



On the ecotoxicological effects of heavy metal pollution of industrial origin determination of wheat varieties

Mine YÜCEL^{*1}, Ersin YÜCEL²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye

² Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Eskişehir/Türkiye

Abstract

At this study, the determination of the effects of heavy metals from industrial sources (Cr, Cu, Ni, Fe, Zn) on seed germination at 17 wheat (*Triticum aestivum*) genotype ("Altay-2000", "Altıntaş-95", "Aytın-98", "Bezostaja-1", "Çetinel-2000", "Gerek-79", "Harmankaya-9", "Kıraç", "Kırgız-95", "Kunduru-1149", "Kutluk-94", "Kümbet-2000", "Sönmez-2001", "Sultan-95", "Süzen-97", "Yelken-2000" and "Yıldız-98") which are commonly produced at Turkey are aimed. The experiments were carried out in plant growth chambers. For each concentration in each experiment series 100 seeds were used in repetitions of four. Germination tests were performed with the four replicates in a Petri dish. For the duration of the experiments a constant temperature (22±1°C) and photo-period of 12 hours light, 12 hours darkness were maintained; and in 3 different concentrations of the heavy metals (100, 200 and 300 µM).

According to all results, statistical importance of the effects of heavy metals at seed germination of inspected wheat types is seen. The zinc has the lowest; the copper has the highest effects on germination. When wheat genotypes compared with their sensitivity level to heavy metals, at 17 genotypes, the most sensitive type is "Kutluk-94" and the most durable type is "Kunduru-1149". In a conclusion, it is found that the heavy metals can cause the loss of the product with obstruct the germination at wheat and at cultivated areas which are exposed to heavy metals pollution, to get high efficiency and the phytoremediation of this areas, "Kıraç" and "Kunduru-1149" types can be used..

Key words: heavy metal; wheat; germination; ecotoxicology; pollution; phytoremediation

----- * -----

Endüstriyel kaynaklı ağır metal kirliliğinin buğday çeşitleri üzerindeki ekotoksikolojik etkilerinin belirlenmesi

Özet

Bu çalışmada, endüstriyel kaynaklı ağır metallerin (Cr, Cu, Ni, Fe, Zn) ülkemizde yaygın olarak üretimi yapılan 17 buğday (*Triticum aestivum*) genotipi ("Altay-2000", "Altıntaş-95", "Aytın-98", "Bezostaja-1", "Çetinel-2000", "Gerek-79", "Harmankaya-9", "Kıraç", "Kırgız-95", "Kunduru-1149", "Kutluk-94", "Kümbet-2000", "Sönmez-2001", "Sultan-95", "Süzen-97", "Yelken-2000" ve "Yıldız-98") tohum çimlenmesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneyler için her bir çeşide ait tohumlar 100'erli gruplar halinde sayılıp, steril petri kapları içinde, iklim kabininde, 12/12 saat aydınlık fotoperiyotta, 22±1°C'de, dörder tekrarlı olmak üzere ve ağır metallerin 3 farklı konsantrasyonunda (100, 200 ve 300 µM) yapılmıştır.

Tüm sonuçlar topluca değerlendirildiğinde ağır metaller, incelenen buğday çeşitlerinin tohum çimlenmesi üzerindeki etkilerinin istatistiksel bakımdan önemli olduğu; çinkonun çimlenme üzerindeki etsinin en az, bakırın en yüksek olduğu görülmüştür. Buğday genotipleri ağır metallerle duyarlılık düzeyleri bakımından karşılaştırıldığında; 17 genotip arasında en duyarlı "Kutluk-94" çeşidi olduğu, buna karşın en dayanıklı çeşidin ise "Kunduru-1149" çeşidinin olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak ağır metallerin buğdayda çimlenmeyi engelleyerek üretim kayıplarına neden olduğu; ağır metal kirliliğine maruz kalmış tarım alanlarında, hem yüksek verim almak, hem de bu alanların fitoremediasyonunda "Kıraç" ve "Kunduru-1149" çeşitlerinin kullanılabilceği saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: ağır metal; buğday; çimlenme; ekotoksikoloji; kirlilik; fitoremediasyon

* Corresponding author / Haberleşmeden sorumlu yazar: Tel.: +902223350580; Fax.: +902223204910; E-mail: mineyucel92@gmail.com

