86±0.27 a	2.07±0.25 a	2.25±0.38 a	2.37±0.31 a	3.46±0.34 a
	S:S+Tohum Se ₁	1.55±0.25 ab	1.67±0.31 bc	1.66±0.31 b	1.38±0.24 b	1.46±0.25 b	2.44±0.28 b
	S:S+Tohum Se ₂	1.61±0.18 ab	1.74±0.19 b	1.57±0.19 bc	1.43±0.16 b	1.77±0.16 ab	2.49±0.17 b
	S:S+Yaprak Se ₁	1.85±0.15 ab	1.98±0.32 b	1.81±0.26 b	1.37±0.21 b	1.64±0.22 b	1.84±0.14 bc
	S:S+Yaprak Se ₂	1.98±0.23 ab	2.12±0.22 ab	1.85±0.21 b	1.81±0.27 ab	1.83±0.34 ab	1.93±0.22 bc
	S:S+Toprak Se ₁	1.95±0.22 ab	1.92±0.26 b	1.84±0.15 b	1.73±0.14 ab	1.13±0.23 bc	2.17±0.29 b
	S:S+Toprak Se ₂	2.11±0.35 ab	2.22±0.33 ab	2.13±0.18 a	2.11±0.26 ab	1.90±0.11 ab	2.20±0.18 b
	S:S+Toprak Se ₃	2.70±0.28 a	2.90±0.39 a	2.05±0.33 a	2.92±0.35 a	2.50±0.36 a	3.51±0.37 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

3.2. Tarla Denemesi Analiz Bulguları

3.2.1. Selenyum içerikleri, kuru madde, selenyum toksisite toleransı ve 1000 tane ağırlıkları

Tarla denemesinden elde edilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane selenyum içeriği çizelge 3.35’de verilmiştir. Selenyum uygulamaları ile selenyum içeriğindeki artış ekmeklik genotiplerden Gönen 98 ve Meta 2002’de makarnalık genotiplere oranla çok daha belirgindir. Ekmeklik Basribey 95 ve Gönen 98 genotipinde 5 ppm’lik uygulamalar selenyum içeriğinde kontrole göre istatistiksel olarak belirgin artışa sebep olmazken, 10 ppm’lik uygulamalar gövde selenyum içeriğini arttırmıştır. Meta 2002’de ise 5 ppm’lik tohum uygulaması dışındaki uygulamalar selenyum içeriğini kontrole kıyasla arttırmış olup bu artış 10 ppm’lik yaprak uygulamasında diğer uygulamalardan çok daha etkili olmuştur. Makarnalık genotiplerden Şölen 2002’de selenyum uygulamalarıyla tane selenyum içeriği kontrole oranla istatistiksel bir artışa sebep olmazken, Ege 88 ve GAP’ta 10 ppm’lik uygulamalar tane selenyum içeriğini arttırmıştır. Hem ekmeklik hem de makarnalık genotiplerin selenyum içeriğindeki artışlarda en etkili olan uygulama 10 ppm’lik yaprak uygulaması olmuştur (Şekil 3.11).

Tarla denemesinden elde edilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane selenyum içeriği üzerine selenyum uygulamalarının etkisi, saksı denemesi gövde selenyum içeriği üzerine selenyum uygulamalarından farklılık göstermektedir. Tane selenyum içerikleri ve bu içerikler üzerine selenyum uygulamalarının etkisi, gövde selenyum içerikleri ve selenyum uygulamalarının etkisine oranla oldukça düşüktür. Ayrıca gövde selenyum içeriğinin artışında tüm tohum ve yaprak uygulamaları etkili olurken, tane selenyum içeriğinde genel olarak yüksek doz (10 ppm) tohum ve yaprak selenyum uygulamaları etkili olmuştur.



Şekil 3.11. Tarla denemesi yaprak selenyum uygulamasından bir görüntü

Tarla koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde kuru madde ve selenyum toksisite toleransları 5 ve 10 ppm'lik tohum ve yaprak selenyum uygulamaları ile düşüş göstermemiş ve bu uygulamalar genotiplerde herhangi bir selenyum toksisite belirtisine neden olmamıştır (Çizelge 3.36 ve çizelge 3.37). Tarla denemesi örneklerinin gövde selenyum toksisite toleransları ile saksı denemesi örneklerinin gövde selenyum toksisite toleransları sonuçları benzerlik göstermektedir. Tohum ve yapraktan 5 ve 10 ppm konsantrasyonlarında uygulanan selenyum ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin selenyum toleranslarını belirgin ölçüde etkilememiştir.

Lyons vd., (2005) yüksek selenyum seviyelerine buğdayın toleransını belirlemek ve buğdayda Se fitotoksitesini saptamak için tarla, sera ve laboratuvar şartlarında çalışmışlardır. Selenat formunda 120 g ha^{-1} 'a kadar Se miktarlarının kullanıldığı tarla denemeleri ve 500 g ha^{-1} 'a kadar topraktan ve 330 g ha^{-1} 'a kadar yapraktan selenyumun uygulandığı pilot denemelerde Se fitotoksisite semptomlarının gözlemlenmediği bildirilmiştir. Dört haftalık saksı denemelerinde, Se toksisitesi için kritik doku seviyesinin 325 mg kg^{-1} civarında olduğu ve bu seviyeye de büyüme

ortamına 2.6 mg kg^{-1} selenyum (sodyum selenat formunda) ilavesi ile ulaşılabileceği belirtilmiştir. Laboratuvar çalışmalarında 10 mg Se L^{-1} 'nin üstündeki çözelti konsantrasyonları buğdayın ilk gelişimini engellemiştir. Bitki büyümesini selenit, selenattan daha fazla etkilemiştir. Örneğin 38 mg Se L^{-1} konsantrasyonunda selenit büyümeyi %50 oranında engellerken, selenat %15 oranında engellemiştir. Çimlenme %'si selenat formundaki 150 mg Se L^{-1} çözelti konsantrasyonu tarafından etkilenmezken selenit formundaki 70 mg L^{-1} civarındaki Se konsantrasyonunun çimlenmeyi engellediği görülmüştür. Araştırmacılar buğdaydaki Se fitotoksitesinin insan tüketimi için tane Se seviyesini artırmak amacıyla kullandıkları Se uygulama oranları aralığında gözlemlenmeyeceğini ve Se ile buğdayın gübrelenmesinin insanlar ve hayvanlarda Se alımını artırmak için tanedeki organik Se konsantrasyonunu yükseltmenin en uygun ve etkili yöntemi olduğunu ifade etmişlerdir.

Günümüzde yetiştirilen buğdayların Se konsantrasyonunun çok düşük olması nedeniyle, buğdayların ya gübreleme (agronomic biofortification) ya da ıslah yoluyla (genetic biofortification) Se bakımından zenginleştirilmesi tane Se konsantrasyonunun artırılmasında en etkili stratejiler olarak değerlendirilmektedir (Lyons vd., 2003; Lyons vd., 2004). Ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin farklı organlarındaki Se konsantrasyonları arasındaki farklılıklar genotiplere göre istatistiki olarak önemli olmasına rağmen tane Se içeriğini artırma amacıyla yapılacak ıslah programlarında kullanılmaya pek uygun görünmemektedir. Brokoli (Farnham vd., 2007), soya fasulyesi (Yang vd., 2003; Zhang vd., 2003) domates (Pezzarossa vd., 1999) ve Brassica (Combs, 2001) gibi sebzelerin yenilebilir kısımlarında ve benzer şekilde yulafta (Eurola vd., 2004) çeşitlerin Se alımı üzerine genetik varyasyonun önemli olduğu ve bu yüzden de Se içeriklerinde farklılıkların olabileceği bildirilmiştir. Fakat buğday çalışmalarından elde edilen bulgular farklı olmuştur. Bazı araştırmacılar tarafından tane Se konsantrasyonu için buğday çeşitleri arasında genetik değişkenlik bulunamazken (çok küçük veya önemsiz bulunurken) (Grela, 1996; Noble ve Bary, 1982; Tveitnes vd., 1996; Curtin vd., 2006), Rusya da yapılan bir çalışmada Seregina vd. (2001), tarafından ticari buğday çeşitlerinin Se biriktirme yeteneklerinde değişkenliklerin olabileceği ifade edilmiştir.

Çizelge 3.35. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane selenyum içeriği ($\mu\text{g kg}^{-1}$) üzerine etkisi

GENOTİPLER		TANE SELENYUM İÇERİĞİ ($\mu\text{g kg}^{-1}$)						
				Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	6.93	<0.001	27.03±1.05 b	29.03±1.35 b	45.05±1.79 a	37.04±2.95 ab	46.05±2.29 a
	Gönen 98	6.01	0.001	32.03±1.68 d	34.03±1.91 cd	85.09±2.76 bc	37.04±2.58 cd	117.13±3.46 a
	Meta 2002	5.84	0.001	35.04±1.25 d	37.04±2.55 cd	64.07±2.36 bc	41.04±3.15 c	113.13±2.74 a
MAKARNALIK	Ege 88	9.06	<0.0001	25.02±1.75 c	26.02±1.99 c	35.04±3.25 b	31.03±2.66 bc	50.07±3.48 a
	Şölen 2002	5.65	0.0023	25.02±1.87 a	25.02±1.73 a	29.03±3.35 a	26.02±1.99 a	29.03±3.37 a
	GAP	9.07	<0.0001	25.02±1.81 c	29.03±1.35 bc	36.04±3.14 b	26.02±1.94 c	41.04±3.15 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.36. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde kuru madde (g) üzerine etkisi

		GÖVDE KURU MADDE (g)				
	GENOTİPLER	Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
		Se0	Se1	Se2	Se1	Se2
EKMEKLİK	Basribey 95	1.75±0.22	1.80±0.25	1.74±0.36	1.85±0.17	1.74±0.31
	Gönen 98	1.73±0.34	1.87±0.17	1.88±0.35	1.95±0.21	1.83±0.24
	Meta 2002	2.20±0.19	2.30±0.22	2.37±0.27	2.54±0.15	2.24±0.26
MAKARNALIK	Ege 88	1.49±0.15	1.57±0.36	1.66±0.28	1.62±0.20	1.59±0.35
	Şölen 2002	1.44±0.31	1.43±0.28	1.39±0.33	1.48±0.27	1.46±0.19
	GAP	1.64±0.18	1.70±0.24	1.74±0.29	1.72±0.30	1.70±0.21

Çizelge 3.37. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde selenyum toksisite seviyeleri (%) üzerine etkisi

		GÖVDE SELENYUM TOKSİSİTE ORANI (%)				
	GENOTİPLER	Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
		Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	100	102.56	99.48	105.63	99.51
	Gönen 98	100	107.98	108.34	112.49	105.72
	Meta 2002	100	104.81	107.66	115.45	101.77
MAKARNALIK	Ege 88	100	105.37	110.91	108.46	106.65
	Şölen 2002	100	99.24	96.34	102.74	101.48
	GAP	100	103.21	105.73	104.43	103.51

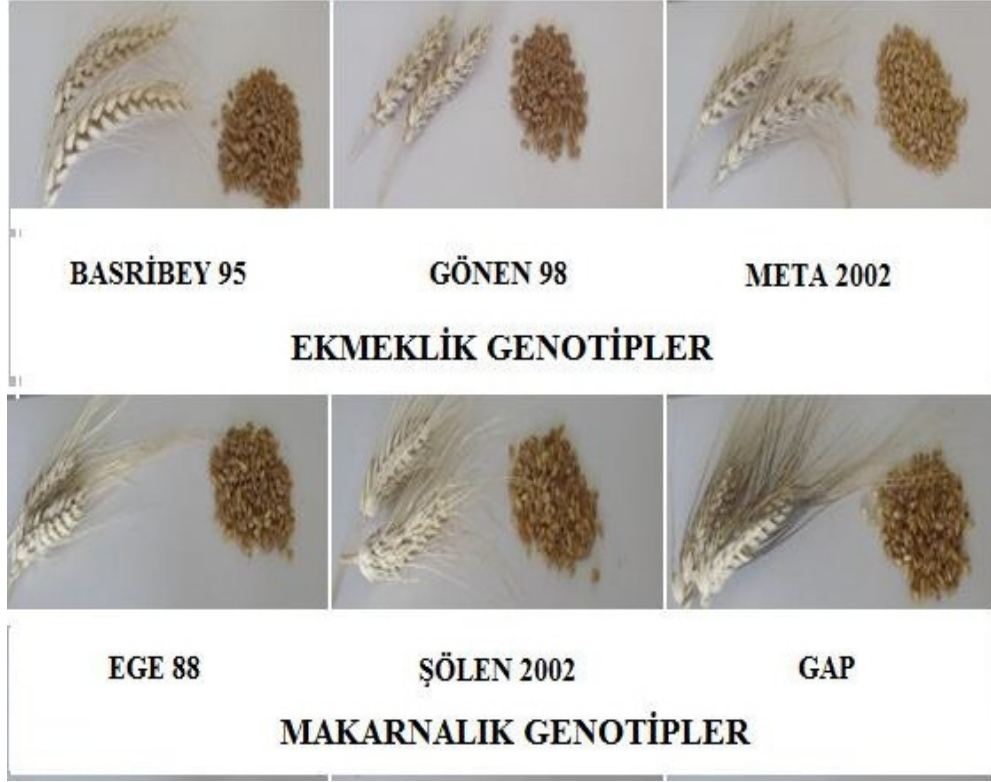
Çizelge 3.38. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin 1000 tane ağırlığı (g) üzerine etkisi

		1000 TANE AĞIRLIĞI (g)						
	GENOTİPLER			Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	17.41	<0.001	36.94±1.96 ab	39.85±2.39 ab	37.12±2.48 ab	42.04±2.77 a	41.13±2.58 a
	Gönen 98	15.93	<0.001	37.51±2.39 b	36.26±2.32 b	43.53±2.05 ab	45.15±2.67 a	45.74±2.15 a
	Meta 2002	8.15	0.001	35.67±2.64 b	38.69±2.75 ab	44.79±2.12 a	38.03±2.36 ab	34.34±2.86 b
MAKARNALIK	Ege 88	16.34	<0.001	46.62±2.03 b	53.32±2.64 a	54.24±2.55 a	56.55±2.23 a	50.51±2.41 ab
	Şölen 2002	14.17	<0.001	42.75±2.18 a	46.28±2.88 a	44.29±2.71 a	43.12±2.35 a	40.02±2.53 a
	GAP	16.29	<0.001	40.36±2.25 b	52.41±2.61 a	47.36±2.53 ab	41.22±2.38 ab	51.50±2.74 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Tane selenyum içerikleri değerlendirildiğinde çalışmamızdan elde edilen sonuçlar önceki çalışmaların bazıları ile uyumlu olmakla beraber, bazılarıyla uyum göstermemektedir. Çalışmamızdan elde edilen sonuçlara göre ekmeklik ve makarnalık genotipler arasında ve ekmeklik ve makarnalık genotiplerin kendi içinde tane selenyum biriktirme yeteneği açısından farklılıklar bulunmaktadır. Selenyum toksisitesi görülmeden, selenyum uygulamasıyla tane selenyum içeriğini ekmeklik buğday genotipleri makarnalık buğday genotiplerine oranla daha fazla arttırmışlardır. Ekmeklik buğday genotiplerinden Gönen 98 ve Meta 2002, artan selenyum uygulamasıyla en yüksek tane selenyum içeriğine sahip genotiplerdir. Makarnalık buğday genotipleri içinde ise Ege 88 ve GAP selenyum uygulamasıyla makarnalık genotiplere göre tanesinde yüksek selenyum içeriğine sahipken bu oran, Basribey 95 dışındaki ekmeklik genotiplere göre oldukça düşüktür.

Tohum ve yapraktan uygulanan selenyumun ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin 1000 tane ağırlıkları üzerine etkisi çizelge 3.38’de verilmiştir. Ekmeklik buğday genotiplerinden Basribey 95’de selenyum uygulamalarının 1000 tane ağırlığı üzerine istatistiksel olarak bir etkisi olmazken, Gönen 98’de yaprak uygulamaları, Meta 2002’de ise yalnızca tohum Se2 uygulaması 1000 tane ağırlığını kontrole göre arttırmıştır. Makarnalık buğday genotiplerinde ise Şölen 2002 genotipinde selenyumun 1000 tane ağırlığı üzerine etkisi görülmemişken, Ege 88’de tohum uygulamaları ve yaprak Se1 uygulaması, GAP genotipinde ise tohum Se1 ve yaprak Se2 uygulamaları kontrole oranla 1000 tane ağırlığını istatistiksel olarak arttırmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Tarla denemesinden elde edilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotipleri tane örnekleri

Yapılan birçok çalışmada selenyum uygulamasının bitkisel verim artışına yol açmadığı bildirilirken, Lyons ve vd. (2009) *Brassica rapa* (kanola) bitkisinde tohum üretimindeki %43'lük artışın Se uygulaması ile ilişkili olduğunu bildirmişler ve bunun kültürü yapılan bitkilerde selenyumun faydalı olduğuna ilave bir delil olabileceğini vurgulamışlardır.

3.2.2. Tane makro ve mikro element içerikleri

Tane besin elementi içeriği üzerine selenyum uygulamalarının etkisi, gövde besin elementi içeriklerine göre farklılıklar göstermektedir. Tohum ve yaprak selenyum uygulamaları tarla koşullarında ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane K içeriği üzerine istatistiksel olarak herhangi bir etkide bulunmamıştır (Çizelge 3.39). Oysa saksı denemesi gövde K içeriğine selenyumun etkisi bazı genotipler ve selenyum uygulamalarına göre değişiklik göstermektedir.

