

**BUĞDAY ÇEŞİTLERİNDE AĞIR METAL
STRESİNİN HÜCRE BÖLÜNMESİ VE
ANTİOKSİDAN ENZİM SEVİYELERİ
ÜZERİNE EKOTOKSİKOLOJİK ETKİLERİ**

Ayşe AK
Doktora Tezi
Biyoloji Anabilim Dalı
Eylül-2011

ÖZET

Doktora Tezi

BUĞDAY ÇEŞİTLERİNDE AĞIR METAL STRESİNİN HÜCRE BÖLÜNMESİ VE ANTİOKSİDAN ENZİM SEVİYELERİ ÜZERİNE EKOTOKSİKOLOJİK ETKİLERİ

Ayşe AK

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ersin YÜCEL

2011, 106 sayfa

Bu çalışmada, çinko, kadmiyum ve kurşunun buğday çeşitlerinde (*Triticum aestivum* L. cv. Altay, *Triticum aestivum* L. cv. Sönmez ve *Triticum aestivum* L. cv. Sultan) hücre bölünmesi ve antioksidan enzim seviyeleri üzerine ekotoksikolojik etkileri incelenmiştir. Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metaller (çinko, kadmiyum ve kurşun) buğday çeşitleri arasında çimlenme, hipokotil ve radikula uzunluk, kuru ağırlık ve su yüzdeleri, klorofil a, klorofil b ve karotenoid içeriği, mitotik indeks ve katalaz enzim aktivitesinde farklılıklara neden olurken, süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesinde buğday çeşitleri arasında bir farklılığa neden olmamıştır. Her bir buğday çeşidinde ağır metal uygulamalarının ölçülen parametrelerde azalışlara neden olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak ağır metallerin, buğday çeşitlerinin fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri olumsuz etkilediği ve ağır metal stresinden en az zarar gören buğday çeşidinin ise *Triticum aestivum* L. cv. Sönmez olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, Antioksidan enzim, Buğday, Ekotoksikoloji, Hücre bölünmesi

ABSTRACT

PhD Thesis

ECOTOXICOLOGICAL EFFECTS of HEAVY METAL STRES on CELL DIVISION and ANTIOXIDANT ENZYME LEVELS of WHEAT VARIETIES

Ayşe AK

Anadolu University

Graduate School of Sciences

Biology Department

Supervisor: Prof. Dr. Ersin YÜCEL

2011, 106 pages

In this study, ecotoxicology effects of zinc, lead, cadmium on cell division and antioxidant enzyme of wheat genotypes (*Triticum aestivum* L. cv. Altay, *Triticum aestivum* L. cv. Sönmez ve *Triticum aestivum* L. cv. Sultan) were investigated. Different concentrations (100, 200 and 300 µM) of heavy metals (zinc, cadmium, lead) caused to changes the germination, length of hypocotyl and radicle, dry weight and water content, chlorophyll a and chlorophyll b, carotenoid, mitotic index and catalase enzyme levels among wheat genotypes. However superoxid dismutase (SOD) levels was not altered depending on different concentration of heavy metals. Heavy metals applications caused decreases of measured parameters in each wheat genotypes. In conclusion heavy metals affects physiological and biochemical mechanisms of wheat genotypes and *Triticum aestivum* L. cv. Sönmez has more tolerated to heavy metals.

Keywords: Antioxidant enzyme, Cell division, Ecotoxicology, Heavy metal, Wheat genotypes

TEŞEKKÜR

Eğitimimde katkısı büyük olan, tezimin yapılmasında göstermiş olduğu yardım ve hoşgörüsünden dolayı tez danışmanım ve hocam Sayın Prof. Dr. Ersin YÜCEL'e,

Doktora öğrenciliğim süresince bilgi birikimleri ve deneyimlerini benimle paylaşan bütün değerli hocalarıma,

Tez çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Hülya ve eşi Önder ALTUNTAŞ, Ayşe ÇAKIR ve Ferhat ALTUNSOY'a,

Varlığının sebebi ve varlıklarını her zaman hissettiğim iki insan, annem Adalet AK ve babam İdris AK'a

TEŞEKKÜR EDERİM...

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix

1. GİRİŞ	1
1.1. Ağır Metaller	2
1.1.1. Ağır metallerin genel özellikleri	2
1.1.2. Ağır metallerin bitkiler tarafından alınması	3
1.1.2.1. Köklerle alınımlar	3
1.1.2.2. Yapraklarla alınımlar	4
1.1.3. Çinko	4
1.1.4. Kadmiyum	5
1.1.5. Kurşun	6
1.2. Ağır Metallerin Toprakdan Giderilmesi	7
1.3. Ağır Metaller ve Ekofizyoloji	8
1.4. Ağır Metaller ve Hücre Bölünmesi	8
1.5. Oksidatif Stres ve Antioksidan Mekanizmalar	9
1.5.1 Süperoksit dismutaz (SOD, EC 1.15.1.1)	11
1.5.2. Katalaz (CAT, H ₂ O ₂ , EC 1.11.1.6)	12
2. MATERYAL VE YÖNTEM	13
2.1. Çimlenme	13
2.2. Su İçeriği ve Kuru Madde Miktarının Belirlenmesi	13
2.3. Fotosentetik Pigment Konsantrasyonunun Analizi	14
2.4. Hücre Bölünmesi ve Mitotik İndeks	14
2.5. Enzim Analizleri için Ekstraksiyon Yöntemi	15
2.5.1. Enzim analizleri	15

2.6. İstatistik.....	16
3. BULGULAR	17
3.1. Ağır Metallerin (Çinko, Kadmiyum, Kurşun) Çimlenme Üzerine Etkisi.....	17
3.1.1. <i>T. a. cv. ‘Altay’</i> çeşidinin çimlenme yüzdeleri üzerine ağır metal stresinin etkileri	19
3.1.2. <i>T. a. cv. ‘Sönmez’</i> çeşidinin çimlenme yüzdeleri üzerine ağır metal stresinin etkileri.....	20
3.1.3. <i>T. a. cv. ‘Sultan’</i> çeşidinin çimlenme yüzdeleri üzerine ağır metal stresinin etkileri.....	21
3.2. Ağır Metallerin (Çinko, Kadmiyum, Kurşun) Hipokotil Uzunlukları Üzerine Etkisi.....	22
3.2.1. <i>T. a. cv. ‘Altay’</i> çeşidinin hipokotil uzunlukları üzerine ağır metal stresinin etkileri.....	24
3.2.2. <i>T. a. cv. ‘Sönmez’</i> çeşidinin hipokotil uzunlukları üzerine ağır metal stresinin etkileri.....	25
3.2.3. <i>T. a. cv. ‘Sultan’</i> çeşidinin hipokotil uzunlukları üzerine ağır metal stresinin etkileri.....	26
3.3. Ağır Metallerin (Çinko, Kadmiyum, Kurşun) Radikula Uzunlukları Üzerine Etkisi.....	27
3.3.1. <i>T. a. cv. ‘Altay’</i> çeşidinin radikula uzunlukları üzerine ağır metal stresinin etkileri.....	29
3.3.2. <i>T. a. cv. ‘Sönmez’</i> çeşidinin radikula uzunlukları üzerine ağır metal stresinin etkileri	30
3.3.3. <i>T. a. cv. ‘Sultan’</i> çeşidinin radikula uzunlukları üzerine ağır metal stresinin etkileri.....	31
3.4. Ağır Metallerin (Çinko, Kadmiyum, Kurşun) Hipokotil, Radikula Kuru Ağırlıkları ile Yüzde Su İçeriği Üzerine Etkisi.....	32
3.4.1. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. ‘Altay’</i> çeşidinde hipokotil, radikula kuru ağırlıkları ile yüzde su içeriği üzerine etkisi	38
3.4.2. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. ‘Sönmez’</i> çeşidinde	

hipokotil, radikula kuru ağırlıkları ile yüzde su içeriği üzerine etkisi.....	42
3.4.3. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a.</i> cv. ‘ Sultan ’ çeşidinde hipokotil, radikula kuru ağırlıkları ile yüzde su içeriği üzerine etkisi.....	42
3.5. Ağır Metallerin (Çinko, Kadmiyum, Kurşun) Klorofil a Üzerine Etkisi	50
3.5.1. <i>T. a.</i> cv. ‘ Altay ’ çeşidinin klorofil a üzerine ağır metal stresinin etkileri	52
3.5.2. <i>T. a.</i> cv. ‘ Sönmez ’ çeşidinin klorofil a üzerine ağır metal stresinin etkileri	53
3.5.3. <i>T. a.</i> cv. ‘ Sultan ’ çeşidinin klorofil a üzerine ağır metal stresinin etkileri	54
3.6. Ağır Metallerin (Çinko, Kadmiyum, Kurşun) Klorofil b Üzerine Etkisi	56
3.6.1. <i>T. a.</i> cv. ‘ Altay ’ çeşidinin klorofil b üzerine ağır metal stresinin etkileri	57
3.6.2. <i>T. a.</i> cv. ‘ Sönmez ’ çeşidinin klorofil b üzerine ağır metal stresinin etkileri	58
3.6.3. <i>T. a.</i> cv. ‘ Sultan ’ çeşidinin klorofil b üzerine ağır metal stresinin etkileri	59
3.7. Ağır Metallerin (Çinko, Kadmiyum, Kurşun) Karotenoid Miktarı Üzerine Etkisi.....	61
3.7.1. <i>T. a.</i> cv. ‘ Altay ’ çeşidinin karotenoid üzerine ağır metal stresinin etkileri	62
3.7.2. <i>T. a.</i> cv. ‘ Sönmez ’ çeşidinin karotenoid üzerine ağır metal stresinin etkileri	64
3.7.3. <i>T. a.</i> cv. ‘ Sultan ’ çeşidinin karotenoid üzerine ağır metal stresinin etkileri	65
3.8. Ağır Metallerin (Çinko, Kadmiyum, Kurşun) Mitotik İndeks Üzerine Etkisi.....	66
3.8.1. <i>T. a.</i> cv. ‘ Altay ’ çeşidinin mitotik indeks üzerine ağır metal stresinin etkileri	67
3.8.2. <i>T. a.</i> cv. ‘ Sönmez ’ çeşidinin mitotik indeks üzerine	

ağır metal stresinin etkileri.....	68
3.8.3. <i>T. a. cv. ‘Sultan’</i> çeşidinin mitotik indeks üzerine ağır metal stresinin etkileri.....	69
3.8.4. Ağır metallerin buğday çeşitleri üzerinde neden olduğu mitotik anormallikler.....	71
3.9. Ağır Metallerin Süperoksit Dismutaz Enzim Aktivitesi Üzerine Etkisi.....	75
3.9.1. <i>T. a. cv. ‘Altay’</i> çeşidinin SOD enzim aktivitesi ağır metal stresinin etkileri	76
3.9.2. <i>T. a. cv. ‘Sönmez’</i> çeşidinin SOD enzim aktivitesi üzerine ağır metal stresinin etkileri	77
3.9.3. <i>T. a. cv. ‘Sultan’</i> çeşidinin SOD enzim aktivitesi üzerine ağır metal stresinin etkileri.....	79
3.10. Ağır Metallerin Katalaz Enzim Aktivitesi Üzerine Etkisi	80
3.10.1. <i>T. a. cv. ‘Altay’</i> çeşidinin katalaz enzim aktivitesi ağır metal stresinin etkileri.....	81
3.10.2. <i>T. a. cv. ‘Sönmez’</i> çeşidinin katalaz enzim aktivitesi üzerine ağır metal stresinin etkileri	82
3.10.3. <i>T. a. cv. ‘Sultan’</i> çeşidinin katalaz enzim aktivitesi üzerine ağır metal stresinin etkileri	83
4. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER	85
4.1. Ağır Metallerin Çimlenme Üzerine Etkisi.....	85
4.2. Ağır Metallerin Hipokotil ve Radikula Uzunlukları Üzerine Etkisi	86
4.3. Ağır Metallerin Hipokotil ve Radikula Kuru Ağırlık ve Yüzde Su İçeriği Üzerine Etkisi.....	88
4.4. Ağır Metallerin Klorofil a, Klorofil b ve Karotenoid Üzerine Etkisi.....	90
4.5. Ağır Metallerin Mitotik İndeks Üzerine Etkisi	92
4.6. Ağır Metallerin Süperoksit Dismutaz Enzim Aktivitesi Üzerine Etkisi.....	93
4.7. Ağır Metallerin Katalaz Enzim Aktivitesi Üzerine Etkisi.....	94
KAYNAKLAR	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

3.1. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin çimlenme yüzdeleri bakımından karşılaştırılması.....	18
3.2. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin hipokotil uzunluğu bakımından karşılaştırılması.....	24
3.3. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin radikula uzunlukları bakımından karşılaştırılması.....	28
3.4. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin hipokotil kuru ağırlık bakımından karşılaştırılması.....	33
3.5. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin hipokotil yüzde su içeriği bakımından karşılaştırılması.....	35
3.6. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin radikula kuru ağırlık bakımından karşılaştırılması.....	36
3.7. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin radikula yüzde su içeriği bakımından karşılaştırılması.....	38
3.8. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin klorofil a bakımından karşılaştırılması.....	52
3.9. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin klorofil b bakımından karşılaştırılması.....	57
3.10. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin karotenoid bakımından karşılaştırılması.....	62
3.11. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin mitotik indeks bakımından karşılaştırılması.....	67
3.12. Kök ucu hücrelerinde gözlenen kromozomal düzensizlikler.....	72
3.13. Kök ucu hücrelerinde gözlenen kromozom kırıkları.....	73
3.14. Kök ucu hücrelerinde gözlenen kromozom köprüleri.....	73
3.15. Kök ucu hücrelerinde gözlenen yapışık metafaz.....	74
3.16. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin SOD enzim aktivitesi bakımından karşılaştırılması.....	76
3.17. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin katalaz enzim aktivitesi bakımından karşılaştırılması.....	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

3.1.Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> , <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> , <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşitlerinin çimlenme yüzdelere göre yapılan varyans analizi sonuçları	15
3.2.Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin çimlenme yüzdeleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları	16
3.3. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinin çimlenme yüzdelere göre yapılan varyans analizi sonuçları	16
3.4.Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinde çimlenme yüzdeleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları	17
3.5.Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinin çimlenme yüzdelere göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	18
3.6.Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinde çimlenme yüzdeleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları	18
3.7.Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinin çimlenme yüzdelere göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	19
3.8. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinde çimlenme yüzdeleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	19
3.9.Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Altay'</i> , <i>T. a. cv 'Sönmez'</i> ve <i>T. a. cv 'Sultan'</i> çeşitlerinin hipokotil uzunluklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	20
3.10.Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin hipokotil uzunluğu bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları	20
3.11.Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinin hipokotil uzunluklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	21
3.12. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinde hipokotil uzunlukları bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	21
3.13.Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinin hipokotil uzunluklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları varyans analizi sonuçları.....	22

3.14. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinde hipokotil uzunlukları bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları	22
3.15. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinin hipokotil uzunluklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	23
3.16. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinde hipokotil uzunlukları bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	23
3.17. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> ve <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşitlerinin radikula uzunluklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	24
3.18. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin radikula uzunluğu bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları	24
3.19. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinin radikula uzunluklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	25
3.20. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinde radikula uzunlukları bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	25
3.21. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinin radikula uzunluklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	26
3.22. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinde radikula uzunlukları bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları ..	26
3.23. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinin radikula uzunluklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	27
3.24. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinde radikula uzunlukları bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	27
3.25. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> ve <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşitlerinin hipokotik kuru ağırlıklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları	28
3.26. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin hipokotil kuru ağırlık bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları..	28
3.27. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> ve <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşitlerinin hipokotil yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	29

3.28. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin hipokotil yüzde su içeriği bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları	29
3.29. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> ve <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşitlerinin radikula kuru ağırlıklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	30
3.30. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin radikula kuru ağırlıkları bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	30
3.31. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> ve <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşitlerinin radikula yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları	31
3.32. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin radikula yüzde su içeriği bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	31
3.33. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinin hipokotil kuru ağırlıklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	32
3.34. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinde hipokotil kuru ağırlık bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	32
3.35. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinin hipokotil yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	33
3.36. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinde hipokotil yüzde su içerik bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	33
3.37. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinin radikula kuru ağırlıklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	34
3.38. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinde radikula kuru ağırlık bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	34
3.39. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinin radikula yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	35
3.40. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinde radikula yüzde su içerik bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	35
3.41. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinin hipokotil kuru ağırlıklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	36

3.42. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinde hipokotil kuru ağırlık bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları	36
3.43. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinin hipokotil yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	37
3.44. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinde hipokotil yüzde su içerik bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	37
3.45. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinin radikula kuru ağırlıklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları	38
3.46. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinde radikula kuru ağırlık bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	38
3.47. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinin radikula yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	39
3.48. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinde radikula yüzde su içerik bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	39
3.49. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinin hipokotil kuru ağırlıklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	40
3.50. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinde hipokotil kuru ağırlık bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	40
3.51. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinin hipokotil yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	41
3.52. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinde hipokotil yüzde su içerik bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	41
3.53. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinin radikula kuru ağırlıklarına göre yapılan varyans analizi sonuçları	42
3.54. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinde radikula kuru ağırlık bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	42
3.55. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinin radikula yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	43
3.56. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinde radikula yüzde su içerik bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	43

3.57. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> ve <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşitlerinin klorofil a miktarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	44
3.58. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin klorofil a miktarı bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	44
3.59. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinin klorofil a miktarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	45
3.60. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinde klorofil a miktar bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	45
3.61. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinin klorofil a miktarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	46
3.62. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinde klorofil a miktarı bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	46
3.63. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinin klorofil a miktarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	47
3.64. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinde klorofil a miktarı bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	47
3.65. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> ve <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşitlerinin klorofil b miktarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	48
3.66. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin klorofil b miktarı bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	48
3.67. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinin klorofil b miktarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	49
3.68. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinde klorofil b miktar bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	49
3.69. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinin klorofil b miktarına göre yapılan varyans analizi sonuçları	50
3.70. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinde klorofil b miktarı bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	50
3.71. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinin klorofil b miktarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	51

3.72. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinde klorofil b miktarı bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	51
3.73. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> ve <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşitlerinin karotenoid miktarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	52
3.74. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin karotenoid miktarı bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	52
3.75. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinin karotenoid miktarına göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	53
3.76. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinde karotenoid miktar bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	53
3.77. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinin karotenoid miktarına göre yapılan varyans analizi sonuçları	54
3.78. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinde karotenoid miktarı bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	54
3.79. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinin karotenoid miktarına göre yapılan varyans analizi sonuçları	55
3.80. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinde karotenoid miktarı bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	55
3.81. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> ve <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşitlerinin mitotik indekslerine göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	56
3.82. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin mitotik indeksleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	56
3.83. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinin mitotik indekslerine göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	57
3.84. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinde mitotik indeksleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	57
3.85. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinin mitotik indekslerine göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	58
3.86. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinde mitotik indeksleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	58

3.87. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinin mitotik indekslerine göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	59
3.88. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinde mitotik indeksleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	59
3.89. Ağır metal uygulaması sonucu <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidindeki mitotik indeks ve kromozomal anormallikler	60
3.90. Ağır metal uygulaması sonucu <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidindeki mitotik indeks ve kromozomal anormallikler	60
3.91. Ağır metal uygulaması sonucu <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidindeki mitotik indeks ve kromozomal anormallikler	61
3.92. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> ve <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşitlerinin SOD enzim aktivitelerine göre yapılan varyans analizi sonuçları.....	65
3.93. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin SOD enzim aktiviteleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları ...	65
3.94. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinin SOD enzim aktivitelerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	66
3.95. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> çeşidinde SOD enzim aktiviteleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları ...	66
3.96. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinin SOD enzim aktivitelerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	67
3.97. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> çeşidinde SOD enzim aktiviteleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları ...	67
3.98. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinin SOD enzim aktivitelerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	68
3.99. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşidinde SOD enzim aktiviteleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları ...	68
3.100. Ağır metallerin <i>T. a. cv. 'Altay'</i> <i>T. a. cv. 'Sönmez'</i> ve <i>T. a. cv. 'Sultan'</i> çeşitlerinin katalaz enzim aktivitelerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	69
3.101. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin katalaz enzim aktiviteleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları ...	69

3.102. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a.</i> cv. ‘ Altay ’ çeşidinin	
katalaz enzim aktivitelerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	70
3.103. Ağır metallerin <i>T. a.</i> cv. ‘ Altay ’ çeşidinde katalaz enzim	
aktiviteleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları ...	70
3.104. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a.</i> cv. ‘ Sönmez ’ çeşidinin	
katalaz enzim aktivitelerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	71
3.105. Ağır metallerin <i>T. a.</i> cv. ‘ Sönmez ’ çeşidinde katalaz enzim	
aktiviteleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları ...	71
3.106. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) <i>T. a.</i> cv. ‘ Sultan ’ çeşidinin katalaz	
enzim aktivitelerine göre yapılan varyans analizi sonuçları	72
3.107. Ağır metallerin <i>T. a.</i> cv. ‘ Sultan ’ çeşidinde katalaz enzim	
aktiviteleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin	
Duncan testi sonuçları	72

1. GİRİŞ

Buğday, dünyada ve Türkiye’de stratejik bir bitki olup, insanların temel enerji ve protein kaynağı durumundadır. Türkiye’de gıdasal enerjinin % 40’ı buğday ürünleri tarafından karşılanır. Ülkemizin ekili alanlarına bakıldığında, yaklaşık % 50’sini tahıllar, tahılların ekim alanlarının da yaklaşık % 70’ini buğday oluşturduğu görülmektedir (Güleç ve ark., 2010).

Ülkemizde buğday ekiliş alanları son sınırlarına ulaşmış olup buğday yetiştirilmesine elverişli olmayan marjinal alanlarda bile buğday ekimi yapılmaktadır. Buğday üretiminin artırılması için birim alandan alınan verimin yükseltilmesi gerekmektedir. Bunun için uygun kültürel teknikler kullanılarak yetiştirilmeleri yüksek verimli, üstün kaliteli, biyotik ve abiyotik stres şartlarına dayanıklı çeşitler kullanılmalıdır (Mut ve ark., 2005).

Bitkisel üretimin tüm aşamalarını olumsuz etkileyen, verim ile kaliteyi düşüren faktörlerden birisi ağır metallerin sebep olduğu kirliliktir. Ağır metal kirliliği insanların endüstriyel ve şehirsal atıkları ile havayı kirletici maddelerin iyi yönetilememesi, trafik yoğunluğu, aşırı pestisit ve gübre kullanımına dayalı entansif tarım uygulamaları gibi faaliyetleri ile tarım toprakları, yeraltı ve yerüstü sularında artmaktadır. Endüstriyel veya kentsel atık suları ile kirlenmiş akarsu ve göllerin tarımsal amaçla kullanılması sonucunda, topraklarda önemli düzeyde iz element ve ağır metal birikimi olduğu bilinmektedir. Canlı sisteme giren ağır metaller, besin zinciri ile bir organizmadan diğerine taşınarak canlı sistemlerde yüksek konsantrasyonlara ulaşmakta ve zararlarını yıllarca sürdürebilmektedir (Yucel ve ark., 2010). Atmosfer, toprak ve suda oluşan ağır metal kirliliği artarak bitkisel üretimin miktar ve kalitesini düşürecektir. Ağır metaller, koloidal adsorbsiyon ve iyon değişimi ile toprakta kalıntı (birikim) yaparak, çinko (Zn), bakır (Cu), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve nikel (Ni) gibi ağır metaller toprağın biyoelverişliliği üzerine fazlası ile etki yaparlar (Algan ve Bilen, 2005).

Bugün ve gelecekte oluşabilecek problemlere sağlıklı çözümler üretilebilmesi için,

- i. Ağır metallerin bitkiler üzerinde oluşturduğu stresin hücredeki metabolik olayları nasıl etkilediğinin belirlenmesi,
- ii. Bitkilerin bu kirleticilere karşı hangi tepkiler verdiğinin bilinmesi,

iii. Nasıl uyum mekanizmaları geliştirdiğini açıklığa kavuşturulması, gerekmektedir.

Bu alışmada, Eskişehir ve çevresinde ekimi en fazla yapılan üç buğday eşidi (*Triticum aestivum* L. cv. Altay, *Triticum aestivum* L. cv. Sultan ve *Triticum aestivum* L. cv. Sönmez) zerinde ağır metallerin (inko, kadmiyum ve kurşun) sitotoksik ve genotoksik olarak biyokimyasal ve fizyolojik düzeyde ekotoksikolojik etkilerini araştırmak ve ağır metal stresine dayanıklı çeşitlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.1. Ağır Metaller

1.1.1. Ağır metallerin genel zellikleri

Yoğunluğu 5.0 g cm⁻³'ten büyük metaller (civa, kadmiyum, kurşun, çinko gibi) ağır metaller olarak bilinirler. Bunlar özellikle yoğun insan kaynaklı etmenlerin olduğu alanlarda önemli çevresel kirleticiler olup, toprak, su ve havada eser miktarlarda bile canlılar için tehlikelidirler (Doğan ve Saygıdeğer, 2009).

Ağır metaller özellikle belirli bir seviyeyi geçtikten sonra bitkilerde membranlarda hasar, hormon dengesinin bozulması, su ilişkisinin değişmesi gibi fizyolojik ve biyokimyasal olayları direkt veya dolaylı olarak etkiler (Zengin ve Munzuroğlu, 2003).

Yağdı ve ark., (2000), bitkilerde ağır metal toksitesi üzerine çalışmışlar ve bitkilerde ağır metal toksitesinin büyüme ve gelişmede yavaşlama, enzim aktivitesinde bozulma, kökte zararlar, depolama faaliyetlerinde bozulma, fotosentez aktivitesinde gerileme, diğer besin elementlerinin alımında yavaşlama ve verimde düşme gibi zararlara neden olduğunu belirtmişlerdir.

1.1.2. Ağır metallerin bitkiler tarafından alınması

Bitkiler; atmosferden, gübrelerden, atık su ve çamurlardan veya tarımda kullanılan pestisitlerden toprağa bulaşmış olan ağır metalleri derişimlerine bağlı olarak biriktirirler. Topraktaki ağır metallerin tolere edilir miktarlarının saptanması gerekir.

Bitkiler, özellikle kadmiyum gibi bazı elementleri çok geniş sınırlar içinde tolere edebilirler ve bu şekildeki tarım ürünlerinde insan ve hayvan beslenmesi üzerinde olumsuzluk oluşturacak düzeyde metal birikimi söz konusudur (Vural, 1993).