© 2008 All rights reserved / Tüm hakları saklıdır

BioDiCon. 195-0511

1. Giriş

Endüstrinin ve madencilik aktivitelerinin gelişmesi ve atık suların yeniden kullanımı ve arıtma çamuru uygulamaları ağır metal kirliliğinin tüm dünyayı ilgilendiren bir sorun haline gelmesine neden olmuştur. Bitki toprak ilişkisi jeosfer ve biosferin en önemli kısmını oluşturduğundan, toprakta meydana gelen ağır metal kirliliği sadece verim ve ürün kalitesi üzerinde değil aynı zamanda atmosferik ve sucul çevre kalitesini de etkiler. Diğer taraftan ağır metaller besin zinciri yoluyla canlı sisteme girerek insan ve çevre sağlığı üzerinde önemli hasarların oluşmasına neden olmaktadır (Kocaer ve Başkaya, 2003).

Canlı sisteme giren ağır metaller, besin zinciri ile bir organizmadan diğerine taşınarak canlı sistemlerde yüksek konsantrasyonlara ulaşmakta ve zararlarını yıllarca sürdürebilmektedir (Kahvecioğlu vd., 2008). Koloidal adsorbsiyon ve iyon değişimi ile toprakta birikim yapan; çinko, bakır, kurşun, kadmiyum ve nikel gibi ağır metaller, toprağın biyoelverişliliği üzerine fazlası ile etki yaparlar (Algan ve Bilen, 2005).

Ülkemizde tarımsal faaliyetlerin önemli bir kısmını buğday yetiştiriciliği oluşturmaktadır. Çok sayıda ve değişik özellikleri olan buğday (*Triticum aestivum*) varyeteleri Anadolu'da yaygın bir şekilde yetiştirilmektedir. Buğday, tüm dünyada temel gıda maddesi olarak stratejik bir bitki olup, insanların temel enerji ve protein kaynağı durumundadır. Ülkemizin ekili alanlarının, yaklaşık % 50'sini tahıllar, tahılların ekim alanlarının da yaklaşık % 70'ini buğday oluşturmaktadır (Güleç vd., 2010). Ülkemizde buğday tarımı yapılabilir alanlar son sınırlarına ulaşmış durumda olmakla birlikte, bu alanlar kentsel ve endüstriyel gelişmeye bağlı olarak giderek daralma eğilimi göstermektedir. Ayrıca buğday çeşitlerinin tane verimi ve verim komponentleri arasındaki değişim, lokasyonlar ve yıllar arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır (Bilgin vd., 2008). Bu noktada mevcut alanların kirlenmeden, temiz bir şekilde korunması, sağlıklı bir beslenme rejiminin sürdürülebilir olması bakımından büyük önem taşımaktadır.

Günümüzün en önemli çevre sorunlarından biri de kirlenmiş alanların ve kaynakların temizlenerek yeniden kullanılabilir hale getirilmesidir. Ağır metallerin ortamdaki uzaklaştırılmasında fitoremediasyon yöntemi kullanılabilir. Ancak fitoremediasyon da kullanılacak bitkilerin her şeyden önce kendilerinin ağır metal toksisitesine karşı dirençli olması gerekir.

Bu çalışmada, endüstriyel kaynaklı ağır metallerin (Cr, Cu, Ni, Fe, Zn) ülkemizde yaygın olarak üretimi yapılan 17 buğday (*Triticum aestivum*) çeşidinin ("Altay-2000", "Altıntaş-95", "Aydın-98", "Bezostaja-1", "Çetinel-2000", "Gerek-79", "Harmankaya-9", "Kıraç", "Kırgız-95", "Kunduru-1149", "Kutluk-94", "Kümbet-2000", "Sönmez-2001", "Sultan-95", "Süzen-97", "Yelken-2000" ve "Yıldız-98") tohum çimlenmesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece hem üretim yapmak, hem de kirli toprakların, uygun buğday çeşitleri ile temizlenmesinin mümkün olabilirliğine cevap aranmıştır..

2. Materyal ve yöntem

Ülkemizde en çok tarımı yapılan 17 farklı buğday genotipi araştırma materyali olarak seçilmiştir. Tohumlar tescilli olup, Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsünden sağlanmıştır (Turgut, 2004).

