

## Kurşun Uygulamasının Yerfıstığı (*Arachis hypogaea* L.)'ndeki Morfolojik ve Fizyolojik Etkileri\*

Sultan DERE<sup>1\*\*</sup>, Muhittin DOĞAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Sirt, TÜRKİYE  
<sup>2</sup>Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 13.12.2019

Kabul Tarihi/Accepted: 06.10.2020

ORCID ID (Yazar sırasına göre / by author order)

[orcid.org/0000-0001-5928-1060](https://orcid.org/0000-0001-5928-1060) [orcid.org/0000-0001-5400-8065](https://orcid.org/0000-0001-5400-8065)

\*\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: sultanderee@gmail.com

**Öz:** Bu çalışma, kurşun (Pb) ağır metalinin, yerfıstığı (*Arachis hypogaea* L.) bitkisindeki bazı morfolojik ve fizyolojik etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. İklim dolabında, kontrollü şartlar altında ve topraksız ortam kültüründe yürütülen çalışmada denemeler, tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. Buna göre araştırmada yerfıstığı (*A. hypogaea* L. cv. Sultan)'na 0, 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup> Pb derişimleri uygulanmıştır. Araştırma sonucuna göre, yerfıstığı fidelerinin kök, gövde ve yapraklarının Pb içeriği, artan Pb derişimine bağlı olarak artmıştır. Fidelerde kurşunun içeriği bitki aksamına göre kök>gövde>yaprak şeklinde olmuştur. Bitki kök, gövde uzunlukları ile kök, gövde ve yaprak yaş ağırlıkları Pb derişimleri artışına paralel olarak azalmıştır. Buna ek olarak, Pb derişimleri kök, gövde ve yapraktaki fenolik bileşikler de azaltmıştır. Araştırmada ayrıca, yaprakların fotosentetik pigment miktarları Pb toksisitesinde azalmıştır. Uygulanan Pb derişimlerinin yerfıstığı fidelerinde hücre membranlarında oksidatif strese neden olduğu ve kök, gövde ve yapraklarda malondialdehit miktarının arttığı belirlenmiştir. Fidelerin bütün kısımlarında protein miktarlarında genelde azalmalar saptanmıştır. Prolin aminoasidinin miktarları kök ve gövdede, kontrol grubuna göre genelde azalmışken, yapraklarda özellikle 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>lik derişimlerinde artmış olması, bu aminoasidin yapraklarda Pb toksitesine karşı bazı rollerinin olabileceğini göstermiştir. Sonuç olarak kurşunun yüksek dozlarının yerfıstığı fidelerinde toksik etki yaptığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Arachis hypogaea*, kurşun, ağır metal, fenolik bileşikler, prolin, toksik etki

## Morphological and Physiological Effects of Lead Application on Peanut (*Arachis hypogaea* L.)

**Abstract:** This study was carried out to determine some morphological and physiological effects of lead heavy metal on peanut (*Arachis hypogaea* L.). The study was conducted in a climate chamber, under controlled conditions, and in soilless culture according to randomized complete blocks design. Lead concentrations of 0, 10, 100, and 1000 mg L<sup>-1</sup> were applied to peanut (*A. hypogaea* L. cv. Sultan). According to the results of the study, the Pb content of the root, stem, and leaves of the peanut seedlings increased due to the increasing Pb concentration. Lead content in seedlings followed a pattern of root>stem>leaf. Plant root and stem lengths as well as fresh weights of root, stem, and leaf decreased as lead concentrations increased. In addition, Pb concentrations reduced phenolic compounds in root, stem, and leaf. Also, the photosynthetic pigment amounts of the leaves decreased under Pb toxicity. It was determined that the applied lead concentrations caused oxidative stress in the cell membranes of peanut seedlings and the amount of malondialdehyde increased in the root, stem, and leaves. In general, reductions in protein amounts were determined in all parts of seedlings. The amount of proline amino acid in the root and stem was generally decreased compared to the control group, while it was increased in the leaves, especially at 100 and 1000 mg L<sup>-1</sup> concentrations, indicating that this amino acid may have some role against Pb toxicity in the leaves. As a result, it was determined that high doses of lead have toxic effects on peanut seedlings.

**Keywords:** *Arachis hypogaea*, lead, heavy metal, phenolic compounds, proline, toxic effect

\*: Bu çalışma; Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından kabul edilen birinci yazara ait "Kurşun Uygulamasının Yerfıstığındaki (*Arachis hypogaea* L.) Fizyolojik Etkileri" isimli Yüksek Lisans Tez çalışmasından üretilmiştir.

## 1. Giriş

Ekolojik dengeyi bozan, canlı büyüme ve gelişimini etkileyen çevreyi kirleticileri arasında ağır metaller yer almaktadır (Ruiz-Jiménez ve ark., 2003; Dere, 2019). Primer üreticiler olan bitkiler ağır metal kirliliğinden öncelikle etkilenen gruptur. Ağır metallerin bitki doku ve organlarında aşırı birikimi vejetatif ve generatif organların gelişiminde sorunlara neden olmaktadır (Gür ve ark., 2004; Okcu ve ark., 2009). Bitki kökleri toprak çözeltisinde iyon halinde var olan ağır metalleri almaktadırlar. Bunun yanında, yapraklar aracılığıyla ağır metaller az da olsa alınabilmektedir (Lindberg ve ark., 1992; Marschner, 1995; Keser, 2005). Toprakta ve çevrede bulunan ağır metaller, bitki toprak üstü aksamalarında ve köklerde birikmektedir. Toksik olan ağır metaller insan sağlığını da tehdit etmektedir. Bitki bünyesinde belirli oranlarda bulunabilen ağır metaller belirli sınırları üzerine çıktığı takdirde toksik olabilmektedir. Ağır metallerin toksik etkileri tarımsal üretimin yoğun olarak yapıldığı bölgelerde önemlidir (Spona ve Baum, 1993; Terzi ve Yıldız, 2013; Dere, 2017).

Kurşun (Pb) bir iz metal olup, yeryüzünde doğal kaynaklarda farklı formlarda ve geniş olarak dağılmış halde bulunur (Nriagu, 1992; Ozyazici ve ark., 2017; Dere, 2019). Şehirleşmenin ve endüstriyel atıkların yoğun olduğu alanlarda ve sularda Pb düzeyleri ciddi boyutlara ulaşmış (Singh ve ark., 1997; Keser, 2005; Dere, 2019); insan faaliyetleri sonucu da biyosfere Pb ağır metali yayılım göstermiştir (Henssler ve Gospage, 1987; Dere, 2019). Kurşun, bitkiler için gerekli bir element olmamasına karşın, bütün bitkilerde doğal olarak bulunmaktadır (Kabata-Pendias ve Pendias, 1984). Ortamda kurşuna maruz kalmış bitkilerde; kök uzaması ve biyokütlede azalma (Fargasova, 1994; Keser, 2005), klorofil biyosentezinde engellenme (Miranda ve Ilangovan, 1996; Kieffer ve ark., 2008), bazı enzim aktivitelerinde tetiklenme veya engellenmeler (Van Assche ve Clijsters, 1990; Keser, 2005; Terzi ve Yıldız, 2013) olduğu belirtilmiştir.