1.1.2.1. Köklerle alım

Topraktaki metallerin bir kısmı toprakta kalırken bir kısmı da bitkiler tarafından alınır. Metalleri depolayan bitkiler öncelikle metalleri toprakta harekete geçirmelidir. İlk olarak toprağa bağlı olan metalleri topraktan çözmek için metal şelatlandırıcı moleküller (fitosideroforez) rizosfere salınır. Örneğin mugineik asit ve avenik asit gramine türlerinin fitosideroforezi olarak görev yaparlar (Kinnerseley, 1993). Bu fitosideroforezler demir ve çinko eksikliğinde serbest bırakılırlar ve bakır, çinko ve manganın toprakta hareketini sağlarlar (Romheld, 1991). İkinci olarak kökler spesifik plazma membranına bağlı metal redüktazlar ile metal iyonlarını azaltabilirler. Son olarak da bitki kökleri saldıkları protonlar ile toprak ortamını asitleştirerek ağır metalleri çözer ve düşük pH'ın oluşmasına olanak sağlayıp toprak içindeki bağlı metal iyonlarının serbest kalmasına neden olur (Clarkson ve Luttge, 1989). Kök içine intraselüler veya ekstraselüler yollarla giren metal iyonları spesifik veya genel iyon taşıyıcıları vasıtasıyla ya da kanallarla bitki hücrelerine girerler (Clarkson ve Luttge, 1989; Liu ve ark., 2007). Bitki için gerekli olmayan ağır metaller de aynı transmembran taşıyıcılarını kullandıklarından aralarında rekabet ederler (Salt ve ark., 1995).

1.1.2.2. Yapraklarla alım

Yapraklar da esansiyel ve esansiyel olmayan metallerin alımında görev alırlar. Metallerin bir kısmı gaz formunda (örneğin civa) olduklarında stomalardan alınırlar. Ancak farklı metaller değişik seviyelerde absorbe edilirler. Örneğin, çinko, kadmiyum ve kurşuna göre daha fazla yaprağa nüfuz eder (Wang ve ark., 2003). Ayrıca farklı türler farklı epikutikular ve intrakutikular yapılarda kutikulaya sahip oldukları için metal alımı bitkinin türüne göre değişkenlik gösterirken, çevresel stres de yaprakların metal alımını etkiler (Prasad, 2004).

1.1.3. Çinko

Çinko, insan ve hayvanlarda olduğu gibi bitkilerde de çok çeşitli ve önemli metabolik işleve sahiptir. Protein ve karbonhidrat sentezine katılmasının yanı sıra, enzim aktivasyonu, fotosentez, solunum ve biyolojik membran stabilitesi üzerine etkileri nedeniyle üretilen ürün miktarı ve kalitesini direkt olarak etkilemektedir (Bykerdem ve Akman, 2008) .

Çinko toksik etkisini bitkilerin kök ve sürgün büyümesi azaltarak, köklerin incelmesine neden olarak gösterir. Genç yapraklar kıvrılır ve kloroz görülür, hücre büyümesi ve uzaması engellenir, hücre organelleri parçalanır ve klorofil sentezi azalır. Çinkonun kök meristem hücrelerinde profazdaki süreçleri etkileyerek mitoz bölünmeyi baskıladığı ve hücrelerin ligninleşmesini sağlayarak hem kök hem de gövde büyümesini engellediği bilinmektedir. Yüksek dozlardaki çinkonun klorofil sentezini etkilemesinin nedeni olarak yeterli demir bulunması halinde bile bitkinin bundan yararlanmasını engellemesi ve klorofilin merkezinde bulunan magnezyumun yerine geçmesi gösterilmektedir (Rout ve Das, 2003; El-Ghamery ve ark., 2003).

Çinkonun yüksek konsantrasyonu bitki görünüşünü küçültür, tohum sayısını, tohum ağırlığını ve ayeğinde çözülebilir proteinleri azaltır (Sönmez ve ark., 2008).

İnsan sağlığı açısından çinko toksisitesine bakıldığında çinkoya bağlı zehirlenmeler yaygın değildir. Besin kaplarından çinkonun çözünmesiyle kirlenen besinin tüketilmesi veya mesleki koşullar altında çinko ya da çinko oksit tozunun solunumuyla zehirlenme ortaya çıkabilmektedir (Saltes ve Bailey, 1984).

1.1.4. Kadmiyum

Kadmiyum metal işleyen endüstriler, ısıtma sistemleri, trafik, g istasyonları,, imento fabrikaları gibi çeşitli kaynaklardan ve kayaların minerilizasyonu ile çevreye salınırlar. Kadmiyumun zirai ve endüstriyel etmenlerden dolayı çevredeki konsantrasyonları sürekli artmaktadır (Liu ve ark., 2007; Doğan ve Saygıdeğer, 2009).

Kadmiyum insan, hayvan ve bitkiler için oldukça toksik etkili bir ağır metaldir. Bitki bünyesinde azot ve karbohidrat metabolizmalarını değiştirmesi nedeniyle birçok fizyolojik değişikliğe neden olur. Proteinlerin –SH gruplarındaki enzimleri inaktive

etmekte, protoklorofil reduktaz ile aminolevulinik asit sentezini bozup fotosentezi engeller ve stomaların kapanmasına, transpirasyon ile su kaybının azalmasına neden olmaktadır (Sheoran ve ark., 1990; Zengin ve Munzuroğlu, 2005). Fotosentez oranı üzerine olan olumsuz etkisi CO₂ asimilasyonunu azaltmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca ağır metallerin serbest radikal oluşumuna yol açtığı ve bu yolla tilakoid membran lipidlerinin oksidatif yıkımına neden olduğu, bu gibi durumlarda ise klorofil yıkımının arttığı ve sentezinin engellendiği bilinmektedir (Zengin ve Munzuroğlu, 2005). Kadmiyum toksisitesi süperoksit dismutaz, katalaz ve peroksidaz enzimlerinin aktivitesini azaltmaktadır (Milone ve ark., 2003; Hassan ve ark., 2005; Ranieri ve ark., 2005).

Kadmiyumun toksik etkisi uygulandığı miktara, bitki tür ve çeşit karakteristiklerine, yaprak yaşına ve bitkinin fenolojik gelişimine bağlı olarak değişir. Kadmiyumun bezelye bitkisinin fizyolojik parametreleri ve antioksidatif enzimler üzerine etkilerinin araştırıldığı bir başka çalışmada 50 µM kadmiyumun yapraklardaki terleme, fotosentez oranı ve klorofil sentezini azalttığı bildirilmektedir (Sandalio ve ark., 2001).

İnsan sağlığı açısından değerlendirildiğinde ise Japonya'da bulunan Jintzu nehrinin, çinko, kurşun ve kadmiyum filizlerinin çıkarıldığı maden ocaklarının atık suları ile kirlendiği bölgede "İtai-İtai" hastalığı olarak belirtilen epidemik olayın kadmiyumdan kaynaklandığı anlaşılmıştır. Yaşayan halkının atık suları sulama ve günlük ihtiyaçlarında kullanması sonucu şiddetli romatizmal ağrılarla kendini gösteren hastalık tablosunun ortaya çıktığı belirlenmiştir. Gıdalarla yüksek düzeylerde kadmiyum alınması akut toksikasyona neden olur. Kadmiyum ile kirlenmiş suların tüketilmesi ile abdominal ağrı, kusma ve bulantı gibi şikayetler belirir. Kadmiyumun solunum yolu ile de akut pnömoni ve pulmoner ödem oluşur. Ayrıca kardiovasküler sistem ve iskelet sisteminde de hasarlar meydana gelir (Baş ve Demet, 1992, Yücel ve ark., 1995).

1.1. 5. Kurşun

Kurşun bütün bitkilerde doğal olarak bulunsa da bitki için gerekli bir element değildir. Kurşunun toksik etkisi konsantrasyonuna, tuz oluşturma şekline, toprak

özelliğine ve bitki türüne ve çeşidine bağlı olarak değişim gösterir. Kurşunun toksik seviyeleri bitkideki makromoleküller içindeki fonksiyonel gruplarda yer alan metal iyonlarını, fotosentezi, mineral nutrisyonu ve bitki su kapasitesini düzenleyen çeşitli enzim aktivitesini değiştirmek suretiyle çimlenme, sürgün gelişimi, tolerans indeksi, kök ve sürgün kuru ağırlığı gibi olayları etkilemesiyle kendini gösterir (Lamhamdi ve ark., 2011).

Ortamda kurşuna maruz kalmış bitkilerde kök uzaması ve biyokütlede azalma, klorofil biyosentezinde engellenme, bazı enzim aktivitelerinde tetiklenme veya engellenmeler olduğu rapor edilmiştir (Chen ve ark., 2007; Doğan ve Çolak, 2009; Yang ve ark., 2010).

Kıran ve Şahin (2005)'in önemli çevre kirleticilerinden biri olan kurşunun mercimek (*Lens culinaris* Medik.) üzerinde etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada düşük konsantrasyonlarda tohumların çimlenme oranının anlamlı şekilde etkilenmediği ancak doz arttıkça çimlenme oranının azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca uygulanan tüm konsantrasyonlarda, kök büyümesi kontrole göre engellenmiş ve konsantrasyon artışına paralel olarak, hücre bölünmesinin azaldığı ve çeşitli mitotik anormalliklerin arttığı tespit edilmiştir.

Kurşun elementi, hücre turgoru ve duvarının stabilitesini olumsuz etkiler. Stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltarak bitki su rejimini etkilemektedir. Aynı zamanda kökler tarafından tutulması ve kök gelişimini azaltması nedeniyle bitkilerin katyon ve anyon alımını azaltmakta dolayısıyla besin alımını etkilemektedir (Sharma ve Dubey, 2005).

Kurşun elementi köklerde sürgünlere göre daha fazla birikir. Verma ve Dubey (2003)'in çeltik bitkisinde yaptığı bir çalışmada 500 ve 1000 μM kurşun nitrat uygulanmasının kök büyümesini % 22-42 ve sürgün büyümesini % 25 oranında azalttığı, kökler tarafından absorbe edilen kurşun miktarının sürgünlerden 1,7 - 3,3 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Kurşunun insanlar üzerindeki toksik etkilerinden en belirginini çocuklarda ve fütüste izlenir. Erişkinlerde genellikle mesleki maruziyet durumlarında periferik nöropati ve/veya kronik nöropati şeklinde ortaya çıkar. Hemoglobin metabolizmasında bozukluklar ve anemi gözlenen önemli bozukluklardır. Ayrıca kusma, kolik, ishal ve karın ağrısı gibi gastrointestinal sistem ve ölü doğumlar gibi

üreme sistemine ait bozukluklar da mevcuttur (Erkan, 1984; Klassen ve ark., 1986; Yücel ve ark.,1995).

1.2. Ağır Metallerin Topraktan Giderilmesi

Son yıllarda topraktaki ağır metal kirliliğini gidermek için yüksek maliyetli teknolojilerin yerine ekonomik, birçok toprak türünde uygulanabilir, tahrip edici özelliği olmayan ve doğal bir yöntem olan fitoremediasyon kullanılmaktadır. Fitoremediasyon karasal bitkilerin, ağır metalleri absorbe edip detoksifikasyona uğratma özelliği demektir. Fitoremediasyon yöntemi, yeni ortaya konmuş, ekonomik ve ekolojik olması ile özel donanım gerektirmemesi ve uygulanan bölgenin yeniden kullanılabilmesine imkan vermesi gibi avantajlara sahip olması nedeniyle günümüzde tercih edilen bir yöntem haline gelmektedir. (Babaoğlu ve ark., 2004).

Ağır metallerle kirlenmiş alanların fitoremediasyonu için uygun tür veya çeşitlerin geliştirilmesinde metal tolerans ile ilgili moleküler mekanizmalar ve genetik temellerin aydınlatılmasının önemli olduğu vurgulanmıştır (Yıldız ve ark., 2011).

1.3. Ağır Metaller ve Ekotoksikoloji

Ekotoksikoloji, toksik maddelerin doğaya salıverilmesinden kaynaklanan potansiyel etkiyi değerlendirmek için toksikoloji prensiplerinin doğal sistemlere uygulandığı yeni bir bilimsel alandır. Klasik toksikoloji başta insanlar olmak üzere kimyasala maruz kalma, yetişkin türlerdeki etkileri üzerinde yoğunlaşırken, ekotoksikoloji fiziksel çevre ile karşılıklı etkileşimde bulunan bitki ve hayvan popülasyonları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bazı ekotoksikoloji testleri, hücresel veya organizma seviyesindeki değişiklikleri izlemek için dizayn edilmiş ve insanlardaki toksisiteyi tahmin etmek için kabul görmüştür (Kurt, 2000; Rand ve Petrocelli, 1984).

Toksikoloji kimyasalların ve diğer zehirli (toksik) ajanların organizmalar (karasal veya sucul hayvan ya da bitki) üzerine zararlı etkilerini araştıran bir çalışma alanı olarak tanımlanmakta, memeli toksikolojisi ve ekotoksikoloji olarak ikiye ayrılmaktadır (Rand, 1995).

1.4. Ağır Metaller ve Hücre Bölünmesi

Hücre bölünmesi makromoleküler düzeyde karmaşık biyokimyasal olaylar dizisi içeren çeşitli işlemler sonucu gerçekleşmektedir. Canlıların büyüme ve gelişmesi, bu canlıları oluşturan hücrelerin düzenli ve sağlıklı çoğalmasına bağlıdır. Günümüzde ekolojik sistemlerin bozulması ve çevreye bırakılan çeşitli kirleticiler nedeniyle canlılar üzerinde olumsuz etkiler meydana gelmektedir. Endüstri bölgelerinin çevre kirleticileri arasında yer alan çinko, kurşun ve kadmiyum gibi ağır metallerin yanı sıra, zirai mücadelede kullanılan çeşitli kimyasallar da hem bitki hem de hayvanların büyüme ve gelişmesini olumsuz yönde etkilemektedir (İnceer ve Beyazoğlu, 2000).

Biyotik ve çevresel streslerin, hücre bölünmesi ve mitotik indeks üzerinde önemli derecede azalmaya ve kromozomal anormalliklerine (Avalbaev ve ark., 2003), ayrıca ekonomik önemi olan tahıllar dahil, tüm bitkilerin normal fizyolojik işlevlerinde değişikliğe yol açtığı bilinmektedir. Tüm bu stresler bitkilerin biyosentetik kapasitelerini azaltır, normal fonksiyonlarını değiştirir ve bitkinin ölümüne yol açabilecek zararlara neden olabilir (Lichtenhaler, 1996).

Kirliliğin boyutunun gözlenebilmesi için bir ağır metalin genotoksik potansiyelinin değerlendirilmesinde kromozomal değişimlerin induksiyonunun ölçülmesi en etkili metodlardan biri olup kromozomal hasarın belirlenmesinde etkili, gerçekçi ve ekonomik bir kriter olarak ele alınmaktadır (Kumar ve Rai, 2007).

Mitotik indeks, hücre bölünme frekansını yansıtır ve büyüme gelişme oranını belirlemede önemli bir parametredir ve mitotik indeksteki azalmaya paralel olarak büyüme ve gelişme olayları da yavaşlar (Jiang ve Liu, 2000).

Zhang ve Yang (1994)'ın çalışmasında, artan kadmiyum konsantrasyonlarıyla paralel olarak kök uzaması ve hücre bölünmesinin azaldığı belirlenmiştir. Kadmiyum c-mitoz, anafaz köprüleri ve kırıkları, stick kromozom gibi bazı mitotik anormalliklere neden olmaktadır.

Yine yapılan bir çalışmada, bakırın kromozom morfolojisi üzerine toksik etkilerinin olduğu ve bu etkilerin c-mitoz, anafaz köprüleri ve kromozom yapışmaları şeklinde olduğu bildirilmiştir (Jiang ve ark., 2001).

1.5. Oksidatif Stres ve Antioksidan Mekanizmalar

Hücrede normal metabolik süreçler devam ederken enzimatik reaksiyonlarda ara ürünler olarak devamlı şekilde serbest radikaller oluşur. Bazen bu serbest radikaller enzimlerin aktif yerinden sızarak moleküler oksijenle etkileşir ve serbest oksijen radikallerini oluştururlar. Hücrede oluşan reaktif oksijen türleri, "antioksidant savunma sistemleri" olarak adlandırılan mekanizmalarla ortadan kaldırılırlar. Ancak bazen hücresel savunma mekanizması vasıtasıyla ortadan kaldırılardan daha fazla reaktif oksijen türleri oluşabilir. Organizmada hücresel savunma mekanizması vasıtasıyla ortadan kaldırılardan daha fazla reaktif oksijen türlerinin meydana gelmesi Oksidatif Stres olarak tanımlanır (Kartal, 2008).

Bitkiler farklı stres faktörlerine savunma mekanizmaları geliştirmişlerdir. Bitkiler stresi ya tolere etmekte ya da ondan kaçınmaktadırlar. Stres faktörleri yapısal ve metabolik hasarlara neden olmaktadır (Koç ve Üstün, 2008).

Bitkilerin maruz kaldığı başlıca stres faktörleri, biyotik ve abiyotik olmak üzere iki kısma ayrılabilir (Fujita ve ark., 2006).

Biyotik (patojen, diğer organizmalarla rekabet vb.) ve abiyotik (kuraklık, tuzluluk, radyasyon, ekstrem sıcaklıklar, besin, mineral, kimyasal toksisite ve oksidatif stres vb.) stresler beslenmemizde önemli bir yere sahip tahıllar da dahil, tüm bitkilerin normal fizyolojik işlevlerinde değişikliklere yol açarak ürün kayıplarına neden olurken doğal ekosisteminde dengesini bozmaktadır (Wang ve ark., 2003; Wang ve ark., 2004; Türkan ve Demiral, 2009; Gill ve Tuteja, 2010).

Bu olumsuz faktörlerden dolayı oksidatif stres hücrelere zarar veren ya da hücreleri öldüren Reaktif Oksijen Türlerinin (ROS) bitki hücrelerinde oluşmasına neden olur. ROS belli redoks tepkimeleri sırasında oluşabildiği gibi oksijenin tamamlanmamış indirgenmesi sırasında, mitokondriada suyun yükseltgenmesinde ya da kloroplastlarda elektron aktarımı anında da oluşur (Apel ve Hirt, 2004). Singlet oksijenin oluşumunu (1O_2) hidrojen peroksit (H_2O_2), süperoksit anyon (O_2^{*-}), hidroksil radikal (HO^*) ve perhidroksil radikali (O_2H^*) gibi diğer reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumları izler (Gill ve Tuteja, 2010; Yılmaz ve ark., 2010).

Antioksidant koruma sistemi enzimatik olan ve enzimatik olmayan antioksidantlardan oluşur. Bitkilerde temel antioksidanlar askorbat (C Vitamini),

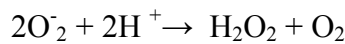
indirgenmiş glutation (GSH), α -tokoferol (E Vitamini) ve karotenoidlerdir. Benzer görev poliaminler ve flavonoidler tarafından gerçekleştirilir. Oksidatif stresteki bitkiler antioksidant metabolitlerin sentezlerini hızlandırmaları yanında Anionik Peroksidaz, Askorbat Peroksidaz, Katalaz, Glutation, Glutation Redüktaz, Poliaminler ve Süperoksit Dismutaz gibi antioksidant enzimlerin aktivitelerini de artırır. Bitkiler bu yolla reaktif oksijen türlerinin zararlarına karşı dayanıklılık kazanırlar (Mercan 2004; Yaşar ve ark., 2008; Gill ve Tuteja, 2010).

Süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) enzimlerinin teşviki ve aktivasyonu bitkilerdeki önemli metal detoksifikasyon mekanizmalarından olup SOD ve CAT enzimlerinin kombine etkisi oksidatif stresin etkilerini hafifletmede önemlidir (Yıldız ve ark., 2011).

Stres altındaki bitkiler üzerine yapılan çalışmalar hem bitkilerin strese dayanabilme yeteneklerini ölçülmesini ve dolayısıyla daha verimli ürün eldesini hem de tepki mekanizmalarının açığa çıkarılmasını sağlar.

1.5.1 Süperoksit dismutaz (SOD, EC 1.15.1.1)

Süperoksit dismutaz (SOD) çeşitli hücre kompartımanlarında bulunur. Süperoksit serbest radikalının (O_2^-) hidrojen peroksit (H_2O_2) ve moleküler oksijene (O_2) dönüşümünü katalizleyen antioksidan enzimdir (McCord ve Fridovich 1969; Yıldız ve ark., 2010).



H_2O_2 radikalının detoksifikasyonu katalaz gibi enzimler tarafından suya dönüştürülmesi ile gerçekleştirilmektedir (Yıldız ve ark., 2010).

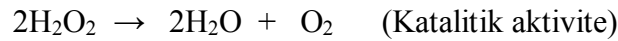
Süperoksit radikallerinin üretildiği hücre kompartımanlarında SOD enzimi bulunur. SOD enzimleri demir mangan ve bakır-çinko gibi metal kofaktörlere bağlıdır. SOD'nın 3 izoenzimi vardır: demir SOD (Fe SOD), mangan SOD (Mn SOD) ve bakır-çinko SOD (Cu-Zn SOD). Bu izoenzimler hücrede değişik yerlerde bulunurlar. Fe SOD kloroplastta, Mn SOD mitokondri ve peroksizomda ve Cu-Zn SOD kloroplast, sitozol ve muhtemelen hücre dışında (ekstrasellular) bulunup, Fe SOD H_2O_2 ile inaktive olur, potasyum siyanid (KCN)'e dirençlidir. Cu-Zn SOD KCN, H_2O_2 ile inaktive olur. Mn SOD her iki inhibitöre de dirençlidir (Alscher ve ark., 2002)

SOD'nın katalizlediği reaksiyon sonucu oluşan ve kuvvetli bir oksidant olan H_2O_2 ; DNA'da, proteinlerde hasarlara, stomaların kapanmasına, lipid peroksidasyonuna ve hatta hücre ölümüne neden olur (Neill ve ark., 2002). H_2O_2 'nin hücrede birikimi, katalaz ya da askorbat-glutasyon döngüsü ile önlenir. Detoksifikasyonun enzimatik mekanizması, dehidroaskorbat redüktaz, glutasyon redüktaz ve diğer enzimleri içermektedir (Dixit ve ark., 2001).

1.5.2. Katalaz (CAT, H_2O_2 , EC 1.11.1.6)

Katalaz 60 kDa'luk dört alt ünitesi bulunan bir enzimdir. Her bir molekül dört protoporfirin grup içerir ve toplam 240 kDa'dır. Katalaz en etkili antioksidan enzimlerden biri olarak bilinmektedir (Baldıran, 2003). Katalaz yüksek konsantrasyondaki H_2O_2 'nin 2 elektronunu kullanarak su ve oksijene indirgenmesini katalizleyen demir porfirin içeren tetramerik yapıda bir enzimdir (McClung, 1997; Chaudiere ve Ferrari, 1999). Bu katalitik aktivitesinin dışında peroksidatif etkiye sahiptir ve bu etki için düşük H_2O_2 konsantrasyonlarında alkoller, askorbat ve fenol içeren indirgenmiş substratları kullanır (Chaudiere ve Ferrari, 1999; Özcan ve ark., 2007). Katalazın katalitik mekanizmasının ilk aşaması peroksida bağlı oksijen-oksijen'in heterolizidir (Özcan ve ark., 2007). Katalaz bu katalitik aktivite görevini iki farklı yoldan gerçekleştirmektedir.

CAT



CAT



Pek çok bitki hücresinde CAT enziminin büyük bir kısmı, H_2O_2 konsantrasyonunun 10^{-4} M'dan yüksek olduğu peroksizomlarda mevcutken çok az miktarda mitokondri matriksinde ve apoplast bölgede de bulunur (Tasgın ve ark.,

2006). CAT'ın bitki dokusunda H_2O_2 'nin uzaklaştırılmasında önemli rol oynadığı düşünülmektedir (Patykowski ve Urbanek, 2003).

Yüksek bitkilerde yaygın bir şekilde CAT'ın izoenzimleri çalışılmıştır (Polidoros ve Scandalios, 1999). Farklı bitki türleri ve farklı konsantrasyonlardaki ağır metal uygulamalarının olduğu çalışmalarda katalaz enziminin ağır metalin düşük konsantrasyonlarında artış gösterdiği, ancak belli bir konsantrasyondan sonra azalışa geçtiği belirlenmiştir (Sinha ve Saxena, 2006; Mishra ve ark., 2006; Razinger ve ark., 2008).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma materyali olarak üç farklı buğday genotipi seçilmiştir. Bunlar *Triticum aestivum* L. cv. Altay, *Triticum aestivum* L. cv. Sultan ve *Triticum aestivum* L. cv. Sönmez'dir. *T.a.* cv. 'Altay', *T.a.* cv. 'Sönmez' ve *T.a.* cv. 'Sultan' çeşitleri Eskişehir Anadolu Tarımsal Araştırmalar Enstitüsünden sağlanmış olup tescilli çeşitlerdir. Bu çeşitler üzerinde ağır metal denemeleri yapılmıştır. Ağır metal uygulamaları için çinko (Zn), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) seçilmiştir. Uygulanan konsantrasyonlar 100, 200, 300 µM olarak belirlenmiştir. Kontrol grubuna sadece saf su uygulaması yapılmıştır.

2.1. Çimlenme

Çimlendirme deneyleri, bitki yetiştirme kabinde (MLR-350 Model Sanyo, Japan) gerçekleştirilmiştir. Deneyler Petri kabı içinde (9 cm çapında) ve filtre kağıdından oluşturulan çimlenme yatağı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında sıcaklık sabit (+ 22 °C, ± 1°C) tutulmuş ve beyaz ışık kaynağı (16 saat aydınlık/ 8 saat karanlık günlük fotoperiyot) kullanılmıştır. Her bir deney serisinde, her bir konsantrasyon için 100 adet tohum kullanılmıştır. Çimlendirme deneyleri dörder tekrarlı yapılmıştır. Çimlenme süresince, her deney serisinde uygulanan işlemler aynı zamanda ve eşit olarak uygulanmıştır. Tohumun çimlenmiş olarak kabul edilebilmesi için, radikulanın çimlenme yatağına değmiş olması yeterli olarak kabul edilmiştir (Yücel, 2000).

2.2. Su İçeriği ve Kuru Madde Miktarının Belirlenmesi

Ağır metal etkisinde yetiştirme işleminin sonucunda hipokotil ve radikula kısımları tartılmıştır. Daha sonra aynı kısımlar 105 °C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat bırakılmıştır. Etüvden çıkarılan örnekler desikatöre alınarak oda sıcaklığına gelmesi beklenmiştir. Ardından kurutulmuş örneklerin kuru ağırlıkları hassas terazi kullanılarak ölçülmüş ve bu değerlerden yüzde su içeriği hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Su içeriği} : \text{Taze Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık} / \text{Taze Ağırlık} \times 100$$

2.3. Fotosentetik Pigment Konsantrasyonunun Analizi

Klorofil miktarı ağır metal toksisitesine hassas olan parametrelerden biridir. Ağır metallerin klorofil sentezini inhibe ettiği ve sonuç olarak klorofil miktarlarında azalmalara neden olduğu birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Miranda ve Ilangovan, 1996; Mohan ve Hosetti, 1997).