Deneyler için her bir çeşide ait tohumlar 100'erli gruplar halinde sayılıp, steril petri kapları içinde, iklim kabininde, 12/12 saat aydınlık fotoperiyotta, 22±1°C'de, dörder tekrarlı olmak üzere ve kullanılan ağır metallerin (CrO₃, CuCl₂, NiCl₂, FeCl₃, ZnCl₂) 3 farklı konsantrasyonunda (100, 200 ve 300 µM) yapılmıştır. Kullanılan ağır metal çözeltileri merk marka standart laboratuvar kimyasallarından saf su ile seyreltilerek hazırlanmıştır. Bitki örneklerinin protein içeriği Semi-Micro Kjeldal yöntemiyle (Vural, 1992), Kjeltex tam otomatik cihazı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar SPSS istatistik programında p≤0,05 önem düzeyinde test edilmiştir..

3. Bulgular

Belirlenen amaçlar doğrultusunda toplam 17 buğday genotipi seçilmiş olup, bunlardan 4'ü makarnalık 13'ü ekmektir (Tablo 1). Protein oranı genotipler arasında en yüksek "Gerek-79" (153,0783 mg) çeşidinde ölçülmüştür. Dekar başına en yüksek verim ise "Kunduru-1149" çeşidi olduğu görülmektedir.

Ağır metallerin araştırılan onyededi buğday genotipinden hangileri üzerinde daha etkili olduğunu görmek amacıyla yapılan istatistikler sonucu, beş farklı homojen grup oluşmuştur (Tablo 4). Bu sonuca göre buğday çeşitleri ağır metal stresine karşı çimlenme yüzdeleri bakımından birbirinden farklı cevaplar vermiştir. Genotipler arasında ağır metal stresinden en çok "Kutluk-94" çeşidi etkilenirken, "Kıraç" ve "Kunduru-1149" çeşitlerinin onyededi genotip arasında en dayanıklı çeşitler olduğu belirlenmiştir.

Yapılan korelasyon analizi sonucuna göre; buğdayda bulunan protein miktarı ile Cu ve Fe toksisitesi arasında; hektolitredeki buğday ağırlığı ile Zn toksisitesi arasında; buğdayın bin dane ağırlığı ile Ni ve Zn toksisitesi arasında; p≤0,05 önem düzeyinde bir ilişki bulunmuştur (Tablo 2).

Tablo 1. Buğday genotiplerinin biyolojik, ekolojik ve teknolojik özellikleri

Çeşidin Adı*	Su İsteği şartlar	Kullanım	Kılçık	Boy (cm)	Kardeşlenme	Erkencilik	Verim (kg/da)	BDA (g)	HLT (kg)	Protein (mg)
Altay-2000	Kuru	Ekmeklik	Kılçıklı	105	Orta	Orta erkenci	200-650	34	81	120,2338
Altıntaş-95	Kuru-Sulu	Makarnalık	Kılçıklı	115	Orta	Orta erkenci	200-350	40	82	102,6585
Aytın-98	Kuru	Ekmeklik	Kılçıklı	93	Orta yüksek	Orta erkenci	210-630	33	80	121,9266
Bezostaya-1	Kuru-Sulu	Ekmeklik	Kılçiksız	105	Düşük	Orta erkenci	200-650	38	83	116,6926
Çetinel-2000	Sulu	Ekmeklik	Kılçıklı	95	Yüksek	Orta geçci	370-800	39	78	81,6682
Gerek-79	Kuru	Ekmeklik	Kılçıklı	105	Yüksek	Erkenci	200-600	34	80	153,0783
Harmankaya-99	Kuru	Ekmeklik	Kılçıklı	95	Yüksek	Orta erkenci	210-640	34	82	116,0626
Kıraç-66	Kuru	Ekmeklik	Kılçıklı	115	Düşük	Orta geçci	200-400	35	82	135,1919
Kırgız-95	Kuru	Ekmeklik	Kılçıklı	115	Yüksek	Erkenci	220-600	34	79	123,3110
Kundurdu-1149	Kuru-Sulu	Makarnalık	Kılçıklı	125	Orta	Orta erkenci	200-350	42	82	97,9039
Kutluk-94	Kuru	Ekmeklik	Kılçıklı	115	Yüksek	Orta erkenci	224-607	35	79	125,3084
Kümbet-2000	Kuru-Sulu	Makarnalık	Kılçıklı	98	Orta yüksek	Erkenci	200-500	40	83	87,5010
Sönmez-2001	Kuru	Ekmeklik	Kılçiksız	110	Orta	Orta erkenci	250-500	37	81	84,8627
Sultan-95	Sulu	Ekmeklik	Kılçıklı	98	Yüksek	Orta geçci	300-800	35	77	56,1365
Süzen-97	Kuru	Ekmeklik	Kılçiksız	100	Orta yüksek	Orta geçci	250-560	33	80	106,4968
Yelken-2000	Kuru-Sulu	Makarnalık	Kılçıklı	90	Orta yüksek	Erkenci	200-500	39	83	98,5195
Yıldız-98	Sulu şartlar	Ekmeklik	Kılçıklı	98	Yüksek	Orta erkenci	300-800	33	81	84,0400