Aşırı Pb alınımı bitkilerde farklı fizyolojik mekanizmalarla engellemektedir (Nwosu ve ark., 1995); fakat bazı durumlarda alınan kurşunun belirli miktarı farklı dokularda depolanabilmektedir (Sawidis ve ark., 1995; Xiong, 1997). Bitkilerde fizyolojik fonksiyonlar ve biyokimyasal olaylar kurşunun belirli miktarından sonra direkt veya dolaylı olarak etkilenmektedir. Bitki dokularında Pb birikimi fazla olursa; tohum çimlenmesi (Azmat ve ark., 2006), fide büyümesi (Kıran ve Munzuroğlu, 2004), mineral besin alınımı (Kopittke ve ark., 2007), terleme (Rolfe ve Bazzaz, 1975),

fotosentez (Parys ve ark., 1998; Okcu ve ark., 2009), enzim aktivitesi (Van Assche ve Clijsters, 1990; Keser, 2005; Terzi ve Yıldız, 2013), nükleik asit yapısı (Eichhorn ve ark., 1985; Okcu ve ark., 2009), klorofil biyosentezi (Symeonidis ve Karataglis, 1992; Okcu ve ark., 2009) ve mitoz bölünme (Kıran ve Şahin, 2005) gibi çok sayıda olay olumsuz yönde etkilenmektedir. Bunlara, membranlarda hasar (Kennedy ve Gonsalves, 1989; Braz, 2005; Batır, 2014), hormon dengesinin bozulması ve su ilişkisinin değişmesi (Zengin ve Munzuroğlu, 2004; Asri ve Sönmez, 2006) gibi fizyolojik olaylar da eklenebilir.

Kurşun toksisitesi bitkilerde fotosentez olayına etki eden önemli bir faktördür (Miles ve ark., 1972; Asri ve Sönmez, 2006; Dere, 2019). Kurşun etkisinde kalan bitkilerde kurşunun miktarları yükselirken, fotosentez hızları azalmaktadır. Kurşunun bu etkilerinin stomaların karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) direncinin ve su difüzyonunun değişimiyle ilgili olabileceği belirtilmiştir (Bazzaz ve Govindjee, 1974; Asri ve Sönmez, 2006; Dere, 2019). Ayrıca, Pb klorofil biyosentezini de engellemiştir. İnhibe edilmiş fotosentez kısmen yapraklarda azalan klorofil miktarıyla ilişkili olabileceği belirtilmiştir (Balsberg Pahlsson, 1989; Keser, 2005; Batır, 2014).

Baklagiller familyasında yer alan yerfıstığı (*Arachis hypogaea* L.) yazlık, tek yıllık ve çok değerli bir yağ bitkisidir. Meyvelerini toprak içinde meydana getirmesiyle diğer kültür bitkilerinden ayrılır. Yerfıstığı meyvesi % 45-55 yağ, % 20-25 protein, % 16-18 karbonhidrat, % 5 mineral madde içerir (Salunkhe ve ark., 1992; Suchoszek-Lukaniuk ve ark., 2011). Dünyada soya, kolza ve ayçiçeği gibi yağ bitkilerinden sonra en fazla yetiştirilen yağ bitkisidir. Türkiye’de 2018 yılı verilerine göre 173.835 ton yerfıstığı üretimi olduğu görülmektedir (Anonim, 2019).

Bu çalışma, ağır metaller içerisinde önemli çevre kirleticilerinden olan kurşunun, yerfıstığı (*A. hypogaea* L.) bitkisindeki bazı fizyolojik ve morfolojik etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışma materyali olarak kullanılan Sultan çeşidi yerfıstığı (*A. hypogaea* L.) tohumları, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü’ne ait gen havuzundan temin edilmiş olup; kullanılan tohumların sağlam ve üniform olmasına dikkat edilerek seçilmiştir. Seçilen tohumlar % 5’lik sodyum hipoklorit ile sterilize edilmiş ve hipokloritten arındırmak için üç kez saf sudan geçirilmiştir.

Tohumlar 2:1 oranında torf:perlit karışımı bulunan saksılara ekilmiştir. Deneme süresince bitkilere içeriği Tablo 1’de yer alan besin çözeltisi uygulaması yapılarak bitki besin ihtiyacı karşılanmıştır. Deneme, tesadüf parseller deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak düzenlenmiş ve her tekerrürde 5 bitki olacak şekilde kurulmuştur.

**Tablo 1.** Fideleri yetiştirmek için kullanılan besin çözeltisinin içeriği

Makro elementler	Değeri (g L <sup>-1</sup> )
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.57
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.27
MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	2.4
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	4.723
Mikro elementler	
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1.24
MnSO <sub>4</sub>	0.66
CuSO <sub>4</sub>	1
NH <sub>4</sub> Mo	0.48
Fe-EDTA	3.65
ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	2.87

Çalışma için kurşun nitrattan [Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] 1000 mg L<sup>-1</sup>’lik stok çözeltiler hazırlanmıştır. Bu stoktan seyreltmeler yapılarak 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>’lik konsantrasyonlar hazırlanmış ve her derişim üç tekrarlı olarak çalışılmıştır. Tohumlar çimlendikten sonra on gün boyunca ihtiyaç durumunda % 10’luk besin çözeltisi ile sulanmıştır. Daha sonra kontrol (0) uygulamasındaki yerfistığı fidelerine normal besin çözeltisiyle sulama uygulamasına devam edilirken, diğer yerfistığı fidelerine içeriğinde 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup> Pb derişimleri bulunan besin çözeltisiyle sulama yapılmıştır. Yerfistığı fidelerinde kurşunun toksik etkileri başladığı için, sekizinci günün sonunda çalışma sonlandırılmıştır. Çalışma kontrollü şartlarda 26±2 °C’de ve 16 saat aydınlık (120 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), 8 saat karanlık ortamda yapılmıştır.

Deney başlangıcından sonuna kadar günlük morfolojik gözlemler kaydedilmiştir. Morfolojik gözlemler bitkide derişimlerin görsel olarak incelenmesi sonucu elde edilmiştir. Kurşunun 0, 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>’lik derişimlerindeki yerfistığı fidelerinin kök ve gövde uzunlukları cetvelle ölçülmüştür. Kök, gövde ve yaprakların yaş ağırlıkları hassas terazi ile tartılmıştır. Kök, gövde ve yaprakların kuru ağırlıklarını belirlemek için ise örnekler 80 °C’de kurutulmuş ve kuru ağırlıkları hassas terazi kullanılarak belirlenmiştir. Araştırmada pigment analizi, klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid hesaplamaları Lichtenthaler ve Wellburn (1983)’a, prolin miktarları Bates ve ark. (1973)’na, protein miktarları Lowry ve ark. (1951)’na, lipid peroksidasyon miktarları Zhou (2001)’ya, fidelerin konsantrasyon faktörleri Zayed ve ark. (1998)’na, fenolik bileşik miktarları

Ratkevicius ve ark. (2003)’na göre yapılmıştır. Gövde transport indeksleri gövdedeki Pb derişiminin köklerdeki Pb oranıyla, yapraklara transport ise yapraktaki Pb derişiminin kökteki kurşun derişimine bölümüyle hesaplanmıştır. Yani kurşunun toprak üstü kısımlara transport indekslerini belirlemek için konsantrasyon faktörü (KF) Eşitlik 1 ve transport indeksi (Tİ) Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanmıştır (Ghosh ve Singh, 2005).

$$KF = BTPb / UOPb \quad (1)$$

$$Tİ = TÜKpb / KPb \quad (2)$$

Eşitliklerde BTPb, bitkide toplam Pb derişimini; UOPb, uygulama ortamındaki Pb derişimini; TÜKpb, toprak üstü kısımlarındaki Pb miktarını; KPb, kökteki Pb miktarını ifade etmektedir.