Yıkanmış taze buğday yapraklarından 100 mg alınmıştır. Örnekler porselen havanda 1-2 mL % 80'lik aseton ile yapraktan tüm klorofil alınıncaya kadar homojenize edilmiştir. Daha sonra ekstraktın son hacimi 10 mL olacak şekilde % 80'lik asetonla tamamlanarak 3000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Deneyler her bir doz için 4'lü tekrar şeklinde gerçekleştirilmiştir. Klorofil-a için 662 nm, klorofil-b için 645 nm ve karotenoid için 470 nm'de UV Spektrofotometresinde asetona karşı okunmuştur. Klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid hesaplamaları Lichtentaler ve Wellburn (1985)'e göre aşağıda verilen formüle göre yapılmıştır.

$$\text{Klorofil-a (Kl-a)} = (11.75 \times A_{662} - 2.35 \times A_{645})$$

$$\text{Klorofil-b (Kl-b)} = (18.61 \times A_{645} - 3.96 \times A_{662})$$

$$\text{Karotenoid} = (1000 \times A_{470} - 2.27 \times \text{Kl a} - 81.4 \times \text{Kl b}) / 227$$

A: Ölçülen absorbans değeri

2.4. Hücre Bölünmesi ve Mitotik indeks

Hücre bölünmesinin araştırılması için çimlenen tohumların kök uçları 1,5 cm olacak şekilde kesilmiştir. Elde edilen materyal Carnoy (3:%96 Alkol, 1:%45 Asetik asit) fiksatifinde +4°C'de 24 saat fikse edilmiştir. Fiksasyonu takiben örnekler önce %96 alkolde 2 dakika süre ile oda sıcaklığında yıkanıp ve sonra 1 N HCl'de 60°C'lik etüvde 5-10 dakika hidroliz edildikten sonra distile suda yıkanmıştır (Elçi, 1982). Kök uçları Feulgen'de 2 saat bekletildikten sonra %45'lik glasiyel asetik asit ile ezilerek Olympus BX51TF marka ısık mikroskopunda 20X ve 40X objektiflik büyütme ile fotoğrafları çekilmiştir. Deneyler her bir doz için 4 kez tekrarlamıştır. Her gruptan elde edilen 4 preparat hazırlanmıştır. Her bir preparattan ortalama 4000'er hücre sayılarak

mitoz bölünmenin normal ve anormal evreleri incelenmiştir. Preparatlar entellan ile kapatılarak sürekli hale getirilmiştir. Mitotik indeks aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır

$$\text{Mitotik indeks (MI)} = \frac{\text{Bölünen Hücre Sayısı}}{\text{Toplam Hücre}} \times 100$$

2.5. Enzim analizleri için ekstraksiyon yöntemi

1 gram taze yaprak örneği porselen havanda 10 mM EDTA içeren 50 mM potasyum fosfat (pH 7.6) çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Homojenize edilen örnekler 15 dakika 12000 g ve +4°C' de santrifüj edildikten sonra elde edilen santrifüjatlara enzim ve protein analizlerinde kullanılmıştır.

2.5.1. Enzim Analizleri

SOD aktivitesi 19160 SOD determination kit (Sigma-Aldrich) ile ölçülmüştür.

Katalaz (CAT) aktivitesi, spektrofotometrede H₂O₂'nin 240 nm'de (E=39.4mM cm⁻¹) degradasyonu esas alınarak ölçülmüştür. Buna göre, son hacmi 1 ml olan reaksiyon ortamını, 0.1 mM EDTA içeren 50 mM'lık fosfor tamponu (pH 7.6), 0.1 ml 100 mM H₂O₂ ve enzim ekstratı oluşturmaktadır (Çakmak ve Marschner, 1992; Çakmak, 1994).

2.6. İstatistik

Ağır metal uygulaması ve kontrol gruplarından elde edilen sonuçlar one way Anova varyans analizi (ANOVA) ile karşılaştırıldı. Sonuçlar arası farklar, varyanslar arasındaki homojenlik durumuna göre Duncan testi ile belirlendi. Veri analizinde SPSS istatistik programı (SPSS, versiyon 16.0, SPSS Science, Chicago, IL) kullanılmıştır.

3. BULGULAR

Triticum aestivum L. cv. Altay, *Triticum aestivum* L. cv. Sönmez ve *Triticum aestivum* L. cv. Sultan çeşitlerine 100, 200 ve 300 µM konsantrasyonlarında sırasıyla çinko (Zn), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) uygulaması yapıldıktan sonra çimlenme, hipokotil-radikula kuru ağırlık, yüzde su içeriği ve uzunluk, klorofil a, klorofil b ve karotenoid miktarları, mitotik indeks, süperoksit dismutaz ve katalaz enzim aktivitelerine olan etkilerine ait bulgular sunulmuştur.

3.1. Ağır Metallerin (Zn, Cd, Pb) Çimlenme Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) çimlenme yüzdeleri bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda çimlenme yüzdesi bakımından çeşitler ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p<0,000$) bir fark olduğu bulunmuştur (Tablo 3.1). Buna göre uygulanan ağır metallerin kullanılan buğday çeşitlerinde çimlenmeyi baskıladığı (inhibe ettiği) belirlenmiştir.

Tablo 3. 1. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a.* cv. ‘Altay’, *T. a.* cv ‘Sönmez’ ve *T. a.* cv ‘Sultan’ çeşitlerinin çimlenme yüzdelerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

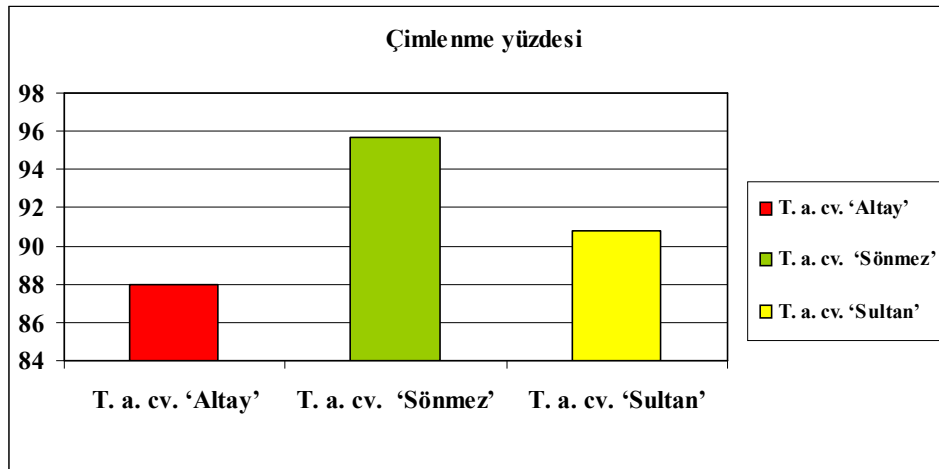
ANOVA					
Çimlenme yüzdesi	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	1223,617	2	611,808	29,722	0,000
Gruplar içinde	2408,350	117	20,584		
Toplam	3631,967	119			

Buğday çeşitleri arasında çimlenme yüzdeleri üzerine ağır metal uygulamalarının etkileri bakımından farklılıkların belirlenebilmesi amacıyla Duncan testi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda birbirinden farklı üç homojen grup oluşmuştur (Tablo 3.2).

Tablo 3. 2. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin çimlenme yüzdeleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Çimlenme yüzdeleri				
	Homojen gruplar			
Çeşit	N	1	2	3
<i>T. a. cv. 'Altay'</i>	40	87,98		
<i>T. a. cv. 'Sultan'</i>	40		90,78	
<i>T. a. cv. 'Sönmez'</i>	40			95,70
Önem düzeyi		1,000	1,000	1,000

Buna göre buğday çeşitleri ağır metal stresine karşı çimlenme yüzdeleri bakımından birbirinden farklı cevaplar vermiştir. Ağır metal stresine en dayanıklı çeşit *T. a. cv. 'Sönmez'* en duyarlı çeşit ise *T. a. cv. 'Altay'* olduğu bulunmuştur (Şekil 3. 1).



Şekil 3. 1. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin çimlenme yüzdeleri bakımından karşılaştırılması

3.1.1. *T. a. cv. ‘Altay’* çeşidinin çimlenme yüzdeleri üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. ‘Altay’ çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin çimlenme yüzdeleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,001$ düzeyinde anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.3).

Tablo 3. 3. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Altay’* çeşidinin çimlenme yüzdelere göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Çimlenme	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	772,725	9	85,858	4,379	0,001
Grup içinde	588,250	30	19,608		
Toplam	1360,975	39			

T. a. cv. ‘Altay’ çeşidinde çimlenme yüzdeleri bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı homojen 3 grubun olduğu görülmüştür (Tablo 3. 4).

Kontrol grubu diğer uygulamalardan belirgin bir şekilde ayrılırken ağır metal uygulamalarının çimlenmeyi baskıladığı belirlenmiştir. Ağır metal uygulamalarının etkilerine bakıldığında en fazla çimlenme yüzdesini etkileyen uygulamanın 200 μM Çinko olduğu görülmektedir. Kurşun ve kadmiyum uygulamalarının da düşük konsantrasyonlarında benzer şekilde etkiler gözlenirken, konsantrasyon arttıkça kontrol grubu ile benzer şekilde çimlenme yüzdesinin baskılama yönünden etkiler gözlenmektedir.

Tablo 3. 4. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinde çimlenme yüzdeleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar		
Uygulama	Örnek sayısı	1	2	3
200 µM Çinko	4	80,50		
100 µM Kadmiyum	4	85,50	85,50	
100 µM Kurşun	4	85,75	85,75	
200 µM Kadmiyum	4	86,00	86,00	
200 µM Kurşun	4	86,50	86,50	
300 µM Çinko	4	87,25	87,25	
300 µM Kurşun	4		88,75	
100 µM Çinko	4		89,50	
300 µM Kadmiyum	4		92,00	92,00
Kontrol	4			98,00
Önem düzeyi		0,066	0,082	0,065

3.1.2. *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinin çimlenme yüzdeleri üzerine ağır metal stresinin etkileri

Farklı konsantrasyonlardaki ağır metal uygulamalarının (Zn, Cd ve Pb) *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinin çimlenmesi üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak $p < 0,05$ düzeyinde önemli olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3.5).

Tablo 3. 5. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinin çimlenme yüzdelere göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Çimlenme	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	129,400	9	14,378	1,592	0,163
Grup içinde	271,000	30	9,033		
Toplam	400,400	39			

Yapılan Duncan testi sonucu *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinde 2 homojen grup oluşturmaya karşın bu gruplar arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli değildir (Tablo 3.6).

Tablo 3. 6. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinde çimlenme yüzdeleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar	
		1	2
300 µM Kurşun	4	91,25	
100 µM+200 µM Kurşun	4	95,00	95,00
Kontrol	4	95,25	95,25
200 µM Kadmiyum	4	95,50	95,50
300 µM Kadmiyum	4	96,00	96,00
100 µM Kadmiyum	4		96,50
200 µM Çinko	4		97,00
100 µM Çinko	4		97,25
300 µM Çinko	4		98,25
Önem düzeyi		0,056	0,200

3.1.3. *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinin çimlenme yüzdeleri üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. ‘Sultan’ çeşidinde ağır metal uygulamalarının yapılan varyans analizi sonucunda çimlenmeyi istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) derecede etkilemediği belirlenmiştir (Tablo 3.7).

Tablo 3. 7. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinin çimlenme yüzdelere göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Çimlenme	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	227,725	9	25,303	1,811	0,108
Grup içinde	419,250	30	13,975		
Toplam	646,975	39			

Duncan testi sonucunda ağır metal uygulamaları etkisinde 3 farklı homojen grubun oluştuğu belirlenmiştir. Ancak bu gruplar arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3.8).

Tablo 3. 8. Ağır metallerin *T. a.* cv. ‘Sultan’ çeşidinde çimlenme yüzdeleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar		
		1	2	3
Sultan 300 µM Kadmiyum	4	86,25		
Sultan 200 µM Çinko	4	88,25	88,25	
Sultan 100 µM Kadmiyum	4	88,75	88,75	88,75
Sultan 100 µM+300 µM Kurşun	4	90,75	90,75	90,75
Sultan 100 µM Çinko	4	91,00	91,00	91,00
Sultan 200 µM Kadmiyum	4	91,50	91,50	91,50
Sultan 200 µM Kurşun	4	92,25	92,25	92,25
Sultan 300 µM Çinko	4		93,50	93,50
Sultan kontrol	4			94,75
Önem düzeyi		0,058	0,096	0,058

3.2. Ağır Metallerin (Zn, Cd, Pb) Hipokotil Uzunlukları Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) hipokotil uzunlukları bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri yapılmıştır. Ağır metal uygulamalarının neden olduğu ekotoksikolojik etkilerden biri de çeşitlerin hipokotil uzunluklarındaki azalışlardır. Yapılan analizler sonucunda hipokotil uzunlukları açısından çeşitler ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p<0,000$) bir fark olduğu bulunmuştur (Tablo 3.9).

Tablo 3. 9. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Altay’*, *T. a. cv ‘Sönmez’* ve *T. a. cv ‘Sultan’* çeşitlerinin hipokotil uzunluklarına (cm) göre yapılan varyans analizi sonuçları

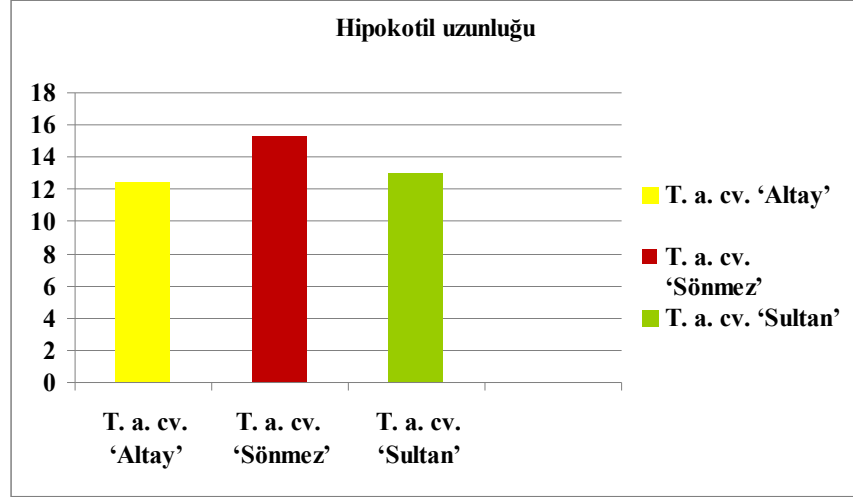
ANOVA					
Hipokotil Uzunluğu	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	182,867	2	91,433	49,134	0,000
Grup içinde	217,725	117	1,861		
Toplam	400,592	119			

Uygulamalarının etkileri bakımından farklılıkların belirlenebilmesi amacıyla Duncan testi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda birbirinden farklı 2 homojen grup oluşmuştur (Tablo 3.10). Buna göre *T. a. cv. ‘Altay’* ve *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşitleri hipokotil uzunlukları bakımından bir grup oluştururken *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidi bu buğday çeşitlerinden ayrı bir grup oluşturmaktadır.

Tablo 3.10. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin hipokotil uzunluğu (cm) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Hipokotil Uzunluğu			
		Homojen gruplar	
Çeşit	Örnek sayısı	1	2
<i>T. a. cv. ‘Altay’</i>	40	12,48	
<i>T. a. cv. ‘Sultan’</i>	40	13,02	
<i>T. a. cv ‘Sönmez’</i>	40		15,32
Önem düzeyi		0,074	1,000

Ağır metal stresine en dayanıklı çeşit *T. a. cv. 'Sönmez'* en duyarlı çeşit ise *T. a. cv. 'Altay'* olduğu bulunmuştur (Şekil 3. 2).



Şekil 3. 2. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin hipokotil uzunluğu bakımından karşılaştırılması

3.2.1. *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinin hipokotil uzunlukları üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Altay' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin hipokotil uzunluğu üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,000$ düzeyinde önemli bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.11).

Tablo 3.11. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinin hipokotil uzunluklarına (cm) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Hipokotil Uzunluğu	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	24,525	9	2,725	5,737	0,000
Grup içinde	14,250	30	,475		
Toplam	38,775	39			

Duncan testi sonucunda ağır metal uygulamaları etkisiyle 4 farklı homojen grubun oluştuğu belirlenmiştir (Tablo 3.8).

Tablo 3.12. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinde hipokotil uzunlukları (cm) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar			
		1	2	3	4
300 µM Kadmiyum	4	14,25			
300 µM Kurşun	4	14,25			
200 µM Kurşun	4	14,50	14,50		
200 µM Kadmiyum+100 µM Kurşun	4	15,25	15,25	15,25	
100 µM+300 µM Çinko	4		15,50	15,50	
100 µM Kadmiyum	4			15,75	15,75
200 µM Çinko	4			16,25	16,25
Kontrol	4				16,75
Önem düzeyi		0,075	0,075	0,079	0,060

3.2.2. *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinin hipokotil uzunlukları üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Sönmez' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin hipokotil uzunluğu üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,000$ düzeyinde önemli bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.13).

Tablo 3.13. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinin hipokotil uzunluklarına (cm) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Hipokotil Uzunluğu	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	68,225	9	7,581	6,544	0,000
Grup içinde	34,750	30	1,158		
Toplam	102,975	39			

Yapılan Duncan testi ağır metal uygulamaları sonucunda 3 farklı homojen grubun olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.14).

Tablo 3.14. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinde hipokotil uzunlukları (cm) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar		
		1	2	3
200 µM Kadmiyum	4	10,50		
300 µM Kadmiyum	4	11,00		
100 µM Çinko	4		12,75	
100 µM Kadmiyum+300 µM Kurşun	4		13,00	
300 µM Çinko	4		13,25	
100 µM Kurşun+200 µM Kurşun	4		13,75	13,75
200 µM Çinko	4		14,25	14,25
Kontrol	4			15,00
Önem düzeyi		0,516	0,096	0,143

3.2.3. *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinin hipokotil uzunlukları üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Sultan' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin hipokotil uzunluğu üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,000$ düzeyinde önemli bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.15).

Tablo 3. 15. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinin hipokotil uzunluklarına (cm) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Hipokotil uzunluğu	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	63,725	9	7,081	17,340	0,000
Grup içinde	12,250	30	0,408		
Toplam	75,975	39			

Duncan testi ile ağır metal uygulamaları sonucunda 4 farklı homojen grubun olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.16).

Tablo 3.16. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinde hipokotil uzunlukları (cm) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar		
		1	2	3
300 µM Kadmiyum	4	10,75		
200 µM Kadmiyum+300 µM Kurşun	4	11,25		
100 µM Kadmiyum	4	11,50		
200 µM Kurşun	4	11,75		
Kontrol	4		13,00	
100 µM Kurşun	4		13,00	
100 µM Çinko	4		13,75	13,75
200 µM Çinko+300 µM Çinko	4			14,25
Önem düzeyi		0,055	0,127	0,305

3.3. Ağır Metallerin (Zn, Cd, Pb) Radikula Uzunlukları Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) radikula uzunlukları bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda radikula uzunlukları açısından çeşitler ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p < 0,000$) bir fark olduğu bulunmuştur (Tablo 3.17).

Tablo 3. 17. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Altay’*, *T. a. cv ‘Sönmez’* ve *T. a. cv ‘Sultan’* çeşitlerinin radikula uzunluklarına (cm) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Radikula Uzunluğu	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	86,600	2	43,300	12,022	0,000
Grup içinde	421,400	117	3,602		
Toplam	508,000	119			

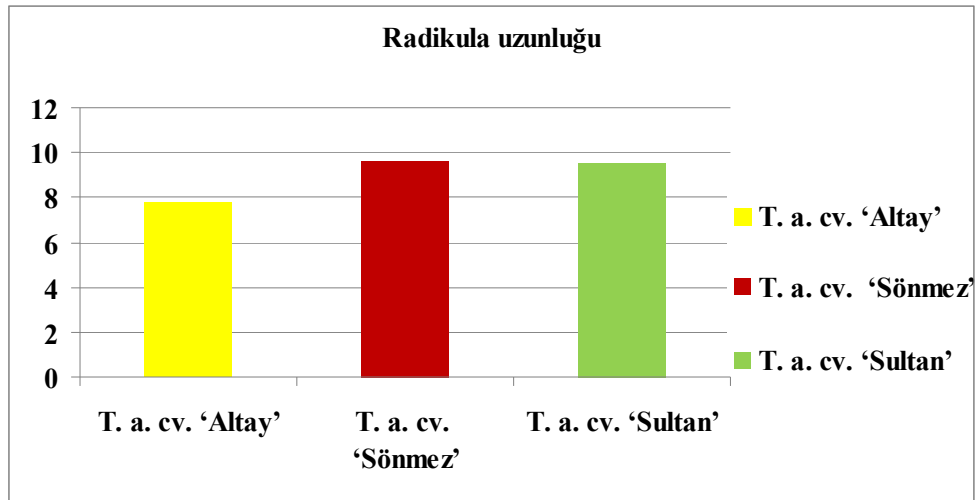
Yapılan Duncan testi sonucunda ağır metal uygulaması etkisiyle buğday çeşitlerinde birbirinden farklı 2 grup oluştuğu belirlenmiş olup *T. a. cv. ‘Sönmez’* ve *T.*

a. cv. ‘Sultan’ aynı grup içinde yer alırken ve *T. a. cv ‘Altay’* başka bir grup oluşturmaktadır (Tablo 3.18).

Tablo 3.18. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin radikula uzunluğu (cm) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar	
Çeşit	Örnek sayısı	1	2
<i>T. a. cv. ‘Altay’</i>	40	7,80	
<i>T. a. cv. ‘Sultan’</i>	40		9,55
<i>T. a. cv. ‘Sönmez’</i>	40		9,65
Önem düzeyi		1,000	0,814

Ağır metal stresine en dayanıklı çeşit *T. a. cv. ‘Sönmez’* en duyarlı çeşit ise *T. a. cv. ‘Altay’* olduğu bulunmuştur (Şekil 3. 3).



Şekil 3. 3. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin radikula uzunlukları bakımından karşılaştırılması

3.3.1. *T. a. cv. ‘Altay’* çeşidinin radikula uzunlukları üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. ‘Altay’ çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin radikula uzunluğu üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,000$ düzeyinde önemli bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.19).

Tablo 3.19. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Altay’* çeşidinin radikula uzunluklarına (cm) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Radikula Uzunluğu	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	70,900	9	7,878	17,506	0,000
Grup içinde	13,500	30	0,450		
Toplam	84,400	39			

T. a. cv. ‘Altay’ çeşidinde radikula uzunluğu bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı homojen 3 grubun olduğu görülmüştür (Tablo 3.20). Kontrol grubu diğer uygulamalardan belirgin bir şekilde ayrılırken ağır metal uygulamalarının çimlenmeyi baskıladığı belirlenmiştir.

Tablo 3.20. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Altay’* çeşidinde radikula uzunlukları (cm) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar		
Uygulama	Örnek sayısı	1	2	3
300 µM Kadmiyum	4	5,75		
200 µM Kadmiyum + 300 µM Kurşun	4		7,00	
200 µM Çinko + 200 µM Kurşun	4		7,50	
100 µMve 300 µM Çinko+100 µM Kadmiyum ve Kurşun	4		8,00	
Kontrol	4			11,25
Önem düzeyi		1,000	,078	1,000

3.3.2. T. a. cv. ‘Sönmez’ çeşidinin radikula uzunlukları üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. ‘Sönmez’ çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin radikula uzunluğu üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,000$ düzeyinde önemli bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.21).

Tablo 3.21. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinin radikula uzunluklarına (cm) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Radikula Uzunluğu	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	181,900	9	20,211	33,685	0,000
Grup içinde	18,000	30	0,600		
Toplam	199,900	39			

Yapılan Duncan testi sonucunda uygulanan ağır metaller radikula uzunluğu bakımından 5 farklı homojen grubun oluşmasına neden olmuştur (Tablo 3.22).

Tablo 3.22. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinde radikula uzunlukları (cm) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar				
Uygulama	Örnek sayısı	1	2	3	4	5
300 µM Kadmiyum	4	6,50				
300 µM Kurşun	4	7,00	7,00			
200 µM Kurşun	4	7,25	7,25			
200 µM Kadmiyum	4		8,00			
300 µM Çinko + 100 µM Kadmiyum	4			10,00		
100 µM Kurşun	4			11,00	11,00	
100 µM Çinko + 200 µM Çinko	4				11,25	
Kontrol	4					13,25
Önem düzeyi		0,206	0,094	0,094	0,671	1,000

3.3.3. T. a. cv. ‘Sultan’ çeşidinin radikula uzunlukları üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. ‘Sultan’ çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin radikula uzunluğu üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p<0,000$ düzeyinde önemli bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.23).

Tablo 3.23. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinin radikula uzunluklarına (cm) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Radikula Uzunluğu	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	117,600	9	13,067	20,103	0,000
Grup içinde	19,500	30	0,650		
Toplam	137,100	39			

Yapılan Duncan testi sonucunda *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinde ağır metal uygulamalarının 6 farklı homojen grubun oluşmasına neden olduğu belirlenmiştir. kontrol grubu ile çinkonun 200 ve 300 μ M konsantrasyonları benzer etkiler gösterirken, 300 μ M ve 200 μ M konsantrasyonlarındaki kadmiyum uygulamaları kontrolden büyük farklılık göstermektedir. Konsantrasyon arttıkça radikula uzunlukları azalış göstermektedir. Çinkonun ise 200 ve 300 μ M konsantrasyonlarındaki uygulamaları ile kurşunun 100 ve 200 μ M konsantrasyon uygulamaları benzer şekilde radikula uzunluğu üzerinde etkilere sahiptir. Radikula uzunluklarında azalışlar gözlenmiş olsa da bu azalışlar kontrol grubundan çok farklı değildir (Tablo 3.24).

Tablo 3.24. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinde radikula uzunlukları (cm) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar					
		1	2	3	4	5	6
300 µM Kadmiyum	4	5,75					
200 µM Kadmiyum	4		7,50				
300 µM Kurşun	4			9,25			
100 µM Kadmiyum	4			9,50	9,50		
200 µM Kurşun	4			10,00	10,00	10,00	
100 µM Kurşun	4			10,25	10,25	10,25	
200 µM Çinko	4			10,50	10,50	10,50	10,50
300 µM Çinko	4				10,75	10,75	10,75
Kontrol	4					11,25	11,25
100 µM Çinko	4						11,75
Önem düzeyi		1,000	1,000	0,057	0,057	0,057	0,052

3.4. Ağır Metallerin (Zn, Cd, Pb) Hipokotil, Radikula Kuru Ağırlıkları ile Yüzde Su İçeriği Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) hipokotil kuru ağırlığı bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda hipokotil kuru ağırlığı açısından çeşitler ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p<0,00$) bir fark olduğu bulunmuştur (Tablo 3.25).