Farklı selenyum uygulamaları genel olarak buğday genotiplerinin tane Ca içeriğini arttırmıştır. Ekmeklik buğday genotiplerinden Basribey 95'te yaprak ve tohum Se1

uygulamaları, Meta 2002’de tohum Se2 uygulaması, makarnalık buğday genotiplerinden Ege 88 tohum Se2 ve yaprak Se1 uygulamaları, Şölen 2002’de sadece tohum Se2 uygulaması, GAP’ta ise tüm Se uygulamaları kontrole oranla genotiplerin tane Ca içeriğini arttırmıştır. Selenyumun tane Ca içeriği üzerine etkisiz olduğu tek genotip ekmeklik Meta 2002 genotipidir (Çizelge 3.40). Saksı denemesi gövde Ca içeriği üzerine selenyumun etkisi Meta 2002 de dahil olmak üzere tüm ekmeklik genotiplerde görülmüştür. Makarnalık genotiplerde ise GAP dışındaki genotiplerin gövde Ca içeriğinin bazı selenyum uygulamalarıyla artış gösterdiği görülmektedir.

Selenyum uygulamaları ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane Mg içeriği üzerine istatistiksel olarak etkili değildir (Çizelge 3.41). Oysa saksı denemesi Ege 88 dışındaki gövde Mg içeriklerini tohum ve yaprak selenyum uygulamalarının çoğu arttırmıştır.

Ekmeklik buğday genotiplerinden Basribey 95’te tohum Se1, Gönen 98’de yaprak Se2 uygulamaları kontrole oranla tane Na içeriğini artırırken, Meta 2002’de ise selenyum uygulamaları tane Na içeriğini etkilememiştir. Makarnalık buğday genotiplerinde ise Ege 88 genotipinde tohum Se1 ve yaprak Se2 uygulamaları tane Na içeriğini artırırken, diğer genotiplerde tane Na içeriği üzerine selenyumun herhangi bir etkisi görülmemiştir (Çizelge 3.42). Ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde Na içeriğini tohum ve yaprak selenyum uygulamaları genel olarak etkilemezken, yukarıda açıklandığı gibi tane Na içeriği üzerine selenyumun etkisi bazı genotipler ve selenyum uygulamalarında görülmektedir.

Genel olarak çalışmamızda belirlenen makro besin elementleri (K, Ca, Mg, Na) içerikleri açısından ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde ve taneleri, genotipler ve selenyum uygulamalarının etkileri farklılık göstermektedir. Bununla birlikte tüm genotiplerin makro besin element içerikleri ve bu içeriklerinde selenyum uygulamalarıyla gerçekleşen artış ya da azalışlar gövdede daha fazladır. Yine de selenyumun buğday genotiplerinin çalışılan makro besin elementi içeriğine etkilerinin daha net değerlendirilebilmesi için çalışmamız yeterli olmayıp, yeni çalışmaların yapılması gereklidir.

Çizelge 3.39. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane potasyum (K) içeriği (%) üzerine etkisi

		TANE POTASYUM İÇERİĞİ (%)						
	GENOTİPLER			Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	3.29	0.0217	1.45±0.15 a	1.47±0.21 a	1.52±0.18 a	1.41±0.17 a	1.49±0.14 a
	Gönen 98	4.71	0.0085	1.37±0.18 a	1.47±0.17 a	1.47±0.14 a	1.42±0.20 a	1.50±0.13 a
	Meta 2002	5.32	0.0048	1.46±0.25 a	1.45±0.19 a	1.63±0.10 a	1.39±0.18 a	1.50±0.21 a
MAKARNALIK	Ege 88	4.89	0.0065	1.32±0.19 a	1.47±0.27 a	1.41±0.19 a	1.35±0.14 a	1.41±0.25 a
	Şölen 2002	3.72	0.0039	1.45±0.25 a	1.49±0.18 a	1.49±0.18 a	1.36±0.12 a	1.51±0.15 a
	GAP	5.78	0.0067	1.36±0.26 a	1.29±0.15 a	1.32±0.16 a	1.39±0.13 a	1.37±0.12 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.40. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane kalsiyum (Ca) içeriği (%) üzerine etkisi

		TANE KALSİYUM İÇERİĞİ (%)						
	GENOTİPLER			Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	7.74	0.0071	0.22±0.05 b	0.67±0.06 a	0.41±0.07 ab	0.75±0.04 a	0.38±0.07 ab
	Gönen 98	8.13	<0.001	0.39±0.08 ab	0.51±0.07 a	0.40±0.05 ab	0.41±0.07 ab	0.20±0.03 b
	Meta 2002	6.97	0.0087	0.38±0.04 b	0.39±0.08 b	0.65±0.06 a	0.40±0.09 b	0.38±0.04 b
MAKARNALIK	Ege 88	7.81	0.0059	0.31±0.03 b	0.51±0.06 ab	0.75±0.04 a	0.69±0.05 a	0.39±0.05 b
	Şölen 2002	5.98	0.0155	0.40±0.07 b	0.52±0.08 ab	0.67±0.08 a	0.42±0.06 b	0.57±0.06 ab
	GAP	6.34	0.0085	0.33±0.04 c	0.75±0.09 ab	0.79±0.05 a	0.91±0.08 a	0.65±±0.07 b

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.41. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane magnezyum (Mg) içeriği (%) üzerine etkisi

		TANE MAGNEZYUM İÇERİĞİ (%)						
	GENOTİPLER			Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	6.82	<0.001	0.16±0.08 a	0.18±0.09 a	0.16±0.06 a	0.15±0.08 a	0.10±0.06 ab
	Gönen 98	4.67	0.0181	0.14±0.04 a	0.16±0.08 a	0.15±0.03 a	0.14±0.08 a	0.15±0.02 a
	Meta 2002	2.98	0.0489	0.18±0.07 a	0.17±0.06 a	0.17±0.02 a	0.16±0.09 a	0.18±0.07 a
MAKARNALIK	Ege 88	4.51	0.0214	0.15±0.02 a	0.17±0.09 a	0.16±0.04 a	0.17±0.06 a	0.15±0.08 a
	Şölen 2002	3.78	0.0435	0.16±0.04 a	0.16±0.07 a	0.16±0.05 a	0.14±0.09 a	0.18±0.05 a
	GAP	4.53	0.0195	0.14±0.03 a	0.15±0.03 a	0.15±0.07 a	0.15±0.05 a	0.16±0.06 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.42. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane sodyum (Na) içeriği (%) üzerine etkisi

		TANE SODYUM İÇERİĞİ (%)						
	GENOTİPLER			Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	10.48	<0.001	0.10±0.012 bc	0.25±0.027 a	0.18±0.017 b	0.20±0.017 ab	0.085±0.011 c
	Gönen 98	8.56	0.00134	0.093±0.006 b	0.068±0.008 b	0.068±0.010 b	0.11±0.016 ab	0.17±0.022 a
	Meta 2002	6.91	0.00451	0.14±0.016 ab	0.85±0.011 b	1.36±0.016 ab	2.12±0.025 a	1.36±0.016 ab
MAKARNALIK	Ege 88	7.54	0.00236	0.093±0.009 b	0.19±0.022 a	0.13±0.006 ab	0.093±0.012 b	0.18±0.021 a
	Şölen 2002	5.76	0.00431	0.093±0.011 ab	0.059±0.015 b	0.11±0.016 ab	0.13±0.015 a	0.16±0.026 a
	GAP	8.65	0.00115	0.11±0.013 a	0.068±0.007 ab	0.093±0.014 a	0.11±0.013 a	0.068±0.010 ab

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.43. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane demir (Fe) içeriği (ppm) üzerine etkisi

		TANE DEMİR İÇERİĞİ (ppm)						
GENOTİPLER		F	p	Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
				Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	6.56	0.0217	24.78±1.45 ab	23.92±1.35 ab	31.98±3.21 a	24.41±2.55 ab	30.13±2.85 a
	Gönen 98	5.98	0.0212	31.42±1.65 a	33.76±2.35 a	32.41±2.05 a	22.26±3.04 ab	33.14±3.85 a
	Meta 2002	5.80	0.0319	25.39±1.95 b	34.74±2.75 a	28.90±2.52 ab	36.53±2.81 a	25.03±2.05 b
	Ege 88	10.06	<0.0001	24.10±1.18 b	31.18±3.05 ab	39.72±2.95 a	34.19±3.24 a	26.56±2.18 b
	Şölen 2002	5.14	0.0335	28.96±2.65 ab	31.36±2.51 a	31.91±2.85 a	34.68±2.36 a	29.08±1.95 ab
	GAP	8.13	0.0081	29.95±2.05 b	33.27±2.15 ab	37.51±2.15 a	30.87±3.45 ab	31.48±2.18 ab
MAKARNALIK								

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.44. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane bakır (Cu) içeriği (ppm) üzerine etkisi

GENOTİPLER		TANE BAKIR İÇERİĞİ (ppm)						
				Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	4.45	0.037	9.84±0.99 a	9.84±0.98 a	10.85±1.50 a	9.24±0.92 a	10.65±1.06 a
	Gönen 98	4.05	0.0207	11.55±0.85 a	10.45±1.30 a	10.65±0.46 a	10.95±0.59 a	12.16±0.71 a
	Meta 2002	3.93	0.0308	7.83±0.97 ab	8.64±0.86 a	8.44±0.84 ab	9.74±0.94 a	10.35±0.53 a
MAKARNALIK	Ege 88	6.82	0.001	6.63±0.66 bc	10.45±1.34 a	9.64±0.96 ab	7.03±0.57 b	10.55±0.55 a
	Şölen 2002	3.48	0.0226	7.94±1.29 ab	8.24±1.12 ab	10.05±1.07 a	10.35±0.53 a	10.35±0.72 a
	GAP	5.51	0.0095	8.04±1.08 a	6.33±1.03 ab	7.94±0.29 a	8.44±0.84 a	7.43±0.77 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.45. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane mangan (Mn) içeriği (ppm) üzerine etkisi

		TANE MANGAN İÇERİĞİ (ppm)						
GENOTİPLER		F	p	Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
				Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	5.62	0.00713	50.96±1.55 a	51.14±1.85 a	50.78±2.25 a	56.18±2.11 a	53.61±2.09 a
	Gönen 98	5.12	0.00954	48.86±1.41 a	46.39±2.05 a	49.59±2.13 a	48.49±1.75 a	49.04±1.74 a
	Meta 2002	4.96	0.0137	39.80±1.25 ab	45.84±2.15 a	44.01±2.15 a	45.29±2.25 a	44.37±1.75 a
MAKARNALIK	Ege 88	8.62	0.0001	38.33±1.85 b	49.04±1.94 a	39.89±2.04 b	42.18±1.15 ab	43.37±1.94 ab
	Şölen 2002	4.40	0.0206	35.95±1.95 ab	42.09±1.86 a	38.97±1.89 ab	36.60±2.05 ab	36.50±1.85 ab
	GAP	6.96	0.00689	41.44±1.95 a	30.28±1.65 b	32.02±1.65 ab	29.82±1.79 b	43.27±1.95 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.46. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin çinko (Zn) içeriği (ppm) üzerine etkisi

		TANE ÇİNKO İÇERİĞİ (ppm)						
	GENOTİPLER			Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	4.03	0.0189	17.94±2.09 a	19.92±0.66 a	19.04±1.23 a	17.01±1.54 a	16.31±1.95 a
	Gönen 98	3.67	0.0210	17.05±1.28 a	18.90±2.82 a	17.70±2.01 a	16.19±1.60 a	19.03±1.70 a
	Meta 2002	3.56	0.0324	19.27±1.93 a	19.16±0.88 a	21.13±1.84 a	18.54±1.49 a	20.68±1.25 a
	Ege 88	6.18	0.0098	22.49±2.32 a	24.17±1.94 a	23.43±1.78 a	24.21±1.74 a	21.46±2.21 a
	Şölen 2002	3.16	0.0481	17.43±1.75 ab	20.42±1.99 a	18.94±1.75 a	15.55±1.84 ab	20.31±2.14 a
	GAP	4.99	0.0105	20.61±2.14 a	21.37±1.73 a	20.94±1.96 a	17.95±2.09 a	18.89±1.63 a
MAKARNALIK	Ege 88	6.18	0.0098	22.49±2.32 a	24.17±1.94 a	23.43±1.78 a	24.21±1.74 a	21.46±2.21 a
	Şölen 2002	3.16	0.0481	17.43±1.75 ab	20.42±1.99 a	18.94±1.75 a	15.55±1.84 ab	20.31±2.14 a
	GAP	4.99	0.0105	20.61±2.14 a	21.37±1.73 a	20.94±1.96 a	17.95±2.09 a	18.89±1.63 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Yaprak Se1 uygulaması tane Fe içeriğini ekmeklik buğday genotiplerinden Meta 2002’de kontrole göre istatistiksel olarak artırırken, diğer ekmeklik genotiplerde selenyum uygulamalarının herhangi bir etkisi olmamıştır. Makarnalık buğday genotiplerden Şölen 2002’de selenyum uygulamalarının tane Fe içeriği üzerine etkisi olmazken, Ege 88’de tohum Se2 ve yaprak Se1 ve Se2 uygulamaları, GAP genotipinde ise yalnızca tohum Se2 uygulaması tane Fe içeriğini arttırmıştır (Çizelge 3.43).

Saksı denemesinden elde edilen gövde örneklerinin Fe içeriğine selenyum uygulamaları ise tane içerikliklerine göre farklılık göstermektedir. Selenyum uygulamaları ekmeklik genotiplerden Basribey 95 gövde Fe içeriği üzerine etkisizken, Gönen 98’te tohum Se2, yaprak Se1 uygulamaları, Meta 2002’de tohum Se2 uygulaması kontrole oranla yaprak Fe içeriğini arttırmıştır. Makarnalık genotiplerde ise selenyumun gövde Fe içeriği üzerine etkisi 3 genotipte farklı etkiler göstermiştir. Ege 88’de selenyum Fe içeriğine etkisizken, Şölen 2002’de tohum Se1 uygulaması Fe içeriğini arttırmış, GAP’ta tohum uygulamaları ve yaprak Se2 uygulaması yaprak Fe içeriğini kontrole oranla istatistiksel olarak azaltmıştır.

Tohum ve yaprak selenyum uygulamaları ekmeklik buğday genotiplerinin tane Cu içeriğine herhangi bir etkide bulunmamışken, makarnalık genotiplerden sadece Ege 88’te selenyumun olumlu etkisi görülmektedir. Ege 88’de tohum Se1 ve yaprak Se2 uygulamaları, kontrole oranla tane Cu içeriğini istatistiksel olarak artırırken, diğer iki genotipte herhangi bir etki gözlenmemiştir (Çizelge 3.44).

Gövde Cu içerikleri üzerine ise selenyum uygulamaları Gönen 98, Ege 88 ve GAP genotiplerinde etkisizken, ekmeklik genotiplerden Basribey 95 ve Meta 2002’de tohum Se1 uygulaması gövde Cu içeriğini arttırmış, makarnalık genotiplerden Şölen 2002’de yaprak Se2 uygulaması ise Cu içeriğini kontrole oranla azaltmıştır.

Ekmeklik buğday genotiplerinde Mn içeriği üzerine selenyum uygulamaları istatistiksel olarak etkisizken, makarnalık genotiplerde ise selenyumun etkisi genotip bazında farklı olmuştur. Ege 88 genotipinde tohum Se1 uygulaması kontrole oranla tane Mn içeriğini artırırken, GAP genotipinde tohum Se1 ve yaprak Se1 uygulamaları kontrole oranla tane Mn içeriğini istatistiksel olarak azaltmıştır (Çizelge 3.45).

Gövde Mn içeriği üzerine selenyum etkisini değerlendirecek olursak, ekmeklik genotiplerden Meta 2002’de tohum uygulamaları kontrole oranla yaprak Mn içeriğini azaltırken, Gönen 98’de etkili olmamıştır. Makarnalık genotiplerden GAP’ta yaprak Se2 uygulaması kontrole oranla yaprak Mn içeriğini azaltırken, Şölen 2002’de selenyum uygulamaları Mn içeriğine etkisiz olmuştur.

Tohum ve yaprak selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane Zn içeriği üzerine istatistiksel anlamda herhangi bir etkisi bulunmamıştır (Çizelge 3.46). Oysa ekmeklik Gönen 98’de yaprak Se2 uygulaması gövde Zn içeriğini kontrole göre istatistiksel olarak düşürmüştür.

Feng vd. (2013) bitki dokularındaki Fe, Mn, Cu ve Zn gibi temel elementlerin konsantrasyonlarındaki değişimler SOD (Fe, Mn, Cu ve Zn), POX (Fe), CAT (Fe) ve klorofil biyosentezi metabolik yolunu içeren enzimler (Fe) gibi bu elementleri kofaktör olarak kullanan enzimlerin aktivitelerini yansıtabileceğini önermişlerdir. Aslına bakılırsa yaprak Fe içeriğinin %80’i kloroplastlarda lokalizedir ve Fe fotosentetik elektron taşımadan sorumlu komplekslerde geniş ölçüde yayılış gösterir (Terry ve Abadia, 1986). Bu sebeple, yaprak Fe konsantrasyonu statülerinin belirgin bir şekilde bitki fotosentezi ile ilişkili olduğuna inanılır. Zembala vd. (2010) Cd’un kolza bitkilerinde SOD izoenzimlerinin (CuZn-SOD) aktivitesini arttırarak Zn birikimini teşvik edebileceğini bildirmişlerdir. Buna ilaveten, kolzada ve 600 µM Cd’a maruz kalan buğday bitkilerinde 2 µM Na₂SeO₄’ın Fe konsantrasyonlarını azalttığını bulmuşlardır. Fe konsantrasyonu üzerine tam tersi bir etki Cd detoksifikasyonu için Se kullanan diğer çalışmalarda belirtildiği gibi Se sebepli kloroplast yapısının yeniden düzenlenmesiyle tutarlıdır. Sonuç olarak, Se ile bitkilerde Fe seviyelerinin düzenlenmesinin çevresel stresi azaltmak için Se kullanımının arkasında yatan önemli bir mekanizma olabileceği hipotezi ortaya atılabilir (Feng vd., 2013).