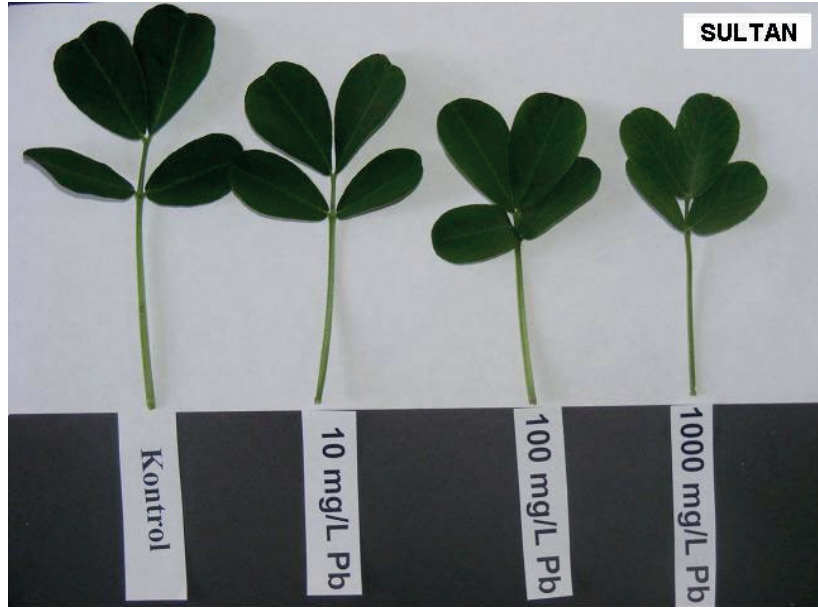
Elde edilen verilen istatistiksel analizi SPSS paket programı kullanılarak yapılmıştır. Hangi grubun ya da grupların farklı olduğunu belirlemek amacıyla One-Way ANOVA LSD testi uygulanmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Morfolojik gözlemler

Kurşunun farklı derişimlerinde sekiz gün boyunca yetiştirilen yerfistığı çeşidinin yapraklarına ait gelişim durumu ise Şekil 1’de verilmiştir. Kurşunun 10 mg L<sup>-1</sup>’lik derişiminin etkisinde dikkate değer bir morfolojik derişim belirlenmemiştir. Kurşunun 100 mg L<sup>-1</sup>’lik derişimindeki fidelerde gelişim yavaşlamasına ek olarak yapraklarda damarlar arası bölgede sararmalar olduğu görülmüştür. Köklerde ise gelişim azalması dışında herhangi bir renk derişimi gözlenmemiştir. Özellikle 1000 mg L<sup>-1</sup>’lik derişimdeki fidelerde ciddi büyüme azalışı olmuştur. Kurşunun 1000 mg L<sup>-1</sup>’lik derişiminde oluşan morfolojik derişimler arasında köklerde kahverengileşmeler, yapraklarda ise özellikle damarlar arası bölgede sararmalar ve yer yer lokal kurumalar olduğu gözlenmiştir.

Kurşun toksisitesi bitkilerin fizyolojik ve morfolojik özelliklerinde derişimlere neden olmaktadır. Özellikle yüksek derişimlerdeki kurşunun bitki büyüme ve gelişimini engellediği bilinmektedir. Kurşun toksisitesinin spesifik olmayan semptomları kök büyümesinin engellenmesi ve klorozdur (Burton ve ark., 1984). Şekil 1’de görüldüğü gibi, farklı derişimlerdeki Pb uygulamasında yetiştirilen yerfistığı fidelerinin büyüme ve gelişimleri özellikle 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>’lik Pb uygulamalarında engellenmiştir. Ancak 10 mg L<sup>-1</sup>’lik derişimde ise dikkate değer bir azalmanın olmadığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, özellikle 1000 mg L<sup>-1</sup>’lik derişimde kök ve



Şekil 1. Farklı Pb derişimlerinin etkisinde yetiştirilen yerbıstığı yapraklarının uygulama sonu genel görünümü

yapraklarda ciddi toksisite semptomları oluşmuştur. Kurşun uygulaması doza ve süreye bağılı olarak enzim aktivitesini, su balansını, büyüme ve gelişmeyi, mineral madde alınımı ve taşınımını, hormon düzeyini ve membran permabilitesini etkilediği bilinmektedir. Yüksek Pb derişimlerinin bitkilerde biyokimyasal olayları bozduğu ve böylece bozulan prosesler sonucu da yerbıstığı fidelerinde belirlediğimiz toksisite semptomlarının oluşmasına neden olduğunu söyleyebiliriz.

### 3.2. Kök ve gövde uzunlukları

Kurşun derişimlerinin etkisinde yetiştirilen yerbıstığı fidelerinin kök ve gövde uzunluklarına ait veriler Şekil 2'de sunulmuştur. Fidelerin deney sonunda ölçülen kök ve gövde uzunlukları kontrole göre azaldığı belirlenmiştir. Kurşunun 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>'lik derişimlerinde köklerdeki azalmalar kontrole göre sırasıyla % 10.7 (p>0.05), % 11.7 (p>0.05) ve % 34.3 (p<0.05) olmuştur. Yine kurşunun 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>'lik derişimlerinde gövdelerdeki azalmalar kontrole göre sırasıyla % 17.4 (p<0.05), % 15.1 (p<0.05) ve % 35.2 (p<0.05) olarak bulunmuştur (Şekil 2). Bitkiler kurşunu etraflarındaki metal bulaşmış çözeltilerden alabildiği ve büyüme ve gelişmeye olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir (Breckle, 1991; Obroucheva ve ark., 1998). Godbold ve Kettner (1991) yaptıkları çalışmada, dört haftalık *Picea abies* bitkilerine 0.5 µM Pb uygulaması sonucunda kök gelişiminin azaldığı bildirilmiştir. Benzer şekilde *Zea mays* fidelerinde Pb toksisitesinin kök gelişimini engellediği belirtilmiştir (Obroucheva ve ark., 1998). Kurşunun 1.5, 2.0 ve 2.5 mM uygulanan fidelerin gövde büyüme oranları