Tablo 3. 25. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Altay’*, *T. a. cv ‘Sönmez’* ve *T. a. cv ‘Sultan’* çeşitlerinin hipokotil kuru ağırlıklarına (g) göre yapılan varyans analizi sonuçları

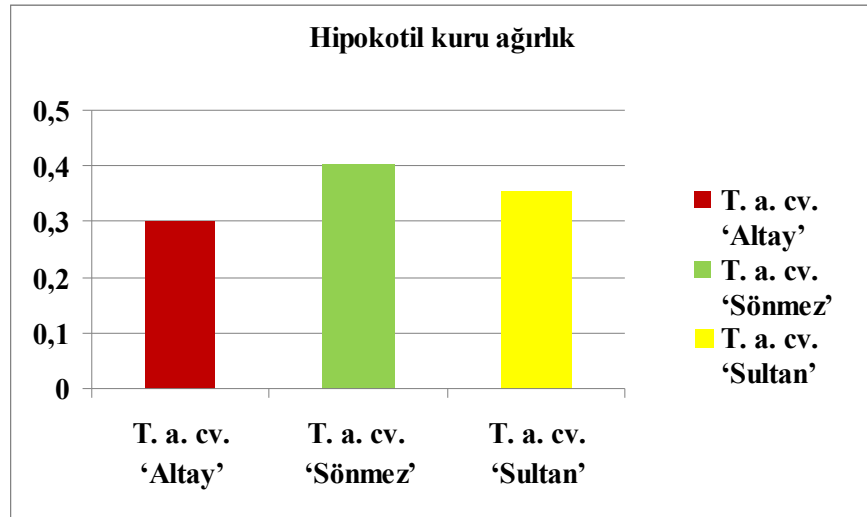
ANOVA					
Hipokotil Kuru Ağırlık	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	,210	2	0,105	30,024	0,000
Grup içinde	,410	117	0,004		
Toplam	,620	119			

Buğday çeşitleri arasında hipokotil kuru ağırlık üzerine ağır metal uygulamalarının etkileri bakımından farklılıkların belirlenebilmesi amacıyla Duncan testi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda birbirinden farklı üç homojen grup oluşmuştur (Tablo 3.26). Ağır metal stresine en dayanıklı çeşit *T. a. cv. 'Sönmez'* en duyarlı çeşit ise *T. a. cv. 'Altay'* olduğu bulunmuştur.

Tablo 3.26. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin hipokotil kuru ağırlık (g) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar		
Çeşit	Örnek sayısı	1	2	3
<i>T. a. cv. 'Altay'</i>	40	0,300		
<i>T. a. cv. 'Sultan'</i>	40		0,353	
<i>T. a. cv. 'Sönmez'</i>	40			0,403
Önem düzeyi		1,000	1,000	1,000

Ağır metal stresine en dayanıklı çeşit *T. a. cv. 'Sönmez'* en duyarlı çeşit ise *T. a. cv. 'Altay'* olduğu bulunmuştur (Şekil 3. 4).



Şekil 3. 4. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin hipokotil kuru ağırlık bakımından karşılaştırılması

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) hipokotil yüzde su içeriği bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda hipokotil yüzde su içeriği açısından çeşitler ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p<0,001$) bir fark olduğu bulunmuştur (Tablo 3.27).

Tablo 3.27. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Altay’*, *T. a. cv ‘Sönmez’* ve *T. a. cv ‘Sultan’* çeşitlerinin hipokotil yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları

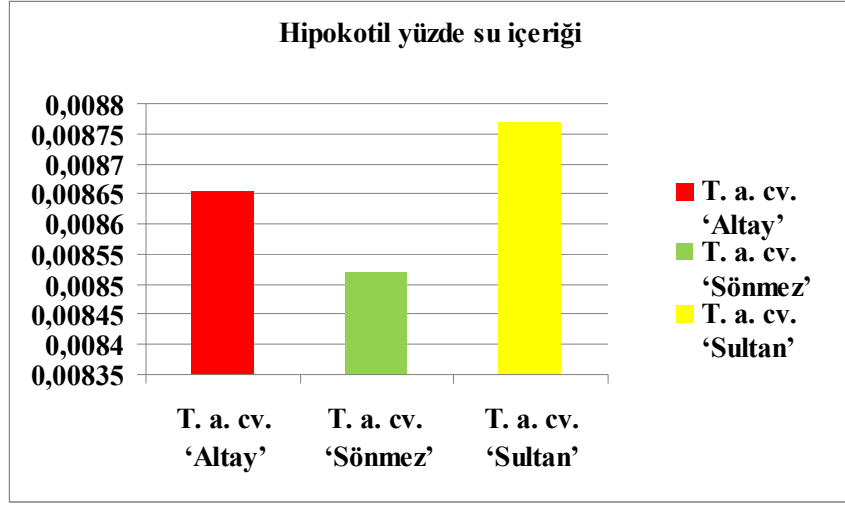
ANOVA					
Hipokotil yüzde su içeriği	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,000	2	0,000	7,534	0,001
Grup içinde	0,000	117	0,000		
Toplam	0,000	119			

Yapılan analizler sonucunda birbirinden farklı iki homojen grup oluşmuştur (Tablo 3.28). Buna göre buğday çeşitleri ağır metal stresine karşı hipokotil yüzde su içeriği bakımından birbirinden farklı cevaplar vermiştir. Ağır metal stresine en dayanıklı çeşitler *T. a. cv. ‘Sultan’* ve *T. a. cv. ‘Altay’* en duyarlı çeşit ise *T. a. cv. ‘Sönmez’* olduğu bulunmuştur.

Tablo 3.28. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin hipokotil yüzde su içeriği bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar	
Çeşit	Örnek sayısı	1	2
<i>T. a. cv. ‘Sönmez’</i>	40	0,0085204	
<i>T. a. cv. ‘Altay’</i>	40		0,0086554
<i>T. a. cv. ‘Sultan’</i>	40		0,0087704
Önem düzeyi		1,000	0,077

Ağır metal stresine en dayanıklı çeşit *T. a. cv.* ‘**Sultan**’ en duyarlı çeşit ise *T. a. cv.* ‘**Sönmez**’ olduğu bulunmuştur (Şekil 3. 5).



Şekil 3. 5. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin hipokotil yüzde su içeriği bakımından karşılaştırılması

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 μ M) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) radikula kuru ağırlığı bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda radikula kuru ağırlığı açısından çeşitler ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p < 0,000$) bir fark olduğu bulunmuştur (Tablo 3.29).

Tablo 3.29. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv.* ‘Altay’, *T. a. cv.* ‘Sönmez’ ve *T. a. cv.* ‘Sultan’ çeşitlerinin radikula kuru ağırlıklarına (g) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Radikula Kuru Ağırlık	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,120	2	0,060	45,719	0,000
Grup içinde	0,153	117	0,001		
Toplam	0,273	119			

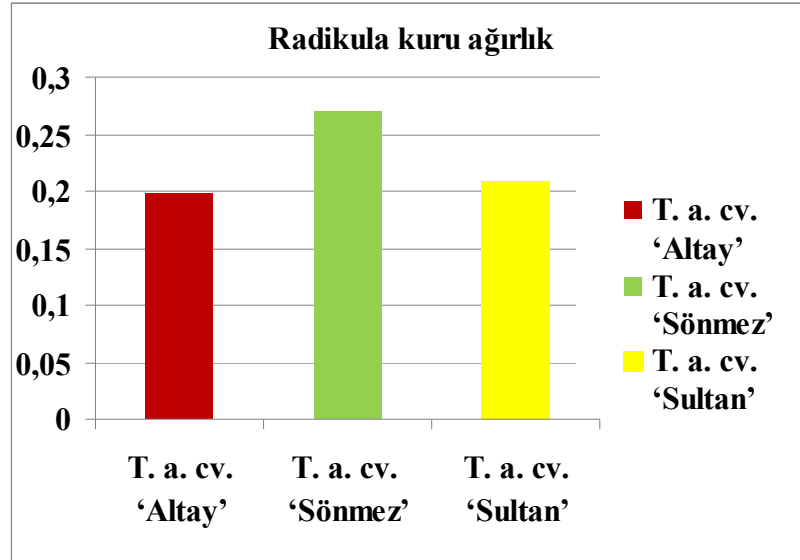
Yapılan analizler sonucunda birbirinden farklı üç homojen grup oluşmuştur (Tablo 3.30). Buna göre buğday çeşitleri ağır metal stresine karşı radikula kuru ağırlık bakımından birbirinden farklı cevaplar vermiştir. Ağır metal stresine en dayanıklı

çeşitler sırasıyla *T. a. cv. 'Sönmez'* ve *T. a. cv. 'Sultan'* ve *T. a. cv. 'Altay'* olduğu bulunmuştur.

Tablo 3.30. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin radikula kuru ağırlık (g) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar	
Çeşit	Örnek sayısı	1	2
<i>T. a. cv. 'Altay'</i>	40	0,1985	
<i>T. a. cv. 'Sultan'</i>	40	0,2093	
<i>T. a. cv. 'Sönmez'</i>	40		0,2702
Önem düzeyi		0,187	1,000

Ağır metal stresine en dayanıklı çeşit *T. a. cv. 'Sönmez'* en duyarlı çeşit ise *T. a. cv. 'Altay'* olduğu bulunmuştur (Şekil 3. 6).



Şekil 3. 6. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin radikula kuru ağırlık bakımından karşılaştırılması

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 μ M) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) radikula yüzde su içeriği bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda radikula yüzde su içeriği açısından çeşitler ve ağır

metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p<0,007$) bir fark olduğu bulunmuştur (Tablo 3.31).

Tablo 3.31. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Altay’*, *T. a. cv ‘Sönmez’* ve *T. a. cv ‘Sultan’* çeşitlerinin radikula yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları

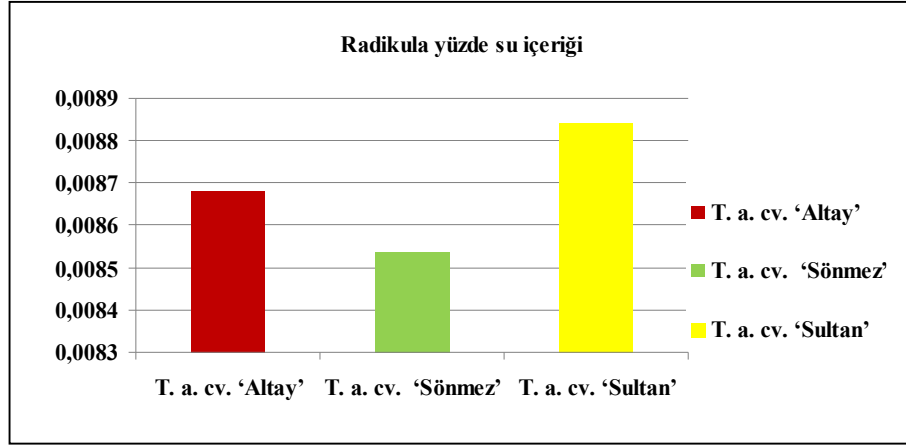
ANOVA					
Radikula yüzde su içeriği	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,000	2	0,000	5,181	0,007
Grup içinde	0,000	117	0,000		
Toplam	0,000	119			

Yapılan analizler sonucunda birbirinden farklı iki homojen grup oluşmuştur (Tablo 3.32). Buna göre buğday çeşitleri ağır metal stresine karşı radikula yüzde su içeriği bakımından birbirinden farklı cevaplar vermiştir. Ağır metal stresine karşı *T. a. cv. ‘Sönmez’* ve *T. a. cv. ‘Altay’* bir grup oluştururken ve *T. a. cv. ‘Sultan’* bu iki çeşitten ayrı bir grup oluşturduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.32. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin radikula yüzde su içeriği bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar	
Çeşit	Örnek sayısı	1	2
<i>T. a. cv. ‘Sönmez’</i>	40	0,0085355	
<i>T. a. cv. ‘Altay’</i>	40	0,0086795	0,0086795
<i>T. a. cv. ‘Sultan’</i>	40		0,0088417
Önem düzeyi		0,133	0,091

Ağır metal stresine en dayanıklı çeşit *T. a. cv. 'Sultan'* en duyarlı çeşit ise *T. a. cv. 'Sönmez'* olduğu bulunmuştur (Şekil 3. 7).



Şekil 3. 7. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin radikula yüzde su içeriği bakımından karşılaştırılması

3.4.1. Ağır Metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinde Hipokotil, Radikula Kuru Ağırlıkları ile Yüzde Su İçeriği Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 μ M) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) hipokotil kuru ağırlık bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda hipokotil kuru ağırlık açısından *T. a. cv. 'Altay'* çeşidi ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3.33).

Tablo 3.33. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinin hipokotil kuru ağırlıklarına (g) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Hipokotil Kuru Ağırlık	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,027	9	0,003	0,982	0,474
Grup içinde	0,093	30	0,003		
Toplam	0,120	39			

T. a. cv. 'Altay' çeşidinde ağır metal uygulamalarının hipokotil kuru ağırlığı bakımından homojen tek bir grup oluşturduğu belirlenmiştir (Tablo 3.34).

Tablo 3.34. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinde hipokotil kuru ağırlık (g) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar
Uygulama	Örnek sayısı	1
200 µM Çinko+300 µM Kadmiyum+200 µM Kurşun+300 µM Kurşun	4	0,325
Kontrol+100 µM Kurşun	4	0,350
100 µM Çinko+100 µM Kadmiyum+300 µM Çinko	4	0,375
200 µM Kadmiyum	4	0,400
Önem düzeyi		0,114

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) hipokotil yüzde su içeriği bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda hipokotil yüzde su içeriği açısından *T. a. cv. 'Altay'* çeşidi ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3.35).

Tablo 3.35. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinin hipokotil yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Hipokotil yüzde su içeriği	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,000	9	0,000	0,903	0,535
Grup içinde	0,000	30	0,000		
Toplam	0,000	39			

T. a. cv. 'Altay' çeşidinde ağır metal uygulamalarının hipokotil kuru ağırlığı bakımından homojen tek bir grup oluşturduğu belirlenmiştir (Tablo 3.36).

Tablo 3.36. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinde hipokotil yüzde su içeriği bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar
100 µM Çinko	4	0,0084950
300 µM Çinko	4	0,0085750
100 µM Kurşun	4	0,0086029
100 µM Kadmiyum	4	0,0086325
200 µM Çinko	4	0,0086375
200 µM Kadmiyum	4	0,0086375
100 µM Kurşun	4	0,0086500
300 µM Kadmiyum	4	0,0087415
300 µM Kurşun	4	0,0087424
Kontrol	4	0,0088400
Önem düzeyi		0,050

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb radikula kuru ağırlığı bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda radikula kuru ağırlığı açısından *T. a. cv 'Altay'* çeşidi ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3.37).

Tablo 3.37. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinin radikula kuru ağırlığına (g) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Radikula Kuru Ağırlık	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,007	9	0,001	0,662	0,736
Grup içinde	0,036	30	0,001		
Toplam	0,043	39			

Yapılan Duncan testi sonucunda *T. a. cv. 'Altay'* çeşidine uygulanan ağır metal uygulamalarının tek bir grubun oluşmasına neden olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.38).

Tablo 3.38. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinde radikula kuru ağırlık (g) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar
Uygulama	Örnek sayısı	1
100 µM Çinko	4	0,1800
100 µM Kurşun	4	0,1825
200 µM Çinko	4	0,1900
200 µM Kadmiyum	4	0,1900
200 µM Kadmiyum	4	0,1950
300 µM Çinko	4	0,2025
100 µM Kadmiyum	4	0,2050
200 µM Kurşun	4	0,2050
Kontrol	4	0,2075
300 µM Kurşun	4	0,2275
Önem düzeyi		0,108

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin radikula yüzde su içeriği bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda radikula yüzde su içeriği açısından *T. a. cv 'Altay'* çeşidi ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan önemli ($p < 0,017$) farklılık olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.39).

Tablo 3.39. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinin radikula yüzde su içeriği göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Radikula yüzde su içeriği	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,000	9	0,000	2,777	0,017
Grup içinde	0,000	30	0,000		
Toplam	0,000	39			

Duncan testi sonucunda ağır metal uygulaması ile birbirinden farklı 4 grup olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.40).

Tablo 3.40. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Altay’* çeşidinde radikula yüzde su içeriği bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar			
		1	2	3	4
300 µM Çinko	4	0,0082675			
200 µM Kurşun	4	0,0084319	0,0084319		
300 µM Kurşun	4	0,0085500	0,0085500	0,0085500	
100 µM Kurşun	4	0,0086066	0,0086066	0,0086066	
300 µM Kadmiyum	4	0,0086394	0,0086394	0,0086394	0,0086394
200 µM Çinko	4	0,0087250	0,0087250	0,0087250	0,0087250
200 µM Kadmiyum	4		0,0087675	0,0087675	0,0087675
100 µM Kadmiyum	4		0,0087750	0,0087750	0,0087750
100 µM Çinko	4			0,0089500	0,0089500
Kontrol	4				0,0090800
Önem düzeyi		0,053	0,149	0,093	0,062

3.4.2. Ağır Metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv ‘Sönmez’* çeşidinde Hipokotil, Radikula Kuru Ağırlıkları ile Yüzde Su İçeriği Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin hipokotil kuru ağırlık bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda hipokotil kuru ağırlık açısından *T. a. cv ‘Sönmez’* çeşidi ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan önemli ($p < 0,000$) farklılık olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.41).

Tablo 3.41. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinin hipokotil kuru ağırlıklarına (g) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Hipokotil Kuru Ağırlık	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,157	9	0,017	9,984	0,000
Grup içinde	0,053	30	0,002		
Toplam	0,210	39			

Duncan testi sonucunda ağır metal uygulaması ile birbirinden farklı 5 grup oluştuğu belirlenmiştir (Tablo 3.42).

Tablo 3.42. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinde hipokotil kuru ağırlık (g) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar				
		1	2	3	4	5
100 µM Çinko	4	0,300				
300 µM Çinko	4	0,325	0,325			
200 µM Kadmiyum+300 µM Kurşun	4		0,375	0,375		
Kontrol+200 µM Çinko+200 µM Kurşun	4			0,400	0,400	
300 µM Kadmiyum	4				0,450	0,450
100 µM Kadmiyum	4					0,500
100 µM Kurşun	4					0,500
Önem düzeyi		0,405	0,120	0,459	0,132	0,120

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin hipokotil yüzde su içeriği bakımından karşılaştırmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda hipokotil yüzde su içeriği açısından *T. a. cv ‘Sönmez’* çeşidi ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan önemli ($p<0,000$) farklılık olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.43).

Tablo 3.43. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinin hipokotil yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Hipokotil yüzde su içeriği	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,000	9	0,000	12,364	0,000
Grup içinde	0,000	30	0,000		
Toplam	0,000	39			

Duncan testi sonucunda ağır metal uygulaması ile birbirinden farklı 5 grup oluştuğu belirlenmiştir (Tablo 3.44).

Tablo 3.44. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinde hipokotil yüzde su içeriği bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar				
		1	2	3	4	5
300 µM Kadmiyum	4	0,0080050				
100 µM Kadmiyum	4	0,0082238	0,0082238			
200 µM Kadmiyum	4		0,0082797	0,0082797		
100 µM Kurşun	4		0,0083450	0,0083450		
Kontrol	4			0,0085046	0,0085046	
300 µM Kurşun	4				0,0086243	0,0086243
200 µM Kurşun	4				0,0087231	0,0087231
200 µM Çinko	4					0,0087936
100 µM Çinko	4					0,0088143
300 µM Çinko	4					0,0088910
Önem düzeyi		0,077	0,347	0,084	0,093	0,053

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin radikula kuru ağırlık bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda radikula kuru ağırlık açısından *T. a. cv ‘Sönmez’* çeşidi ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan önemli ($p < 0,001$) farklılık olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.45).

Tablo 3.45. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinin radikula kuru ağırlığına (g) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Radikula Kuru Ağırlık	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,030	9	0,003	4,679	0,001
Grup içinde	0,022	30	0,001		
Toplam	0,052	39			

Duncan testi ile uygulama sonucu buğday çeşitlerinde birbirinden farklı 5 grup oluşturduğu belirlenmiştir (Tablo 3.46).

Tablo 3.46. Ağır metallerin *T. a.* cv. ‘Sönmez’ çeşidinde radikula kuru ağırlık (g) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar				
Uygulama	Örnek sayısı	1	2	3	4	5
200 µM Kadmiyum	4	0,2150				
300 µM Çinko	4	0,2450	0,2450			
100 µM Çinko	4	0,2525	0,2525	0,2525		
300 µM Kurşun	4		0,2575	0,2575	0,2575	
300 µM Kadmiyum	4		0,2650	0,2650	0,2650	
200 µM Çinko	4		0,2800	0,2800	0,2800	0,2800
200 µM Kurşun	4		0,2825	0,2825	0,2825	0,2825
Kontrol	4			0,2925	0,2925	0,2925
100 µM Kadmiyum	4				0,3000	0,3000
100 µM Kurşun	4					0,3125
Önem düzeyi		0,071	0,091	0,072	0,056	0,136

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin radikula yüzde su içeriği bakımından karşılaştırmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda radikula yüzde su içeriği açısından *T. a.* cv ‘Sönmez’ çeşidi ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan önemli ($p < 0,001$) farklılık olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.47).

Tablo 3.47. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a.* cv. ‘Sönmez’ çeşidinin radikula yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Radikula yüzde su içeriği	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,000	9	0,000	4,480	0,001
Grup içinde	0,000	30	0,000		
Toplam	0,000	39			

Duncan testi sonucunda ağır metal uygulaması ile *T. a.* cv ‘**Sönmez**’ buğday çeşidinde birbirinden farklı 3 grup oluştuğu belirlenmiştir (Tablo 3.48).

Tablo 3.48. Ağır metallerin *T. a.* cv. ‘**Sönmez**’ çeşidinde radikula yüzde su içeriği bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar		
Uygulama	Örnek sayısı	1	2	3
300 µM Kadmiyum	4	0,0077212		
100 µM Kurşun	4		0,0082987	
200 µM Kadmiyum	4		0,0083096	
200 µM Kurşun	4		0,0083834	0,0083834
100 µM Kadmiyum	4		0,0085903	0,0085903
200 µM Çinko	4		0,0086134	0,0086134
100 µM Çinko	4		0,0088082	0,0088082
300 µM Kurşun	4		0,0088321	0,0088321
Kontrol	4			0,0088866
300 µM Çinko	4			0,0089112
Önem düzeyi		1,000	0,068	0,071

3.4.3. Ağır Metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a.* cv ‘**Sultan**’ çeşidinde Hipokotil, Radikula Kuru Ağırlıkları ile Yüzde Su İçeriği Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin hipokotil kuru ağırlık bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda hipokotil kuru ağırlık açısından *T. a.* cv ‘**Sultan**’ çeşidi ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan önemli farklılık olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3.49).

Tablo 3.49. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv.* ‘**Sultan**’ çeşidinin hipokotil kuru ağırlıklarına (g) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Hipokotil Kuru Ağırlık	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,020	9	0,002	1,111	0,385
Grup içinde	0,060	30	0,002		
Toplam	0,080	39			

Duncan testi sonucunda ağır metal uygulaması ile birbirinden farklı 5 grup olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.50).

Tablo 3.50. Ağır metallerin *T. a. cv.* ‘**Sultan**’ çeşidinde hipokotil kuru ağırlık (g) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar
Uygulama	Örnek sayısı	1
100 µM Çinko	4	0,250
200 µM Kadmiyum	4	0,275
Kontrol	4	0,300
300 µM Çinko	4	0,300
300 µM Kadmiyum	4	0,300
200 µM Kurşun	4	0,300
300 µM Kurşun	4	0,300
200 µM Çinko	4	0,325
100 µM Kadmiyum	4	0,325
100 µM Kurşun	4	0,325
Önem düzeyi		0,051

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin hipokotil yüzde su içeriği bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda hipokotil yüzde su içeriği açısından *T. a. cv.* ‘**Sultan**’ çeşidi ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan önemli ($p < 0,012$) düzeyde farklılık belirlenmiştir (Tablo 3.51).

Tablo 3.51. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinin hipokotil yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Su içeriği	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,000	9	0,000	2,956	0,012
Grup içinde	0,000	30	0,000		
Toplam	0,000	39			

Duncan testi ile ağır metal uygulaması sonucu buğday çeşitlerinde birbirinden farklı 3 grup oluştuğu belirlenmiştir (Tablo 3.52).

Tablo 3.52. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinde hipokotil yüzde su içeriği bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar		
Uygulama	Örnek sayısı	1	2	3
100 µM Kadmiyum	4	0,0084898		
200 µM Kurşun	4	0,0084909		
300 µM Kadmiyum	4	0,0085105		
300 µM Kurşun	4	0,0086447	0,0086447	
200 µM Kadmiyum	4	0,0087628	0,0087628	0,0087628
Kontrol	4	0,0087632	0,0087632	0,0087632
200 µM Çinko	4		0,0089705	0,0089705
300 µM Çinko	4		0,0089792	0,0089792
100 µM Kurşun	4		0,0089940	0,0089940
100 µM Çinko	4			0,0090982
Önem düzeyi		0,217	0,116	0,131

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin radikula kuru ağırlık bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda radikula kuru ağırlık açısından *T. a. cv ‘Sultan’* çeşidi ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan önemli ($p < 0,002$) düzeyde farklılık belirlenmiştir (Tablo 3.53).

Tablo 3.53. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinin radikula kuru ağırlıklarına (g) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Radikula Kuru Ağırlık	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,031	9	0,003	3,855	0,002
Grup içinde	0,027	30	0,001		
Toplam	0,058	39			

Duncan testi ile ağır metal uygulaması sonucu buğday çeşitlerinde birbirinden farklı 3 grup oluştuğu belirlenmiştir (Tablo 3.54).

Tablo 3.54. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinde radikula kuru ağırlık (g) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar		
Uygulama	Örnek sayısı	1	2	3
300 µM Kadmiyum	4	0,1550		
200 µM Kadmiyum	4	0,1625	0,1625	
100 µM Kurşun	4		0,2025	0,2025
Kontrol	4			0,2150
200 µM Çinko	4			0,2150
300 µM Çinko	4			0,2175
100 µM Kadmiyum	4			0,2175
300 µM Kurşun	4			0,2225
100 µM Çinko	4			0,2375
200 µM Kurşun	4			0,2475
Önem düzeyi		0,726	0,069	0,076

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin radikula yüzde su içeriği bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda radikula yüzde su içeriği açısından *T. a. cv ‘Sultan’* çeşidi ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan önemli ($p < 0,000$) düzeyde farklılık belirlenmiştir (Tablo 3.55).

Tablo 3.55. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinin radikula yüzde su içeriğine göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Radikula yüzde su içeriği	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	0,000	9	0,000	10,309	0,000
Grup içinde	0,000	30	0,000		
Toplam	0,000	39			

Duncan testi ile ağır metal uygulaması sonucu buğday çeşitlerinde birbirinden farklı 3 grup oluştuğu belirlenmiştir (Tablo 3.56).

Tablo 3.56. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinde radikula yüzde su içeriği bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar		
Uygulama	Örnek sayısı	1	2	3
200 µM Kurşun	4	0,0079078		
300 µM Kurşun	4		0,0085043	
200 µM Kadmiyum	4		0,0087168	
300 µM Kadmiyum	4		0,0087609	
100 µM Kadmiyum	4		0,0088229	0,0088229
Kontrol	4		0,0088775	0,0088775
100 µM Çinko	4			0,0091798
300 µM Çinko	4			0,0091929
200 µM Çinko	4			0,0092197
100 µM Kurşun	4			0,0092349
Önem düzeyi		1,000	0,076	0,054

3.5. Ağır Metallerin (Zn, Cd, Pb) Klorofil a Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) klorofil a bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans

analizleri sonucunda klorofil a bakımından çeşitler ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p<0,000$) bir fark olduğu bulunmuştur (Tablo 3.57).