(BDA:Bin dane ağırlığı, HLT: Hektolitre ağırlığı; * Turgut, 2004)

Tablo 2. Buğday genotiplerinin teknolojik özellikleri ile ağır metal toksisite ilişkisi

		Kontrol Grubu	Cr	Cu	Ni	Fe	Zn
Protein (mg)	Pearson Correlation	-,229	-,110	-,560**	,137	-,463**	-,059
	Sig. (2-tailed)	,106	,444	,000	,337	,001	,679
	N	51	51	51	51	51	51
Hektolitre ağırlığı (kg)	Pearson Correlation	-,098	,207	-,010	-,028	-,118	-,415**
	Sig. (2-tailed)	,492	,144	,945	,845	,409	,002
	N	51	51	51	51	51	51
Bin dane ağırlığı	Pearson Correlation	,254	,018	-,232	-,479**	-,069	-,548**
	Sig. (2-tailed)	,072	,899	,102	,000	,632	,000
	N	51	51	51	51	51	51

** İlişki 0,05 düzeyinde önemli

Farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin, buğday genotipleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan iki yönlü varyans analizi sonucunda, ağır metallerin çimlenmeyi engellediği ve bunun istatistiksel bakımdan önemli olduğu saptanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Ağır metaller (Cr, Cu, Ni, Fe, Zn) ve bunların üç farklı konsantrasyonunun (100, 200 ve 300 µM) onyedili buğday genotipinin çimlenme yüzdeleri üzerine etkisi

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi (df)	Kareler ortalaması	F oranı	Önem düzeyi (Sig.)
Düzeltilmiş Model	66925,990 ^a	23	2909,826	10,816	,000
Intercept	1943075,217	1	1943075,217	7,223E3	,000
Buğday Genotipleri	10268,170	16	641,761	2,386	,002
Uygulanan Ağır metaller	31042,235	4	7760,559	28,848	,000
Uygulanan Konsantrasyonlar	3476,761	2	1738,380	6,462	,002
Hata	75863,069	282	269,018		
Toplam	2063928,000	306			
Düzeltilmiş Toplam	142789,059	305			

R²= ,469

Uygulanan ağır metallere hangisinin, buğdaylar üzerine daha fazla etkili olduğu incelendiğinde, dört homojen gurubun oluştuğu görülmektedir (Tablo 5). Buna göre ağır metallere buğdaylar üzerindeki toksik etkileri birbirinden istatistiksel bakımdan $p \leq 0.05$ düzeyinde önemli farklılıklar göstermektedir. Uygulanan ağır metaller (Cr, Cu, Ni, Fe, Zn) arasında, buğday genotiplerinde, çimlenmeyi en çok engelleyen elementin krom olduğu bulunmuş olup, bunu Cu, Ni ve Fe izlemektedir. Zn ise çimlenmeyi bir miktar engellemiş olmakla birlikte, kontrol grubu ile aynı homojen grup içinde yer almış olduğundan, çimlenme yüzdesi üzerindeki engelleyici etkisi istatistiksel bakımdan önemli bulunmamıştır.

Ağır metallere uygulanan 100 μM , 200 μM ve 300 μM üç farklı konsantrasyonundan, hangi konsantrasyonların daha etkili olduğunu topluca görmek amacıyla yapılan istatistikler sonucu birbirinden bağımsız üç homojen gurup oluşmuştur (Tablo 6). Buna göre buğday genotipleri farklı ağır metal konsantrasyonlarına karşı çimlenme yüzdeleri bakımından birbirinden farklı cevaplar vermiştir. Ağır metal konsantrasyonlarından buğday genotiplerinde çimlenmeyi en çok engelleyen 100 μM olurken; 200 μM ve 300 μM düzeyindeki konsantrasyonlar daha düşük düzeyde etkili olmuş ve aynı grup altında toplanmıştır. Kontrol grubu ise belirgin şekilde tüm konsantrasyonlardan ayrılmıştır.