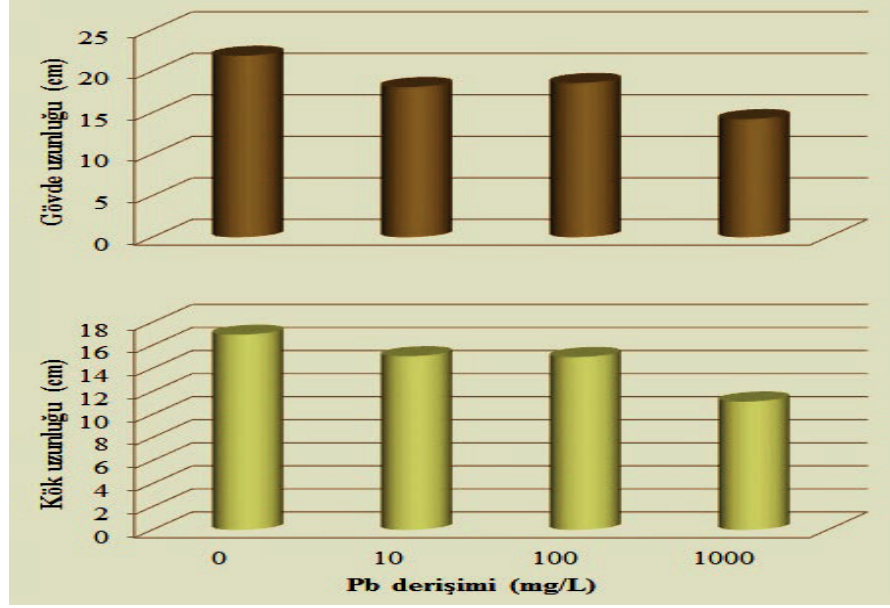
uygulamanın ikinci gününde kontrole göre sırasıyla % 2.96, % 6.09 ve % 9.28 oranlarında daha az olduğu; bu değerlerin uygulamanın onuncu günü için sırasıyla, % 10.77, % 12.85 ve % 16.24 olarak tespit edildiği rapor edilmiştir (Zengin ve Munzuroğlu, 2004).

Bulgularımıza göre Pb etkisinde yetiştirilen yerbıstığı fidelerinin kök, gövde ve yaprak uzunlukları genelde artan Pb derişimiyle birlikte önemli düzeylerde azaldığı belirlenmiştir. Kurşun toksisitesinden dolayı büyümenin azalması Eun ve ark. (2000)'nın da rapor ettiği gibi Pb tarafından indüklenen hücre bölünmesinin bir inhibisyonundan kaynaklı olabilir. Bunun yanı sıra direk olarak fizyolojik olayların etkilenmesinin yanında, Pb tarafından indüklenen beslenme bozukluğunun da büyüme ve gelişme üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu düşünülmektedir.

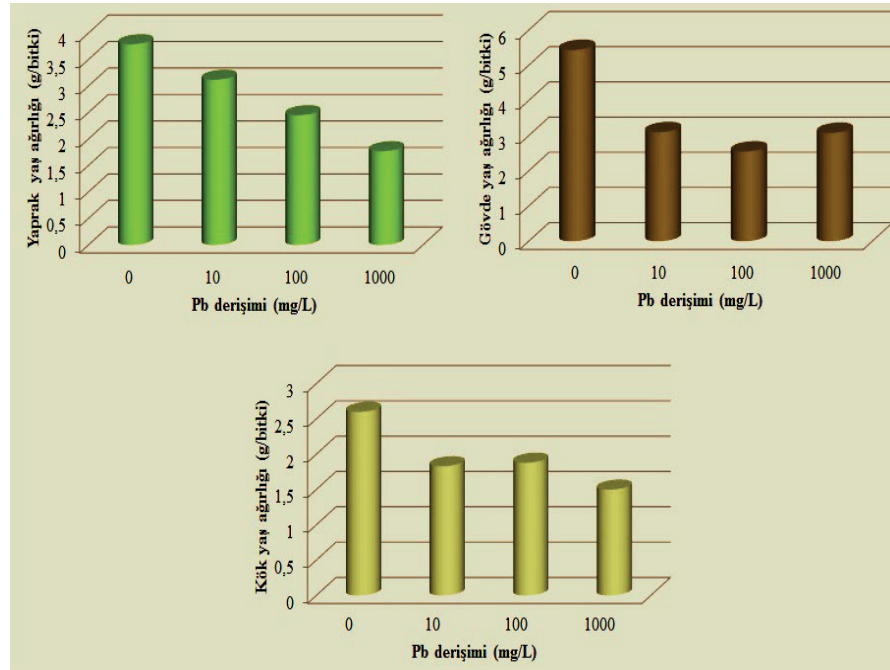
### 3.3. Ağırlık değişimleri

Kurşunun farklı derişimlerinin etkisinde sekiz gün yetiştirilen fidelerin uygulama periyodu sonundaki taze ağırlıkları Şekil 3'te verilmiştir. Köklerin taze ağırlıkları artan Pb derişimi ile birlikte azalmıştır. En fazla azalma kontrole göre % 42.3 (p<0.05) ile 1000 mg L<sup>-1</sup>'de hesaplanmıştır. Benzer şekilde gövde ve yapraklarında yaş ağırlıklarında da genelde artan derişimle birlikte azaldığı belirlenmiştir (Şekil 3).

Büyüme, ağırlık artışının bir göstergesi olarak bilinmektedir. Metal stresinin bitkilerde ağırlık artışı azalttığı birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Ouzounidou ve ark., 1997; Vitoria ve ark., 2001). Çolak ve Doğan (2011) tarafından



Şekil 2. Farklı Pb derişimlerinin etkisinde yetiştirilen yerfıstığı fide kök ve gövdelerinin gövde ve kök uzunluğu



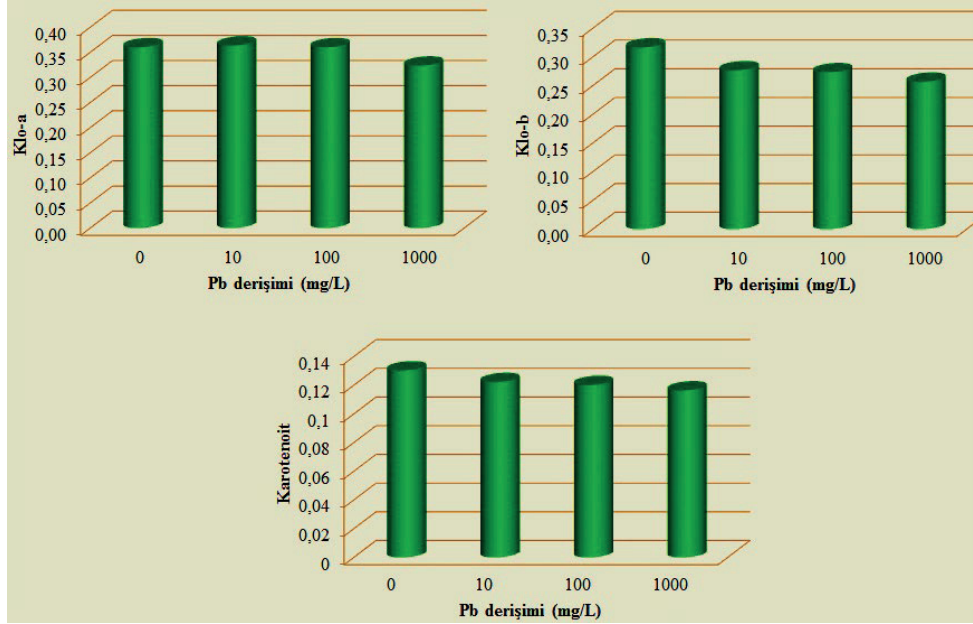
Şekil 3. Farklı Pb derişimlerinin etkisinde yetiştirilen yerfıstığı fidelerinin yaprak, gövde ve köklerinin taze ağırlık değişimleri

yapılan çalışmada, Pb uygulama süresi sonunda, ekmeclik buğdayın kontrol fidelerinin kök uzunluklarının, deney başlangıcına göre % 41.4'lük bir artış gösterdiği belirlenmiştir.