Tablo 3. 57. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Altay’*, *T. a. cv ‘Sönmez’* ve *T. a. cv ‘Sultan’* çeşitlerinin klorofil a miktarına ($\mu\text{g/gfw}$) göre yapılan varyans analizi sonuçları

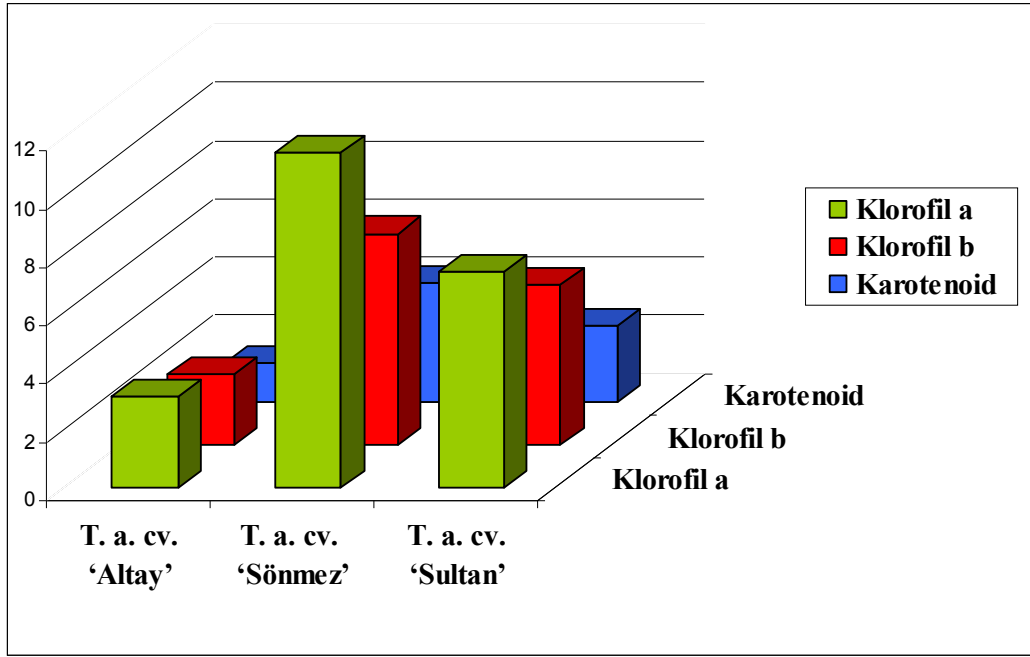
ANOVA					
Klorofil a miktarı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	1395,612	2	697,806	106,270	0,000
Grup içinde	768,263	117	6,566		
Toplam	2163,874	119			

Buğday çeşitleri arasında klorofil a üzerine ağır metal uygulamalarının etkileri bakımından farklılıkların belirlenebilmesi amacıyla Duncan testi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda birbirinden farklı üç homojen grup oluşmuştur (Tablo 3.58).

Tablo 3. 58. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin klorofil a miktarı ($\mu\text{g/gfw}$) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar		
Çeşit	Örnek sayısı	1	2	3
<i>T. a. cv. ‘Altay’</i>	40	3,1621		
<i>T. a. cv. ‘Sultan’</i>	40		7,4239	
<i>T. a. cv. ‘Sönmez’</i>	40			11,5150
Önem düzeyi		1,000	1,000	1,000

Ağır metal stresine en duyarlı çeşit *T. a. cv. ‘Sönmez’* en dayanıklı duyarlı çeşit ise *T. a. cv. ‘Altay’* olduğu bulunmuştur (Şekil 3. 8).



Şekil 3. 8. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin klorofil a bakımından karşılaştırılması

3.5.1. T. a. cv. 'Altay' çeşidinin klorofil a üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Altay' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin klorofil a üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,000$ düzeyinde anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.59).

Tablo 3. 59. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinin klorofil a miktarına ($\mu\text{g/gfw}$) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Klorofil a miktarı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	74,556	9	8,284	5,552	0,000
Grup içinde	44,760	30	1,492		
Toplam	119,316	39			

Yapılan analizler sonucunda farklı homojen 4 grubun olduğu görülmüştür (Tablo 3. 60).

Tablo 3.60. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinde klorofil a ($\mu\text{g/gfw}$) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar			
		1	2	3	4
200 μM Kadmiyum	4	1,2671			
100 μM Kadmiyum	4	1,5821	1,5821		
300 μM Kurşun	4	2,2353	2,2353		
300 μM Kadmiyum	4	2,4862	2,4862		
200 μM Kurşun	4	2,5363	2,5363		
Kontrol	4	3,0775	3,0775	3,0775	
300 μM Çinko	4		3,4146	3,4146	
100 μM Kurşun	4			4,5915	4,5915
200 μM Çinko	4			4,8267	4,8267
100 μM Çinko	4				5,6033
Önem düzeyi		0,073	0,070	0,072	0,278

3.5.2. *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinin klorofil a üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Sönmez' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin klorofil a üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan anlamlı bir farkın olmadığı bulunmuştur (Tablo 3.61).

Tablo 3. 61. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinin klorofil a miktarına ($\mu\text{g/gfw}$) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Klorofil a miktarı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	38,762	9	4,307	0,796	0,622
Grup içinde	162,256	30	5,409		
Toplam	201,018	39			

T. a. cv. 'Sönmez' çeşidinde klorofil a bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır (Tablo 3. 62).

Tablo 3.62. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinde klorofil a ($\mu\text{g/gfw}$) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Duncan		Homojen gruplar
Uygulama	Örnek sayısı	1
200 μM Çinko	4	9,7659
100 μM Çinko	4	10,3838
300 μM Çinko	4	10,5659
200 μM Kadmiyum	4	11,1091
Kontrol	4	11,6502
100 μM Kadmiyum	4	11,9019
300 μM Kurşun	4	12,0198
100 μM Kurşun	4	12,0477
300 μM Kadmiyum	4	12,8347
200 μM Kurşun	4	12,8706
Önem düzeyi		0,118

3.5.3. *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinin klorofil a üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Sultan' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin klorofil a üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,000$ düzeyinde anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.63).

Tablo 3. 63. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinin klorofil a miktarına ($\mu\text{g/gfw}$) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Klorofil a miktarı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	296,801	9	32,978	6,546	0,000
Grup içinde	151,127	30	5,038		
Toplam	447,929	39			

T. a. cv. 'Sultan' çeşidinde klorofil a bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı homojen 5 grubun oluştuğu görülmüştür (Tablo 3. 64).

Tablo 3.64. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinde klorofil a ($\mu\text{g/gfw}$) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar				
		1	2	3	4	5
100 μM Kurşun	4	4,4073				
100 μM Çinko	4	4,9835	4,9835			
300 μM Kurşun	4	5,3628	5,3628			
200 μM Kurşun	4	5,5938	5,5938			
300 μM Çinko	4	6,0862	6,0862	6,0862		
200 μM Çinko	4	6,3173	6,3173	6,3173		
100 μM Kadmiyum	4		8,2435	8,2435	8,2435	
Kontrol	4			9,5044	9,5044	
200 μM Kadmiyum	4				10,4571	10,4571
300 μM Kadmiyum	4					13,2833
Önem düzeyi		0,300	0,079	0,056	0,198	0,085

3.6. Ağır Metallerin (Zn, Cd, Pb) Klorofil b Miktarı Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 μM) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) klorofil b bakımından karşılaştırılmaları amacıyla varyans analizleri yapılmıştır.

Sonucunda klorofil a bakımından çeşitler ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p < 0,000$) bir fark olduğu bulunmuştur (Tablo 3.65).

Tablo 3. 65. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Altay'*, *T. a. cv 'Sönmez'* ve *T. a. cv 'Sultan'* çeşitlerinin klorofil b miktarına ($\mu\text{g/gfw}$) göre yapılan varyans analizi sonuçları

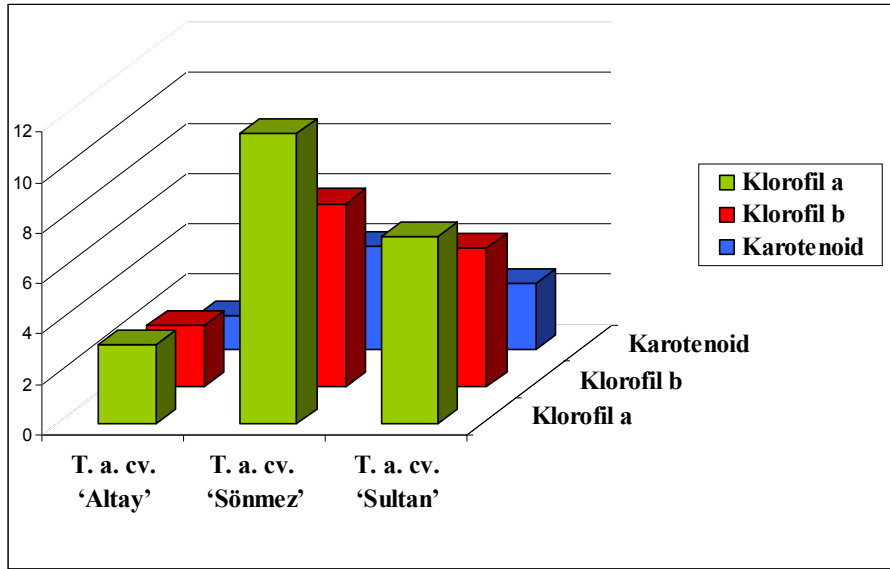
ANOVA					
Klorofil b miktarı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	482,017	2	241,009	71,869	0,000
Grup içinde	392,350	117	3,353		
Toplam	874,368	119			

Yapılan analizler sonucunda birbirinden farklı üç homojen grup oluşmuştur (Tablo 3.66). Buna göre buğday çeşitleri ağır metal stresine karşı klorofil b miktarı bakımından birbirinden farklı cevaplar vermiştir. Ağır metal stresine en dayanıklı çeşit *T. a. cv. 'Sönmez'* en duyarlı çeşit ise *T. a. cv. 'Altay'* olduğu bulunmuştur.

Tablo 3. 66. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin klorofil b miktarı ($\mu\text{g/gfw}$) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar		
Çeşit	Örnek sayısı	1	2	3
<i>T. a. cv. 'Altay'</i>	40	2,4323		
<i>T. a. cv. 'Sultan'</i>	40		5,5099	
<i>T. a. cv. 'Sönmez'</i>	40			7,2835
Önem düzeyi		1,000	1,000	1,000

Ağır metal stresine en duyarlı çeşit *T. a. cv. 'Altay'* en dayanıklı çeşit ise *T. a. cv. 'Sönmez'* olduğu bulunmuştur (Şekil 3. 9).



Şekil 3. 9. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin klorofil b bakımından karşılaştırılması

3.6.1. T. a. cv. 'Altay' çeşidinin klorofil b üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Altay' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin klorofil b üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,001$ düzeyinde anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.67).

Tablo 3. 67. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinin klorofil b miktarına ($\mu\text{g/gfw}$) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Klorofil b miktarı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	45,865	9	5,096	4,715	0,001
Grup içinde	32,424	30	1,081		
Toplam	78,290	39			

T. a. cv. 'Altay' çeşidinde klorofil b bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı homojen 5 grubun olduğu görülmüştür (Tablo 3. 68).

Tablo 3.68. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinde klorofil b ($\mu\text{g/gfw}$) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar				
		1	2	3	4	5
200 μM Kadmiyum	4	0,8366				
100 μM Kadmiyum	4	1,2723	1,2723			
300 μM Kadmiyum	4	1,5185	1,5185			
300 μM Kurşun	4	1,8174	1,8174	1,8174		
Kontrol	4	2,4025	2,4025	2,4025	2,4025	
300 μM Çinko	4	2,4659	2,4659	2,4659	2,4659	
200 μM Kurşun	4		2,5708	2,5708	2,5708	
100 μM Kurşun	4			3,3282	3,3282	3,3282
200 μM Çinko	4				3,6883	3,6883
100 μM Çinko	4					4,4223
Önem düzeyi		0,058	0,130	0,074	0,128	0,170

3.6.2. *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinin klorofil b üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Sönmez' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin klorofil b üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan anlamlı bir farkın olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3.69).

Tablo 3. 69. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinin klorofil b miktarına ($\mu\text{g/gfw}$) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Klorofil b miktarı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	20,418	9	2,269	1,133	0,371
Grup içinde	60,093	30	2,003		
Toplam	80,512	39			

T. a. cv. 'Sönmez' çeşidinde klorofil b bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda tek bir grubun olduğu görülmüştür (Tablo 3. 70).

Tablo 3.70. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinde klorofil b ($\mu\text{g/gfw}$) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar 1
100 μM Çinko	4	6,1642
300 μM Çinko	4	6,2363
Kontrol	4	6,6643
100 μM Kadmiyum	4	7,1660
200 μM Kadmiyum	4	7,2090
200 μM Çinko	4	7,4621
300 μM Kurşun	4	7,5641
300 μM Kadmiyum	4	7,8757
200 μM Kurşun	4	8,1117
100 μM Kurşun	4	8,3813
Önem düzeyi		0,068

3.6.3. *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinin klorofil b üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Sultan' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin klorofil b üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,000$ düzeyinde anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.71).

Tablo 3. 71. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinin klorofil b miktarına ($\mu\text{g/gfw}$) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Klorofil b miktarı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	177,120	9	19,680	10,463	0,000
Grup içinde	56,429	30	1,881		
Toplam	233,549	39			

T. a. cv. ‘**Sultan**’ çeşidinde klorofil b bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı homojen 4 grubun olduğu görülmüştür (Tablo 3. 72).

Tablo 3.68. Ağır metallerin *T. a.* cv. ‘**Sultan**’ çeşidinde klorofil b ($\mu\text{g/gfw}$) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar			
		1	2	3	4
300 μM Çinko	4	2,8419			
200 μM Kurşun	4	3,5979	3,5979		
100 μM Çinko	4	3,7757	3,7757		
100 μM Kurşun	4	3,9789	3,9789		
300 μM Kurşun	4	3,9817	3,9817		
200 μM Çinko	4		5,1077	5,1077	
100 μM Kadmiyum	4			7,0092	7,0092
Kontrol	4				7,7245
200 μM Kadmiyum	4				8,2814
300 μM Kadmiyum	4				8,7999
Önem düzeyi		0,304	0,174	0,059	0,101

3.7. Ağır Metallerin (Zn, Cd, Pb) Karotenoid Miktarı Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 μM) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) karotenoid bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda karotenoid bakımından çeşitler ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p<0,000$) bir fark olduğu bulunmuştur (Tablo 3.73).

Tablo 3. 73. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Altay’*, *T. a. cv ‘Sönmez’* ve *T. a. cv ‘Sultan’* çeşitlerinin karotenoid miktarına (µg/gfw) göre yapılan varyans analizi sonuçları

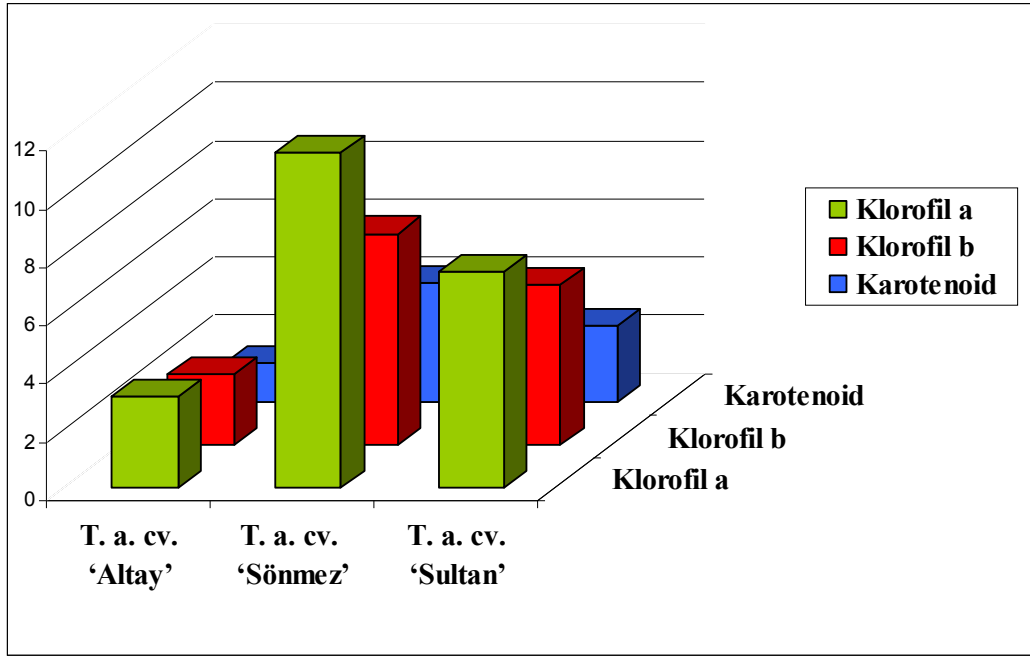
Karotenoid Miktarı	ANOVA				
	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	151,389	2	75,694	68,777	0,000
Grup içinde	128,768	117	1,101		
Toplam	280,157	119			

Buğday çeşitleri arasında karotenoid üzerine ağır metal uygulamalarının etkileri bakımından farklılıkların belirlenebilmesi amacıyla Duncan testi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda birbirinden farklı üç homojen grup oluşmuştur (Tablo 3.74). Buna göre buğday çeşitleri ağır metal stresine karşı karotenoid miktarı bakımından birbirinden farklı cevaplar vermiştir. Ağır metal stresine en dayanıklı çeşit *T. a. cv. ‘Sönmez’* en duyarlı çeşit ise *T. a. cv. ‘Altay’* olduğu bulunmuştur.

Tablo 3. 74. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin karotenoid miktarı (µg/gfw) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Çeşit	Örnek sayısı	Homojen gruplar		
		1	2	3
<i>T. a. cv. ‘Altay’</i>	40	1,3843		
<i>T. a. cv. ‘Sultan’</i>	40		2,6584	
<i>T. a. cv. ‘Sönmez’</i>	40			4,1331
Önem düzeyi		1,000	1,000	1,000

Ağır metal stresine en duyarlı çeşit *T. a. cv. ‘Altay’* en dayanıklı çeşit ise *T. a. cv. ‘Sönmez’* olduğu bulunmuştur (Şekil 3. 10).



Şekil 3.10. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin karotenoid bakımından karşılaştırılması

3.7.1. T. a. cv. 'Altay' çeşidinin karotenoid miktarı üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Altay' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin karotenoid üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,004$ düzeyinde anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.75).

Tablo 3. 75. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinin karotenoid miktarına ($\mu\text{g/gfw}$) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Karotenoid Miktarı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	23,244	9	2,583	3,635	0,004
Grup içinde	21,314	30	0,710		
Toplam	44,558	39			

T. a. cv. 'Altay' çeşidinde karotenoid bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı homojen 3 grubun olduğu görülmüştür (Tablo 3. 76).

Tablo 3.76. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinde karotenoid bakımından ($\mu\text{g/gfw}$) gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar		
Uygulama	Örnek sayısı	1	2	3
200 μM Kadmiyum	4	0,5046		
100 μM Kadmiyum	4	0,5426		
200 μM Kurşun	4	0,9134	0,9134	
300 μM Kurşun	4	1,0473	1,0473	
Kontrol	4	1,1550	1,1550	
300 μM Çinko	4	1,3186	1,3186	
300 μM Kadmiyum	4	1,3592	1,3592	
100 μM Kurşun	4	1,7745	1,7745	
100 μM Çinko	4		1,9974	
200 μM Çinko	4			3,2302
Önem düzeyi		0,075	0,123	1,000

3.7.2. *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinin karotenoid miktarı üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Sönmez' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin karotenoid üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan anlamlı bir farkın olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3.77).

Tablo 3. 77. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinin karotenoid miktarına (µg/gfw) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Karotenoid Miktarı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	15,871	9	1,763	1,538	0,180
Grup içinde	34,397	30	1,147		
Toplam	50,268	39			

T. a. cv. ‘Sönmez’ çeşidinde karotenoid bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı homojen 3 grubun olduğu görülmüştür (Tablo 3. 78).

Tablo 3.78. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinde karotenoid (µg/gfw) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar	
		1	2
Kontrol	4	2,8769	
100 µM Kadmiyum	4	3,4552	3,4552
300 µM Kurşun	4	3,6571	3,6571
100 µM Kurşun	4	3,9594	3,9594
200 µM Çinko	4	4,2288	4,2288
200 µM Kadmiyum	4	4,4306	4,4306
300 µM Kadmiyum	4	4,4429	4,4429
100 µM Çinko	4	4,4913	4,4913
300 µM Çinko	4	4,5840	4,5840
200 µM Kurşun	4		5,2047
Önem düzeyi		0,062	0,056

3.7.3. T. a. cv. ‘Sultan’ çeşidinin karotenoid miktarı üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. ‘Sultan’ çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin karotenoid üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,000$ düzeyinde anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.79).

Tablo 3. 79. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinin karotenoid miktarına ($\mu\text{g/gfw}$) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Karotenoid Miktarı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	21,049	9	2,339	5,442	0,000
Grup içinde	12,893	30	,430		
Toplam	33,942	39			

T. a. cv. ‘Sultan’ çeşidinde karotenoid bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı homojen 3 grubun oluştuğu görülmüştür (Tablo 3. 80).

Tablo 3.80. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinde karotenoid ($\mu\text{g/gfw}$) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar		
Uygulama	Örnek sayısı	1	2	3
300 μM Çinko	4	1,5878		
200 μM Kurşun	4	1,9557		
100 μM Kurşun	4	1,9808		
300 μM Kurşun	4	2,1394		
100 μM Çinko	4	2,4182	2,4182	
200 μM Çinko	4	2,6078	2,6078	
300 μM Kadmiyum	4		3,2040	3,2040
100 μM Kadmiyum	4		3,4372	3,4372
Kontrol	4		3,4610	3,4610
200 μM Kadmiyum	4			3,7921
Önem düzeyi		0,060	0,051	0,257

3.8. Ağır Metallerin (Zn, Cd, Pb) Mitotik İndeks Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) mitotik indeks bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda mitotik indeks bakımından çeşitler ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p < 0,000$) bir fark olduğu bulunmuştur (Tablo 3.81).

Tablo 3.81. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) T. a. cv. ‘Altay’, T. a. cv ‘Sönmez’ ve T. a. cv ‘Sultan’ çeşitlerinin mitotik indekslerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

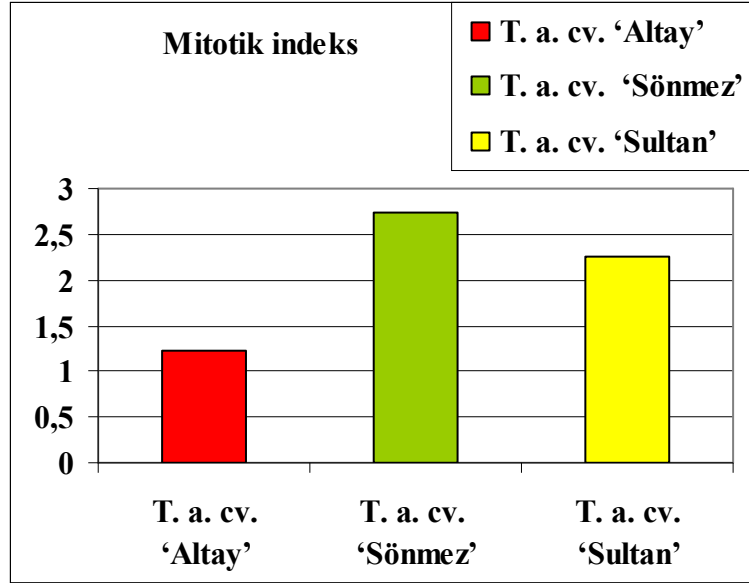
ANOVA					
Mitotik indeks	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	47,844	2	23,922	36,167	0,000
Gruplar içinde	77,388	117	0,661		
Toplam	125,231	119			

Buğday çeşitleri arasında mitotik indeks üzerine ağır metal uygulamalarının etkileri bakımından farklılıkların belirlenebilmesi amacıyla Duncan testi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda birbirinden farklı üç homojen grup oluşmuştur (Tablo 3.82). Buna göre buğday çeşitleri ağır metal stresine karşı mitotik indeks bakımından birbirinden farklı cevaplar vermiştir. Ağır metal stresine en dayanıklı çeşit T. a. cv. ‘Sönmez’ en duyarlı çeşit ise T. a. cv. ‘Altay’ olduğu bulunmuştur.

Tablo 3.82. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin mitotik indeks bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar		
Çeşit	Örnek sayısı	1	2	3
T. a. cv. ‘Altay’	40	1,2213		
T. a. cv. ‘Sultan’	40		2,2662	
T. a. cv. ‘Sönmez’	40			2,7312
Önem düzeyi		1,000	1,000	1,000

Ağır metal stresine en duyarlı çeşit *T. a. cv. 'Sönmez'* en duyarlı çeşit ise *T. a. cv. 'Altay'* olduğu bulunmuştur (Şekil 3. 11).



Şekil 3. 11. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin mitotik indeks bakımından karşılaştırılması

3.8.1. *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinin mitotik indeksi üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Altay' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin mitotik indeks üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,000$ düzeyinde anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.83).

Tablo 3. 83. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinin mitotik indekse göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Mitotik indeks	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	3,572	9	0,397	5,898	0,000
Gruplar içinde	2,019	30	0,067		
Toplam	5,590	39			

T. a. cv. 'Altay' çeşidinde mitotik indeks bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı homojen 3 grubun olduğu görülmüştür (Tablo 3. 84).

Tablo 3.84. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinde mitotik indeks bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar		
		1	2	3
200 µM Çinko	4	0,8275		
300 µM Kadmiyum	4	0,8925		
200 µM Kadmiyum	4	1,1075	1,1075	
300 µM Çinko	4	1,1325	1,1325	
300 µM Kurşun	4	1,1500	1,1500	
200 µM Kurşun	4	1,1575	1,1575	
100 µM Kadmiyum	4	1,2300	1,2300	
100 µM Çinko	4		1,3425	
100 µM Kurşun	4		1,4100	
Kontrol	4			1,9625
Önem düzeyi		0,064	0,162	1,000

3.8.2. *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinin mitotik indeksi üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Sönmez' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin mitotik indeks üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,000$ düzeyinde anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.85).

Tablo 3. 85. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinin karotenoid miktarına göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Mitotik indeks	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	44,438	9	4,938	10,244	0,000
Gruplar içinde	14,460	30	0,482		
Toplam	58,898	39			

T. a. cv. 'Sönmez' çeşidinde mitotik indeks bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı homojen tek bir grubun olduğu görülmüştür (Tablo 3. 86).