Tablo 4. Buğday genotiplerinin çimlenme yüzdeleri üzerine, ağır metallere (Cr, Cu, Ni, Fe, Zn) etkisi

Buğday Genotipleri	N	Homojen Gruplar				
		1	2	3	4	5
Kutluk-94	18	67,50				
Çetinel-2000	18	70,39	70,39			
Altay-2000	18	73,00	73,00	73,00		
Aytın-98	18	73,44	73,44	73,44		
Yelken-2000	18	76,50	76,50	76,50	76,50	
Yıldız-98	18	77,50	77,50	77,50	77,50	77,50
Altıntaş-95	18	77,67	77,67	77,67	77,67	77,67
Gerek-79	18	77,89	77,89	77,89	77,89	77,89
Sönmez-2001	18	79,56	79,56	79,56	79,56	79,56
Bezostaja-1	18	79,67	79,67	79,67	79,67	79,67
Kümbet-2000	18		82,06	82,06	82,06	82,06
Kırgız-95	18		82,83	82,83	82,83	82,83
Harmankaya-99	18		83,11	83,11	83,11	83,11
Sultan-95	18			83,83	83,83	83,83
Süzen-97	18			85,00	85,00	85,00
Kıraç	18				87,11	87,11
Kundurur-1149	18					89,94
Önem düzeyi (Sig.)		,063	,054	,073	,113	,060

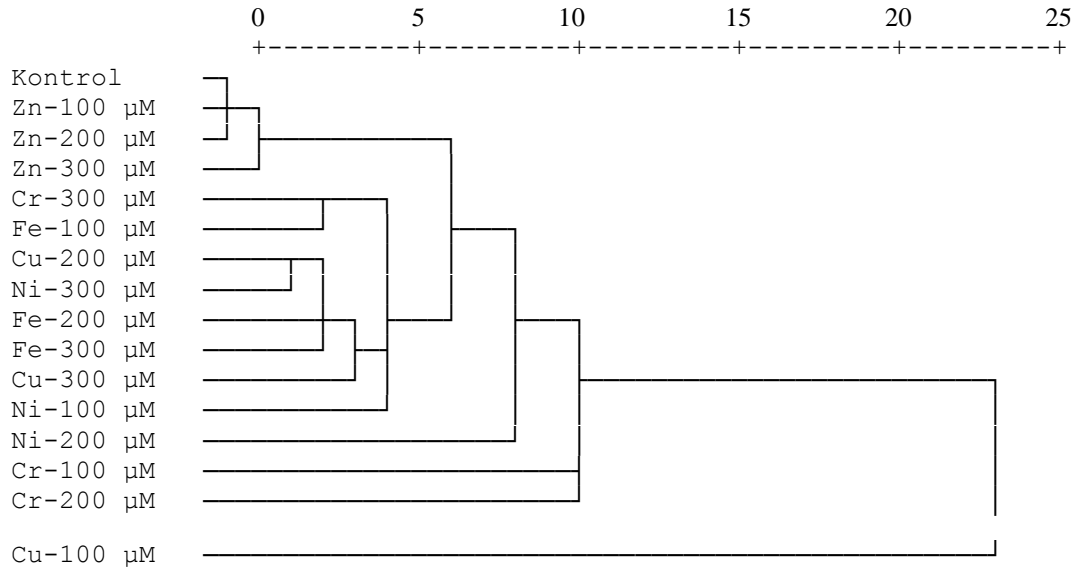
Tablo 5. Ağır metallere buğday genotiplerinin çimlenme yüzdeleri üzerine etkisinin topluca değerlendirilmesi

Ağır Metaller	N	Homojen Gruplar			
		1	2	3	4
Cr	51	61,53			
Cu	51		68,84		
Ni	51		74,35	74,35	
Fe	51			77,90	
Zn	51				94,53
Kontrol Grubu	51				98,25
Önem düzeyi (Sig.)		1,000	,091	,275	,252

Tablo 6. Üç farklı konsantrasyonda (100, 200 ve 300 µM) uygulanan ağır metallerin (Cr, Cu, Ni, Fe, Zn) buğday genotiplerinin çimlenme yüzdeleri üzerine toplu etkisi

Ağır Metal Konsantrasyonu	N	Homojen Gruplar		
		1	2	3
100 µM	85	70,21		
300 µM	85		77,91	
200 µM	85		78,18	
Kontrol Grubu	51			98,25
Önem düzeyi (Sig.)		1,000	,921	1,000