### 3.4. Yaprakların fotosentetik pigment miktarları

Kurşun derişimlerinin etkisinde yetiştirilen yerfıstığının yapraklarının klorofil-a, klorofil-b ve

toplam karotenoid miktarları Şekil 4'te verilmiştir. Bulgularımıza göre klorofil-a miktarları uygulanan Pb derişimiyle birlikte önemli bir değişim göstermemiştir ( $p>0.05$ ). Fide yapraklarının klorofil-a miktarlarının aksine, klorofil-b miktarları uygulanan Pb derişimleriyle birlikte önemli azalmalar göstermiştir. Bu azalmalar 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>'lik derişimlerde kontrole göre sırasıyla



Şekil 4. Kurşun etkisinde yetiştirilen yerfıstığı fide yapraklarının fotosentetik pigment miktarları

% 12.6 ( $p<0.05$ ), % 13.9 ( $p<0.05$ ) ve % 18.9 ( $p<0.05$ ) olmuştur. Benzer şekilde, karotenoid miktarları da uygulanan Pb derişimlerinden olumsuz yönde etkilenmiştir. Kurşunun 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>'lik derişimlerdeki karotenoid miktarları kontrole göre sırasıyla % 6.2 ( $p<0.05$ ), % 7.7 ( $p<0.05$ ) ve % 10.8 ( $p<0.05$ ) düzeylerinde azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4). Bu azalma, Van Assche ve Clijsters (1990) tarafından da rapor edildiği gibi, klorofil biyosentezinin engellenmesinin bir sonucu olabilir. Bitkiler ağır metal iyonlarının etkisine bırakıldıktan sonra izole edilen klorofillerde yapılan çalışmada; klorofilin merkezinde yer alan magnezyumun Pb gibi ağır metallerle yer değiştirdiği bulunmuştur (Kupper ve ark., 1996). Bu durum da klorofil pigmentinin azalmasının bir nedeni olabilir. Kurşunun klorofil sentezini engellediği ve klorofil miktarlarında azalmaların olduğu bazı çalışmalarda (Miranda ve Ilangovan, 1996, Doğan ve ark., 2009; Çolak ve Doğan, 2011) da rapor edilmiştir.

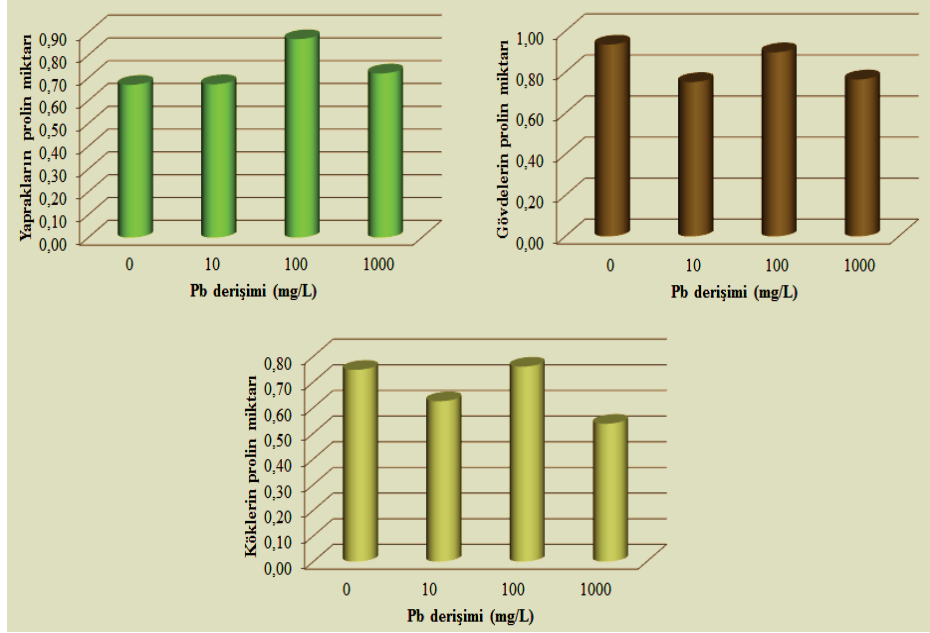
### 3.5. Kök, gövde ve yaprakların prolin miktarları

Kurşun derişimlerinin etkisinde yetiştirilen yerfıstığı fidelerinin kök, gövde ve yapraklarının prolin miktarları Şekil 5'te verilmiştir. Fidelerin kök, gövde ve yapraklarının prolin miktarları Pb toksisitesine göre değişkenlik gösterdiği; kök ve gövdelerin prolin miktarları kurşun stresinde genelde azalmalar göstermiş, yaprakların prolin miktarları ise 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup> Pb etkisinde yaklaşık 1.004 ( $p>0.05$ ), 1.299 ( $p<0.05$ ) ve 1.075 ( $p>0.05$ ) kat arttığı belirlenmiştir (Şekil 5).

Biyotik ve abiyotik stres koşullarında bitkilerde prolin akümülyasyonlarının stimüle edilebildiği belirtilmiştir (Hare ve Cress, 1997). Bitkilerin büyük bir çoğunluğu bu streslerden dolayı prolin konsantrasyonlarını normal seviyelerinden 100 kat arttırabildikleri belirtilmiştir (Aziz ve ark., 1998). Sucul ve karasal bitkilerde metal stresinde prolin artışlarının olduğu belirtilmiştir. Kadmiyum stresli koşullarda denenen *Ceratophyllum demersum*'un prolin miktarlarında Cd derişimi ile birlikte artışlar olduğu bulunmuş; bu makrofitin 0.01, 0.1 ve 1 mg L<sup>-1</sup>'lik Cd derişimlerdeki prolin miktarındaki artışların kontrole göre sırasıyla % 15.9 ( $p>0.05$ ), % 53.3 ( $p<0.01$ ) ve % 35.7 ( $p<0.05$ ) olduğu bulunmuştur (Doğan ve Demirörs Saygıdeğer, 2009). Doğan ve Çolak (2009) Pb etkisinde buğday fidelerinde prolin miktarlarında artışların olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle yaprakların prolin miktarlarında artışlar olmuştur. Ağır metal stresinde prolinin, proteinlerin denaturasyonunda, hücre içi pH ve NAD(P)<sup>+</sup>/NAD(P)H oranlarının düzenlenmesinde, karbon ve azot kaynağı olarak kullanılmasında ve reaktif oksijen türlerinin ortadan kaldırılmasında görev alabileceği belirtilmiştir (Sharmila ve Pardha Saradhi, 2002). Yukarıdaki nedenler dikkate alındığında, kurşun toksisitesindeki yerfıstığı fidelerindeki prolin miktarlarında artışların olmasını açıklayabilir.