Normal koşullar altında yetiştirilen bitkilerde Se’un çift yönlü etkileri saptanmıştır ve Fe içeriğinin düzenlenmesi bu etkileri ortaya koymak için Se’a izin veren mantıklı bir faktördür. *Pteris vittata* L.’da Fe konsantrasyonu, MDA içeriği ve SOD aktivitesindeki değişikliklerin tespit edildiği daha önceki çalışmalar, 2 mg L⁻¹ konsantrasyonlarındaki Se’un azaltması fakat 20 mg L⁻¹ konsantrasyonundaki en yüksek konsantrasyonda ise arttırmasıyla tutarlıdır (Feng vd., 2009 ve Feng ve Wei, 2012). Feng vd. (2013) *Pteris vittata* L. yaprakçıklarında Se ile Fe birikiminin

düzenlenmesinin kısmen Se'un çift yönlü etkisine (Feng vd., 2009) bağlı olabileceğini önermişlerdir. Diğer bitkilerde de Fe konsantrasyonlarındabenzar değışimler gözlenmiştir. Örneğin; saksıda yetiştirilen Çin lahanası ve marulda 1 mg kg⁻¹ Se (Se'un düşük bir dozu) Fe ve Cu alımını belirgin şekilde inhibe etmiştir. Fakat 75 mg m⁻² Se uygulamasının (Se'un oldukça yüksek bir seviyesi) olduğu bir tarla çalışmasında marul bitkisinin Fe alımının arttırıldığı bulunmuştur (He vd., 2004).

Çalışmamızda belirlenen mikro besin elementleri (Fe, Cu, Mn, Zn) içerikleri tıpkı makro besin elementlerinde olduğu gibi ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde ve taneleri, genotipler ve selenyum uygulamalarının etkileri açısından farklılık göstermektedir. Yine makro besin elementlerine benzer şekilde tüm genotiplerin mikro besin element içerikleri ve bu içeriklerinde selenyum uygulamalarıyla gerçekleşen artış ya da azalışlar gövdede daha fazladır. Selenyumun buğday genotiplerinin çalışılan mikro besin elementi içeriğine etkilerinin de daha net değerlendirilebilmesi için çalışmamız yeterli olmayıp, yeni çalışmaların yapılması gereklidir.

3.2.3. Prolin ve klorofil içerikleri

Ekmeklik buğday genotiplerinden Meta 2002'de tohum Se2 ve yaprak Se1 uygulaması kontrole göre yaprak prolin içeriğini arttırırken, diğerlerinde selenyum uygulamalarının prolin içeriği üzerine istatistiksel olarak bir etkisi olmamıştır. Makarnalık buğday genotiplerinde ise Şölen 2002'de tohum Se2 uygulaması ve GAP genotipinde tohum ve yaprak Se2 uygulamaları kontrole oranla prolin içeriklerini arttırmış, Ege 88'de selenyumun prolin içeriği üzerine herhangi bir etkisi olmamıştır (Çizelge 3.47). Tarla denemesi örneklerinden farklı olarak saksı denemesi yaprak örneklerinde selenyum sadece tohum Se1 uygulamasında prolin içeriğini arttırmış, diğer uygulamalarda selenyumun etkisi görülmemiştir.

Bitkilerde ve mikroorganizmalarda ağır metal stresi de dahil olmak üzere çevresel stres faktörlerinden korunmada prolin önemli rol göstermektedir. Alg ve yüksek bitkilerde kuraklık, tuzluluk ve ağır metal toksisitesi prolin akümülyasyonunu tetikler (Stadtman, 1990). Buna rağmen ağır metal stresinde prolin birikiminin rolü net değildir. Çalışmada selenyum bir metal olmasa da (metaloidler arasında dikkate

alınır), selenyum uygulanan arpa bitkilerinde doza bağı olarak yapraklarda belirgin prolin birikimi olduğu bildirilmiştir. Prolin birikimi reaktif oksijen türlerinin üretiminin bir sonucunda tetiklenmiş olabilir. Prolinin reaktif oksidatif zararı azaltma mekanizmaları singlet oksijen ve hidroksil radikallerle kimyasal reaksiyon oluşumunu azaltmayı içermektedir (Alia ve Matysik, 2001). Şelatlama yeteneğinden dolayı prolin, metal iyonları ile bağlanarak stres koşullarındaki bitkilerin hayatlarını devam ettirebilmeleri için bir savunma mekanizması olabilir. Bu sebeple prolinin bitkileri ağır metal stresinden koruyabileceği önerilebilir (Farago ve Mullen, 1979). Bununla birlikte, prolin birikiminin çeşitli streslerin basit bir indikatörü olduğu ve bitkileri ağır metal toksisitesinden korumada görev almadığı da rapor edilmiştir (Lutts vd., 1996).

Çalışmamızdan elde edilen sonuçlara göre tarla denemesi örneklerinde herhangi bir selenyum toksisitesi görülmemiştir. Bu sebeple, bazı genotiplerde selenyum uygulaması ile görülen prolin birikiminin selenyum toksisitesi ile ilgisi olmadığı düşünülmektedir.

Tarla denemesi örneklerinde yapılan klorofil analizi sonuçlarına göre farklı selenyum uygulamalarının ne ekmeklik ne de makarnalık buğday genotiplerinin yaprak klorofil içeriği üzerine istatistiksel olarak herhangi bir etkisi bulunmamıştır (Çizelge 3.48). Saksı denemesi yaprak örneklerinde ise selenyum uygulamaları tarla denemesi örneklerine benzer şekilde makarnalık genotiplerin klorofil içeriğine etki etmezken, ekmeklik genotiplerden Gönen 98 ve Meta 2002’de yaprak Se1 uygulaması yaprakların klorofil içeriğini arttırmıştır.

Çizelge 3.47. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin prolin miktarı ($\mu\text{M g}^{-1}$ Y.A.) üzerine etkisi

		PROLİN MİKTARI ($\mu\text{M g}^{-1}$ Y.A.)						
	GENOTİPLER			Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
		F	p	Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	7.75	0.0061	71.03±5.42 a	76.22±9.51 a	76.01±8.31 a	74.52±7.65 a	72.91±7.27 a
	Gönen 98	7.06	0.0076	73.98±6.34 ab	68.63±4.94 ab	83.04±5.79 a	71.76±3.52 ab	81.59±7.53 a
	Meta 2002	6.85	0.0019	63.63±6.99 b	71.68±1.81 ab	75.61±7.41 a	79.72±6.64 a	65.46±6.44 b
MAKARNALIK	Ege 88	5.92	0.0087	73.09±8.35 a	75.02±2.69 a	77.53±5.03 a	79.51±2.83 a	72.56±3.81 a
	Şölen 2002	11.89	<0.0001	73.77±9.79 bc	84.59±4.96 b	88.78±7.09 b	101.10±8.20 a	66.94±2.46 c
	GAP	9.60	0.0056	88.70±6.91 b	85.52±6.45 b	105.99±9.30 a	89.61±5.63 b	101.08±7.51 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.48. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin klorofil içeriği (mg g⁻¹ Y.A.) üzerine etkisi

		KLOROFİL İÇERİĞİ (mg g ⁻¹ Y.A.)						
	GENOTİPLER	F	p	Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
				Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	4.39	0.029	4.11±0.27 a	3.74±0.55 a	4.14±0.19 a	3.71±0.41 a	3.26±0.35 a
	Gönen 98	4.01	0.001	4.10±0.34 a	3.73±0.33 a	4.22±0.61 a	3.70±0.28 a	3.25±0.38 ab
	Meta 2002	3.88	0.036	3.93±0.43 a	4.17±0.31 a	3.95±0.42 a	4.13±0.32 a	3.91±0.39 a
MAKARNALIK	Ege 88	6.74	0.0081	3.91±0.15 a	3.56±0.32 a	3.93±0.31 a	3.53±0.21 a	3.10±0.54 a
	Şölen 2002	3.44	0.0455	3.88±.36 a	3.53±0.48 a	3.91±0.16 a	3.51±0.25 a	3.08±0.26 ab
	GAP	5.44	0.0099	3.87±0.51 a	4.12±0.45 a	3.89±0.42 a	3.02±0.30 ab	3.07±0.24 ab

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

3.2.4. Çözünebilir protein içerikleri

Tarla koşullarında selenyum uygulamalarının yaprak protein içeriği üzerine etkisi araştırılmış ve selenyum uygulamalarının ekmeklik buğday genotiplerinden Basribey 95 ve Meta 2002 dışında protein içeriği üzerine etkili olmadığı bulunmuştur. Basribey 95 genotipinde her iki yaprak selenyum uygulaması, Meta 2002’de ise yaprak Se1 uygulaması kontrole oranla yaprakların protein içeriğini arttırmıştır (Çizelge 3.49).

Saksı denemesi örneklerinin protein içeriği üzerine ise genel olarak tohum Se1 uygulaması ve sadece makarnalık Şölen 2002 genotipinde yaprak Se1 uygulaması olumlu etki göstermiştir. Farklı selenyum uygulamalarının, ekmeklik ve makarnalık genotiplerinin protein içeriği üzerine olan etkisi saksı ve tarla denemesi örneklerinde farklılık göstermekle beraber, her iki denemede de bu etkinin olumlu olduğu görülmektedir. Bununla birlikte daha önce de belirtildiği gibi selenyumun bitkilerin protein içeriği üzerine olan etkisinin ve etki mekanizmalarının belirlenmesi için selenyumun katıldığı selenoamino asitlerin ve bu asitlerin hangi koşullarda proteinlere katıldığının belirlenmesine yönelik çalışmaların yapılması gereklidir.

Çizelge 3.49. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin çözünabilir protein içeriği (mg g⁻¹ Y.A.) üzerine etkisi

ÇÖZÜNEBİLİR PROTEİN İÇERİĞİ (mg g ⁻¹ Y.A.)								
GENOTİPLER	F	p	Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması		
			Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂	
EKMEKLİK	Basribey 95	6.15	<0.001	5.99±0.73	6.96±0.49	6.13±0.67	7.34±0.87	7.48±0.79
				b	ab	ab	a	a
	Gönen 98	5.61	0.0025	7.77±0.94	7.21±0.99	8.73±1.21	7.54±1.17	8.57±1.08
				ab	ab	a	ab	a
MAKARNALIK	Meta 2002	5.44	0.0041	6.69±0.87	7.53±0.93	6.08±1.07	8.38±1.24	6.69±0.91
				b	ab	b	a	b
	Ege 88	9.44	0.0034	7.68±0.98	7.88±1.04	8.15±1.16	8.35±0.95	7.62±0.87
				a	a	a	a	a
MAKARNALIK	Şölen 2002	4.82	0.0025	7.75±1.12	8.89±1.21	9.33±0.87	10.63±1.31	6.47±0.89
				ab	ab	a	a	bc
	GAP	7.63	<0.0001	9.32±1.23	8.99±1.06	11.14±0.63	9.42±1.01	10.44±1.09
				ab	ab	a	ab	a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

3.2.5. Antioksidatif enzim aktiviteleri

Tarla koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinde SOD aktivitesi belirlenmiş ve şekil 3.13’de verilmiştir. Buna göre tüm makarnalık genotiplerin ve ekmeklik Gönen 98 genotipinin SOD aktivitesi selenyum uygulamaları ile değişiklik göstermemiştir. Ekmeklik Basribey 95 genotipinde 20 ppm’lik tohum ve yaprak selenyum uygulamaları, Meta 2002’de ise 20 ppm tohum ve 10 ppm yaprak uygulaması kontrole oranla SOD aktivitesini istatistiksel olarak arttırmıştır. Saksı denemesi yaprak örneklerinde ise SOD aktivitesi üzerine selenyum uygulamalarının etkisi değerlendirildiğinde; Gönen 98 dışındaki tüm genotiplerde tohum Se1 uygulaması bitkilerin SOD aktivitesi üzerinde olumlu etki gösterirken, diğer uygulamalar etkisiz bulunmuştur.

POX aktivitesi üzerine selenyum uygulamalarının ekmeklik Meta 2002 ve makarnalık GAP genotipleri dışındaki genotiplerde etkisi bulunmamıştır. Meta 2002 ve GAP genotiplerinde tohum ve yaprak Se2 uygulamaları POX aktivitesini kontrole oranla istatistiksel olarak arttırmıştır (şekil 3.14). Saksı denemesi yaprak örneklerinde ise selenyum uygulamaları genel olarak genotiplerin POX aktivitesi üzerine etki etmemiştir. Bununla birlikte ekmeklik genotiplerden tohum Se1 uygulaması Meta 2002 ve GAP’ta kontrole oranla POX aktivitesini arttırmıştır.

Selenyum uygulamaları ekmeklik Gönen 98 ve makarnalık Ege 88 genotipleri dışındaki genotiplerde CAT aktivitesini etkilemişlerdir. Basribey 95 genotipinde tohum ve yaprak Se2 uygulamaları, Meta 2002’de yaprak Se1 uygulaması, şölen 2002’de tohum Se2 ve yaprak Se1 uygulamaları, GAP’ta ise tohum Se2 uygulaması genotiplerin CAT enzim aktivitelerini arttırmıştır (şekil 3.15). Saksı denemesi sonuçlarına göre tüm makarnalık genotiplerde ve ekmeklik genotiplerden Meta 2002’de tohum Se1 uygulamasının CAT enzim aktivitesini arttırdığı görülmüştür.

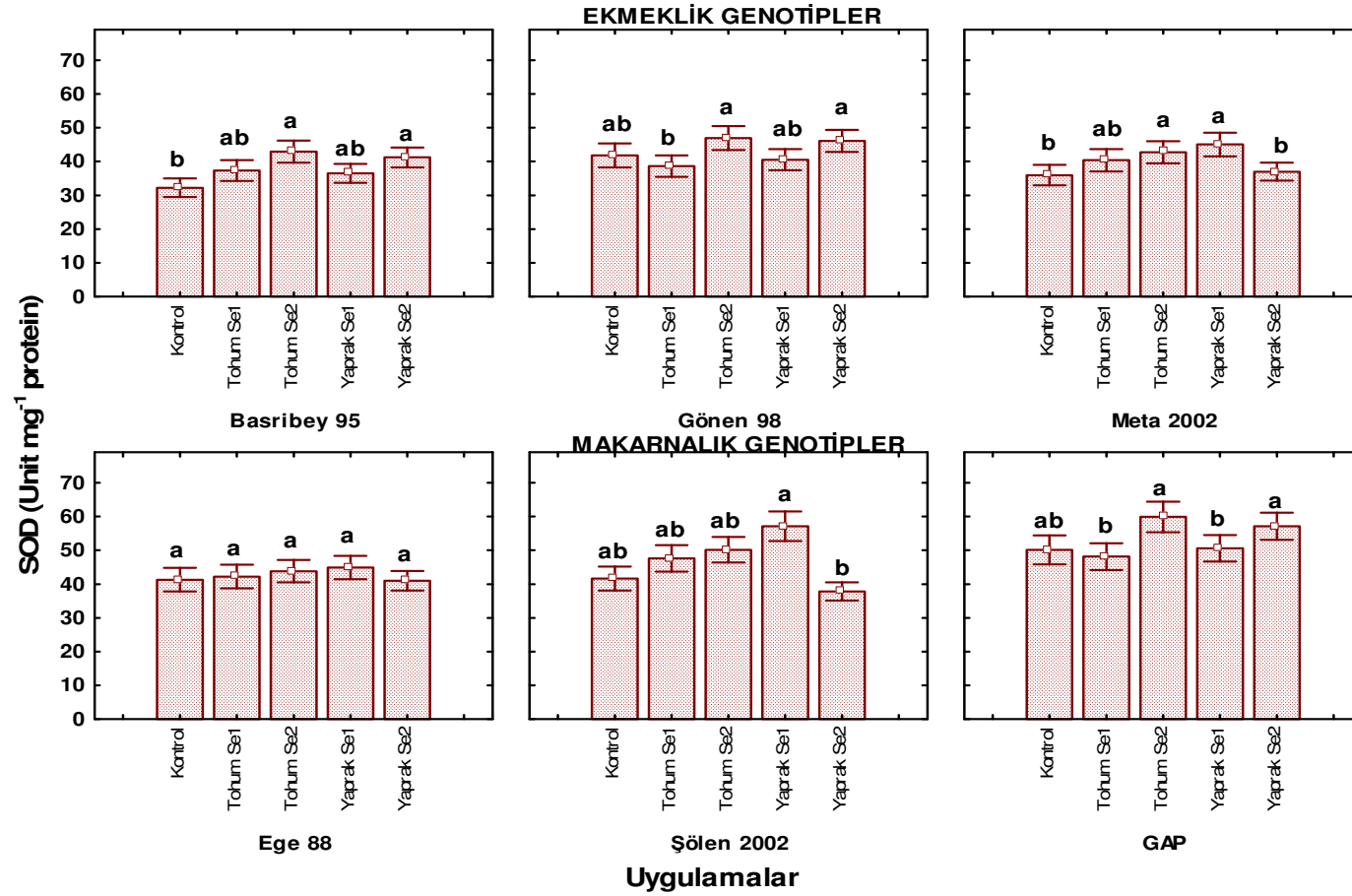
Tarla koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin APX enzimi aktivitesi üzerine selenyum uygulamalarının istatistiksel olarak bir etkisi olmamıştır (şekil 3.16). APX enzim aktivitesi açısından tarla denemesi sonuçları ile saksı denemesi sonuçları benzerlik göstermektedir.