Tablo 3.86. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinde mitotik indeks bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Homojen gruplar		
		1	2	3
300 µM Kurşun	4	1,8625		
300 µM Kadmiyum	4	1,9075		
200 µM Kadmiyum	4	1,9150		
200 µM Çinko	4	2,1250	2,1250	
200 µM Kurşun	4	2,4200	2,4200	
100 µM Çinko	4	2,4950	2,4950	
300 µM Çinko	4	2,5775	2,5775	
100 µM Kurşun	4		3,2225	
100 µM Kadmiyum	4		3,2325	
Kontrol	4			5,5550
Önem düzeyi		0,216	0,054	1,000

3.8.3. *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinin mitotik indeksi üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Sultan' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin mitotik indeks üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel anlamlı bir farkın olmadığı bulunmuştur (Tablo 3.87).

Tablo 3. 87. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinin mitotik indekse göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Mitotik indeks	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	4,302	9	0,478	1,668	0,141
Gruplar içinde	8,597	30	0,287		
Toplam	12,899	39			

T. a. cv. ‘**Sultan**’ çeşidinde mitotik indeks bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı homojen 2 grubun olduğu görülmüştür (Tablo 3. 88).

Tablo 3.88. Ağır metallerin *T. a.* cv. ‘**Sultan**’ çeşidinde mitotik indeks bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar	
Uygulama	Örnek sayısı	1	2
200 µM Kadmiyum	4	1,8750	
300 µM Kadmiyum	4	1,8825	
100 µM Kadmiyum	4	2,0525	2,0525
200 µM Kurşun	4	2,0600	2,0600
100 µM Çinko	4	2,1375	2,1375
300 µM Kurşun	4	2,2875	2,2875
300 µM Çinko	4	2,3275	2,3275
100 µM Kurşun	4	2,3825	2,3825
200 µM Çinko	4	2,7275	2,7275
Kontrol	4		2,9295
Önem düzeyi		0,062	0,053

3.8.4. Ağır metallerin buğday çeşitleri üzerinde neden olduğu mitotik anormallikler

100, 200 ve 300 µM konsantrasyonlarındaki Zn, Cd ve Pb buğday kök ucu hücrelerinde mitotik anormalliklere neden olmuştur (Tablo 3.89, Tablo 3.90 ve Tablo 3.91).

Tablo 3.89. Ağır metal uygulaması sonucu *T. a.* cv. ‘**Altay**’ çeşidindeki mitotik indeks ve kromozomal anormallikler

Uygulama	Mitotik indeks (%)	Düzensiz Dağılım	Kromozom kırığı	Kromozom köprüsü	Yapışık Metafaz
Kontrol	1,9625	0	0	0	0
100µM Çinko	1,3425	18	17	15	12
200µM Çinko	0,8275	5	7	0	5
300µM Çinko	1,1325	0	12	9	2
100µM Kadmiyum	1,2300	2	1	2	16
200µM Kadmiyum	1,1075	11	13	13	18
300µM Kadmiyum	0,8925	10	15	7	15
100µM Kurşun	1,4100	2	9	4	11
200µM Kurşun	1,1575	3	7	4	4
300µM Kurşun	1,1500	12	20	9	37

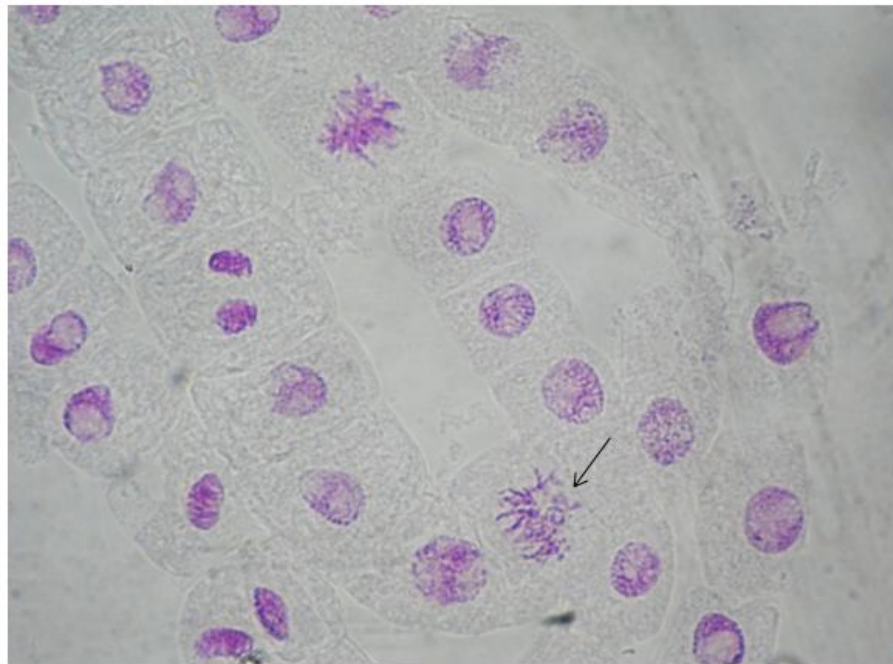
Tablo 3.90. Ağır metal uygulaması sonucu *T. a.* cv ‘**Sönmez**’ çeşidindeki mitotik indeks ve kromozomal anormallikler

Uygulama	Mitotik indeks (%)	Düzensiz Dağılım	Kromozom kırığı	Kromozom köprüsü	Sticky Metafaz
Kontrol	5,5550	0	0	0	0
100µM Çinko	2,4950	17	1	11	23
200µM Çinko	2,1250	4	12	10	20
300µM Çinko	2,5775	31	17	25	37
100µM Kadmiyum	3,2325	21	1	5	12
200µM Kadmiyum	1,9150	20	12	8	19
300µM Kadmiyum	1,9075	46	12	33	45
100µM Kurşun	3,2225	18	2	0	13
200µM Kurşun	2,4200	4	2	0	12
300µM Kurşun	1,8625	14	7	9	35

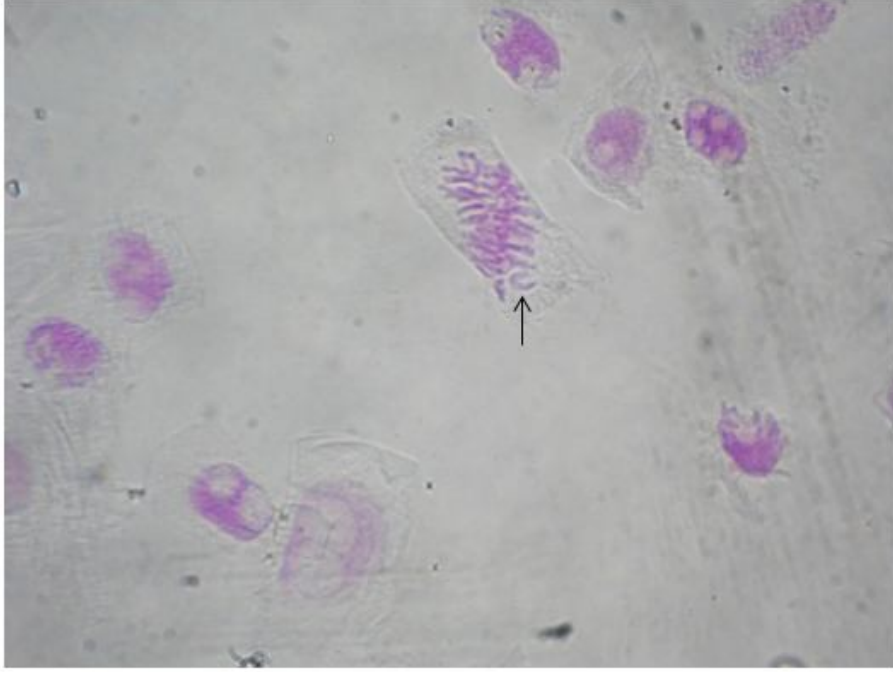
Tablo 3.91. Ağır metal uygulaması sonucu *T. a.* cv. ‘**Sultan**’ çeşidindeki mitotik indeks ve kromozomal anormallikler

Uygulama	Mitotik indeks (%)	Düzensiz Dağılım	Kromozom kırığı	Kromozom köprüsü	Sticky Metafaz
Kontrol	2,9295	1	3	7	1
100µM Çinko	2,1375	3	3	4	8
200µM Çinko	2,7275	0	1	5	13
300µM Çinko	2,3275	2	1	1	4
100µM Kadmiyum	2,0525	2	6	8	6
200µM Kadmiyum	1,8750	0	13	7	9
300µM Kadmiyum	1,8825	3	8	4	10
100µM Kurşun	2,3825	19	18	17	12
200µM Kurşun	2,0600	15	29	18	33
300µM Kurşun	2,287	22	46	34	36

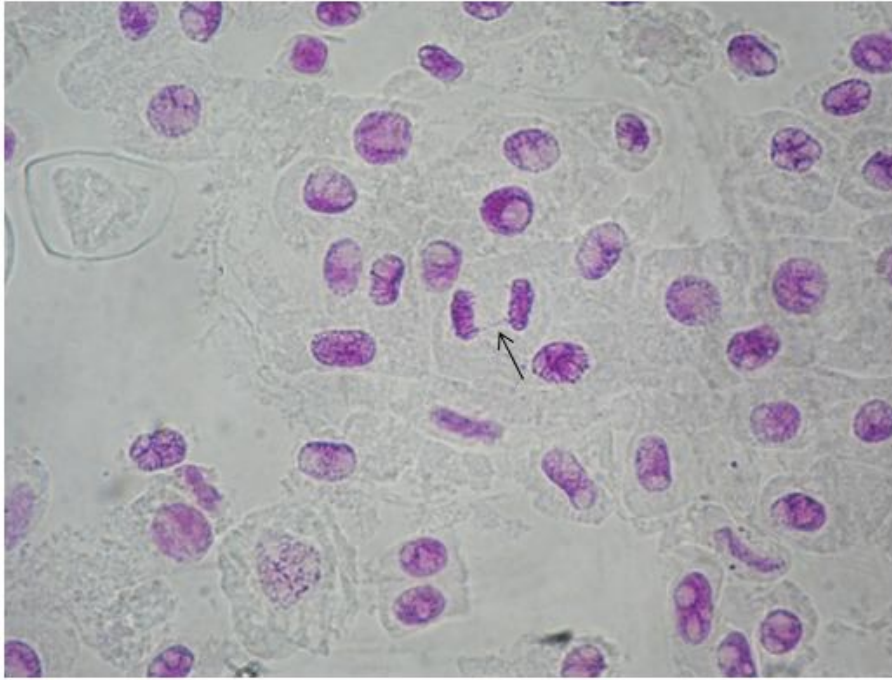
Ağır metal uygulaması buğday kök hücrelerinde kromozomal anormalliklere neden olmuştur. Bunlardan düzensiz dağılım, kromozom kırıkları, kromozom köprüleri ve yapışık metafaz gözlenmiştir (Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15).



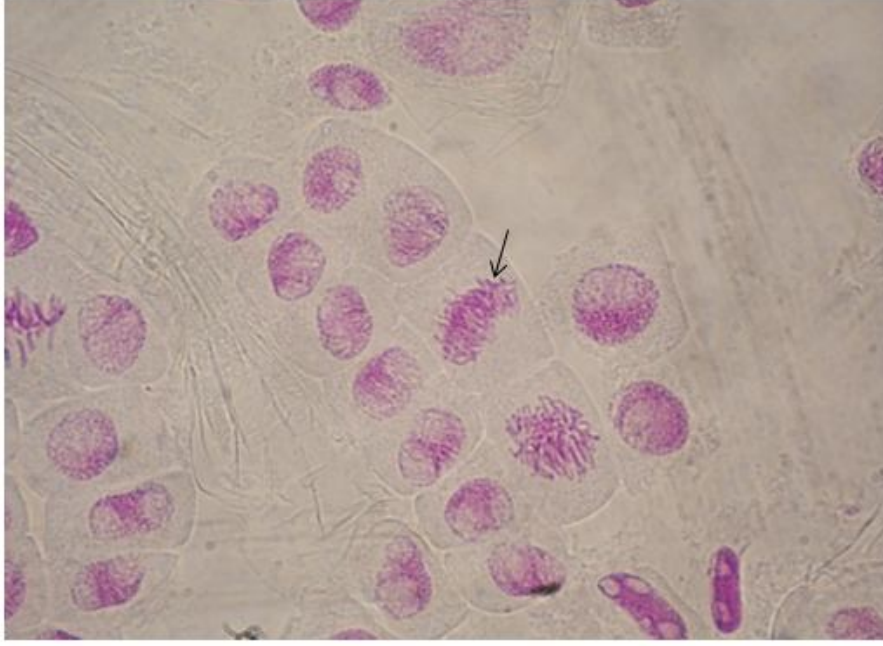
Şekil 3.12. Kök ucu hücrelerinde gözlenen kromozomal düzensizlikler



Şekil 3.13. Kök ucu hücrelerinde gözlenen kromozom kırıkları



Şekil 3.14. Kök ucu hücrelerinde gözlenen kromozom köprüleri



Şekil 3.15. Kök ucu hücrelerinde gözlenen yapışık metafaz

Çinko, kadmiyum, kurşun uygulamaları sonucu kök ucu hücreleri incelendiğinde en fazla kromozomal düzensizlik *T. a.* cv ‘**Sönmez**’ çeşidinde 300 μ M kadmiyum uygulandığında gözlenmiştir. Bunu sırasıyla yine *T. a.* cv ‘**Sönmez**’ çeşidinde uygulanan 300 μ M çinko ve *T. a.* cv. ‘**Sultan**’ çeşidinde uygulanan 300 μ M kurşun izlemektedir.

Çinko, kadmiyum, kurşun uygulamaları sonucu kök ucu hücreleri incelendiğinde en fazla kromozom kırığı *T. a.* cv. ‘**Sultan**’ çeşidinde 300 μ M kurşun uygulandığında gözlenmiştir. Bunu sırasıyla yine *T. a.* cv. ‘**Sultan**’ çeşidinde uygulanan 200 μ M kurşun ve *T. a.* cv. ‘**Altay**’ çeşidinde uygulanan 300 μ M kurşun izlemektedir.

Çinko, kadmiyum, kurşun uygulamaları sonucu kök ucu hücreleri incelendiğinde en fazla kromozom köprüsü *T. a.* cv. ‘**Sultan**’ çeşidinde 300 μ M kurşun uygulandığında gözlenmiştir. Bunu sırasıyla *T. a.* cv ‘**Sönmez**’ çeşidinde uygulanan 300 μ M kadmiyum ve yine *T. a.* cv ‘**Sönmez**’ çeşidinde uygulanan 300 μ M çinko izlemektedir.

Çinko, kadmiyum, kurşun uygulamaları sonucu kök ucu hücreleri incelendiğinde en fazla yapışık metafaz *T. a.* cv ‘**Sönmez**’ çeşidinde 300 µM kadmiyum uygulandığında gözlenmişti. Bunu sırasıyla *T. a.* cv. ‘**Altay**’ çeşidinde uygulanan 300 µM kurşun ve *T. a.* cv ‘**Sönmez**’ çeşidinde uygulanan 300 µM çinko izlemektedir.

3.9. Ağır Metallerin Süperoksit Dismutaz Enzim Aktivitesi Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) süperoksit dismutaz (SOD) enzimi aktivitesi (yüzde inhibisyon) bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda süperoksit dismutaz (SOD) enzimi aktivitesi bakımından çeşitler ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı bir fark olmadığı bulunmuştur (Tablo 3.92).

Tablo 3. 92. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a.* cv. ‘**Altay**’, *T. a.* cv ‘**Sönmez**’ ve *T. a.* cv ‘**Sultan**’ çeşitlerinin SOD enzim aktivitelerine göre yapılan varyans analizi sonuçları

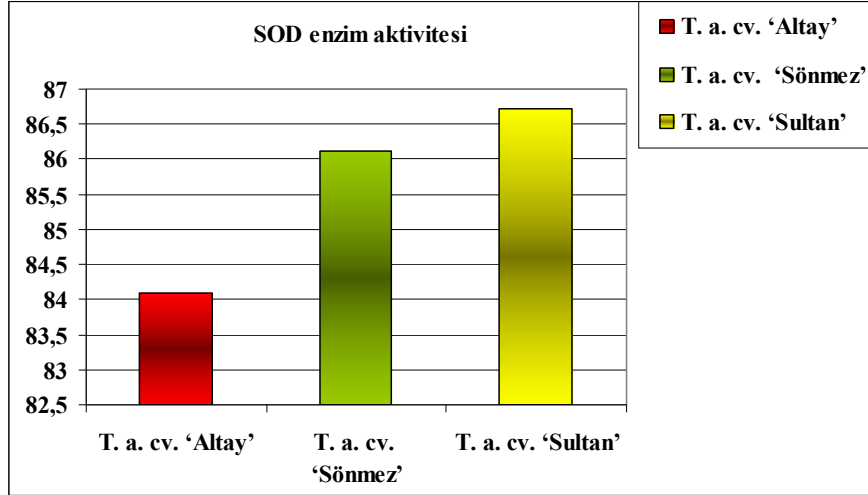
ANOVA					
SOD enzim aktivitesi	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	113,775	2	56,888	0,279	0,758
Gruplar içinde	17764,240	87	204,187		
Toplam	17878,015	89			

Buğday çeşitleri arasında SOD enzimi aktivitesi üzerine ağır metal uygulamalarının etkileri bakımından farklılıkların belirlenebilmesi amacıyla Duncan testi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda birbirinden tek bir homojen grup oluşmuştur (Tablo 3.93).

Tablo 3.93. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin SOD enzim aktiviteleri bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar
Çeşit	Örnek sayısı	1
<i>T. a. cv. 'Altay'</i>	30	84,0947
<i>T. a. cv. 'Sönmez'</i>	30	86,1273
<i>T. a. cv. 'Sultan'</i>	30	86,7203
Önem düzeyi		0 ,507

Ağır metal stresine en duyarlı çeşit *T. a. cv. 'Altay'* en dayanıklı çeşit ise *T. a. cv. 'Sultan'* olduğu bulunmuştur (Şekil 3. 16).



Şekil 3. 16. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin SOD enzim aktivitesi bakımından karşılaştırılması

3.9.1. *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinin SOD enzim aktivitesi üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Altay' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin SOD enzimi aktivitesi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,031$ düzeyinde anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.94).

Tablo 3. 94. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Altay’* çeşidinin SOD enzim aktivitesine göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
SOD aktivitesi	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	2065,109	9	229,457	2,687	0,031
Gruplar içinde	1707,968	20	85,398		
Toplam	3773,077	29			

T. a. cv. ‘Altay’ çeşidinde SOD enzimi aktivitesi bakımından uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı homojen 2 grubun oluştuğu görülmüştür (Tablo 3. 95).

Tablo 3.95. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Altay’* çeşidinde SOD enzim aktivitesi bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar	
Uygulama	Örnek sayısı	1	2
300 µM Kadmiyum	3	65,3367	
200 µM Kadmiyum	3	77,4233	77,4233
100 µM Çinko	3	81,6400	81,6400
100 µM Kadmiyum	3	81,6700	81,6700
200 µM Çinko	3	82,0200	82,0200
300 µM Çinko	3		84,0633
300 µM Kurşun	3		89,6133
100 µM Kurşun	3		91,7067
200 µM Kurşun	3		92,8833
Kontrol	3		94,5900
Önem düzeyi		0,059	0,062

3.9.2. *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinin SOD enzim aktivitesi üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. ‘Sönmez’ çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin SOD enzimi aktivitesi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla

yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan anlamlı bir farkın olmadığı bulunmuştur (Tablo 3.96).

Tablo 3. 96. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinin SOD enzim aktivitesine göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
SOD aktivitesi	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	3402,905	9	378,101	1,094	0,410
Gruplar içinde	6914,681	20	345,734		
Toplam	10317,586	29			

Yapılan Duncan testi sonucunda homojen tek bir grubun olduğu görülmüştür (Tablo 3. 97).

Tablo 3.97. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinde SOD enzim aktivitesi bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar
Uygulama	Örnek sayısı	1
200 µM Çinko	3	63,0400
300 µM Kadmiyum	3	69,1800
200 µM Kadmiyum	3	86,5033
300 µM Kurşun	3	86,6200
300 µM Çinko	3	88,7033
200 µM Kurşun	3	90,3200
100 µM Kurşun	3	90,5600
100 µM Kadmiyum	3	93,4500
Kontrol	3	95,1933
100 µM Çinko	3	97,7033
Önem düzeyi		0,062

3.9.3. T. a. cv. ‘Sultan’ çeşidinin SOD enzim aktivitesi üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. ‘Sultan’ çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin SOD enzimi aktivitesi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan anlamlı bir farkın olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3.98).

Tablo 3. 98. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinin SOD enzim aktivitesine göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
SOD aktivitesi	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	1504,146	9	167,127	1,541	0,201
Gruplar içinde	2169,430	20	108,472		
Toplam	3673,577	29			

Yapılan Duncan testi sonucunda farklı homojen 2 grubun olduğu görülmüştür (Tablo 3. 99).

Tablo 3.99. Ağır metallerin *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşidinde SOD enzim aktivitesi bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar	
Uygulama	Örnek sayısı	1	2
300 µM Kurşun	3	71,0100	
100 µM Çinko	3	77,9933	77,9933
200 µM Kurşun	3	84,4133	84,4133
300 µM Kadmiyum	3	85,9900	85,9900
200 µM Kadmiyum	3	86,8733	86,8733
Kontrol	3	89,0767	89,0767
100 µM Kadmiyum	3		91,1900
100 µM Kurşun	3		91,8733
200 µM Çinko	3		93,2200
300 µM Çinko	3		95,5633
Önem düzeyi		0,073	0,088

3.10. Ağır Metallerin Katalaz Enzim Aktivitesi Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda (100, 200 ve 300 μM) uygulanan ağır metallerin (Zn, Cd ve Pb) katalaz enzimi aktivitesi (U/mg) bakımından karşılaştırılmaları amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda katalaz enzimi aktivitesi bakımından çeşitler ve ağır metal uygulamaları arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,003$ düzeyinde anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.100).

Tablo 3. 100. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) T. a. cv. ‘Altay’, T. a. cv ‘Sönmez’ ve T. a. cv ‘Sultan’ çeşitlerinin katalaz enzim aktivitelerine (nmol/min/ml) göre yapılan varyans analizi sonuçları

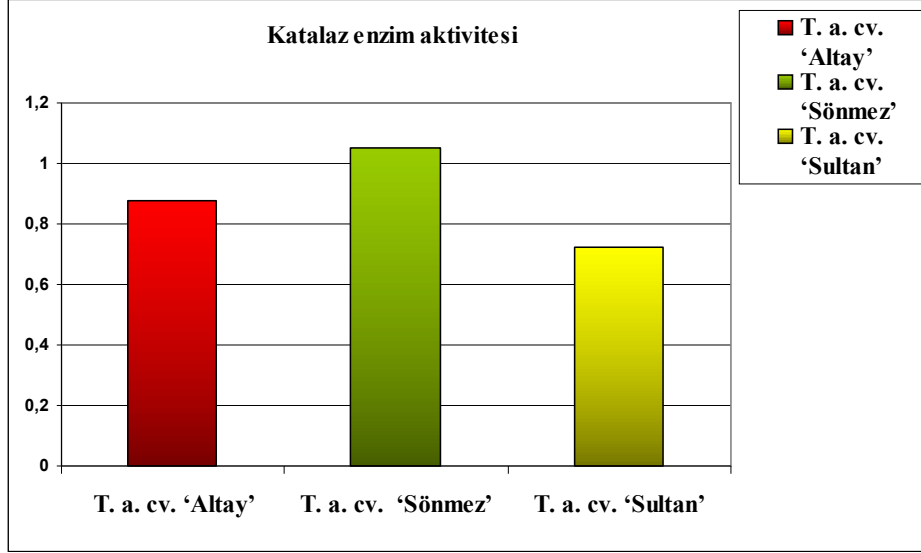
ANOVA					
Katalaz Aktivitesi	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	1,607	2	0,803	6,052	0,003
Gruplar içinde	11,548	87	0,133		
Toplam	13,155	89			

Buğday çeşitleri arasında katalaz enzimi aktivitesi üzerine ağır metal uygulamalarının etkileri bakımından farklılıkların belirlenebilmesi amacıyla Duncan testi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda birbirinden farklı 2 homojen grup oluşmuştur (Tablo 3.101).

Tablo 3.101. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin katalaz enzim aktiviteleri (nmol/min/ml) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar	
Çeşit	Örnek sayısı	1	2
T. a. cv. ‘Sultan’	30	0,72317	
T. a. cv. ‘Altay’	30	0,87670	0,87670
T. a. cv. ‘Sönmez’	30		1,05023
Önem düzeyi		0,106	0,068

Ağır metal stresine en duyarlı çeşit *T. a. cv. 'Sultan'* en dayanıklı çeşit ise *T. a. cv. 'Sönmez'* olduğu bulunmuştur (Şekil 3. 17).



Şekil 3. 17. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) buğday çeşitlerinin katalaz enzim aktivitesi bakımından karşılaştırılması

3.10.1. *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinin katalaz enzim aktivitesi üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Altay' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin katalaz enzimi aktivitesi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,000$ düzeyinde anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.102).

Tablo 3. 102. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinin katalaz enzim aktivitesine (nmol/min/ml) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Katalaz Aktivitesi	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	4,437	9	0,493	100,662	0,000
Gruplar içinde	0,098	20	0,005		
Toplam	4,534	29			

Yapılan analizler sonucunda farklı homojen 2 grubun oluştuğu görülmüştür (Tablo 3. 103).

Tablo 3.103. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinde katalaz enzim aktivitesi (nmol/min/ml) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

Uygulama	Örnek sayısı	Hom ojen gruplar					
		1	2	3	4	5	6
300 µM Kurşun	3	0,53067					
200 µM Kurşun	3	0,57467	0,57467				
300 µM Kadmiyum	3		0,66200	0,66200			
300 µM Çinko	3		0,68300	0,68300			
200 µM Çinko	3			0,72000			
100 µM Çinko	3			0,73467			
200 µM Kadmiyum	3			0,73767			
100 µM Kurşun	3				0,98600		
100 µM Kadmiyum	3					1,29600	
Kontrol	3						1,84233
Önem düzeyi		0,450	0,087	0,248	1,000	1,000	1,000

3.10.2. *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinin katalaz enzim aktivitesi üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Sönmez' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin katalaz enzimi aktivitesi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,000$ düzeyinde anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.104).

Tablo 3. 104. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinin katalaz enzim aktivitesine (nmol/min/ml) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Katalaz Aktivitesi	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	3,315	9	0,368	52,208	0,000
Gruplar içinde	0,141	20	0,007		
Toplam	3,456	29			

Yapılan analizler sonucunda farklı homojen 5 grubun oluştuğu görülmüştür (Tablo 3. 105).