### 3.6. Kök, gövde ve yapraklarda lipit peroksidasyonu

Kurşun stresinde yetiştirilen yerfıstığı fidelerinin lipit peroksidasyon düzeylerini



Şekil 5. Kurşun etkisinde yetiştirilen yerfıstığı kök, gövde ve yapraklarının prolin miktarları (µmol g<sup>-1</sup> taze ağırlık)

belirlemek için, malondialdehit (MDA) analizi yapılmıştır. Kurşun stresinde kök, gövde ve yaprakların MDA miktarlarında artışlar olmuştur. Buna göre kurşunun 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>'lik derişimlerinde kök MDA miktarları kontrole göre sırasıyla 1.21, 1.48 ve 2.52 kat artmıştır (p<0.05). Aynı derişimlerin etkisinde, gövdelerin MDA miktarları kontrole göre 1.17, 1.40 ve 1.186 kat arttığı belirlenmiştir. Benzer şekilde 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup> Pb etkisindeki yaprakların MDA miktarları da kontrole göre sırasıyla 1.25, 1.46 ve 1.93 kat artışlar göstermiştir (Şekil 6). Bu sonuçlar bize artan Pb derişimleri ile birlikte yerfıstığı hücre membranlarında lipid peroksidasyonunun oluştuğunu göstermektedir.

Abiyotik ve biyotik stres altında bitkilerde membran lipidleri kalitatif ve kantitatif olarak modifiye olurlar (Kuiper, 1985). Ayrıca lipidlerde peroksidasyona biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin sebep olduğu belirtilmiştir (Rama Devi ve Prasad, 2004). Reaktif oksijen türlerinin tetiklenmesi sonucunda oluşan oksidatif stres bitkilerde kurşunun neden olduğu olumsuz etkilerden biridir. Lipit peroksidasyon düzeylerini belirlemek için tercih edilen parametrelerden biri de malondialdehit (MDA) düzeyinin tespitidir. Uygulanan Pb derişimlerinin yerfıstığı fidelerinin membranlarında hasara neden olduğu analiz edilen MDA miktarlarındaki artıştan anlaşılmaktadır. MDA miktarlarında önemli düzeylerdeki bu artışların nedeni membranlarda Pb stresi sonucu oluşan serbest radikallerin meydana getirdiği hasar olabilir.

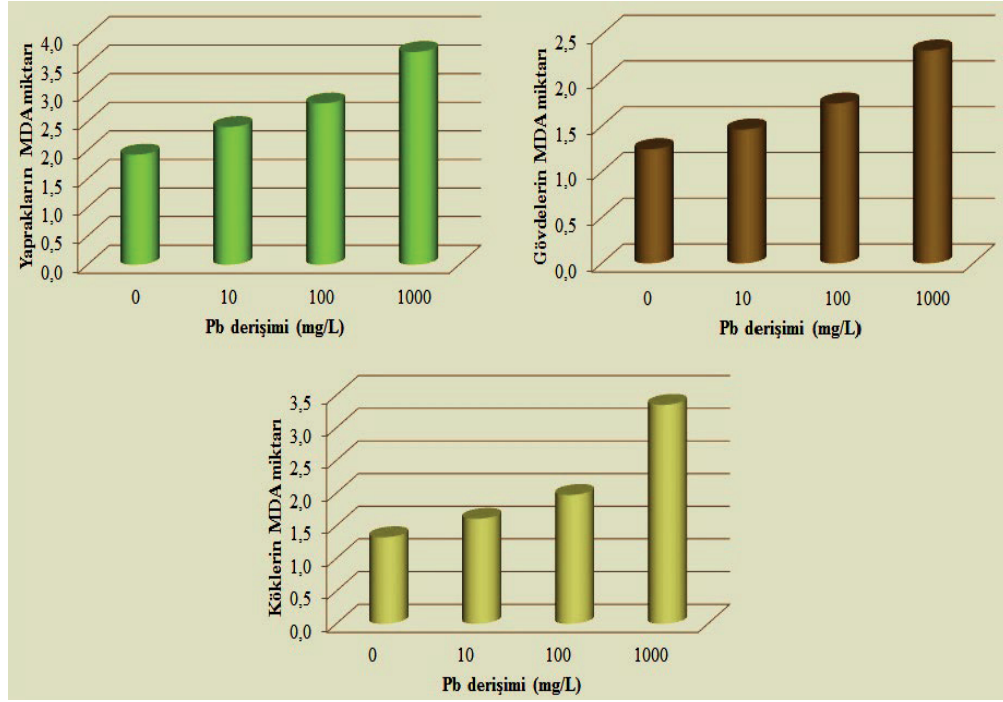
### 3.7. Kök, gövde ve yaprakların protein miktarları

Yerfıstığı fidelerinin protein miktarları Şekil 7'de verilmiştir. Kurşunun 10 mg L<sup>-1</sup> derişiminde yetiştirilen fide köklerinin protein miktarı kontrole göre % 8.2 (p<0.05) düzeyinde artmışken, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>'lik derişimlerinde ise % 11.7 (p<0.05) ve % 15.9 (p<0.05) düzeylerinde azalmıştır. Gövde ve yaprakların protein miktarları ise artan Pb derişimi ile birlikte azalmıştır. Kurşunun 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>'lik derişimlerinde gövdelerdeki bu azalmalar kontrole göre sırasıyla % 1.63 (p>0.05), % 22.64 (p<0.05) ve % 32.53 (p<0.05) olmuştur. Yaprakların protein miktarları da aynı derişimlerde % 0.85 (p>0.05), % 12.2 (p<0.05) ve % 22.2 (p<0.05) düzeylerinde azaldığı belirlenmiştir (Şekil 7).

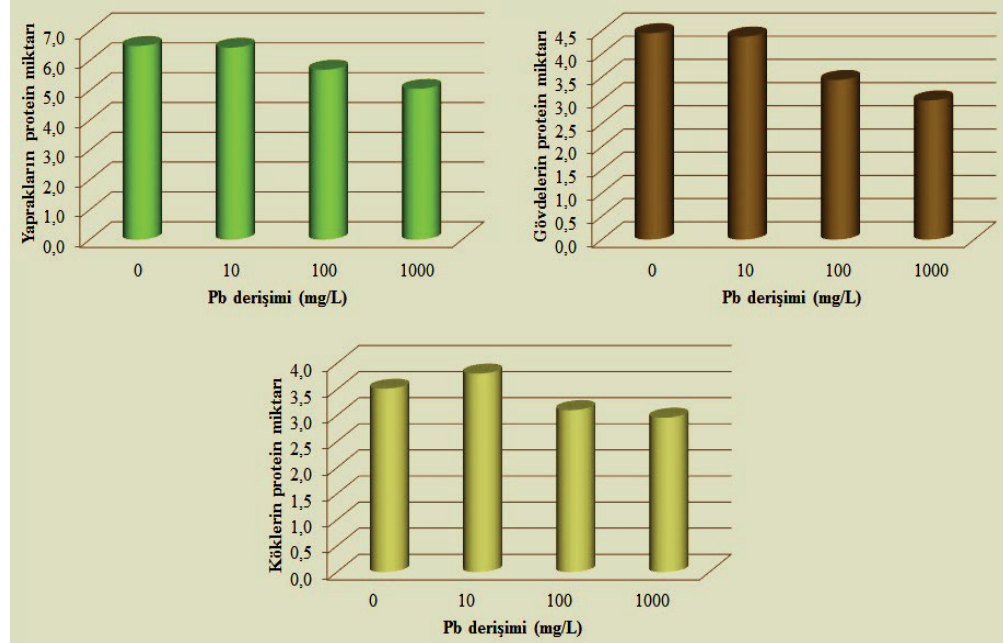
Bu durum, toplam proteinlerdeki kalitatif ve kantitatif değişimlerin ayrıntılı bir şekilde analizini gerektirmekle birlikte, genelde kurşunun bitkideki protein sentezini engellemesinde ya da oksidatif streste üretilen reaktif oksijen türlerinin tetiklediği proteolisizten kaynaklanmış olabilir (Nagoor, 1999).