Selenyum uygulamaları tüm genotiplerde GSH-Px aktivitesi üzerine etkili olmuştur. Ekmeklik Basribey 95 genotipinde yaprak Se2 uygulaması dışındaki tüm

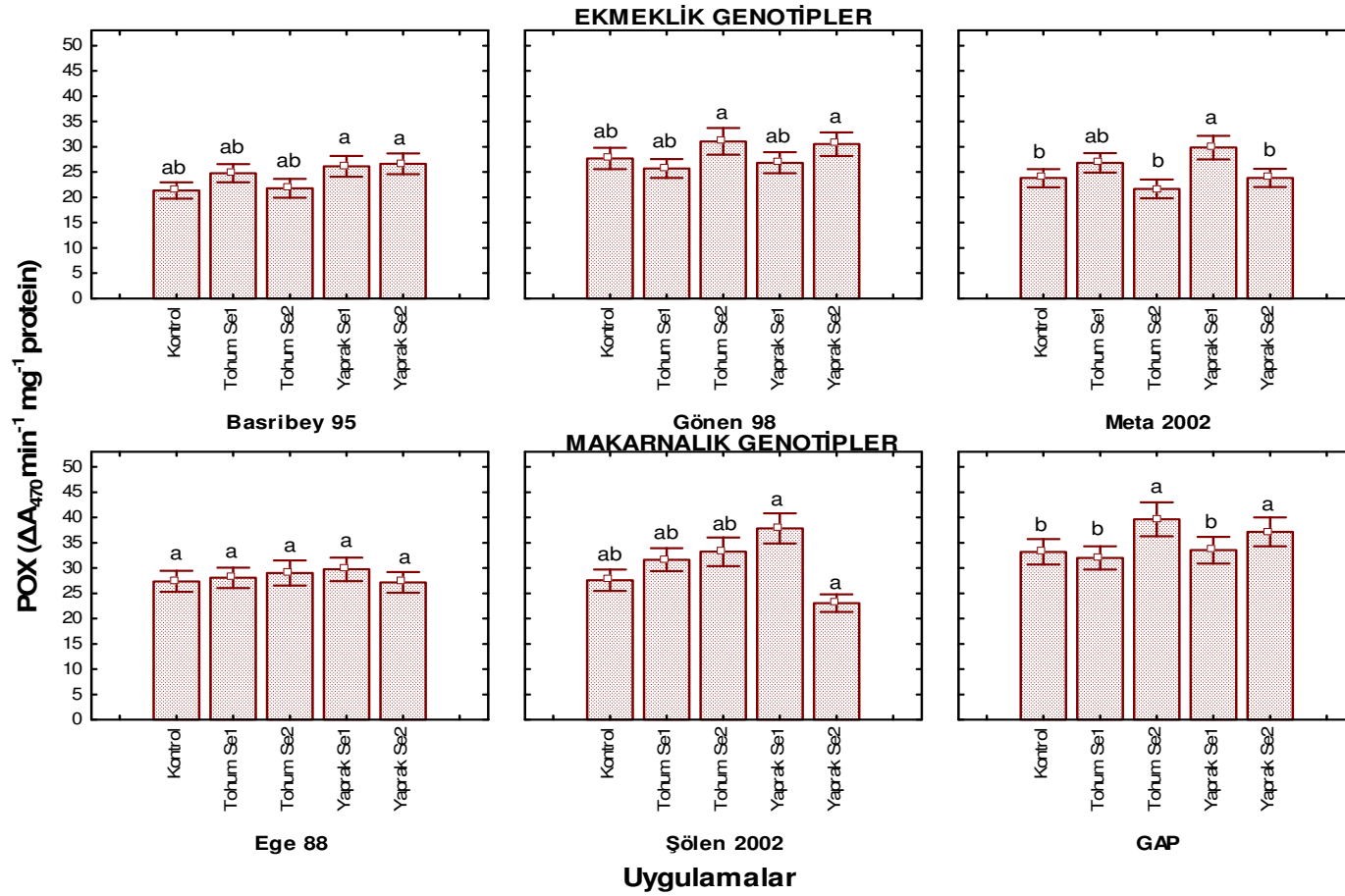
uygulamalar, Gönen 98’de tohum Se1 uygulaması, Meta 2002’de tohum Se1 ve Se2 uygulamaları GSH-Px aktivitesini kontrole oranla arttırmış ve bu artış Meta 2002 genotipi tohum Se1 uygulamasında daha belirgin olmuştur. Makarnalık Ege 88 genotipinde yaprak Se2 uygulaması dışındaki tüm uygulamalar, GAP ve Şölen 2002’de tohum Se1 uygulaması GSH-Px aktivitesi üzerine olumlu etkide bulunan uygulamalardır. Bununla birlikte Ege 88 genotipinde yaprak Se1 uygulaması en etkin uygulama olmuştur (Şekil 3.17).

GSH-Px aktivitesi açısından tarla ve saksı denemesi sonuçları genelde yakın olmakla birlikte, saksı denemesi sonuçlarına göre Basribey 95’te tohum Se1 ve yaprak Se2, Gönen 98’te tohum Se1, yaprak Se2 ve toprak Se1 Meta 2002’de yalnızca yaprak Se, Ege 88’te toprak Se2, Şölen 2002’de tohum Se1 ve yaprak Se1, GAP’ta ise tohum Se2 ve Yaprak Se2 uygulamaları GSH-Px enzim aktivitesini kontrole göre istatistiksel olarak arttırmıştır.

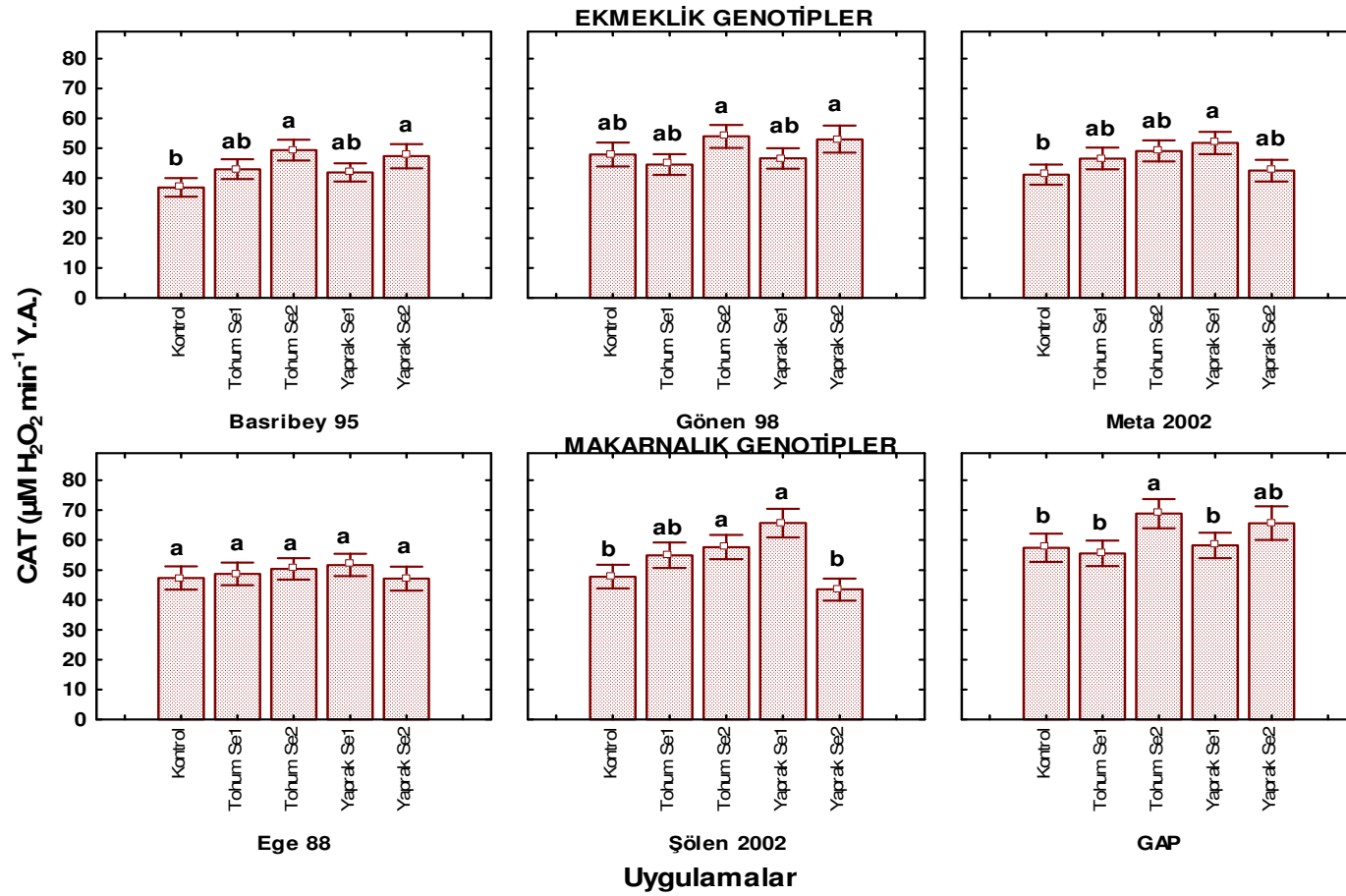
Çalışmamızda ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinde belirlenen antioksidatif enzim aktiviteleri üzerine selenyumun etkisi genel olarak olumlu yönde olmakla birlikte, genotipler, selenyum uygulamaları ve uygulamaları açısından farklılık göstermektedir. Özellikle tarla denemesi örneklerinde selenyum uygulamalarının olumlu etkileri saksı denemesi örneklerine oranla daha fazla uygulamada görülmüştür. Bunun nedeni tarla denemesinde etkili olan toprak, su ve iklim gibi çevresel faktörlerin bitkilerde meydana getirdiği reaktif oksijen türleri üretiminin saksı denemesine oranla daha fazla olmasına bağlanabilir. Fakat buna rağmen, çalışmamızdan elde edilen sonuçlara göre selenyumun genel olarak bitkilerde antioksidatif enzim aktiviteleri üzerine olumlu etkisi olduğu görülmektedir.



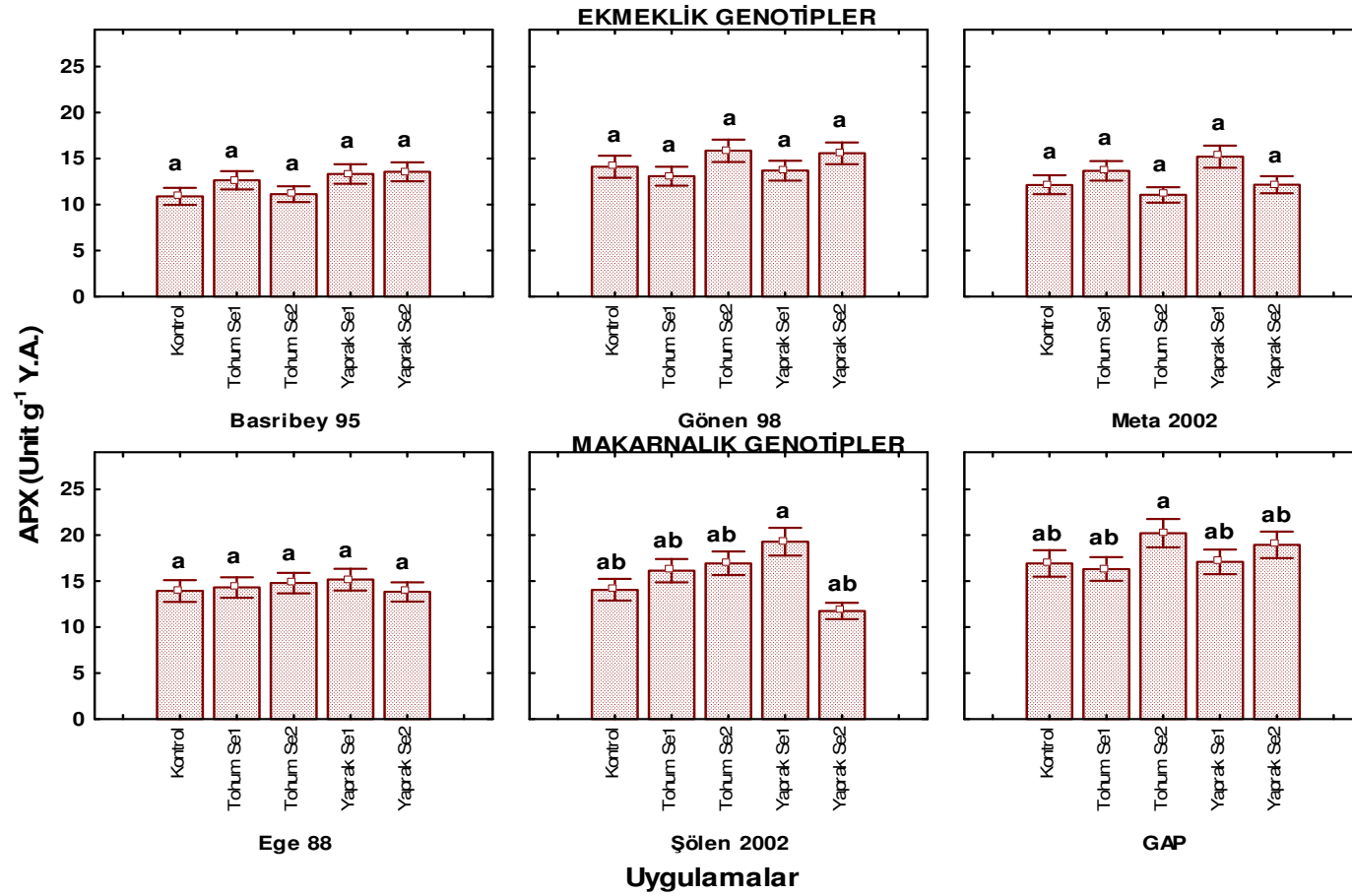
Şekil 3.13. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin SOD aktivitesi (Unit mg⁻¹ protein) üzerine etkisi



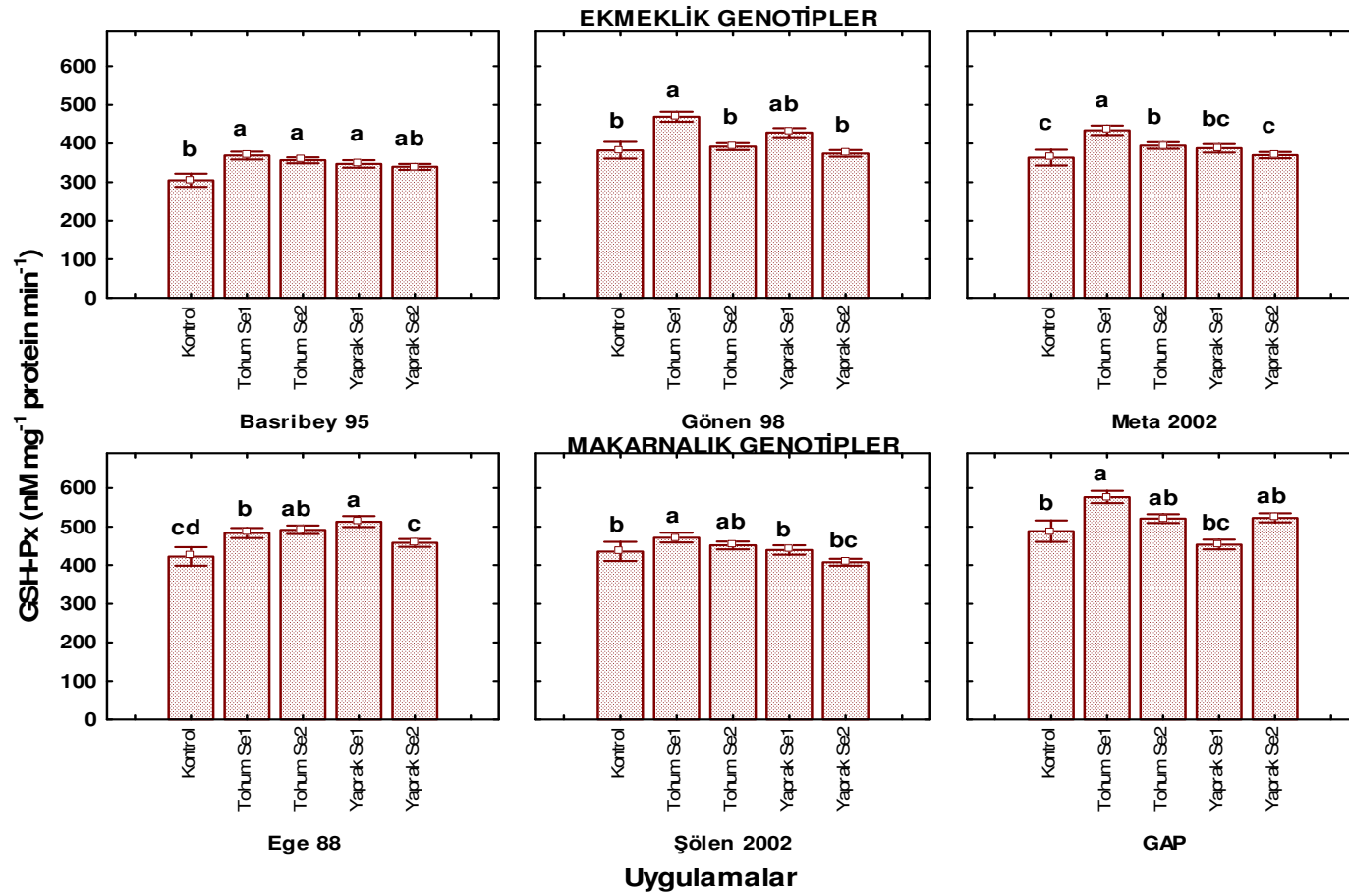
Şekil 3.14. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin POX aktivitesi ($\Delta A_{470} \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ protein}$) üzerine etkisi



Şekil 3.15. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeçlik ve makarnalık buğday genotiplerinin CAT aktivitesi ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ Y.A.}$) üzerine etkisi



Şekil 3.16. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin APX aktivitesi (Unit g⁻¹ Y.A.) üzerine etkisi



Şekil 3.17. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin GSH-Px (nM mg⁻¹ protein min⁻¹) üzerine etkisi

3.2.6. Antioksidatif kapasitesi (% DPPH radikal inhibisyonu)

Selenyum uygulamaları ekmeklik genotiplerden Basribey 95 ve makarnalık genotiplerden Şölen 2002 dışındaki tüm genotiplerde bitkilerin antioksidatif kapasiteleri üzerine oldukça etkili olmuştur. Gönen 98 ve Meta 2002’de tüm selenyum uygulamaları antioksidatif kapasiteyi kontrole göre arttırırken, Ege 88’de tohum uygulamaları ve yaprak Se1 uygulaması, GAP’ta ise tüm uygulamalar antioksidatif kapasiteyi arttırmıştır. Fakat GAP’ta tohum Se1 dışındaki uygulamalardaki artışlar istatistiksel olarak daha belirgin bulunmuştur (Çizelge 3.50). Tarla denemesinden elde edilen örneklerde selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin antioksidatif kapasiteleri üzerine etkisi genel olarak saksı denemesinden elde edilen örneklerinkine benzerdir. Tek farklılık saksı denemesinde ekmeklik Basribey genotipinde de selenyum uygulamaları ile antioksidatif kapasitenin artmış olmasıdır.