Ağır metaller (Cr, Cu, Ni, Fe, Zn) ve uygulanan konsantrasyonlardan (100, 200 ve 300 µM) hangilerinin çimlenme üzerinde daha etkili olduğunu daha ayrıntılı (teker teker) belirleyebilmek amacıyla Cluster analizi yapılmıştır (Şekil 1). Buna göre kontrol grubu en yüksek çimlenme yüzdesi ile diğer tüm gruplardan belirgin olarak ayrılmıştır. Ayrıca çimlenmeyi en fazla engelleyen 100 µM konsantrasyon düzeyi ile bakır olurken, bunu krom ve nikel izlemektedir.



Şekil 1. Ağır metaller ve uygulanan konsantrasyonların buğday genotiplerindeki toksikolojik etkisi.

4. Sonuçlar ve tartışma

Ağır metaller bitkilerin değişik yaşam evrelerinde etkili olduğu bilinmektedir. Bu etki ortamdaki konsantrasyonun artışına bağlı olarak, çoğu zaman tohumun çimlenmesi ve bitki gelişmesini engelleme yönünde olmaktadır. Ağır metallerin bitkinin çimlenmesini azaltıcı etkisinin genel toksik etkiler (tohum canlılığını etkileme, tohum ağırlığını azaltma) şeklinde veya su alımının engellenmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Tohumun çimlenmiş olması bitkinin sağlıklı bir şekilde büyüme ve gelişmesini devam ettireceği anlamına gelmez. Ancak bitkinin gelişebilmesi için de tohumun çimlenmiş olması gerekir. Ayrıca bitkilerin çimlenme aşamasında kirlilik unsurlarına vermiş olduğu cevap, daha sonraki yaşam döngüleri için önemli ipuçları verir.

Yapılan çalışmalar sonunda; farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin, çimlenmeyi engellediği; kullanılan onyeddi buğday genotipinden ağır metal stresinden en çok “Kutluk-94” çeşidi etkilenirken, “Kıraç” ve “Kunduru-1149” çeşitlerinin en dayanıklı çeşitler olduğu belirlenmiştir. Ayrıca uygulanan ağır metaller (Cr, Cu, Ni, Fe, Zn) arasında, buğday genotiplerinde, çimlenmeyi en çok engelleyen elementin krom olduğu bulunmuş olup, bunu bakır, nikel ve demir izlemektedir. Çinko ise çimlenmeyi bir miktar engellemiş olmakla birlikte, çimlenme yüzdesi üzerindeki engelleyici etkisi istatistiksel bakımdan anlamlı bulunmamıştır. Elde edilen bu sonuçlar literatür bilgileri ile uygunluk göstermektedir. Yapılan bir çalışmada ağır metal uygulanan aynı türe ait çeşitler arasında genotiplerin birbirlerinden farklı cevaplar verdiği belirlenmiştir (Sözen vd., 2009). Benzer şekilde kurşunun arpa ve buğdayda tohum çimlenmesine, kök ve gövdelerin gelişimine olumsuz etkilerinin olduğu gözlenmiştir (Titov vd., 1996).

Metal stresine bağlı olarak antioksidant enzim seviyelerinin artışı bitki ve tohum teknolojileri ve fitoremediasyon açısından büyük önem taşır (Kranner ve Colville, 2011). Süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT)

enzimlerinin uyarılması ve aktivasyonu bitkilerdeki önemli metal detoksifikasyon mekanizmalarından olup SOD ve CAT enzimlerinin kombine etkisi ve oksidatif stresin etkisini azaltmaktadır. Buğdayda (cv. Alpu) yapılan bir çalışmada, ağır metallerin (Cd, Pb) SOD ve katalaz enzim aktivitesinde azalışlara neden olduğu saptanmıştır (Ak ve Yücel, 2011). Ağır metallerin; klorofil içeriğini katalaz ve peroksidaz enzim aktivitelerini düşürdüğü, bitkide klorozise neden olduğu (Pandey ve Sharma, 2002), ayrıca klorofil a ve klorofil b içeriğini düşürdüğü bilinmektedir (Chatterjee ve Chatterjee, 2000). Ancak SOD enzimi aktivitesi ağır metalin çeşidine, konsantrasyonuna, uygulama süresine ve bitkinin türüne ve genotipine bağlı olarak farklılık göstermektedir (Dixit vd., 2001). Ayrıca ağır metallerin mitotik hasarlara neden olduğu belirlenmiştir (Yücel vd., 2009a,b).