Tablo 3.105. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinde katalaz enzim aktivitesi (nmol/min/ml) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar				
Uygulama	Örnek sayısı	1	2	3	4	5
300 µM Kadmiyum	3	0,57833				
200 µM Kadmiyum	3	0,63367				
100 µM Kadmiyum	3		0,82567			
300 µM Çinko	3		0,95167	0,95167		
300 µM Kurşun	3			1,03300		
200 µM Kurşun	3			1,04167		
100 µM Kurşun	3			1,06833		
200 µM Çinko	3				1,29500	
100 µM Çinko	3				1,29967	
Kontrol	3					1,77533
Önem düzeyi		0,429	0,081	0,133	0,946	1,000

3.10.3. *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinin katalaz enzim aktivitesi üzerine ağır metal stresinin etkileri

T. a. cv. 'Sultan' çeşidinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin katalaz enzimi aktivitesi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan varyans analizleri sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan $p < 0,000$ düzeyinde anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur (Tablo 3.106).

Tablo 3. 106. Ağır metallerin (Zn, Cd, Pb) *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinin katalaz enzim aktivitesine (nmol/min/ml) göre yapılan varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Katalaz aktivitesi	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi
Gruplar arasında	3,364	9	0,374	38,604	0,000
Gruplar içinde	0,194	20	0,010		
Toplam	3,558	29			

ür

Tablo 3.107. Ağır metallerin *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinde katalaz enzim aktivitesi (nmol/min/ml) bakımından gruplandırılmasına ilişkin Duncan testi sonuçları

		Homojen gruplar		
Uygulama	Örnek sayısı	1	2	3
300 µM Çinko	3	0,43067		
300 µM Kadmiyum	3	0,53533	0,53533	
200 µM Kadmiyum	3	0,57033	0,57033	
100 µM Kadmiyum	3	0,59533	0,59533	
200 µM Çinko	3		0,63033	
100 µM Çinko	3		0,66367	
300 µM Kurşun	3		0,67000	
200 µM Kurşun	3		0,71433	
100 µM Kurşun	3		0,72600	
Kontrol	3			1,69567
Önem düzeyi		0,073	0,051	1,000

4. TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Ağır Metallerin Çimlenme Üzerine Etkisi

Ağır metallerin çimlenme üzerine etkileri genellikle çimlenmeyi azaltma yönünde olduğu bilinmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar ağır metallerin bitkinin çimlenmesini azaltıcı etkisinin 2 şekilde gerçekleştiği ileri sürmektedir. Bunlardan ilki genel toksik etkiler (tohum canlılığını etkileme, tohum ağırlığını azaltma), ikincisi ise su alımının engellenmesi yüzünden oluşan etkilerdir (Kranter ve Colville, 2011).

Bu çalışmada ağır metal uygulamalarının (çinko, kadmiyum ve kurşun) buğday çeşitlerinin çimlenme cevaplarına göre farklılıklara sahip oldukları belirlenmiştir. Yaptığımız çalışmada bu etki en fazla *T. a. cv. 'Altay'* sonra *T. a. cv. 'Sultan'* ve en son olarak da *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinde olduğu bulunmuştur. Bu 3 çeşit arasında ağır metal uygulamalarına çimlenme bakımından en dirençli çeşidin *T. a. cv. 'Sönmez'* olduğu belirlenmiştir. Bulgularımızla aynı paralellikte *Cicer arietum cv. 'Akçin 91'* ve *Cicer arietum cv. 'Gökçe'* çeşitleri ile yapılan bir çalışmada FeCl₃, ZnCl₂, MgCl₂ ve CuCl₂ uygulamalarının çeşitlerin çimlenmeleri açısından belirgin farklılıklara sahip olduğu bildirilmiştir. Bu farklılık da genotiple ilişkilendirilmiştir (Sözen ve ark., 2010). Yine benzer bir çalışmada ise ağır metal uygulanan aynı türe ait çeşitler (arpa, fasulye, mısır, marul ve kabak) arasında yapılan denemelerde genotiplerin birbirlerinden farklı cevaplar verdiği belirlenmiştir (Xiao-li ve Shu-zhen, 2007).

Yapılan bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular çeşitler için tek tek incelenecek olursa; *T. a. cv. 'Altay'* çeşidine uygulanan ağır metallerin konsantrasyonu arttıkça çimlenmeyi olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Ancak 300 µM kadmiyum çimlenmeyi engellediği belirlenmiş olmakla birlikte bu konsantrasyon istatistiksel olarak önemli değildir. *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinde çinko uygulamalarının bütün dozlarında çimlenme oranının arttığı gözlenmekte iken; kurşun uygulamalarının çimlenmeyi engellediği belirlenmiştir. *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinde ise ağır metal uygulamaları kontrol grubuna göre artan konsantrasyona bağlı olarak çimlenmeyi engelleme yönünde etkilere sahiptir. Bulgularımız konuyla ilgili literatür bilgileri uyum göstermektedir. Kıran ve Şahin (2005), mercimek (*Lens culinaris* Medik) tohumlarının

çimlenmesi üzerine kurşunun etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada düşük kurşun konsantrasyonlarında tohumların çimlenmesinin kontrole göre farklılık göstermediği, yüksek konsantrasyonlarda çimlenmenin azaldığı belirtilmiştir. Benzer şekilde kurşun ve kadmiyumun arpa ve buğdayda tohum çimlenmesine, kök ve gövdelerin gelişimine olumsuz etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir (Titov ve ark., 1996).

Uygulanan bütün ağır metaller az ya da çok toksik etkilere sahiptir. Çalışmamızda *T. a. cv. 'Sönmez'* hariç olmak diğer çeşitler üzerinde üzere en az toksik etkiye sahip olan ağır metalin çinko olduğu görülmektedir. Benzer olarak *Helianthus annuus* ile yapılan çalışmada en az toksik etki gösteren ağır metalin çinko en fazla toksik etkinin ise kurşun uygulaması ile olduğu belirlenmiştir (Chakravarty ve Srivastava, 1992). Kurşun stresinin neden olduğu çimlenmenin baskılanmasının nedeni ise ekstraselüler olarak meydana gelen ve metal stresıyla beraber artış gösteren hidrojen peroksit oluşumu olduğu ileri sürülmektedir (Yang ve ark., 2010). Ancak çok düşük konsantrasyonlarda uygulanan kadmiyum, arsenik ve bakırın çimlenmeyi az da olsa stimule ettiğini bildiren çalışmalar da olup, bunun nedeninin oksidatif stres ve reaktif nitrojen türevlerinin ortamda artması ile paralel çimlenmenin az da olsa artmış olduğu bildirilmiştir (Kranner ve Colville, 2011).

4. 2. Ağır Metallerin Hipokotil ve Radikula Uzunlukları Üzerine Etkisi

Ağır metallerin gövde ve köklerde oluşturduğu zarar, temel besin maddelerinin alımında azalmaya ve elementlerin immobilizasyonuna neden olup gövdede önemli ölçüde besin yetersizliğinin ortaya çıkmasına zemin hazırlar (Kranner ve Colville, 2011).

Yaptığımız çalışmada ağır metal uygulamaları (çinko, kadmiyum ve kurşun) buğday çeşitleri birbirleri ile karşılaştırıldığında hipokotil uzunlukları bakımından farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bu 3 buğday çeşidi arasında ağır metal uygulamalarına, hipokotil uzunluğu bakımından, en dirençli çeşidin *T. a. cv. 'Sönmez'* olduğu belirlenmiştir.

T. a. cv. 'Altay' ve *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşitlerinde düşük konsantrasyonlarda uygulanan ağır metaller hipokotil uzunluğu üzerine etkili olmazken, yüksek

konsantrasyonlarda hipokotil uzunluğunu olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Sonuçlarımızla paralel olarak kadmiyum ve kurşun uygulanan buğday (Ergun ve Öncel, 2009), kadmiyum ve nikel uygulanan pirinç (Moya ve ark.,1993), kadmiyum ve kurşun uygulanan pancar (Larbi ve ark., 2002) fidelerinde gövde boyunun azaldığı gözlenmiştir.

T. a. cv. ‘Sultan’ çeşidinde ise sadece 100 µM, 200 µM, 300 µM çinko ve 100 µM kurşun uygulaması ile hipokotil uzunluğu artış gösterirken kadmiyum ve kurşunun yüksek konsantrasyonlarında hipokotil uzunluğunda azalışa neden olduğu belirlenmiştir.

Çinkonun bitkiler üzerindeki etkisi diğer ağır metallerin etkisine benzemekle birlikte, çinko bitki gelişimi için gerekli bir mikro besin elementidir (Bekiaroglou ve Karataglis, 2002). Özellikle düşük konsantrasyonlarda uygulanan çinkonun sürgün büyümesinin arttırdığı, bu artışın çinkonun IAA (indol asetik asit) sentezi, protein ve karbonhidrat metabolizmasında görevli bir element olması ve yüksek çinko konsantrasyonlarında kelat bileşiklerini oluşturarak toksik etkisinin giderilmesinden ileri gelebileceği düşünülür (Ergun ve Öncel, 2009).

Çalışmamızda ağır metal uygulamaları (100, 200 ve 300 µM çinko, kadmiyum ve kurşun) buğday çeşitleri birbirleri ile karşılaştırıldığında radikula uzunluklarını azaltmıştır. Bu etki en fazla *T. a. cv. ‘Altay’* daha sonra *T. a. cv. ‘Sultan’* ve *T. a. cv. ‘Sönmez’* çeşidinde gözlenmiştir. Bu 3 çeşit arasında ağır metal uygulamalarına radikula uzunluğu bakımından en dirençli çeşidin *T. a. cv. ‘Sönmez’* olduğu belirlenmiştir. *T. a. cv. ‘Altay’* ve *T. a. cv. ‘Sönmez’* ve *T. a. cv. ‘Sultan’* çeşitlerinde radikula uzunluğunun ağır metallerin konsantrasyon artışlarına paralel olarak azaldığı belirlenmiştir.

Ağır metal toleransı bitki türüne, bitki çeşidine, uygulanan ağır metale, konsantrasyona ve uygulama süresine bağlı olarak değişkenlik gösterse de bulgularımızla paralel olarak çinko, kadmiyum, kurşun uygulanan *Triticum aestivum* cv. ‘Gün 91’ (Ergun ve Öncel, 2009), kadmiyum ve sodyum klorür uygulanan buğday (Shafi ve ark., 2010), kadmiyum, bakır, çinko, kurşun ve demir uygulanan hardal (Fargašová, 2001), kurşun ve çinko uygulanan nane (Bekiaroglou ve Karatagtis, 2002), kadmiyum ve nikel uygulanan pirinç (Moya ve ark., 1993), kurşun ve bakır uygulanan bakla (Pryzmusinski ve Gwozdz, 1994) ve kadmiyum uygulanan *Triticum aestivum* cv.

‘Gerek-79’ ve *Triticum aestivum* cv. **‘Bolal-2973’** buğday fidelerinde (Öncel ve ark., 2000) kök boyunun azaldığı bulunmuştur. Yapılan bir diğer çalışmada *Triticum aestivum* cv. **‘Zyta’** çeşidine bakır, kadmiyum ve nikel uygulaması yapılmış olup sonuçta radikula uzunluğuna toksik etkili olan ağır metallerin sırasıyla kadmiyum, nikel ve bakır olduğu belirlenmiştir (Gajewska ve Sklodowska, 2010). Mısır ve buğday ile yapılan bir çalışmada ise kadmiyum toksisitesine buğdayın daha toleranslı (Wojcik ve Tukendorf, 1999) ve hatta kadmiyum kirliliğinin yoğun olduğu topraklarda yetişen buğdayın kök uzunluğu parametresinin kadmiyumun biyoindikatörü olarak kullanılabileceğine (Chen ve ark., 2010) dair sonuçlar olduğu bildirilmiştir. Çünkü ağır metal toksisitesine karşı kök uzunluğu, gövde uzunluğu ve çimlenmeye göre çok daha duyarlı bir parametredir (Chen ve ark., 2010; Yang ve ark., 2010). Ağır metal uygulamaları kök büyümesinin baskılanmasına neden olurken aynı zamanda kök ucunda gerçekleşen mitozu da baskılar (Kachout ve ark., 2010).

4. 3. Ağır Metallerin Hipokotil ve Radikula Kuru Ağırlık ve Yüzde Su İçeriği Üzerine Etkisi

Ağır metaller bitkinin su alımını ve suyun köklerden gövdeye taşınmasını baskılamaktadır (Wierzbicka ve Obidzinska, 1998). Ağır metal toksisitesinin neden olduğu bitkilerdeki bağıl su içeriğindeki değişimlerin nedeni köklerdeki kılcal tüylerin azalmasına bağlı olarak yüzey alanının daralması ve damar ve kanal tüplerinin sayıca ve alan olarak azalması gösterilebilir (Wojcik ve Tukendorf, 1999). Dolayısıyla kök ve gövdeye taşınacak su azalır ve gelişim evreleri sekteye uğramış olur.

Çalışmamızda ağır metal uygulamaları (çinko, kadmiyum ve kurşun) buğday çeşitleri birbirleri ile karşılaştırıldığında hipokotil kuru ağırlığı açısından farklılıklar göstermiştir. Ağır metal stresi hipokotil kuru ağırlığı bakımından sırasıyla en fazla *T. a.* cv. **‘Altay’** sonra *T. a.* cv. **‘Sultan’** ve son olarak da *T. a.* cv. **‘Sönmez’** çeşidini etkilemiştir. Bu 3 çeşit arasında ağır metal uygulamalarına en dirençli çeşidin *T. a.* cv. **‘Sönmez’** olduğu belirlenmiştir. *T. a.* cv. **‘Altay’** ve *T. a.* cv. **‘Sultan’** çeşitlerinde ağır metal uygulanan gruplar arasında bir fark bulunmazken, *T. a.* cv. **‘Sönmez’** çeşidinde 100µM ve 300 µM kadmiyum ile 100 µM kurşun diğer gruplara göre hipokotil kuru ağırlığını arttırmıştır.

Ağır metal uygulamalarının hipokotil yüzde su içeriğine etkilerine bakıldığında ise, çeşitlerden *T. a. cv. 'Altay'* ve *T. a. cv. 'Sultan'* çeşitleri birbirlerine benzerlikler gösterirken, *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidi diğer çeşitlerden ayrılır. *T. a. cv. 'Altay'* çeşidine uygulanan ağır metaller kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli bir farklılık göstermezken, *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinde 100 ve 300 µM kadmiyum uygulaması hipokotil yüzde su içeriğini diğer uygulama gruplarına göre azaltmıştır.

Ağır metal uygulamaları (100, 200 ve 300 µM çinko, kadmiyum ve kurşun) buğday çeşitleri birbirleri ile karşılaştırıldığında radikula kuru ağırlığı bakımından farklılıklar göstermiştir. Ağır metaller *T. a. cv. 'Altay'* ve *T. a. cv. 'Sultan'* çeşitlerinin radikula kuru ağırlığını benzer şekilde etkilerken, *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinin bunlardan daha az etkilendiği belirlenmiştir. *T. a. cv. 'Altay'* çeşidine uygulanan ağır metaller kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli bir farklılık göstermezken, *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinde ise kontrole göre farklı gruplar oluşmuştur. 100 µM kadmiyum ve kurşun ile 200 µM çinko ve kurşun dışında kalan tüm uygulamalar kontrole göre radikula kuru ağırlığında azalışa neden olmuştur. *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinde ise 200 µM ve 300 µM kadmiyum kontrole göre radikula kuru ağırlığını azaltırken diğer uygulamalar kontrol grubuna göre farklılık oluşturmamıştır.

Ağır metal uygulamalarının radikula yüzde su içeriğine etkilerine bakıldığında ise *T. a. cv. 'Altay'* ve *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşitleri birbirlerine benzerlikler gösterirken *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidi diğerlerinden ayrılır. *T. a. cv. 'Altay'* çeşidine uygulanan ağır metaller radikula yüzde su içeriğinde kontrol grubuna göre azalışa neden olmuştur. *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinde 100 µM kurşun ve 200 µM ve 300 µM kadmiyum kontrol grubuna göre radikula yüzde su içeriğini azalttığı belirlenmiştir. 200 µM kurşun uygulaması *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinde kontrole grubuna göre radikula yüzde su içeriğini önemli seviyede azaltmıştır.

Bulgularımızla benzer olarak yüksek konsantrasyonda kadmiyum uygulanan Gerek-79 ve Bolal-2973 ekmeklik buğday çeşitlerinde bitki boyu ve toprak üstü kısımlarının kuru ağırlığında önemli seviyede azalmalar belirlenmiştir (Öncel ve ark., 2000). Yine Şafı ve ark., (2010) yaptıkları çalışmada kadmiyumun gövde ve kök kuru ağırlığını azalttığı belirtilmiştir. Fasulye fidelerine uygulanan kadmiyum ve çinko, kök ve gövde kuru ağırlığını önemli derecede azaltırken, yaprak üzerine bir etkisi olmadığı

belirlenmiş olup köklerin gövdeye göre metal toksisitesine daha hassas olduğu bildirilmiştir (Chaoui, 1997). Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun, Ç-1252 ve Balcalı 85 buğday çeşitlerinin yeşil aksam ve kök kuru madde üretimini önemli oranda azalttığı da bildirilmektedir (Öztürk ve ark., 2003).

4. 4. Ağır Metallerin Klorofil a, Klorofil b ve Karotenoid Üzerine Etkisi

Ağır metallerin kök ve gövde üzerinde yapmış olduğu zararlı etkiler en çok fotosentezi doğrudan etkiler. Toksisitenin neden olduğu önemli semptomlar sınırlı fotosentez ve solunum olaylarıdır. Klorofil miktarı da ağır metal toksisitesine hassas olan parametrelerden biridir.

Yaptığımız çalışmada ağır metal uygulamaları (100, 200 ve 300 µM çinko, kadmiyum ve kurşun) buğday çeşitleri arasında klorofil a ve klorofil b içerikleri açısından farklılıklara neden olmuştur. Buğday çeşitleri birbirlerinden farklı gruplar oluşturmuştur. Klorofil a ve klorofil b içeriği en az olan çeşit sırasıyla *T. a. cv. 'Altay'*, *T. a. cv. 'Sultan'* ve *T. a. cv. 'Sönmez'*dir. *T. a. cv. 'Altay'* çeşidine uygulanan 100 µM çinko klorofil a ve klorofil b içeriğini azaltırken, 200 µM kadmiyum arttırmıştır. Diğer uygulamalarda kontrol grubuna göre farklılıklar gözlenmemiştir. *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinde ise kontrole göre klorofil a ve klorofil b içeriği açısından önemli değişiklikler olmamıştır. *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinde 300 µM kadmiyum kontrole göre klorofil a ve klorofil b içeriğini azaltırken, 100 µM kurşun sadece klorofil a miktarını artırmıştır. Diğer uygulamalar önemli farklılıklara neden olmamıştır.

Ağır metal uygulamaları (100, 200 ve 300 µM çinko, kadmiyum ve kurşun) buğday çeşitleri arasında karotenoid içerikleri açısından da farklılıklara neden olmuştur. Buğday çeşitleri birbirlerinden farklı gruplar oluşturmuştur. Karotenoid içeriği en az olan çeşit sırasıyla *T. a. cv. 'Altay'*, *T. a. cv. 'Sultan'* ve *T. a. cv. 'Sönmez'*dir. *T. a. cv. 'Altay'* çeşidine uygulanan 200 µM çinko karotenoid içeriğini azaltırken diğer uygulamalarda farklılıklar gözlenmemiştir. *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinde ise kontrole göre önemli değişiklikler olmamıştır. *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinde ise 100, 200 ve 300 µM kurşun ile 300 µM çinko karotenoid içeriğini kontrol grubuna göre azaltmıştır. Diğer uygulamalarda önemli farklılıklar oluşmamıştır.

Bulgularımızla uyumlu olarak ağır metallerin klorofil sentezini inhibe ettiği ve klorofil miktarlarında azalmalara neden olduğu bilinmektedir (Miranda ve İlangovan, 1996; Mohan ve Hosetti, 1997). Tarımda kullanılan kimyasalların ve ağır metallerin neden olduğu klorofil içeriğindeki azalışların bitkinin gelişim ve büyümesi üzerine yaptığı hasarı görüntülemek için bir indikatör olarak kullanılabileceği düşünülmektedir (Wang ve Zhou, 2006). Bulgularımızla uyumlu olarak yapılan çeşitli çalışmalarda sodyum klorür ve kadmiyum uygulamalarının stoma yapısı ve fotosentez oranını etkileyerek gaz değişim parametrelerini değiştirdiği (Shafi ve ark., 2010) ve su ve besin alınımını etkilediği dolayısıyla fotosentez oranını da azalttığı bildirilmiştir (Ünyayar ve ark., 2006). Bekiaroglou ve Karataglis (2002)'nin yaptığı çalışmada *Menta spicata*'nın klonlarına uygulanan çinko ve kurşun konsantrasyonlarının artışına paralel olarak gövde ve kök büyümesi ve klorofil miktarında azalma ile sonuçlanmıştır.

Klorofil ve karotenoid içeriğindeki değişimlerin toksik metallerin indüklediği serbest radikallerin üretimi nedeniyle olduğu ileri sürülmektedir (Baccouch ve ark., 1998; Richards ve ark., 1998).

4. 5. Ağır Metallerin Mitotik İndeks Üzerine Etkisi

Ağır metal uygulaması yüzünden oluşan hidroksil radikallerinin bir hücrede günde 10.000-100.000 DNA baz modifikasyonlarına neden olabileceği ileri sürülmekte olup, baz modifikasyonlarına ek olarak hücre nükleusuna bağlanabilen metaller; DNA zincirinin kırılması, DNA sarmalının yeniden düzenlenmesi ve saf olmayan DNA zincirlerinin oluşması gibi başka promutajenik etkilere sebep olmaktadır (Kranter ve Colville, 2011).

Ağır metaller mitotik indeks oranını azaltarak hücre bölünmesi evrelerinde kromozomal anormalliklerin artmasına neden olurlar.

Ağır metal uygulamaları (100, 200 ve 300 µM çinko, kadmiyum ve kurşun) buğday çeşitleri arasında mitotik indeksleri açısından farklılıklara neden olmuştur. Mitotik indeksi en düşük olan çeşit sırasıyla *T. a. cv. 'Altay'*, *T. a. cv. 'Sultan'* ve *T. a. cv. 'Sönmez'*dir. Hücre bölünme cevabına göre ağır metal uygulamalarına en dirençli çeşit *T. a. cv. 'Sönmez'* olduğu gözlenmiştir. *T. a. cv. 'Altay'* ve *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidinde tüm ağır metaller kontrol grubuna göre mitotik indeksi önemli seviyede

azaltmıştır. Ancak *T. a.* cv. ‘**Sultan**’ çeşidinde ağır metal uygulamalarının kontrolden farklı olmadığı gözlenmiştir. Ağır metal uygulamaları mitotik indeksin azalmasına neden olmakla birlikte kromozomal anormalliklere (düzensiz dağılım, kromozom kırığı ve köprüsü ve yapışık metafaz gibi) de yol açmıştır.

Bulgularımızla paralel olarak *Allium cepa* kök meristemine uygulanan kurşunun kök büyümesini azalttığı ve c-mitoz hücrelere sahip anormal hücrelerin oluştuğuna (Liu ve ark., 1994), artan kadmiyum konsantrasyonlarıyla paralel olarak kök uzaması ve hücre bölünmesinin azaldığı (Zhang ve Yang , 1994), bakırın kromozom morfolojisi üzerine toksik etkilerinin olduğuna(Jiang ve ark., 2001), buğdaya uygulanan çinkonun zaman ve konsantrasyona bağlı olarak mitozu baskılayarak anormal hücrelerin oluşmasına (El-Ghamery ve ark., 2003), kurşun, bakır, çinko, kadmiyum ve arsenik gibi ağır metallerin *Allium cepa* kök meristeminde hücre bölünmesini azalttığı dolayısıyla mitotik indeksi azalttığı ve mitotik anormalliklere neden olduğuna (Staykova ve ark., 2005), yine *Allium cepa* kök meristeminde kurşun, kadmiyum ve kromun mitotik indeksi azaltarak c-mitoz, anafaz köprüleri ve kırıkları, stick kromozom gibi bazı mitotik anormalliklere neden olduğuna (Glinska ve ark., 2007) dair çalışmalar mevcuttur. Yine buğday, çavdar ve bezelye gibi bitkilerin çimlenmeleri esnasında ağır metaller kromozomal hasarlara neden olur (Kranner ve Colville, 2011).

Ağır metallerin geniş konsantrasyon aralıklarında bitki türlerindeki toksik etkileri çok fazla araştırılmıştır. Yüksek konsantrasyonlarda uygulanan ağır metaller kök uzunluğunu etkilerken daha düşük konsantrasyonların bile mitotik indeksi azalttığı ve mitotik anormalliklerin profaz evresinde daha çok gerçekleşmesine (Fusconi ve ark., 2006), hücre canlılığını bozarak hücre siklusunun evrelerinin uzamasına (Francis ve ark.,1995), mikrotübülerin yapısının deformasyonuna (Jun-yu ve ark., 2008), genotoksik etkilerle DNA bütünlüğünü ve yapısını da bozulmasına neden olduğu (Mohammed ve Enan, 2006) belirlenmiştir.

4. 6. Ağır Metallerin Süperoksit Dismutaz Enzim Aktivitesi Üzerine Etkisi

Oksidatif stres ağır metal stresi gibi birçok faktörle tetiklenebilen bir olaylar silsilesidir. Oksidatif strese karşı antioksidanların oluşturduğu direnç mekanizmaları bitkilerin metal toleranslarını güçlendirmek için önemli bir strateji sağlamaktadır. Metal

stresine karşı oluşturulan antioksidan cevapların altında yatan süreçleri bilmek önem arz etmektedir.

Ağır metal uygulamaları (100, 200 ve 300 µM çinko, kadmiyum ve kurşun) buğday çeşitleri arasında Süperoksit Dismutaz (SOD) enzim aktiviteleri üzerinde farklılıklara neden olmamıştır. *T. a. cv. 'Sönmez'* ve *T. a. cv. 'Sultan'* çeşitlerinin enzim aktivitelerinde kontrole göre farklılık gözlenmezken, *T. a. cv. 'Altay'* çeşidinde ağır metal uygulamaları enzim aktivitesinde kontrole göre azalışa neden olmuştur.

Bulgularımızla paralel olarak buğdaya uygulanan çinko ve kromun (Panda ve ark., 2003), ayçiçeğine uygulanan demir ve kadmiyum (Gallego ve ark., 1996) çeltik bitkisine uygulanan kurşun ve civanın (Mishra ve Choudhuri, 1999), buğday bitkisine uygulanan kurşun ve kadmiyumun (Dey ve ark., 2007) SOD aktivitesinde azalışa neden olduğu belirlenmiştir. İki farklı *Atriplex* türü ile yapılan çalışmada süperoksit dimutaz aktivitesinde azalışlar olduğu, ancak katalaz ve glutatyon redüktaz aktivitelerinde artışların olduğu ve metal stresine karşı toleransın bu artışlar sayesinde olduğu bildirilmiştir (Kachout ve ark., 2010). Bulgularımızda ise benzer olarak SOD seviyelerinde azalışlar gerçekleşmiş olsa da buğday çeşitleri arasında farklılıklar mevcut değildir. Ağır metallerin konsantrasyon artışlarına bağlı olarak reaktif oksijen türlerindeki aşırı seviyeler oksidasyon-redüksiyon dengesini bozar ve düşük konsantrasyonlarda yüksek SOD seviyeleri gözlenirken yüksek konsantrasyonlarda SOD seviyelerinde düşüşler gözlenir (Jomová ve Morovi, 2009).