Selenyumun antioksidatif etkisi *Lolium perenne* (Hartikainen vd., 1997, 2000), marul (Pennanen vd., 2002; Xue vd., 2001) ve soya fasulyesi (Djanaguiraman vd., 2005) gibi selenyum uygulanan bitkilerde selenyum bağımlı GSH-Px enzim aktivitesini arttırması ve lipid peroksidasyonunu azaltması ile ilişkilidir. Cartes vd. (2005) *Lolium perenne* bitkisinde selenyumun benzer etkilerini bulmuşlardır. Ayrıca köklerde selenyumun yüksek konsantrasyonlarda (20 mg kg^{-1} kuru ağırlığın üzerinde) pro-oksidan olarak lipid peroksidasyonunu arttırdığını da bildirmişlerdir.

Rı’os vd. (2008) marul bitkisinde yaptıkları çalışmada, selenat formundaki selenyumun yapraklardaki antioksidan kapasiteyi (dolayısıyla bitkisel ürünün besinsel değerini) arttırdığını bulmuşlardır. Buna göre çalışmamızda selenyum uygulamaları ile genel olarak antioksidatif kapasite arttığından, ekmeklik Basribey 95 ve makarnalık Şölen 2002 dışındaki buğday genotipleri özellikle insanlar için selenyum açısından besinsel değeri önemli olan genotiplerdir.

Çizelge 3.50. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin antioksidatif kapasitesi (% DPPH radikal inhibisyonu) üzerine etkisi

GENOTİPLER		ANTİOKSİDATİF KAPASİTE (% DPPH radikal inhibisyonu)						
		F		Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
				Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	5.69	0.0056	24.54±1.23 ab	27.60±1.43 ab	30.55±2.14 a	34.37±2.23 a	26.33±1.91 ab
	Gönen 98	5.18	0.0078	28.62±1.38 bc	52.74±2.15 a	59.27±2.32 a	57.77±2.76 a	56.50±2.59 a
	Meta 2002	5.01	0.0045	32.09±2.09 b	53.20±2.36 a	54.59±2.41 a	54.10±2.33 a	53.56±2.31 a
	Ege 88	8.63	0.0021	21.38±1.67 c	45.77±2.56 a	43.71±2.64 a	43.33±2.47 a	26.54±1.48 bc
	Şölen 2002	4.45	0.0089	21.89±1.45 ab	25.78±1.25 a	26.95±1.44 a	27.46±1.78 a	20.25±1.27 ab
	GAP	7.11	0.0015	25.26±2.11 c	49.79±2.34 b	55.96±2.43 a	59.41±2.55 a	52.33±2.98 a

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

3.2.7. Hidrojen peroksit (H₂O₂)ve lipid peroksidasyonu (MDA) içerikleri

Tarla koşullarında genel olarak selenyum uygulamaları tüm genotiplerde H₂O₂ içeriğini istatistiksel olarak azaltmıştır. Ekmeklik genotiplerden Basribey 95’de tohum Se2 ve yaprak Se1 uygulamaları, Gönen 98 ve Meta 2002’de tüm selenyum uygulamaları kontrole göre H₂O₂ içeriğinde azalmaya neden olmuştur. Makarnalık genotiplerden Ege 88 ve GAP’ta tüm uygulamalar, Şölen 2002’de ise yalnızca tohum Se2 uygulaması istatistiksel olarak H₂O₂ içeriğini azaltmıştır (Çizelge 3.51).

Tarla denemesi ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin H₂O₂ içeriği üzerine selenyum uygulamalarının etkisi saksı denemesi örneklerine benzer olmakla birlikte, bir takım farklılıklar bulunmaktadır. Saksı denemesi örneklerinde selenyumun etkisi değerlendirilecek olursa selenyum uygulamalarından bazıları ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin H₂O₂ içeriğini kontrole oranla azaltmıştır. Ekmeklik Basribey 95’de tohum, yaprak Se1 uygulamaları, Gönen 98 ve Meta 2002’de tüm uygulamalar, makarnalık genotiplerden Ege 88’de yalnızca tohum Se1, GAP’ta ise tüm uygulamalar H₂O₂ içeriğinin azalmasında istatistiksel olarak etkin olan uygulamalardır. Şölen 2002’de ise selenyum uygulamalarının H₂O₂ içeriği üzerine etkisi görülmemiştir.

Tarla ve saksı denemesi örneklerinin H₂O₂ içeriği üzerine etkisi genotipler, selenyum uygulamaları ve uygulama konsantrasyonları açısından farklılık gösterse dahi selenyumun ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin H₂O₂ içeriğini azaltmada etkin olduğu görülmektedir. Bununla birlikte bu açıdan en etkin genotipler ekmeklik Gönen 98 ve Meta 2002, makarnalık Ege 88 ve GAP genotipleridir.

Çizelge 3.51. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriği (µM g⁻¹ Y.A.) üzerine etkisi

GENOTİPLER		H ₂ O ₂ İÇERİĞİ (µM g ⁻¹ Y.A.)						
		F	p	Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
				Se ₀	Se ₁	Se ₂	Se ₁	Se ₂
EKMEKLİK	Basribey 95	7.48	0.001	52.77±2.29 a	43.09±3.13 ab	38.44±3.15 b	40.13±2.96 b	44.35±3.48 ab
	Gönen 98	5.90	0.031	59.50±3.21 a	41.40±2.31 b	36.32±2.88 c	39.28±3.05 bc	41.82±2.76 b
	Meta 2002	8.12	0.001	50.34±2.77 a	35.48±2.98 bc	31.26±2.47 c	35.90±2.43 bc	38.02±2.27 bc
	Ege 88	6.33	0.038	53.74±2.76 a	41.96±2.62 bc	37.82±2.76 c	38.59±3.01 bc	39.12±2.72 bc
	Şölen 2002	4.11	0.043	47.21±3.25 a	38.44±3.15 ab	32.52±2.82 b	36.32±2.88 ab	45.21±2.39 a
	GAP	6.25	0.036	55.66±3.62 a	42.25±2.23 b	31.22±3.26 b	38.44±3.13 bc	42.67±2.68 b

* LSD_{0.05} testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.52. Farklı selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin lipid peroksidasyonu (nM g^{-1} Y.A.) üzerine etkisi

		LİPİD PEROKSİDASYONU (nM g^{-1} Y.A.)						
	GENOTİPLER			Kontrol	Tohum Uygulaması		Yaprak Uygulaması	
		F	p	Se_0	Se_1	Se_2	Se_1	Se_2
EKMEKLİK	Basribey 95	7.48	0.001	0.98 ± 0.18 ab	1.09 ± 0.37 ab	0.67 ± 0.27 b	0.89 ± 0.12 ab	1.40 ± 0.27 a
	Gönen 98	5.90	0.031	1.17 ± 0.42 a	0.95 ± 0.18 ab	1.12 ± 0.24 a	0.94 ± 0.16 ab	1.27 ± 0.19 a
	Meta 2002	8.12	0.001	1.24 ± 0.29 ab	1.33 ± 0.15 ab	0.96 ± 0.26 b	1.51 ± 0.21 a	1.37 ± 0.14 ab
	Ege 88	6.33	0.038	1.18 ± 0.19 ab	0.99 ± 0.26 ab	1.37 ± 0.23 a	1.44 ± 0.24 a	1.47 ± 0.15 a
	Şölen 2002	4.11	0.043	0.95 ± 0.35 a	1.06 ± 0.06 a	0.83 ± 0.17 a	0.92 ± 0.18 a	0.92 ± 0.26 a
	GAP	6.25	0.036	1.06 ± 0.09 a	1.14 ± 0.19 a	0.83 ± 0.13 ab	0.93 ± 0.29 a	0.91 ± 0.37 a
MAKARNALIK	Ege 88	6.33	0.038	1.18 ± 0.19 ab	0.99 ± 0.26 ab	1.37 ± 0.23 a	1.44 ± 0.24 a	1.47 ± 0.15 a
	Şölen 2002	4.11	0.043	0.95 ± 0.35 a	1.06 ± 0.06 a	0.83 ± 0.17 a	0.92 ± 0.18 a	0.92 ± 0.26 a
	GAP	6.25	0.036	1.06 ± 0.09 a	1.14 ± 0.19 a	0.83 ± 0.13 ab	0.93 ± 0.29 a	0.91 ± 0.37 a

* $\text{LSD}_{0.05}$ testine göre aynı satırdaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Tarla koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin lipid peroksiyon seviyeleri çizelge 3.51’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde yaprak ve tohum selenyum uygulamalarının genotiplerin lipid peroksidasyon seviyelerini kontrolle karşılaştırıldığında istatistiksel olarak etkilemediği görülmektedir (Çizelge 3.52). Bu sonuçlar saksı denemesinden elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

Xue vd. (1993)’nin in vitro denemesinde Se bileşiklerinin H_2O_2 ’i direk olarak indirgemedi başarısız olduğu bulunmuştur. Fakat bu bileşiklerin serbest radikal sebebiyle lipid peroksidasyonunu ortadan kaldıracı olduğu da belirtilmiştir. Bu bulgulara uygun olarak diğer araştırmacılar da stres uygulanmayan kolza bitkisi (Filek vd., 2008) ve kırmızı deniz alginde (Kumar vd., 2012) H_2O_2 seviyelerinin azaltılmasında düşük Se dozlarının sınırlı etkilerinin olduğunu bulmuşlardır. İlginç bir şekilde, aynı çalışmalarda stres koşullarında H_2O_2 seviyeleri, özellikle H_2O_2 sınırlandırıcı (GSH-Px gibi) antioksidanların muhtemel reaktivasyonuna bağlı olarak, uygun Se dozları tarafından büyük oranda azaltılmıştır.

Sonuç olarak tarla denemesinde selenyum uygulaması genel olarak genotipler, uygulama konsantrasyonları ve uygulama yöntemine göre farklılıklar göstermekle birlikte ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin bazı antioksidatif enzim aktivitelerini, antioksidatif kapasitelerini arttırmalarıyla bitkilerin insan besini açısından daha elverişli olmasını sağlamıştır. Her ne kadar ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane selenyum içerikleri selenyum uygulamaları ile besinsel anlamda istenilen seviyelere ulaşmamış olsa da selenyumun buğday bitkilerinin antioksidatif kapasitelerini arttırması, aynı zamanda besinsel değerlerinin de arttığı anlamına gelmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması; farklı selenyum uygulamalarının (gübreleme yöntemlerinin) Ege Bölgesi'nde yaygın olarak yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinin selenyum alımı üzerine etkisi, çeşitlerin selenyum alımındaki farklılıklarının belirlenmesi ve kuraklık stresi koşullarında buğday bitkisi gelişimi ve antioksidatif savunma sistemi üzerine selenyumun etkisinin araştırılması üzerine kurulmuştur.

Belirtilen amaçlar doğrultusunda ilk olarak bir saksı denemesi kurulmuştur. denemede saksılara selenyum topraktan; Se_0 : (Kontrol); Se_1 : (0.2 mg Se L⁻¹); Se_2 : (1 mg Se L⁻¹); Se_3 : (5 mg Se L⁻¹) dozları şeklinde Na₂SeO₄⁻² formunda sıvı olarak, yapraktan Se çözeltisi şeklinde çiçeklenme başlangıcında ve bundan 10 gün sonra olmak üzere 2 kere; Se_0 : (Kontrol); Se_1 : (5 mg Se L⁻¹); Se_2 : (10 mg Se L⁻¹), tohumla Se çözeltisini 12 saat boyunca emdirme şeklinde; Se_0 : (Kontrol); Se_1 : (5 mg Se L⁻¹); Se_2 : (10 mg Se L⁻¹) konsantrasyonlarında uygulanmıştır. Buğday genotiplerinin Se uygulamasına tepkisini ve Se'un kuraklık stresi koşullarında bitki gelişimi ve antioksidatif savunma sistemi üzerine olan etkisini tespit etmek amacıyla kuraklık stresi oluşturulmuştur.

Saksı denemesinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda tüm ekmeklik ve makarnalık genotipler ve iki uygun selenyum uygulama yöntemi (tohum-yaprak) seçilerek selenyumun ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin tane selenyum içeriğinin tespiti ve uygulamalar açısından farkı, bitki gelişimi ve antioksidatif savunma sistemi üzerine etkisini araştırmak için tarla denemesi kurulmuştur.

Tüm bu çalışmaların amaçlarından biri farklı selenyum uygulama yöntemlerinin (topraktan, tohumla ve yapraktan) ile ekmeklik (*Triticum aestivum* L.) ve makarnalık (*Triticum durum* Desf.) buğday çeşitlerinin selenyum alımını artırma açısından uygun yöntemi tespit etmektir. Bu amaçla kurulan saksı denemesinden elde edilen gövde selenyum içeriği sonuçlarına göre; toprak selenyum uygulamaları ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin selenyum içeriğini en fazla arttıran uygulamalar olmasına rağmen, uygulama sıklığından dolayı tüm genotiplerde selenyum toksisite

toleranslarını düşürmesi ve pratikte uygulama güçlüğünden dolayı tohum ve yaprak selenyum uygulama yöntemleri selenyum alımını arttırmada uygun yöntemlerdir. Bununla birlikte tarla denemesinden elde edilen sonuçlara göre buğday genotiplerinin selenyum içeriğini arttırmada yaprak selenyum uygulaması, tohum selenyum uygulamasından daha etkili olmuştur.

Tez çalışmasının bir diğer amacı; genotipler arasında Se alımları açısından ayırım olup olmadığını ve genotiplerin selenyum toleranslarını belirlemektir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre ekmeklik buğday genotiplerinden Gönen 98 ve Meta 2002, makarnalık buğday genotiplerinden ise Ege 88 ve GAP hem selenyum alımında hem de taneye iletiminde oldukça etkin iki genotiptir. Bununla birlikte yukarıda bahsedilen ekmeklik buğday genotipleri selenyum alımları ve taneye iletimleri açısından makarnalık buğday genotiplerinden daha etkin ve uygun genotiplerdir. Makarnalık buğday genotipi kullanılacaksa, selenyum alımı ve içeriğinin artırılması açısından Ege 88'in tercih edilmesi daha uygundur.

Bununla birlikte selenyuma gösterdikleri tepkiler bakımından hem ekmeklik, hem de makarnalık buğday genotipleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur. Ancak bu farklılıkların, buğday tanesindeki selenyum konsantrasyonunu artırmak amacıyla yapılacak ıslah programlarında söz konusu buğday genotiplerini kullanmak için yetersiz olduğu görülmüştür. Ancak buğday genotiplerinin tane selenyum içerikleri selenyum uygulamaları ile besinsel anlamda istenilen seviyelere ulaşmamış olsa da selenyumun buğday bitkilerinin antioksidatif kapasitelerini arttırması, aynı zamanda insanlar için besinsel değerlerinin de arttığı anlamına gelmektedir.

Çalışmamızdan elde edilen sonuçlarla selenyum toksisite toleransı değerlendirildiğinde yine ekmeklik buğday genotiplerinin makarnalık buğday genotiplerine oranla selenyuma daha toleranslı olduğu görülmektedir. Ekmeklik buğday genotiplerinden Gönen 98, makarnalık buğday genotiplerinden ise Ege 88 selenyum toksisite toleransı en yüksek genotipler olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla selenyum içeriğini arttırmak için en uygun genotiplerin ekmeklik genotiplerden Gönen 98 ve makarnalık genotiplerden Ege 88 olarak seçilmesi önerilebilir. Bununla birlikte kuraklık stresi koşullarında selenyum toksisite toleransı en yüksek ekmeklik buğday genotipi Meta 2002, makarnalık buğday genotipi ise GAP olmuştur. Bu açıdan çalışmamızdan elde edilen sonuçlara göre, kurak bölgelerde selenyum alımı

ve toleransı açısından ekmeklik Meta 2002 ve makarnalık GAP genotiplerinin kullanılması önerilebilir.

Selenyum uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin protein içeriği üzerine etkisi genel olarak düşük konsantrasyonlarda olumlu olurken, bitki selenyum içeriğinin en yüksek olduğu uygulamalarda olumsuz yönde gerçekleşmiştir. Ayrıca saksı denemesi örnekleri protein sonuçları ve tarla denemesi örnekleri protein sonuçları farklılık göstermektedir.

Selenyum ve bitki besin elementleri içerikleri arasındaki etkileşim hakkında yapılan çalışmalar kısıtlıdır. Bitkiler açısından selenyumun önemi net olarak bilinmemektedir. Bu noktada selenyumun bitkiler için gerekli bir besin elementi olup olmadığı hala tartışma konusudur. Çalışmamızda selenyumun diğer bitki besin elementleri üzerine etkisini değerlendirmek amacıyla gövde ve tanede makro besin elementlerinde K, Ca, Mg ve Na, mikro besin elementlerinden Fe, Cu, Mn ve Zn içerikleri belirlenmiştir. Çalışmamızda belirlenen makro ve mikro besin elementleri içerikleri ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin gövde ve taneleri, genotipler ve selenyum uygulamalarının etkileri açısından farklılık göstermektedir. Tüm genotiplerin makro ve mikro besin element içerikleri ve bu içeriklerinde selenyum uygulamalarıyla gerçekleşen artış ya da azalışlar gövdede daha fazladır ve buğday genotiplerinde bazı makro ve mikro besin elementleri içeriğinin artması için selenyum uygulaması etkili olabilir.