Buğdayda bulunan protein miktarı ile bakır ve demir toksisitesi arasında; hektolitredeki buğday ağırlığı ile çinko toksisitesi arasında; buğdayın bin dane ağırlığı ile nikel ve çinko toksisitesi arasında negatif yönlü bir ilişki olduğu bulunmuştur.

Bazı metal hiperakümülatörü bitkiler, kök, gövde ve yapraklarında yüksek oranlarda metal iyonu biriktirmektedir (Terzi ve Yıldız 2011). Ayrıca bazı bitkiler fitodegratasyon ve fitostabilizasyonla fiziksel ve kimyasal olarak kirlenmeleri immobilize etmektedir. Bu nedenle ağır metal kirliliğinin uzaklaştırılmasında fiziksel remediasyon yöntemlerine alternatif olarak fitoremediasyon tekniği uygulanabilir.

Yapılan çalışmalar sonunda ağır metallerin buğdayda çimlenmeyi engelleyerek üretim kayıplarına neden olabileceği; ağır metal kirliliğine maruz kalmış tarım alanlarında, hem yüksek verim almak, hem de bu alanların fitoremediasyonunda “Kıraç” ve “Kunduru-1149” çeşitlerinin kullanılabilmesi saptanmıştır.

Kaynaklar

- Ak, A., Yücel, E. 2011. Ecotoxicological effects of heavy metal stress on antioxidant enzyme levels of *Triticum aestivum* cv. Alpu, *Biological Diversity and Conservation*, 4(3), 19-24 .
- Algan, FTK., ve Bilen, S. (2005). Toprak Kirlenmesi ve Biyolojik Çevre, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 36/1, 83-88.
- Bilgin, O., Korkut, K.Z., Başer, İ., Dağhoğlu, O., Öztürk, Kahraman, T., 2008. Determination of variability between grain yield and yield components of durum wheat varieties (*Triticum durum*) in thrace region, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*. 5/2, 100-109.
- Chatterjee A., Chatterjee, C. 2000. Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower, *Environmental Pollution*, 109/1, 69-74.
- 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(358), 1101-1109.
- Güleç T.E., Sönmezoğlu Ö.A., Yıldırım A. 2010. Makarnalık buğdaylarda kalite ve kaliteyi etkileyen faktörler, *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27/1, 113-120.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. 2008. Metallerin Çevresel Etkileri I-II, *Metallurji*, Sayı 136, 137.
- Kocaer F.O., Başkaya, H.S. (2003). Metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde uygulanan teknolojiler, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8/1, 212-131.
- 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.
- 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.
- Sözen, E., Yılmaz, M., Çolak, G., Yücel, E. 2010. Alkali metal tuzları (NaCl, KNO_3), kuvvetli asit (H_2SO_4) ve bazı ağır metallerin (Cu, Fe, Mg ve Zn) nohut (*Cicer arietinum*) tohumlarının çimlenmesi üzerine ekotoksikolojik etkileri. *Biological Diversity and Conservation*, 3/3, 64-71.
- Terzi, H., Yıldız, M. 2011. Ağır Metaller ve Fitoremediasyon: Fizyolojik ve Moleküler Mekanizmalar. *AKÜ-FEBİD*, 11, 1-22.
- 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.
- Turgut, Y., 2004. Enstitü çalışmaları ve çeşit kataloğu, Anadolu Tarımsal Araştırma Enst. Müdürlüğü, Eskişehir.
- Vural, N., 1992. Besin Analizleri, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fak.No:69.
- Yücel, E., Hatipoğlu, A., Yılmaz, G., Çelik, S. 2009a. The Effects of Copper (Cu) on Mitotic Cell Division of Lebanon Cedar, *International Conference on Plants & Environmental Pollution*, 113, July, 6-11, 2009, Kayseri, Turkey.
- Yücel, E., Yılmaz, G., Hatipoğlu, A. 2009. Ecotoxicological effects of some different heavy metal compounds' (Cd, Pb and Cu) concentrations on the seed germination, growth of seedling and mitotic cell division of *Salvia candidissima subsp. occidentalis*, *International Conference on Plants & Environmental Pollution*, 77, July, 6-11, 2009, Kayseri, Turkey..

(Received for publication 14 May 2011; The date of publication 15 December 2013)