### 3.8. Kök, gövde ve yaprakların Pb derişimi

Farklı Pb derişimlerinin etkisinde yetiştirilen yerfıstığı fidelerinin kök, gövde ve yapraklarının Pb konsantrasyonu Pb standartları ile absorbanlarına ait regresyon denkleminde hesaplanmıştır. Fidelerin kök, gövde ve yaprakların Pb derişimleri uygulanan Pb derişimleriyle birlikte artmıştır.



Şekil 6. Kurşun etkisinde yetiştirilen yerfıstığı kök, gövde ve yapraklarının malondialdehit (MDA) miktarları ( $\mu\text{mol g}^{-1}$  taze ağırlık)



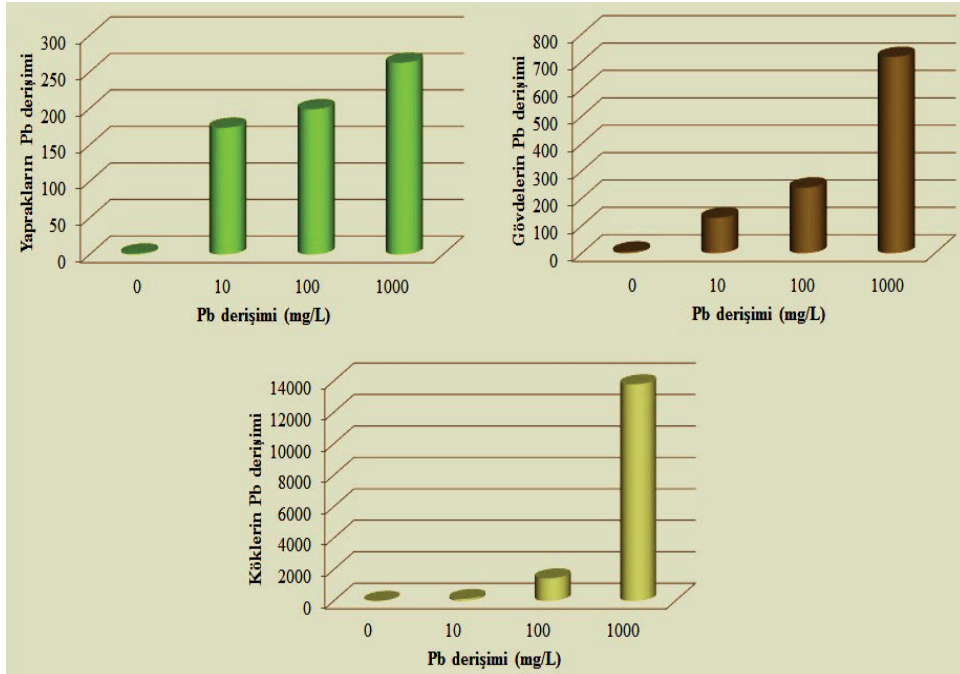
Şekil 7. Kurşun etkisinde yetiştirilen yerfıstığı kök, gövde ve yapraklarının protein miktarları ( $\text{mg g}^{-1}$  taze ağırlık)

Yaprakların Pb konsantrasyonu 10, 100 ve 1000  $\text{mg L}^{-1}$  Pb etkisinde kontrole göre sırasıyla 144.6 ( $p<0.05$ ), 165.7 ( $p<0.05$ ) ve 218.8 ( $p<0.05$ ) kat arttığı belirlenmiştir. Gövdelerin Pb miktarı 10, 100 ve 1000  $\text{mg L}^{-1}$ 'lik derişimlerde kontrole göre 22.4 ( $p<0.05$ ), 41.4 ( $p<0.05$ ) ve 123.6 ( $p<0.05$ ) kat artmıştır. Benzer şekilde köklerin de aynı

derişimlerin etkisinde Pb konsantrasyonu kontrole göre 14.0 ( $p>0.05$ ), 150.4 ( $p<0.05$ ) ve 1436.6 ( $p<0.05$ ) kat arttığı hesaplanmıştır (Şekil 8).

Bitkiler, Pb ile kontamine olmuş çözeltilerden aldıkları kurşunun önemli bir miktarını köklerinde tuttukları, toprak üstü organlara taşınmasını ise





Şekil 8. Farklı Pb derişimlerinin etkisinde yetiştirilen yerfıstığı fidelerinin yaprak, gövde ve köklerinin Pb derişimleri (mg kg<sup>-1</sup> kuru ağırlık)

sınırladıkları rapor edilmiştir (Lane ve Martin, 1977). Buğday çeşitlerinden Balcalı-85 ve C-1252 çeşitleri ile yapılan araştırmada, bitkilerin köklerinin yeşil aksamlarına kıyasla daha yüksek konsantrasyonlarda metal biriktirdikleri bulunmuştur (Öztürk ve ark., 2003). Çeltik bitkisi 10 ve 20 günlük periyodlarla yetiştirilerek, 500 ve 1000  $\mu\text{M}$   $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  uygulanması yapılmış ve deneme sonunda bitkilerde sürgün büyümesi % 25, kök büyümesi % 22-42 oranında azalmıştır. Aynı çalışmada kurşunun köklerde sürgünlere oranla absorbe edilen miktarı 1.7-3.3 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Verma ve Dubey, 2003).

Yerfıstığı fidelerinin kök, gövde ve yapraklarının Pb derişimleri uygulanan Pb derişimiyle birlikte önemli düzeylerde artmıştır. En yüksek Pb derişimleri, literatür bilgilerinde de verildiği gibi köklerde bulunmuştur. Genel manada köklerden sonra en yüksek Pb derişimlerinin gövdelerde, en az ise yapraklarda olduğu belirlenmiştir.