Tez çalışmasının son amacı selenyumun kuraklık stresi koşulları altında bitki gelişimi ve savunma sistemi üzerine etkisini araştırmak olarak belirlenmiştir. Bu amaçla kurulan saksı denemesinden elde edilen sonuçlara göre selenyum kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinin bazılarında antioksidatif enzim kapasitelerini ve antioksidatif kapasitelerini arttırarak, bitki hücreleri açısından zararlı lipid peroksidasyon ve H_2O_2 seviyelerini azaltarak genotiplerin stres koşullarına adaptasyonunda rol alabileceği görülmüştür. Bu sonuçlara göre; selenyum uygulamaları, uygulama konsantrasyonlarına bağlı olarak ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerini, genotiplere göre değişmekle birlikte kuraklık stresinin zararlı etkilerine karşı koruma özelliğine sahiptir ve selenyumun bitkileri kuraklık stresine karşı korumada kullanılabileceği önerilebilir.

Sonuç olarak tez çalışmasından elde edilen sonuçlara göre ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinde en uygun uygulama yöntemleri tohum ve yaprak uygulamaları olup yaprak uygulamalarının tohum uygulamasına nazaran biraz daha etkin olduğu görülmektedir. Normal koşullarda, selenyum alımı, taneye taşınımı ve selenyum toksisite toleransı açısından en uygun genotipler ekmeklik Gönen 98 ve makarnalık Ege 88, kuraklık stresi koşullarında ise ekmeklik Meta 2002 ve makarnalık GAP genotipidir. Yine de selenyum içeriğinin artırılması çalışmalarında ekmeklik buğday genotiplerinin kullanılması daha uygudur.

Son olarak kuraklık stresi koşullarında selenyumun etkisi değerlendirildiğinde genel olarak selenyum uygulamalarının stres koşullarına bitkinin toleransını arttırmada etkin olabileceği ve bitki gelişimine katkıda bulunabileceği görülmektedir. Kuraklığın dünya genelinde önemli bir çevresel stres faktörü olduğu ve bitki gelişimi ve verimine zarar vererek tarım yapılan bölgelerde önemli kayıplara yol açtığı düşünülecek olursa, selenyum ve kuraklık stresine karşı koruyucu rolünün önemi anlaşılabılır. Bu sebeple çalışmamızdan elde edilen sonuçlara göre selenyum uygulamalarının kuraklık stresi koşullarında, bitki savunma mekanizmalarını tetiklemesi ve bitkilerin strese adaptasyonuna yardımcı olması açısından kullanılabileceği önerilebilir.

Tüm bunlara rağmen özellikle selenyumun normal ve kuraklık stresi koşullarında bitki gelişimi üzerine etkisinin daha net anlaşılabilmesi için hem buğday genotiplerinde hem de kültürü yapılan ve özellikle kuraklık stresine hassas bitki türlerinde selenyum uygulamalarının etkisini araştıran yeni çalışmaların yapılması gerekmektedir. Şu ana kadar yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar selenyumun bitki gelişimi ve bitkilerde çevresel stres faktörlerine karşı koruyucu rolü hakkında tartışmalı bilgiler içermektedir. Bu sebeple bu ve benzeri çalışmaların yapılması elde edilen sonuçların daha net değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Aebi, H.E., Bergmeyer, J. ve Grabl, M. (1983) Catalase, *In: Methods of enzymatic analysis*, Eds Verlag Chemie, Weinheim, 3: 273-286.
- Ain-Lhout, F., Zunzunegui, M., Diaz Barradas, M.C., Tirado, R., Clavijo, A. ve Carcia Novo, F. (2001) Comparison of proline accumulation in two Mediterranean shrubs subjected to natural and experimental water deficit, *Plant Soil*, 230:175–183.
- Akbulut, M. ve Cakir, S. (2010) The effects of Se phytotoxicity on the antioxidant systems of leaf tissues in barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings, *Plant physiol and biochem*, 48:160–6.
- Alia, M.P. ve Matysik, J. (2001) Effect of proline on the production of singlet oxygen, *Amino Acids*, 21:195-200.
- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapellis, S. ve Karanov, E. (2001) The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat, *Plant Cell Environ*, 24:1337–1344.
- Anonymous, *Ulusal gıda ve beslenme stratejisi çalışma grubu raporu*, Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, ANKARA, 2001.
- Anonymous, *Türkiye'ye özgü beslenme rehberi*, T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, ANKARA, 2004.
- Arthur, J. ve Beckett, G. (1994) Role of selenium in type 1 iodothyronine 5'-deiodinase and in thyroid and iodine metabolism, 93-115, Burk, R.F., *Selenium in Biology and Medicine*.
- Asada, K. (1992) Ascorbate peroxidase-hydrogen peroxide scavenging enzyme in plants, *Physiol Plant*, 85: 235-241.
- Asada, K. (2006) Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions, *Plant Physiol*, 141 (2):391–396.

- Barrow, N. ve Whelan, B. (1989) Testing a mechanistic model. VII. The effects of pH and of electrolyte on the reaction of selenite and selenate with a soil, *Eur Jou. of Soil Sc.*, 40: 17-28.
- Bates, L.S., Waldren, R.P. ve Teare, I.D. (1973) Rapid Determination of Free Proline for water Stress Studies, *Plant Soil*, 39:205–207.
- Beale, A.M., Fasulo, D.A. ve Craigmill, A.L. (1990) Effect of Oral and Parenteral Selenium Supplements on Residues in Meat, Milk And Eggs, *Rev of Enviro Con on Toxi.*, 15: 126-150.
- Beauchamp, C. ve Fridovich, I. (1971) Superoxide dismutase improved assays and an assay applicable to acrylamide gels, *Anal Biochem*, 444:276–287.
- Berry, M.J., Banu, L., Harney, J.W. ve Larsen. P.R. (1993) Functional characterization of the eukaryotic SECIS elements which direct selenocysteine insertion at UGA codons. *Embo J*, 12(8):3315-3322.
- Berry, M.J., Harney, J.W., Ohama, T. ve Hatfield, D.L, (1994) Selenocysteine insertion or termination: factors affecting UGA codon fate and complementary anticodon: codon mutations, *Nucleic Acids Res*, 22(18): 3753-3759.
- Bianchi, A., Belanzoni, R. ve Fleisatti, O. (1984) Determination of Selenium in Water Spectrophotometric Method With O-Phenylenediamine, *Acqua Dria*, 101:609.
- Biehler, K. ve Fock, H. (1996) Evidence for the Contribution of the Mehler-Peroxidase Reaction in Dissipating Excess Electrons in Drought-Stressed Wheat, *Plant Physiol*, 112(1):265.
- Bingham, E., Cahrssen, B. ve Powell, C.H. (2001) Toxicological Issues Related to Metals: Neurotoxicolgy and Radiation Metals and Metal Compounds, *Patty's Toxicology*, Vol II, 5th Edition ,John Wiley & Sons.
- Bonnet, M., Camares, O. ve Veisseire, P. (2000) Effects of zinc and influence of *Acremonium lolii* on growth parameters, chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activities of ryegrass (*Lolium perenne* [L.cv](#) Apollo), *J of Exp Bot*, 51(346):945-953.

- Bouyoucos, G.J. (1951) Arecelibration of the Hydrometer for Marking Mechanical, *J Analysis of Soil Argon*, 43:433-437.
- Bowler, C., Van Maontague, M. ve Inze, D. (1992) Superoxide Dismutase and Stress Tolerance, *Ann Rev Plant Physiol and Plant Mol Biol*, 43:83-116.
- Bradford, M.M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, *Anal Biochem*, 72:248- 254.
- Brown, T.A. ve Shrift, A. (1981) Exclusion of Selenium from Proteins of Selenium-Tolerant *Astragalus* Species, *Plant Physiol*, 67(5):1051.
- Brown, K. ve Arthur, J. (2001) Selenium, Selenoproteins And Human Health: A Review, *Public Health Nutr*, 4: 593-599.
- Brown, K.M. ve Arthur, J.R. (2007) Selenium, selenoproteins and human health: a review, *Public Health Nutr*, 4(2b):593-599.
- Burk, R.F. ve Levander, O.A., (1999), *In: Modern Nutrition in Healthand Disease*, Ninth Edition, Edited by M. Shils, Jolson, M. Shike and A.C. Ross. Baltimore: Williams ve Wilkinis, 265-276.
- Burnell, J.N. (1981) Selenium metabolism in *Neptunia amplexicaulis*, *Plant Physiol*, 67(2):316-324.
- Cao, X.D., Ma, L.Q ve Tu, C. (2004) Antioxidative responses to arsenic in the arsenic-hyperaccumulator Chinese brake fern (*Pteris vittata* L.), *Environ Pollution*, 128 (3):317–325.
- Cartes, P., Gianfreda, L. ve Mora, M.L. (2005) Uptake of Selenium and its Antioxidant Activity in Ryegrass When Applied as Selenate and Selenite Forms, *Plant Soil*, 276:359–367.
- Cartes, P., Jara, A.A., Pinilla, L., Rosas, A. ve Mora, M.L. (2010) Selenium improves the antioxidant ability against aluminium-induced oxidative stress in ryegrass roots, *Annals of Applied Bio*, 156 (2):297–307.
- Chance, B. ve Maehly, C. (1955) Assay of catalase and peroxidases, *Methods Enzymol*, 11:764–775.

- Charles, S.A. ve Halliwell, B. (1980) Effect of hydrogen peroxide on spinach (*Spinacia oleraceae*) chloroplast fructose biphosphatase, *Biochem J*, 189: 373-376.
- Chaudiere, J. ve Ferrari-Iliou, R. (1999) Intracellular Antioxidants From Chemical to Biochemical Mechanisms, *Food Chem Toxicol*, 37:949-962.
- Chen, .F., Zheng, W.J., Wong,Y.S. ve Yang, F. (2008) Se-induced changes in activities of antioxidant enzymes and content of photosynthetic pigments in *Spirulina platensis*, *J Integr Plant Biol*, 50:40-48.
- Cicerali, I. (2004) *Effect Of Salt Stress On Antioksidant Defence Systems of Sensitive and Ressistance Cultivars of Lentil*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ.
- Combs, G.F. ve Combs, S.B. (1986) *The Role of Seleniumin Nutrition*, Academic Pres, New York, 41-107.
- Combs, G.F. ve Gray, W.P. (1998) Chemopreventive Agents: Selenium, *Pharma and Therap*, 79(3): 179-192.
- Combs, G. ve Lu, J. (2001) Selenium as a Cancer Preventive Agent, Hatfield, D., ed., *In: Selenium: Its Molecular Biology And Role In Human Health*, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA., 205-218.
- Combs, G.F. (2001) An analysis of cancer prevention by selenium, *BioFact*, 14(1):153-159.
- Combs, G.F. (2007) Selenium in global food systems, *British J of Nutr*, 85(05):517-547.
- Curtin, D., Hanson, R., Lindley, T.N. ve Butler, R.C. (2006) Selenium Concentration In Wheat (*Triticum aestivum*) Grain as Influenced by Method, Rate, and Timing of Sodium Selenate Application, *New Zealand J of Crop and Horticul Sci*, 34(4): 329-339.
- Curtin, D., Hanson, R. ve Van Der Weerden, T.J. (2008) Effect of Selenium Fertiliser Formulation and Rate of Application on Selenium Concentrations In Irrigated and Dryland Wheat, *New Zeland J of Crop and Horticultural Sci*, 36: 1-7.

- Cvetkovska, M, Rampitsch, C., Bykova, N. ve Xing, T. (2005) Genomic analysis of MAP kinase cascades in *Arabidopsis* defense responses, *Plant Mol Bio Reporter*, 23(4):331-343.
- Çakmak, İ. (2000) Role of zinc in protecting plant cells from reactive oxygen species, *New Phytol*, 146: 185- 205.
- Çakmak, İ., Graham, R. ve Welch, R.M. (2002) Agricultural and Molecular Genetic Approaches to Improving Nutrition and Preventing Micronutrient Malnutrition Globally, *In: Encyclopedia of Life Support Systems*, Section Eds: I. Cakmak and R. M. Welch. UNESCO-EOLSS Publishers Co Ltd. UK, ISBN: 0 9542989-0-X, 3490, 1075-1099.
- Dalton, D.A., Harus, F.J., Russell, S.A. ve Evans, H.J. (1987) Purification, Protection and Distribution Of Ascorbate Peroxidase in Legumen Root Nodules, *Plant Physiol*, 83:789-794.
- Demiral, T. ve Türkan, İ. (2005) Comparative Lipid Peroxidation, Antioxidant Defence System and Proline Content in Roots of Two Rice Cultivars Differing in Salt Tolerance, *Environ and Exp Bot*, 53:246-257.
- Derumeaux, H., (2003) Association of Selenium With Thyroid Volume and Echostructure in 35- to 60-Year-Old French Adults, *Eur J Endocrinol*, 148 (3): 309.
- Diplock, A.T. (1993) Indexes of selenium status in human populations, *Am J Clin Nutr*, 57(2 Suppl): 256-258.
- Djanaguiraman, M., Durga Devi, D., Shanker, A.K., Sheeba, J.A. ve Bangarusamy, U. (2005) Selenium an antioxidative protectant in soybean during senescence, *Plant Soil*, 272:77–86.
- Djanaguiraman, M., Prasad, P.V.V., Seppänen, M. (2010) Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system, *Plant Physiol and Biochem*, 48 (12):999–1007.
- Drotar, A., Phelps, P. ve Fall, R. (1985) Evidence for glutathione peroxidase activities in cultured plant cells, *Plant Sci*, 42:35–40.

- Ducsay, L., Lozek, O., Varga, L. ve Losak, T. (2007) Effects of Winter Wheat Supplementation With Selenium, *Eco Chem and Engin*, 14: 289-293.
- Ducsay, L., Lozek, O. ve Varga, L. (2009) The Influence of Selenium Soil Application on its Content in Spring Wheat, *Plant Soil Environ*, 55(2):80-84.
- El-Bayoumy, K. ve Sinha, R. (2004) Mechanisms of mammary cancer chemoprevention by organoselenium compounds, *Mutat Research-Fund and Mol Mech of Mutagenesis*, 551(1-2):181-197.
- Ellis, D.R. ve Salt, D.E. (2003) Plants, Selenium And Human Health, *Curr. Opin. Plant Biol*, 6: 273-279.
- Esaki, N., Nakamura, T., Tanaka, H. ve Soda, K. (1982) Selenocysteine lyase, a novel enzyme that specifically acts on selenocysteine: Mammalian distribution and purification and properties of pig liver enzyme, *J of Bio Chem*, 257(8):4386-4391.
- Eurola, M., Hietaniemi, V., Kontturi, M., Tuuri, H., Kangas, A., Niskanen, M. ve Saastamoinen, M. (2004) Selenium Content of Finnish Oats in 1997–1999: Effect of Cultivars and Cultivation Techniques, *Agricul and Food Sci*, 13: 46-53.
- Eustice, D.C., Kull, F.J., ve Shrift, A. (1981) Selenium toxicity: aminoacylation and pep-tide bond formation with selenomethionine, *Plant Physiol*, 67: 1054–1058.
- Farago, M.E. ve Mullen, W.A. (1979) Plants which accumulate metals, Part IV, A possible copper-proline complex from the roots of *Armeria maritime*, *Inorg Chim Acta*, 32:93-94.
- Farnham, M.W., Hale, A.L., Grusak, M.A. ve Finley, J.W. (2007) Genotypic and Environmental Effects on Selenium Concentration of *Broccoli* Heads Grown without Supplemental Selenium Fertilizer, *Plant Breed*, 126:195-200.
- Farrant, J.M. (2000) A comparison of mechanisms of desiccation tolerance among three angiosperm resurrection plant species, *Plant Ecol*, 151: 29-39.

- Feibo, W., Gouping, Z. ve Dominy, P. (2003) Four Barley Genotypes Respond Differently to Cadmium: Lipid Peroxidation and Activities of Antioxidant Capacity, *Environ and Exp Bot*, 50:67-78.
- Feng, R., Wei, C., Tu, S. ve Wu, F. (2009) Effects of Se on the uptake of essential elements in *Pteris vittata* L., *Plant and Soil*, 325:123–132.
- Feng, R.W., Wei, C.Y., Tu, S.X. ve Wu, F.C. (2009b) Effects of Se on the essential elements uptake in *Pteris vittata* L., *Plant Soil*, 325 (1–2):123–132.
- Feng, R.W. ve Wei, C.Y. (2012) Antioxidative mechanisms on selenium accumulation in *Pteris vittata* L., a potential selenium phytoremediation plant, *Plant Soil Environ*, 58 (3):105–110.
- Feng, R., Wei, C. ve Tu, S. (2013) The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses, *Environ and Exp Bot*, 87:58– 68.
- Filek, M., Keskinen, R., Hartikainen, H., Szarejko, I., Janiak, A., Miszalski, Z. ve Golda, A. (2008) The protective role of selenium in rape seedlings subjected to cadmium stress, *J of Plant Physiol*, 165 (8):833–844.
- Finley, J.W. (2005) Selenium Accumulation in Plant Foods, *Nutr Rev*, 63 (6):196-202.
- Flohe, L., Gunzler, W.A. ve Schock, H.H. (1973) Glutathione peroxidase: A selenoenzyme, *FEBS Lett*, 32:132–134.
- Flohe, L. ve Gunzler, W.A. (1984) Assays of glutathione peroxidase, In: Packer L (ed) *Methods in enzymology*, vol 105, Academic Press, Inc., New York. pp 114–121.
- Foster, S.J., Kraus, R.J. ve Ganther, H.E. (1986) The metabolism of selenomethionine, Se-methylselenocysteine, their selenonium derivatives, and trimethylselenonium in the rat, *Arch Biochem Biophys*, 251(1):77-86.
- Foster, L.H ve Sumar, S., (1997) Selenium in Health and Disease: A Review, *Crit Rev Food Sci Nutr*, 37: 211–228.
- Fox, T.E., Atherton, C., Dainty, J.R., Lewis, D.J., Langford, N.J., Baxter, M.J. vd. (2005) Absorption of selenium from wheat, garlic, and cod intrinsically

- labeled with Se-77 and Se-82 stable isotopes, *Int J Vitam Nutr Res*, 75(3):179-86.
- Foyer, C.H., Lelandais, M. ve Kunert, K.J. (1994) Photooxidative stress in plants, *Physiol Planta*, 92(4):696-717.
- Foyer. C., LopezDelgado, H., Dat, J. ve Scott, I. (1997) Hydrogen peroxide-and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling, *Physiol Planta*, 100(2):241-254.
- Foyer, C.H. ve Noctor, G. (2005). Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses, *Plant Cell*, 17(7):1866-75.
- Freeman, J.L., Quinn, C.F., Marcus, M., Fakra, S. ve Pilon-Smits, E.H. (2006) Selenium-tolerant diamondback moth disarms hyperaccumulator plant defense, *Current Bio : CB*, 16:2181–92.
- Freeman, J.L., Tamaoki, M., Stushnoff, C., Quinn, C.F., Cappa, J.J., Devonshire, J., Fakra, S.C., Marcus, M.A., McGrath, S.P., Hoewyk, D.V. ve Pilon-Smits, E.A.H. (2010) Molecular mechanisms of selenium tolerance and hyperaccumulation in *Stanleya pinnata*, *Plant Physiol*, 153 (4):1630–1652.
- Fridovich, L. (1986) Biological Effect of Superoxide Radical, *Arch Biochem Biophys*, 247: 1-11.
- Gaspar, T., Penel, C., Hagege, D. ve Greppin, H. (1991) Peroxidases in Plant Growth Differentiation and Development Processes, *In Biochemical Molecular and Physiological aspects of Plant peroxidases* (Lobarzewski, J.,Grepin, H., Penel, C., Gaspar, T.), Univ. M. Currie-Sklodowska, Lublin, Poland and Univ., of Geneve, Switzerland, 249-280.
- Gissel-Nielsen, G., Gupta, U.C., Lamand, M. ve Westermarck, T. (1984) Selenium in soils and plants and its importance in livestock and human nutrition, *Advanc in Agron*, 37:397-460.
- Gjengedal, E. ve Steinnes, E. (1990) Uptake of Metal Ions in Moss from Artificial Precipitation, *Environ Monit and Assessm*, 14:77–87.