4. 7. Ağır Metallerin Katalaz Enzim Aktivitesi Üzerine Etkisi

Ağır metal uygulamaları (100, 200 ve 300 µM çinko, kadmiyum ve kurşun) buğday çeşitleri arasında katalaz enzim aktiviteleri üzerinde farklılıklara neden olmuştur. Uygulanan ağır metaller *T. a. cv. 'Altay'* ve *T. a. cv. 'Sultan'* çeşitleri üzerinde katalaz enzim aktivitesi bakımından benzer etkiler gösterirken, *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidi diğer çeşitlerden farklılık gösterir. *T. a. cv. 'Sönmez'* çeşidi *T. a. cv. 'Altay'* ve *T. a. cv. 'Sultan'* çeşitlerinden daha çok katalaz enzim aktivitesine sahiptir. Her 3 çeşitte de ağır metal uygulamaları kontrole göre katalaz enzim aktivitesinde azalışa neden olmuştur. Bu azalış en fazla *T. a. cv. 'Sultan'* çeşidinde gözlenmiştir.

Yüksek bitkilerde yaygın bir şekilde katalazın izoenzimleri çalışılmıştır (Polidoros ve Scandalios, 1999). Farklı bitki türleri ve farklı konsantrasyonlardaki ağır metal uygulamalarının olduğu çalışmalarda katalaz enziminin ağır metalin düşük konsantrasyonlarında artış gösterdiği, ancak belli bir konsantrasyondan sonra azalışa geçtiği belirlenmiştir (Sinha ve Saxena, 2006; Mishra ve ark., 2006; Razinger ve ark., 2008). 500 µM kadmiyum, kobalt ve nikel ve 0,5 M kobalt, krom ve bakır gibi aşırı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin klorofil içeriğini, katalaz ve peroksidaz enzim aktivitelerini düşürdüğü, bitkide klorozise neden olduğu (Pandey ve Sharma, 2002) ayrıca protein içeriği, makro ve mikro besin elementlerinin miktarını ve klorofil a ve klorofil b içeriğini ve yine katalaz enzim aktivitesini düşürdüğü (Chatterjee ve Chatterjee, 2000) bildirilmiştir.

Farklı bitki dokularında ölçülen değerlerin enzim aktivitelerinin de farklı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Benzer şekilde çinko ve kadmiyum uygulanan fasülye fidelerinin kök ve yaprak dokusunda katalaz enzim aktivitesinde önemli azalışların gerçekleştiği ancak gövdedeki enzim aktivitesinin değişmediği gösterilmiştir (Chaoui ve ark., 1997).

Tüm bu bilgiler ışığında ağır metaller bitki büyüme ve gelişmesinde fizyolojik ve biyokimyasal yolları bozarak olumsuz yönde etkilere sahiptir. Ekotoksikolojik olarak ağır metal stresine verilen cevaplar ağır metale, konsantrasyona, uygulama süresine, bitkinin tür ve çeşidine ve buna benzer birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Bir tarım ülkesi olan Türkiye'nin çeşitli nedenlerle toprak ve su kaynaklarının artarak kirlendiği düşünülürse, topraklarımızda yetiştirilen ve ekonomik önemi olan türlerin daha dirençli hale getirilmesi veya dirençli türlerin ekilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu amaçtan yola çıkılarak yaptığımız bu ekotoksikolojik çalışmada buğday çeşitlerimizden *T. a.* cv. 'Sönmez' çeşidinin diğer iki türe göre ağır metal stresinin sitotoksik ve genotoksik etkilerine karşı dayanıklı olduğu görülmektedir. Elbette ki diğer buğday türlerinin de ekotoksikolojik denemelerinin yapılması ve başka ağır metal stresine ışık tutacak parametrelerin çalışılması gerekmektedir. Bu çalışmanın gelecekte yapılacak olan çalışmalara ışık tutmasını umut etmekteyiz.

KAYNAKLAR:

- Alscher, G., R., Erturk, N. ve Heath, L.S. (2002), "Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants", *Journal of Experimental Botany*, **53**, 1331-1341.
- Apel K., ve Hirt H., (2004), "Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction," *Annu. Rev. Plant Biol.*, **55**, 373-99.
- Avalbaev A.M., Bezrukova M.V., Kildibekova A. R., Fatkhutdinova R. A., Shakirova F. M. (2003), "Wheat germagglutinin restores cell division and growth of wheat seedlings under salinity," *Bulg. J. Plant Physiol., Special Issue*, 257-263.
- Babaoğlu S., Açık L., Çelebi A., Adıgüzel N., (2004), "Molecular analysis of Turkish *Alyssum l.* (Brassicaceae) species by rapid-pcr and sds-page methods," *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* **17**, (3): 25-33.
- Baccouch, S., Chaoui, A., El Ferjani, E., (1998), "Nickel-induced oxidative damage and antioxidant responses in *Zea mays* shoots," *Plant Physiol. Biochem.* **36**, 689-694.
- Baldrian, P. (2003), "Interactions of heavy metals with white-rot fungi," *Enzyme Microb Tech.*, **32**, 78-91.
- Baş L., Demet Ö., (1992), "Çevresel toksikoloji yönünden bazı ağır metaller," *Ekoloji*, **5**, 42-46.
- Bekiaroglou, P., Karataglis, S., (2002), "The effect of lead and zinc on *Mentha spicata*" *J. Agronomy & Crop Science*, **188**, 201-205.
- Büyükerdem N., İ., Akman Z., (2008), "Effects of different zinc containing Fertilizers applications on ear yield and some agronomic and quality characters of sweet corn" *JPES* **1**, 21-27.
- Chakravarty B., ve Srivastava S., 1992 "Toxicity of some heavy metals in vivo and in vitro in *Helianthus annuus*" *Mutation Research Letters* **283**, (4): 287-294.
- Chaoui A., Mazhoudi S., Ghorbal M.H., El Ferjani E., (1997), "Cadmium ,and zinc induction of lipid peroxidation and effects on antioxidant enzyme activities in bean (*Phaseolus vulgaris* L.)," *Plant Science*, **127**, 139-147.
- Chatterjee ve Chatterjee C., (2000), "Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower," *Environmental Pollution*, **109**, (1): 69-74.

- Chaudiere, J. ve Ferrari- Iliou R. (1999), "Intracellular antioxidants from chemical to biochemical mechanism," Food Chem. Toxicol., **37**, 949-962.
- Chen J., Zhu C., Li L-P., Sun Z-Y, Pan X-B. (2007), "Effects of exogenous salicylic acid on growth and H2O2-metabolizing enzymes in rice seedlings under lead stres," Journal of Environmental Sciences, **19**, 44-49.
- Chen C., Zhou Q., Bao Y., Li Y., Wang P., (2010), " Ecotoxicological effects of polycyclic musks and cadmium on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum*)," Journal of Environmantal Sciences, **22**, (12): 1966-1973.
- Clarkson D.T. ve Luttge U. (1989), "Mineral nutrision: divalent cations, transport and compartmentalization," Prog. Botany, **51**, 93-112.
- Dey S.K., Dey J., Patra S., Pothal D., (2007), "Changes in the antioxidative enzyme activities and lipid peroxidation in wheat seedling exposed to cadmium and lead stres," Braz. J. Plant Physiol., **19**, (1): 53-60.
- Dixit, V., Pandey, V., Shyam, R. (2001), "Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L.cv.Azad)", Journal of Experimental Botany, **52**, 1101-1109.
- Doğan M., Çolak U. (2009), "*Triticum aestivum* L. cv. Tosunbey'e uygulanan kurşunun bazı fizyolojik özelliklere etkisi," Ekoloji, **19**, 98-104.
- Doğan M., Demirörs Saygıdeğer S. (2009), "Kadmiyumun *Ceratophyllum demersum* L. üzerindeki bazı fizyolojik ve morfolojik etkileri," Ekoloji, **18**, 57-64.
- Ergun N., Öncel I., (2009), "Ekmeçlik Buğdayda (*Triticum aestivum* L.) İlk Gelişme Döneminde Kök ve Gövde Büyümesi Üzerine Bazı Ağır Metal ve Ağır Metal-Hormon Uygulamalarının Etkileri", YYÜ TAR BİL DERG, **19**, (1): 11-17.
- Elçi Ş., (1982), "Sitogenetikte Gözlemler ve Araştırma Yöntemleri," Fırat Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları, **3**, 37-85.
- El-Ghamery, A.A., El-Kholy, M.A ve El-Yousser, A. (2003), "Evaluation of cytological effects of Zn⁺² in relation to germination and root growth of *Nigella sativa* L. and *Triticum aestivum* L.," Mutation Research, **537**, 29-41.
- Erkan C., (1984), "İş sağlığı ve meslek hastalıkları," Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Yayınları No: 441.

- Fargašová, A., (2001), "Phytotoxic effects of Cd, Zn, Pb, Cu and Fe on *Sinapis alba* L seedlings and their accumulation in roots and shoots," *Biologia Plantarum*, **44**, (3): 471-473.
- Gajewska E., Sklodowska M., (2010), "Differential effect of equal copper, cadmium and nickel concentration on biochemical reactions in wheat seedlings," *Ecotoxicology and Environmental Safety* **73**, 996–1003.
- Gallego S.M., Benavides M.P., ve Tomaro M.L., (1996), "Effect of heavy metal ion excess on sunflower leaves evidence for involvement of oxidative stres" *Plant Science*, **121**, (20)151-159
- Güleç T.E., Sönmezoğlu Ö.A., Yıldırım A. (2010), "Makarnalık buğdaylarda kalite ve kaliteyi etkileyen faktörler," *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi*, **27** (1), 113-120.
- Gill S.S., Tuteja N. (2010), "Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stres tolerance in crop plants," *Plant Physiology and Biochemistry*, **48**, 909-930.
- Glińska S., Bartczak M., Oleksiak S., Wolska A., Gabara B., Posmyk M.,ve Janas K., (2007), "Effects of anthocyanin-rich extract from red cabbage leaves on meristematic cells of *Allium cepa* L. roots treated with heavy metals" *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **68**, (3)343-350.
- Francis D., Davies M.S., Braybrook C., James N.C., ve Herbert R.J., (1995), "An effect of zinc on M-phase and G1 of the plant cell cycle in the synchronous TBV-2 tobacco cell suspension," *J. Exp. Bot.*, **46** (12): 1887-1894.
- Fujita, M., Fujita, Y., Noutoshi, Y., Takahashi, F., Narusaka, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K.ve Shinozaki, K. (2006), "Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the points of convergence in the stres signaling Networks," *Current Opinion in Plant Biology*, **9**, 436–442.
- Fusconi A., Repetto O., Bona E., Massa N., Gallo C., Gaudot E-D., ve Berta G., (2006), "Effects of cadmium on meristem activity and nucleus ploidy in roots of *Pisum sativum* L. cv. Frisson seedlings," *Environmental and Experimental Botany* **58**, (1-3),253-260.
- Hassan M.J., Shao G., Zhang G. (2005), "Influence of cadmium toxicity on growth and antioxidant enzyme activity in rice cultivars with different grain cadmium accumulation," *Journal of Plant Nutrition* **28**, 1259 -1270.

- İnceer H., Beyazoğlu O. (2000), “Bakır klorür’ün *Vicia hirsuta* (L.) S.F. Gray kök ucu hücreleri üzerine sitogenetik etkileri,” Turk J Biol **24**, 553–559.
- Jiang W., Liu D. (2000), “Effects of Pb²⁺ on root growth, cell division, and nucleolus of *Zea mays* L.,” Bull. Environ. Contam. Toxicol., **65**, 786-793.
- Jiang W., Liu D., ve Liu X. (2001), “Effects of copper on root growth, cell division, and Nucleolus of *Zea mays*” *Biologia Plantarum*, **44**, (1): 105-109.
- Jomová K., ve Morovi M., (2009), “Effect of Heavy Metal Treatment on Molecular Changes in Root Tips of *Lupinus luteus* L.,” Czech J. Food Sci. **27**, Special Issue, 386-389.
- Jun-yu H., Yan-fang R., Cheng Z., De-an J., (2008), “Effects of Cadmium Stress on Seed Germination, Seedling Growth and Seed Amylase Activities in Rice (*Oryza sativa*),” Rice Science, **15**, (4): 319–325
- Kachout S. S., Mansoura A. B., Leclerc J.C., Mechergui R., Rejeb M.N., Ouerghil Z. (2010), “Effects of heavy metals on antioxidant activities of: *Atriplex hortensis* and *A. rosea*,” EJEAFCh, **9** (3):444-457.
- Kartal G., (2008), *Brassinosteroidlerin arpada (Hordeum vulgare L.) kök büyümesi, antioksidant sistem ve hücre bölünmesi üzerine etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kıran Y., Şahin A. (2005), “The effects of the lead on the seed germination, root growth, and root tip cell mitotic divisions of *Lens culinaris* Medik.,” G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi **18**, (1), 17-25.
- Kızıloğlu Algan F.T., Bilen S. (2005), “Toprak kirlenmesi ve biyolojik çevre,” Atatürk Üniv. Zir.Fak.Derg., **36**, (1), 83-88.
- Kinnersely A.M. (1993), “The role of phytochelates in plant growth and productivity,” Plant Growth Regulation, **12**, 207-217.
- Klassen C.D., Amdur M.O., Doull, J. (1986), “Toxicology,” 3th Ed. Macmillan Publishing Company, Newyork, USA.
- Koç E., Üstün A.S. (2008), “Patojenlere karşı bitki savunma ve antioksidanlar,” Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, **24**, (1-2): 82-100.
- Kranner I., Colville L., (2011), “Metals and seeds: Biochemical and molecular implications and their significance for seed germination,” Environmental and Experimental Botany **72**, 93–105.

- Kumar G., Rai P. (2007), "Comparative genotoxic potential of mercury and cadmium in soybean," Turk J Biol., **31**, 13-18.
- Kurt , P. B., (2000), "Karadeniz-Samsun Kıyı Seridinde Çesitli Organik Kirleticilerin Midye ve Deniz Suyunda İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Lamhamdi M., Bakrim A., Aarab A., Lafont R., Sayah F. (2011), "Lead phytotoxicity on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination and seedlings growth," Comptes Rendus Biologies, **334**, 118–126.
- Larbi, A. Morales, Abadia, A., Gogorcena, Y., Lucena, J.J., Abadia, J., 2002. Effects of Cd and Pb in sugar beet plants grown in nutrient solution: induced Fe deficiency and growth inhibition . Funct. Plant Biol., **29**,1453-1464.
- Lichtenhaler H.K., (1996), "Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants", J.Plant Physiol., **148**, 4-14.
- Liu D., Jiang W., Wang W., Zhao F., ve Lu C., (1994), "Effects of lead on root growth, cell division, and nucleolus of *Allium cepa*," environmental Pollution, **86**, (1): 1-4.
- Liu X., Zhang S., Shan X-Q., Christie P., (2007), "Combined toxicity of cadmium and arsenate to wheat seedlings and plant uptake and antioxidative enzyme responses to cadmium and arsenate co-contamination," Ecotoxicology and Environmental Safety, **68**, 305–313.
- McClung, C.R., (1997), "Regulation of catalases in Arabidopsis," Free Radical Bio. Med., **23**, 489-496.
- McCord M.,J., Fridovich I., (1969), "Superoxide Dismutase an enzymic function for erythrocyte (hemocuprein)", The Journal of Biological Chemistry, **244**, (22): 6049-6055.
- Mercan U. (2004), "Toksikolojide serbest radikallerin önemi", YYU Vet Fak Derg.,**15** (1-2):91-96.
- Milone M.T., Sgherri C., Clijsters H., Navari-Izzo F. (2003), "Antioxidative responses of wheat treated with realistic concentration of cadmium Environmental and Experimental Botany, **50**, 265-276.

- Miranda, M.G. ve Ilangoan, K. (1996), "Uptake of lead by *Lemna gibba* L. influence on spesific growth rate and basic biochemical changes," Bull. Environ. Contam. Toxicol., **56**, 1000–1007.
- Mishra S., Srivastava S., Tripathi R.D., Kumar R., Seth C.S., Gupta D.K. (2006), "Lead detoxification by coontail (*Ceratophyllum demersum* L.) involves induction of phytochelatins and antioxidant system in response to its accumulation," Chem., **65**, 1027-1039.
- Mishra A., ve Choudhuri M.A., (1999), "Effects of Salicylic Acid on Heavy Metal-Induced Membrane Deterioration Mediated by Lipxygenase in Rice," Biologia Plantarum, **42**, (3):409-41.
- Mohamed R. Enan M.R., (2006), "Application of random amplified polymorphic DNA (RAPD) to detect the genotoxic effect of heavy metals," Biotechnology and Applied Biochemistry, **43**, (3), 147–154.
- Mohan, B.S. ve Hosetti, B.B. (1997), "Potential phytotoxicity of lead and cadmium to *Lemna minor* grown in sewage stabilization ponds," Environ. Pollution, **9**, 233-238.
- Moya, J.L., Ros, R., Picazo, I., 1993. Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants. Photosynth. Res., **36**, 75-80.
- Mut Z., Aydın N., Özcan H., Bayramoğlu H.O. (2005), "Orta Karadeniz bölgesinde ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinin verim ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi," GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi, **22** (2): 85-93.
- Neill S. J., Radhika Desikan R., Clarke A., Hurst R. D. ve Hancock, J.T. (2002), "Hydrogen peroxide and nitric oxide as signalling molecules in plants", Journal of Experimental Botany, **53**, (372):1237-1247.
- Öncel, I., Keleş, Y., Üstün, A.S., (2000), "Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings" Environmental Pollution, **107**, 315-320.
- Öztürk L.,Eker S.,Özkutlu F., (2003), "Effect of cadmium on growth and concentrations of cadmium, ascorbic acid and sulphydryl groups in durum wheat cultivars," Turk J Agric For, **27**, 161-168.

- Panda S.K., Chaudhury I., ve Khan M.H. (2003), "Heavy Metals Induce Lipid Peroxidation and Affect Antioxidants in Wheat Leaves," Biologia Plantarum, **46**, (2): 289-294.
- Pandey N., ve Sharma P., (2002), "Effect of heavy metals Co^{2+} , Ni^{2+} and Cd^{2+} on growth and metabolism of cabbage," Plant Science, **163**, (4): 753-758.
- Polidoros N.A., ve Scandalios J.G. (1999), "Role of hydrogen peroxide and different classes of antioxidants in the regulation of catalase and glutathione S-transferase gene expression in maize," Physiologia Plantarum, **106**, 112-120.
- Prasad M.N.V. (2004), "Heavy metal stress in plants from biomolecules to ecosystem", Second Edition. Springer-Verlag Pres, India.
- Pryzmusinski, R., Gwozdz, E.A., (1994), "Increased accumulation of the 16x103 M, Polipeptide in lupin roots exposed to lead, copper and nitrate ions," Environmental and Experimental Botany, **34**, (1), 63-68.
- Rand G.M., Petrocelli S.R., (1984), "Fundamentals of Aquatic Toxicology Method and Applications", Hemisphere Publishing Corporation, Washington, USA.
- Rand, G.M., 1995. Fundamentals of aquatic toxicology. Second edition, ISBN 1-56032-090-7.
- Ranieri A., Castagna A., Scebba F., Careri M., Zagnoni I., Predieri G., Pagliari M., Sanità di Toppi L. (2005), "Oxidative stress and phytochelatin characterisation in bread wheat exposed to cadmium excess," Plant Physiology and Biochemistry **43**, 45–54.
- Razinger J., Dermastia M., Koce J.D., Zrimec A. (2008), "Oxidative stress in Duckweed (*Lemna minor* L.) caused by short-term cadmium exposure", Environ. Pollut., **153**, 687-694.
- Richards K.D., Schott E.J., Sharma Y.K., Davis K.R., Gardner R.C., (1998), "Aluminium induces oxidative stress genes in *Arabidopsis thaliana*," Plant Physiol., **122**, 1119–1127.
- Romheld V. (1991), "The role of phytosiderophores in acquisition of iron and other micronutrients in graminaceous species: An ecological approach", Plant and Soil. **130**, 127-134.
- Rout, G.R. ve Das, P. (2003), "Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I.Zinc," Agronomie, **23**, 3-11.

- Salt D.E., Blaylock M., Kumar N.P.B.A., Dushenkov V., Ensley B.D., Chet I. ve Raksin I. (1995), "Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants," *Biotechnology*, **13**, 468-474.
- Saltes J.G., Bailey G.C. (1984), "Use of fish gill and liver tissue to monitoring zinc pollution," *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **32**, 233-237.
- Shafi, M., Guoping Z., Bakht J., Khan M.A., Islam E-U., Dawood M. K., ve R., (2010), "Effect of cadmium and salinity stresses on root morphology of wheat," *Pak. J. Bot.*, **42**, (4): 2747-2754.
- Sharma P. ve Dubey R.S. (2005), "Lead toxicity in plants," *Braz. J. Plant Physiol.*, **17**, (1): 35-52.
- Sheoran I.S., Aggarwal N., Singh R. (1990), "Effects of cadmium and nickel on in vivo carbon dioxide exchange rate of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.)," *Plant and Soil*, **129**, 243-249.
- Sinha, S., Saxena, R. (2006), "Effect of iron on lipid peroxidation, and enzymatic and non-enzymatic antioxidants and Bacoside-a content in medicinal plant *Bacopa monnieri* L.," *Chem.*, **62**, 1340–1350.
- Sönmez O., Aydemir S., İnal S. (2008), "Çinkonun canlılar için önemi ve çinko biyoyararlılığının belirlenme yöntemleri," *HR.Ü.Z.F Dergisi*, **12**, (1): 69-76.
- Sözen E., Yılmaz M., Çolak G., Yücel E., (2010), "Ecotoxicological effects of alkaline metal salts (NaCl, KNO₃), strong acid (H₂SO₄) and some heavy metals (CuCl₂, FeCl₃, MgCl₂ ve ZnCl₂) on the germination of chickpea (*Cicer arietinum*) seeds *Biological Diversity and Conservation*, **3**, (3): 64-71.
- Staykova T.A., Ivanova E. N., ve Velcheva I.G., (2005), "Cytogenetic effect of heavy-metal and cyanide in contaminated waters from the region of southwest Bulgaria," *Journal of Cell and Molecular Biology*, **4**, 41-46.
- Tasgin E., Atıcı Ö., Nalbantoglu B., Popova P. L. (2006), "Effects of salicylic acid and cold treatments on protein levels and on the activities of antioxidant enzymes in the apoplast of winter wheat leaves," *Phytochemistry*, **67**, 710-715.
- Titov, A.F., Talanova, V.V. ve Boeva, N.P., (1996), "Growth responses of barley and wheat seedlings to lead and cadmium," *Biol. Plant.*, **38**, 431-436.

- Türkan İ. ve Demiral T. (2009), "Recent developments in understanding salinity tolerance," *Environmental and Experimental Botany*, **67**, 2–9.
- Ünyayar S., Çelik A., Çekiç F.Ö., ve Gözel A., (2006), "Cadmium-induced genotoxicity, cytotoxicity and lipid peroxidation in *Allium sativum* and *Vicia faba*," *Mutagenesis* **21**, 77–81.
- Verma S. ve Dubey, RS. (2003), "Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants," *Plant Sci.*, **164**, 645-655.
- Vural H. (1993), "Ağır metal iyonlarının gıdalarda oluşturduğu kirlilikler", *Çevre Dergisi*, **8**, 3-8.
- Wang M-E., Zhou Q-X., (2006), "Joint stress of chlorimuron-ethyl and cadmium on wheat *Triticum aestivum* at biochemical levels," *Environmental Pollution*, **144**, 572-580.
- Wang W., Vinocur B., Shoseyov O. ve Altman A. (2004), "The role of plant heat-shock proteins/molecular chaperones in the abiotic stress response," *Trends in Plant Science*, **9**, 244-252.
- Wang W., Vinocur B. ve Altman A. (2003), "Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance," *Planta*, **218**, 1–14.
- Wang C.X., Mo Z., Wang H., Wang Z.J., Cao Z.H., (2003), "The Transportation, Time-Dependent Distribution of Heavy Metals in Paddy Crops", *Chemosphere*. **50**, 717–723.
- Wierzbicka M., Obidzinska J., (1998), "The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species," *Plant Science* **137**, 155–171.
- Wojcik M., ve Tukendorf A., (1999), "Cd - tolerance of maize, rye and wheat seedlings," *ACTA PHYSIOLOGIAE PLANTARUM*, **21**, (2):99-107.
- Xiao-li, Shu-zhen Z., (2007), "Intraspecific differences in effects of co-contamination of cadmium and arsenate on early seedling growth and metal uptake by wheat," *Journal of Environmental Sciences* **19**, 1221–1227.
- Yağdı K., Kaçar O., Azkan N., (2000), "Topraklardaki Ağır Metal Kirliliği ve Tarımsal Etkileri", *On Dokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. **15**, (2): 109–115.

- Yang Y., Wei X., Lu J., You J., Wang W., Shi R. (2010), "Lead-induced phytotoxicity mechanism involved in seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.)," *Ecotoxicology and Environmental Safety* **73**, 1982–1987.
- Yaşar F., Ellialtıoğlu Ş., Özpay T., Uzal Ö. (2008), "Tuz stresinin karpuzda (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.) antioksidatif enzim (SOD, CAT, APX ve GR) aktivitesi üzerine etkisi," *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.)*, **18**, (1): 61-65.
- Yıldız M., Terzi H., Cenkci S., Arıkan Terzi E. S., Uruşak B. (2010), "Bitkilerde tuzluluğa toleransın fizyolojik ve biyokimyasal markörleri," *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi –C Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji* **1**, (1): 1-33.
- Yıldız M., Terzi H., Uruşak B. (2011), "Bitkilerde krom toksisitesi ve hücrel cevaplar," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* **27**, (2): 163-176.
- Yücel E., Doğan F., Öztürk., (1995), "Porsuk çayında ağır metal kirlilik düzeyleri ve halk sağlığı ilişkisi," *Ekoloji*, **17**, 29-32.
- Yücel E., (2000), "Ebe Karaçamın biyolojik ve ekolojik özellikleri", Birlik Ofset Matbaacılık, Eskişehir.
- Yücel E., Edirnelioğlu E., Soydam S., Çelik S., Çolak G., (2010), "Myriophyllum spicatum (Spiked water-milfoil) as a biomonitor of heavy metal pollution in Porsuk Stream/Turkey," *Biological Diversity and Conservation*, **3**, (2): 133-144
- Zengin F., Munzuroğlu Ö. (2005), "Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.Strike) klorofil ve karotenoid miktarı üzerine bazı ağır metallerin (Ni+2, Co+2, Cr+3, Zn+2) etkileri," *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **17**, (1): 164-172.
- Zhang Y., Yang X. (1994), "The toxic effects of cadmium on cell division and chromosomal morphology of *Hordeum vulgare*," *Mutation Research/Environmental Mutagenesis and Related Subjects* **312**, (2): 121-126.