- Goldhaber, S.B. (2003) Trace Element Risk Assessment: Essentiality vs. Toxicity, *Regul Toxicol and Pharma*, 38:232-42.
- Govasmark, E., Singh, B.R., MacLeod, J.A. ve Grimmett, M.G. (2008) Selenium Concentration in Spring Wheat and Leaching Water as Influenced by Application Times of Selenium and Nitrogen, *J of Plant Nutr*, 31: 193–203.
- Grandjean, P., Nielsen, G.D., Jørgensen, P.J. ve Hørder, M. (1992) Reference intervals for trace elements in blood: significance of risk factors, *Scandinavian Jour of Clinic and Lab Invest*, 52(4):321-337.
- Grant, C.A, Buckley, W.T. ve Wu, R.G. (2007) Effect of Selenium Fertilizer Source and Rate on Grain Yield and Selenium and Cadmium Concentration of Durum Wheat, *Canadian J of Plant Sci*, 87(4): 703-708.
- Grela, E.R. (1996) Nutrient Composition and Content of Antinutritional Factors in Spelt (*T. Spelta* L) Cultivars, *J Sci Food Agr*, 71: 399-404.
- Groff, J.L., Gropper, S.S., Hunt, S.M. (1995) *Microminerals in Advanced Nutrition and Human Metabolism*, Minneapolis: West Publishing Company, Minneapolis, 381-384.
- Halliwell, B. ve Gutteridge, J.M.C. (1989) *Free Radicals in Biology and Medicine*, Oxford: Clarendon Press.
- Halliwell, B. ve Chirico, S. (1993) Lipid peroxidation : its mechanism, measurement and significance, *Am J Clin Nutr*, 57:715-724.
- Harmankaya, M. (2009) *Orta Anadolu Bölgesinde toprakların ve buğdayın selenyum düzeyinin belirlenmesi ve selenyum gübrelemesine farklı buğday genotiplerinin tepkisinin araştırılması*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, 129.
- Hartikainen, H., Ekholm, P., Piironen, V., Xue, T., Koivu, T. ve Yli-Halla, M. (1997) Quality of the ryegrass and lettuce yields as affected by selenium fertilization, *Agr Food Sci Fin*, 6:381–387.
- Hartikainen, H. ve Xue, T. (1999) The Promotive Effect of Selenium on Plant Growth as Triggered by Ultraviolet Irradiation, *J Environ Qual*, 28:1272-1275.

- Hartikainen, H., Xue, T. ve Piironen, V. (2000) Selenium as anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass, *Plant Soil*, 225:193–200.
- Hasanuzzaman, M. ve Fujita, M. (2011) Selenium pretreatment upregulates the antioxi-dant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance to drought stress in rapeseed seedlings, *Bio Trace Element Res*, 143:1758–1776.
- Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A. ve Fujita, M. (2011) Selenium-induced up-regulation of the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system reduces salinity-induced damage in rapeseed seedlings. *Bio Trace Element Res*, 143:1704–1721.
- Hatfield, D.L. ve Gladyshev, V.N. (2002) How selenium has altered our understanding of the genetic code, *Mol Cell Biol*, 22(11):3565-3576.
- Hawrylak, B. ve Szymanska, M. (2004) Selenium as a sulphhydrylic group inductor in plants, *Cell Mol Biol Lett*, 9:329–336.
- Hawrylak-Nowak, B. (2013) Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions, *Plant Growth Reg*, DOI 10.1007/s10725-013-9788-5.
- He, P.P., Lv, X.Z. ve Wang, G.Y. (2004). Effects of Se and Zn supplementation on the antagonism against Pb and Cd in vegetables, *Environ Internat*, 30:167–172.
- Hopper, J.L. ve Parker, D.R. (1999) Plant availability of selenite and selenate as influenced by the competing ions phosphate and sulfate, *Plant and Soil*, 210(2):199-207.
- Huang, Y., Xu, J. ve Hu, Q. (2005) Effect of selenium on preservative quality of green tea during autumn tea-processing season, *J Agric Food Chem*, 53:7444–7447.
- Ip, C. (1991) Chemical form of selenium, critical metabolites, and cancer prevention, *Cancer Research*, 51(2):595-600.

- Ip, C., Thompson, H.J., Zhu, Z. ve Ganther, H.E. (2000) *In vitro* and *in vivo* Studies of Methylseleninic Acid: Evidence That a Monomethylated Selenium Metabolite Is Critical for Cancer Chemoprevention I, (60):2882-2886, AACR.
- Iyengar G.V. ve Kollmer, W.E. (1986) Some aspects of sample procurement from human subjects for biomedical trace element research, *Trace Elem Med*, 3:25-33.
- Jianzhou, C., Xiaoqin, Y, Zhaowei, Y., Jingmin, L. ve Junhui, Z. (2013) The Effects of Selenium on Physiological Traits, Grain Selenium Content and Yield of Winter Wheat at Different Development Stages, *Biol Trace Element Res*, 151: 434-440.
- Johnson, T.M., Bullen, T.D. ve Zawislanski, P.T. (2000) Selenium Stable Isotope Ratios as Indicators of Sources and Cycling of Selenium Results from the Northern Beach of San Francisco Bay, *Environl Sci and Techno*, 34(11) : 2075-2079.
- Jung, S. (2004) Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of *Arabidopsis thaliana* subjected to drought, *Plant Sci*, 166: 459-466.
- Kabata, A. ve Pendias, H. (1992) *Trace Elements in Soils and Plants* (Second Edition), CRC, Boca Raton.
- Kacar, B. (1994) *Bitki ve Topragın Kimyasal Analizleri*, III. Toprak Analizleri, A.Ü.Z.F. Eğitim Arast. Ve Gelist. Vakfı Yay. No: 3, bizim Büro Basımevi, Ankara.
- Kaiser, W.M. (1979) Reversible inhibition of the Calvin cycle and activation of the oxidative isolated intact chloroplasts by hydrogen peroxide, *Planta*, 145: 377-382.
- Kessler, J. (1992) Selenium Deficiency and Prophlaxis in Ruminants, *Roc. 8th. Intern. Conf. on Production Diseases in Farm Animals*, 24-27.
- Keshan Disease Research Group (1979) Epidemiologic studies on the etiologic relationship of selenium and Keshan disease, *Chinese Medical Journal*, 92(7):477-82. doi: 114372.

- Kishchak, I.T. (1998) Supplementation of Selenium in The Diets of Domestic Animals. In: *Environmental Chemistry Of Selenium*, Frankenberger W.T. and Engberg R.A. (eds.) Marcel Dekker, Inc. New York, NY, 143-144.
- Kong, L.G., Wang, M. VE Bi, D.L. (2005) Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stres, *Plant Growth Regul*, 45:155–163.
- Kumar, M., Bijo, A.J., Baghel, R.S., Reddy, C.R.K. ve Jha, B. (2012) Selenium and Spermine alleviates cadmium induced toxicity in the red seaweed *Gracilaria dura* by regulating antioxidant system and DNA methylation, *Plant Physiol and Biochem*, 51:129–138.
- Kuznetsov, V. V, Kholodova, V.P., Kuznetsov, V. V ve Yagodin, B. (2003) *Selenium regulates the water status of plants exposed to drought*, Doklady biological sciences : Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR, Biological sciences sections / translated from Russian, 390:266–8.
- Lee, M.J., Lee, G.P. ve Park, K.W. (2001) Effect of selenium on growth and quality in hidroponically-grown Korean Mint (*Agastache rugosa*), *J Korean Soc Hortic Sci*, 42 (5):83–486.
- Letavayová, L, Vlcková, V. ve Brozmanová, J. (2006) Selenium: from cancer prevention to DNA damage, *Toxicology*, 227(1-2):1-14.
- Li, J. ve Jin, H. (2007) Regulation of brassinosteroid signaling. *Trends in Plant Sci*, 12(1):37-41.
- Lingan, K., Mao, W., ve Dongling, B. (2005) Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the grown of sorrel seedling under salt stress. *Plant Grow Regul*, 45:155–163.
- Lu, S.C. (1999) Regulation of hepatic glutathione synthesis: current concepts and controversies, *The FASEB J*, 13(10):1169–1183.
- Luoma, P.V., Nayha, S, Sikkila, K. ve Hassi J (1995) High serum alpha-tocopherol, albumin, selenium and cholesterol, and low mortality from coronary heart disease in northern Finland, *J Intern Med*, 237(1):49-54.

- Lutts, S., Kinet, J.M. ve Bouharmont, J. (1996) Effects of various salts and of mannitol on ion and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* L.) callus cultures, *J Plant Physiol*, 149:186-195
- Lyi, S. M., Heller, L. I., Rutzke, M., Welch, R. M., Kochian L. V. ve Li, L. (2005) Molecular and Biochemical Characterisation of the Selenocysteine Se-Methyltransferase Gene and Se-methylselenocysteine Synthesis in Broccoli, *Plant Physiol*, 138:409-420.
- Lyons, T., Ollerenshaw, J.H. ve Barnes, J.D. (1999) Impacts of Ozone on *Plantago Major*: Apoplastic and Symplastic Antioxidant Status, *New Phytol.*, 141: 253-263.
- Lyons, G., Stangoulis, J. ve Graham, R. (2003) High-Selenium Wheat: Biofortification for Better Health, *Nutr. Res. Reviews*, 16:45–60.
- Lyons, G., Judson, G., Stangoulis J. ve Graham, R. (2004) Selenium Status of Humans and Wheat in South Australia, *J Aust Coll Nutr and Env Med*, 23:19 – 21.
- Lyons G., Stangoulis J. ve Graham R. (2005) Tolerance of Wheat (*Triticum aestivum* L.) to High Soil and Solution Selenium Levels, *Plant and Soil*, 270: 179–188.
- Lyons, G. H., Genc, Y., Soole, K., Stangoulis, J. C. R., Liu, F. ve Graham, R. D. (2009) Selenium Increases Seed Production in *Brassica*, *Plant Soil*, 318,73-80.
- Madhava Rao, K.V. ve Sresty, T.V.S. (2000) Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses, *Plant Sci*, 157:113 – 128.
- Malik, J.A., Goel, S., Kaur, N., Sharma, S., Singh, I. ve Nayyar, H. (2012) Selenium antagonises the toxic effects of arsenic on mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) plants by restricting its uptake and enhancing the antioxidative and detoxification mechanisms, *Environ and Exp Bot*, 77:242–248.
- Marier, J.R. ve Jaworski, J.F. (1983) *Interactions of Selenium*, National Research Council, Canada, 11.

- Mazzafera, P. (1998) Growth and biochemical alterations in coffee due to selenite toxicity, *Plant Soil*, 201:189–196.
- McDowell, L.R. (1992) *Minerals in Animal and Human Nutrition*, Academic Press, New York.
- Mc Graw- Hill, H. (1982) Inc., *Encyclopedia of Chemical Technology*, Canada, 3rd edit., 20, 575.
- McKenzie, R.C., Rafferty, T.S. ve Beckett, G.J. (1998) Selenium: an Essential Element for Immune Function, *Immunol Today*, 19:342-5.
- McKersie, B.D. ve Leshem, Y. (1994) *Stress and Stress Coping in Cultivated Plants*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Meharg, A.A. ve Hartley-Whitaker, J. (2002) Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and nonresistant plant species, *New Phytol*, 154 (1):29–43.
- Meltzer, H.M., Bibow, K., Paulsen, I.T., Mundal, H.H., Norheim, G. ve Holm, H. (1993) Different bioavailability in humans of wheat and fish selenium as measured by blood platelet response to increased dietary Se, *Bio Trace Element Res*, 36(3):229-241.
- Meuillet, E., Stratton, S., Prasad Cherukuri, D., Goulet, A.C., Kagey, J., Porterfield, B. vd. (2004) Chemoprevention of prostate cancer with selenium: An update on current clinical trials and preclinical findings, *J of Cell Biochem*, 91(3):43-458.
- Mittler, R. (2002) Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance, *Trends in Plant Sci*, 7 (9):405–410.
- Molnárová, M. ve Fargasová, A. (2009) Se(IV) phytotoxicity for monocotyledonae cereals (*Hordeum vulgare* L., *Triticum aestivum* L.) and dicotyledonae crops (*Sinapis alba* L., *Brassica napus* L.), *J of Hazardous Mats*, 172:854–61.
- Mora, M.D.L.L., Pinilla, L., Rosas, A. ve Cartes, P. (2008) Selenium uptake and its influence on the antioxidative system of white clover as affected by lime and phosphorus fertilization, *Plant and Soil*, 303:139–149.

- Mroczek-Zdyrska, M. ve Wójcik, M. (2011) The influence of selenium on root growth and oxidative stress induced by lead in *Vicia faba* L. minor plants, *Bio Trace Element Res*, 147 (1-3):320-328.
- Neal, R.H., Sposito, G., Holtzclaw, K.M. ve Traina, S.J. (1987) Selenite Adsorption on Alluvial Soils: I. Soil Composition and pH Effects, *Soil Sci Society of Amer J*, 51(5):1161.
- Nevland, L.W. (1982) Selenium, *The Hand Book of Environmental Chemistry*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 45-57, NewYork.
- Noble, R.M. ve Barry, G.A. (1982) Surveys of Selenium Concentrations in Wheat, Sorghum and Soybean Grains, Prepared Poultry Feeds and Feed Ingredients from Quesland, *Old J Agr Anim Sci*, 39: 1-8.
- Nowak, J., Kaklewski, K. ve Ligocki, M. (2004) Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and plants, *Soil Biol Biochem*, 36:1553–1558.
- Oldfield, J.E. (1987) The Two Faces of Selenium, *J of Nutri*, 117(12):2002.
- Onat, T. Emerk, K. ve Sözmen, E. (2002) *İnsan Biyokimyası*, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Özata, A. (2000) *Enzimoloji Ders Notları*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, No:1254 Eskişehir.
- Paciolla, C., De Leonardis, S. ve Dipierro, S. (2011) Effects of selenite and selenate on the antioxidant systems in *Senecio scandens* L., *Plant Biosys*, 145 (1):253–259.
- Pallud, S., Ramauge, M.A., Gavaret, J.M., Croteau, W., Pierre, M., Courtin ve F., D.L.S. (1991) Germain, Expression of Type II Ioythyronine Deiodinase in Cultured Rat Astrocytes is Selenium- Dependent, *J Biochem Chem*, 272:273-276.
- Parizek, J., Kalouskova, J., Babicky, J., Benes, J., Benes, L. ve Pavlik, L. (1974) Interactions of Selenium with Mercury, Cadmium and Other Toxic Metals, in *Newer Trace Element Metabolism*, University Park Pres, Baltimore, 119.

- Pehrson, B., Mc Doell, C.R., Conrad, J.H. ve Wilkinson, N.S. (1993) Diseases and Diffuse Disorders Related to Selenium Deficiencies in Ruminants, *Norwegian J of Agric Sci*, 11:79-93.
- Pekcan, G. (2006) Food And Nutrition Policies: What's Being Done In Turkey, *Public Health Nutr*, 9:158-162.
- Pennanen, A., Xue, T. ve Hartikainen, H. (2002) Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress, *J. Appl Bot*, 76:66–76.
- Peterson, P.J. ve Butler, G.W. (1962) The uptake and assimilation of selenite by higher plants, *Aust J Biol Sci*, 15:126–146.
- Pezzarossa, B., Piccotino, D., Shennan, C. ve Malorgio, F., (1999) Uptake and Distribution of Selenium in Tomato Plants as Affected by Genotype and Sulphate Supply, *J Plant Nutr*, 22: 1613-1635.
- Pinheiro, H.A., DaMatta, F.M., Chaves, A.R.M., Fontes, E.P.B. ve Loureiro, M.E. (2004) Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought, *Plant Sci*, 167, 1307-1314.
- Price, N.L. ve Harrison, P.J. (1988) Specific selenium-containing macro-molecules in the marine diatom *Thalassiosira pseudonana*, *Plant Physiol*, 86:192–199.
- Ramachandra Reddy, A., Chaitanya, K.V., Jutur, P.P. ve Sumithra, K. (2004) Differential antioxidative responses to water stress among five mulberry (*Morus alba* L.) cultivars, *Environ Exp Bot*, 52: 33-42.
- Raspor, P., Fujs, S., Banszky, L., Maraz, A. ve Batic, M. (2003) The involvement of ATP sulfurylase in Se (VI) and Cr (VI) reduction processes in the fission yeast *Schizosaccharomyces pombe*, *Appl Microbiol Biotechnol*, 63:89–95.
- Rayman, M.P. (2000) The Importance of Selenium to Human Health, *Lancet*, 356:233-241.
- Rayman, M. (2002) The Argument for Increasing Selenium Intake, *Proceed of the Nutri Soc*, 61:203-215.

- Richards, L.A. (1954) *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*, U.S.Dep.Agr.Handbook, 60.
- Ríos, J.J., Rosales, M. a., Blasco, B., Cervilla, L.M., Romero, L. ve Ruiz, J.M. (2008) Biofortification of Se and induction of the antioxidant capacity in lettuce plants, *Sci Horticulture*, 116:248–255.
- Rosenfeld, I. ve Beath, O.A. (1964) *Selenium: Geobotany, Toxicity, and Nutrition*, Academic Pres, New York.
- Rotruck, J.T., Pope, A.L., Ganther, H.E., Swanson, A.B., Hafeman, D.G. ve Hoekstra W.G. (1973) Selenium: Biochemical role as a component of glutathione peroxidase, *Sci*, 179:588–590.
- Rotte, C. ve Leustek, T. (2000) Differential Subcellular Localization and Expression of ATP Sulfurylase and 5'-Adenylylsulfate Reductase during Ontogenesis of Arabidopsis Leaves Indicates That Cytosolic and Plastid Forms of ATP Sulfurylase May Have Specialized Functions, *Plant Physiol*, 124(2):715.
- Sandoval, M., Okuhama, N.N., Angeles, F.M. ve Melchor, V.V. (2002) Antioxidant activity of the cruciferous vegetable Maca (*Lepidium meyenii*), *Food Chem*, 79:207–213.
- Seppänen, M., Turakainen, M. ve Hartikainen, H. (2003) Selenium effects on oxidative stress in potato, *Plant Sci*, 165:311–319.
- Seregina, I.I., Nilovskaya, N.T. ve Ostapenko, N.O. (2001) The Role of Selenium in the Formation of the Grain Yield in Spring Wheat, *Agrokimiya*, 1: 44-50.
- Schleiser, K., Harwat, V., Böhm, V. ve Bitsch, R. (2002) Assessment of antioxidant by using different in vitro methods, *Free Radic Res*, 36 (2):177–187.
- Schwarz, K. ve Foltz, C.M. (1957) Selenium as an Integral Part of Factor 3 Against Dietary Necrotic Liver Degeneration, *J of the Amer Chem Society*, 79(12): 3292-3293.
- Sgherry, C.L.M., Pinzino C. ve Navari-Izzo, F. (1996) Sunflower seedlings subjected to increasing water stress by water deficit: changes in $O_2^{\bullet-}$ production related to the composition of thylakoid membranes, *Physiol Plant*, 96: 446-452.

- Shaknov, A.S. (1954) Analysis of Se and Te in SnCl_2 , *Zavodskaya Laboratoriya*, 11: 893.
- Shamberger, R.J. (1985) The Genotoxicity of Selenium, *Mutat Res*, 154:29-48.
- Shao, H.B., Liang, Z.S., Shao, M.A. ve Sun, Q. (2005) Dynamic changes of anti-oxidative enzymes of 10 wheat genotypes at soil water deficits, *Colloids and Surf B: Biointerf*, 42(3-4):187-195.
- Shao, H.B., Chu, L.Y., Zhao, C.X., Guo, Q.J., Liu, X.A. ve Marcel, J.M. (2006) Plant gene regulatory network system under abiotic stres, *Acta Biol. Szeged*, 50(1-2):1–9.
- Shao, H.B., Chu, L.Y., Wu, G., Zhang, J.H., Lu, Z.H. ve Hu, Y.C. (2007) Changes of some anti-oxidative physiological indices under soil water deficits among 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at tillering stage, *Colloids and Surfaces B: Bioint*, 54(2):143-149.
- Shao, H.B., Chu, L.Y., Lu, Z.H. ve Kang, C.M. (2008) Primary antioxidant free radical scavenging and redox signaling pathways in higher plant cells, *Int J of Bio Sci*, 4(1):8.
- Sharma, S., Bansal, A., Dhillon, S.K. ve Dhillon, K.S. (2009) Comparative effects of selenate and selenite on growth and biochemical composition of rapeseed (*Brassica napus* L.), *Plant Soil*, 329:339–348.
- Shigeoka, S., Takeda, T. ve Hanaoka, T. (1991) Characterization and immunological properties of selenium-containing glutathione peroxidase induced by selenite in *Chlamydomonas reinhardtii*, *Biochem J*, 275:623–627.
- Shiobara, Y., Yoshida, T. ve Suzuki, K.T. (1998) Effects of Dietary Selenium Species on Se Concentrations in Hair, Blood, and Urine, *Toxic and Applied Pharma*, 152(2):309-314.
- Sillandha, M. (1982) *Micronutrients and the Nutrient Status of Soils*, FAO Soils Bulletin, 48.
- Smirnoff, N. (1993) The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation, *New Phytol*, 125: 27-58.

- Smrkolj, P., Osvald, M., Osvald, J. ve Stibilj, V. (2006) Selenium uptake and species distribution in selenium-enriched bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds obtained by two different cultivations, *Euro Food Res and Technol*, 225:233–237.
- Sors, T.G., Ellis, R. ve Salt, D.E. (2005) Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants, *Photosynt Research*, 86(3): 373-389.
- Spallholz, J.E. (1994) On the nature of selenium toxicity and carcinostatic activity, *Free Radic Biol Med*, 17(1):45-64.
- Srivalli, B., Sharma, G. ve Khanna-Chopra, R. (2003) Antioxidative defence system in upland rice cultivar subjected to increasing intensity of water stress followed by recovery, *Physiol Plant*, 119: 503-512.
- Stadtman, T.C. (1990) Selenium Biochemistry, *Annu Reviews in Biochem*, 59(1):111-127.
- Strain, H.H. ve Svec, W.A. (1966) Extraction, Separation, estimation and isolation of chlorophylls, 21-66, Bernon, V.P., Seely, G.R. (editörler), *In the chlorophylls*, Academic Pres, New York.
- Stuhlfauth, T., Scheuermann, R ve Fock, H.P. (1990) Light energy dissipation under water stress conditions, *Plant Physiol*, 92: 1053-1061.
- Sun, Y. (1990) Free radicals, antioxidant enzymes, and carcinogenesis, *Free Radic Biol Med*, 8(6):583-99.
- Şimşek, A., Sarı, F. ve Artık, N. (2004) Selenyumun İnsan Beslenmesi ve Sağlığı Açısından Önemi, *Anadolu Üniv Bilim ve Tek Der*, 5(2): 245-251.
- Takeda, T., Ishikawa, T. ve Shigeoka, S. (1997) Metabolism of hydrogen peroxide by the scavenging system in *Chlamydomonas reinhardtii*, *Physiol Plant*, 99:49–55.
- Tambussi, E.A., Bartoli, C.G, Beltrano, J., Guiamet, J.J.ve Araus, J.L. (2000) Oxidative damage to thylakoid proteins in water-stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum*), *Physiol Plant*, 108: 398-404.

- Tamaoki, M., Freeman, J.L. ve Pilon-Smits, E.A.H. (2008) Cooperative ethylene and jasmonic acid signaling regulates selenite resistance in arabidopsis, *Plant Physiol*, 146:1219–1230.
- Tanaka, T., Reddy, B.S. ve El-Bayoumy, K. (1985) Inhibition by dietary organoselenium, p-methoxybenzene-selenol, of hepatocarcinogenesis induced by azoxymethane in rats, *Jpn J Cancer Res*, 76(6):462-7.
- Terry, N. ve Abadia, J. (1986) Function of iron in chloroplasts, *J of Plant Nutr*, 9 (3–7):609–646.
- Terry, N., Zayed, A.M., Souza, M.P ve Tarun, A.S. (2000) Selenium in higher plants, *Annu Rev Plant Physiol Mol Biol*, 51:401.
- Thompson, J.E., Legge, R.L. ve Barber, R.F. (1987) The role of free radicals in senescence and wounding, *New Phytol*, 105(3):317–344.
- Thomson, C.D. (2004) Assessment of requirements for selenium and adequacy of selenium status: a review, *European J of Cli Nutr*, 58:391-402.
- Tinggi, U. (2003) Essentiality and Toxicity of Selenium and its Status in Australia, A Review, *Toxic Letters*, 137:103-110.
- Turakainen, M., Hartikainen, H. ve Seppänen, M.M. (2004) Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch, *J Agric Food Chem*, 52:5378–5382.
- Türkan, İ., Bor, M., Özdemir, F. ve Koca, H. (2005) Differential Responses of Lipid Peroxidation and Antioxidants in the Leaves of Drought-Tolerant *P. acutifolius* Gray and Drought-Sensitive *P. vulgaris* Subjected to Polyethylene Glycol Mediated Water Stress, *Plant Sci*, 168:223-231.
- Tveitnes, S., Singh, B.R. ve Ruud, L. (1996) Selenium Concentration in Spring Wheat as Influenced by Basal Application and Top Dressing of Selenium-Enriched Fertilizers, *Fertilizer Resear*, 45: 163–167.
- Vanacker, H., Harbinson, J., Ruisch, J., Carver, T.L.W. ve Foyer, C.H. (1998) Antioxidant Defences of the Apoplast, *Protoplasma*, 205:129-140.

- Velikova, V., Yordanov, I. ve Edreva, A. (2000) Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants protective role of exogenous polyamines, *Plant Sci*, 151:59–66.
- Voutsas, D. ve Samara C (1998) Dietary intake of trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons via vegetables grown in an industrial Greek area, *Sci of the Total Environ*, 218(2-3):203-216.
- Welch, R.M. ve Graham R.D. (2005) Agriculture: The Real Nexus for Enhancing Bioavailable Micronutrients in Food Crops, *J of Trace Elements in Med and Bio*, 18: 299-307.
- Wang, C.Q. (2011) Water-stress mitigation by selenium in *Trifolium repens* L. *J of Plant Nutr and Soil Sci*, 174 (2):276–282.
- Whanger, P.D. (2002) Selenocompounds in Plants and Animals and their Biological Significance, *J of the American College of Nutr*, 21(3):223-232.
- Willey, N. ve Wilkins, J. (2006) An analysis of intertaxa differences in sulfur concentration in angiosperms, *J Plant Nutr Soil Sci*, 169:717–727.
- White, P.J., Bowen, H.C., Parmaguru, P., Fritz, M., Spracklen, W.P., Spiby, R.E., Meacham, M.C., Harriman, M., Trueman, L.J., Smith, B.M., Thomas, B. ve Broadley, M.R. (2004) Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*, *J Exp Bot*, 55:1927–1937.
- White, P.J. ve Broadley, M.R. (2005) Biofortifying Crops with Essential Mineral Elements, *Trends in Plant Sci*, 10: 586-593.
- White, P.J., Broadley, M.R., Bowen, H.C. ve Johnson, S.E. (2007) Selenium and its relationship with sulfur. In: Hawkesford MJ, de Kok LJ (eds) *Sulfur in plants-an Ecological prospective*, Springer, Dordrecht, 225–252.
- Wu, Y.S. ve Tang, K.X. (2004) MAP Kinase cascades responding to environmental stress in plants, *Acta Bot Sin*, 46 (2):127–136.
- Xiaoqin, Y., Jianzhou, C. ve Guangyin, W. (2009) Effects of drought stress and selenium supply on growth and physiological characteristics of wheat seedlings, *Acta Physiol Plant*, 31:1031–1036.

- Xue, T.L., Hou, S.F., Tan, J.A. ve Liu, G.L. (1993) The antioxidative function of selenium in higher plants: II. Non-enzymatic mechanisms. *Chinese Sci Bulletin*, 38:356–358 (in Chinese).
- Xue, T. ve Hartikainen, H. (2000) Association of antioxidative enzymes with the synergic effect of selenium and UV irradiation in enhancing plant growth, *Agric Food Sci Fin*, 9:177–186.
- Xue, T., Hartikainen, H. ve Piironen, V. (2001) Antioxidative and Growth-Promoting Effect of Selenium in Senescing Lettuce, *Plant Soil*, 237:55-61.
- Yancey, P.H., Clark, M.E., Hand, S.C., Bowlus, R.D. ve Somero, G.N. (1982) Living with water stress: evolution of osmolyte systems, *Sci*, 217:1214–1222.
- Yang, F., Chen, L., Hu, Q. ve Pan, G. (2003) Effect of the Application of Selenium on Selenium Content of Soybean and its Products, *Biol Trace Element Resear*, 93: 249-256.
- Yao, X.Q. ve Liu, Q. (2007) Changes in photosynthesis and antioxidant defenses of *Picea asperata* seedlings to enhanced ultraviolet-B and to nitrogen supply, *Physiol Plant*, 129:364–374.
- Yao, X.Q., Chu, J.Z. ve Wang, G.Y. (2009a) Effects of selenium on wheat seedlings under drought stres, *Bio Trace Element Res*, 130 (3):283–290.
- Yao, X.Q., Chu, J.Z. ve Wang, G.Y. (2009b) Effects of drought stress and selenium supply on growth and physiological characteristics of wheat seedlings, *Acta Physiol Plant*, 31 (5):1031–1036.
- Yao, X.Q., Chu, J.Z. ve Ba, C.J. (2010a) Antioxidant responses of wheat seedlings to exogenous selenium supply under enhanced ultraviolet-B, *Bio Trace Element Res*, 136 (1):96–105.
- Yao, X.Q., Chu, J.Z. ve Ba, C.J. (2010b) Responses of wheat roots to exogenous selenium supply under enhanced ultraviolet-B, *Bio Trace Element Res*, 137 (2),244–252.

- Yao, X., Chu, J., He, X. ve Ba, C. (2011) Protective role of selenium in wheat seedlings subjected to enhanced UV-B radiation, *Russ J of Plant Physiol*, 58(2):283–289.
- Yokota, A., Shigeoka, S., Onishi, T. ve Kitaoka, S. (1988) Selenium as inducer of glutathione peroxidase in low-CO₂ grown *Chlamydomonas reinhardtii*, *Plant Physiol*, 86:649- 651.
- Zayed, A., Lytle, C.M. ve Terry, N. (1998) Accumulation and volatilization of different chemical species of selenium by plants, *Planta*, 206:284–292.
- Zembala, M., Filek, M., Walas, S., Mrowiec, H., Kornaś, A., Miszański, Z. ve Hartikainen, H. (2010) Effect of selenium on macro- and microelement distribution and physiological parameters of rape and wheat seedlings exposed to cadmium stress, *Plant Soil*, 329 (1–2):457–468
- Zemmel, V.K., *Florometric Detn of Seand Te*, Zavodskaya Laboratoriya., 11, 893, 1936.
- Zielinska, D., Frias, J., Piskula, M.K., Kozłowska, H., Zielinski, H. ve Vidal-Valverde, C. (2008) Evaluation of the antioxidant capacity of lupin sprouts germinated in the presence of selenium, *Euro Food Res and Technol*, 227:1711–1720.
- Zhang, Y., Pan, G., Chen, J. ve Hu, Q. (2003) Uptake Transport of Selenite and Selenate by Soybean Seedling of Two Genotypes, *Plant and Soil*, 253: 473-443.
- Zhao, F.J., Lopez-Bellido, F.J., Gray, C.W., Whalley, W.R., Clark, L.J. ve McGrath, S.P. (2007) Effects of soil compaction and irrigation on the concentrations of selenium and arsenic in wheat grains, *Sci of the Total Envir*, 372(2-3):433-439.
- Zhu, J.K. (2001) Plant Salt Tolerance, *Trends in Plant Sci*, 6:66–71.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad Soyad : Sultan KÖŞKEROĞLU
Uyruk : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmaniye-11/10/1981
Medeni Hali : Bekar
Telefon : 0 252 211 1983
E-posta : skoskeroglu@mu.edu.tr

Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	Silifke Lisesi	1998
Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü	2003
Yüksek Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Ana Bilim Dalı	2006

İş Tecrübesi

Yıl	Yer	Pozisyon/görev
2005-(Devam ediyor)	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil(ler)

Dil (İngilizce)	Başlangıç	Orta	İleri
Yazma			X
Konuşma		X	
Anlama			X
Okuma			X

Yayınlar

- 1- **Köşkeröğlu S.**, Surgun Y., Tuna A.L., Bürün B., Yokaş İ., Pamuk kalluslarında antioksidant enzim aktivitesi üzerine NaCl'ün etkisi. 19. Ulusal Biyoloji Kongresi, 2008.
- 2- **Köşkeröğlu S.**, Tuna A.L., The investigation on growth and some antioxidative enzymes of the maize (*Zea mays* L.) plant under salt and water stress. International Meeting on Soil Fertility, Land Management and Agroclimatology, 29 October-1 November, 2008.
- 3- Yokaş İ., Tuna A.L., Bürün B., Yağmur B., Hakerler H., Kılınç R., **Köşkeröğlu S.**, The investigation on pollution originated from thermal power plants in Muğla region. International Meeting on Soil Fertility, Land Management and Agroclimatology, 29 October-1 November, 2008.
- 4- Kaya C., Tuna A.L., Dikilitaş M., Ashraf M., **Köşkeröğlu S.**, Güneri M., Supplementary phosphorus can alleviate boron toxicity in tomato. Scientia Horticulturae, 121: 284-288, 2009.
- 5- **Köşkeröğlu S.**, Tuna A.L., The investigation on accumulation levels of proline and stress parameters of the maize (*Zea mays* L.) plant under salt and water stress. Acta Physiologiae Plantarum, 32:541-549, 2010.
- 6- Tuna A.L., **Köşkeröğlu S.**, Girgin A.R., Yokaş İ., Changes in antioxidant enzyme activity, macronutrient uptake, and some yield parameters by salicylic acid in different wheat cultivars. Turkish Journal of Science and Technology, Cilt: 6 No:2, 2011.