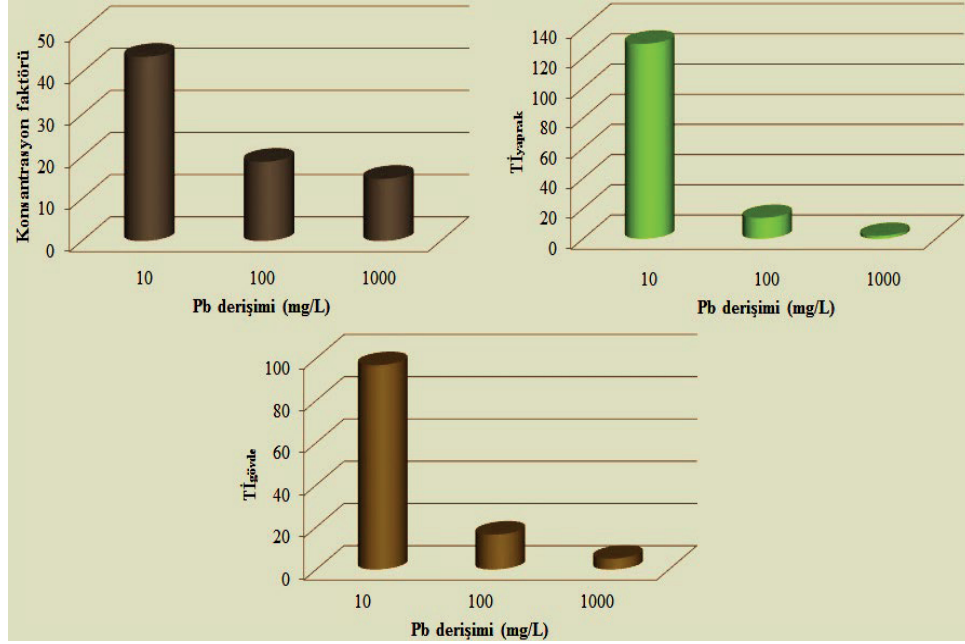
### 3.9. Konsantrasyon faktörleri ve transport indeksleri

Kurşun etkisinde yetiştirilen yerfıstığı fidelerinin konsantrasyon faktörleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Konsantrasyon faktörü fidelerdeki Pb konsantrasyonu, uygulanan Pb derişimine bölünmesiyle belirlenmiştir. Araştırmada 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>lik derişimlerdeki fidelerin

konsantrasyon faktörleri sırasıyla 43.75, 18.83 ve 17.77 olduğu hesaplanmıştır. Buna göre 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>lik derişimlerdeki yaprakların transport indeksleri sırasıyla 129.3, 13.8 ve 1.9 olduğu hesaplanmıştır. Yapraklarda olduğu gibi gövdelerde de artan Pb derişimiyle birlikte gövdeye transport düzeyi de azalmıştır. Fide gövdelerine 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>lik derişimlerdeki transport indeksleri ise sırasıyla 96.8, 16.6 ve 5.2 olduğu hesaplanmıştır (Şekil 9).

Konsantrasyon faktörü bitkilerin metal akümülyasyon kapasitelerini belirlemek için kullanılmaktadır. Buna göre yerfıstığı fidelerinin konsantrasyon faktörleri uygulanan Pb derişimiyle birlikte azalmıştır. Benzer olarak, kurşunun gövde ve yapraklara taşınımı da, konsantrasyon faktörlerinde olduğu gibi artan Pb derişimiyle birlikte azalmıştır.

Ekmeklik buğday çeşitlerinin köklerinde yeşil aksamalarına göre oldukça yüksek derişimlerde Pb biriktirdikleri belirlenmiştir. Tosunbey buğday çeşidinin 10 ve 100 mg L<sup>-1</sup>lik derişimlerinde köklerindeki Pb derişimleri yeşil aksamalarına göre sırasıyla 30.1 ve 13.8 kat fazla olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Ceyhan 99 ekmeklik çeşidinde 10 ve 100 mg L<sup>-1</sup>lik derişimlerinde köklerindeki Pb derişimleri yeşil aksamalarına göre sırasıyla 9.5 ve 5.8 kat fazla olduğu rapor edilmiştir. Buğday çeşitleri kıyaslandığında Ceyhan 99'un Tosunbey'e göre kök ve yeşil aksamalarında yüksek



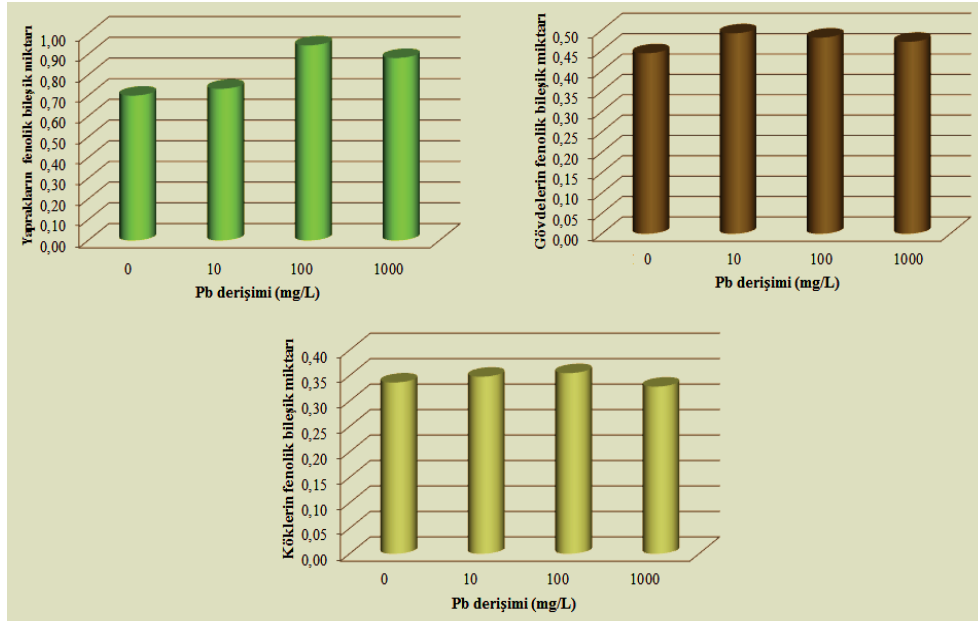
Şekil 9. Kurşun etkisinde yetiştirilen yerfıstığı fidelerinin konsantrasyon faktörleri ile kurşunun yaprak ve gövdelere transport indeksleri

derişimde daha fazla Pb biriktirdiği belirlenmiştir (Çolak ve Doğan, 2011).

### 3.10. Kök, gövde ve yaprakların fenolik bileşik miktarları

Yerfıstığı fidelerinin fenolik bileşik miktarları Şekil 10'da verilmiştir. Bulgularımıza göre,

köklerin fenolik bileşik miktarları 10 ve 100 mg L<sup>-1</sup> derişimlerde kontrole göre önemsiz olarak artmışken ( $p>0.05$ ), 1000 mg L<sup>-1</sup> derişiminde ise önemli azalma olmuştur ( $p<0.05$ ). Gövdelerin fenolik bileşik miktarları 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>'lik Pb derişimlerinde kontrole göre % 11.0 ( $p<0.05$ ), % 8.7 ( $p<0.05$ ) ve % 6.3 ( $p<0.05$ ) düzeylerinde



Şekil 10. Kurşun etkisinde yetiştirilen yerfıstığı kök, gövde ve yapraklarının fenolik bileşik miktarları (mg g<sup>-1</sup> taze ağırlık)

azalmıştır. Yine aynı derişimlerin etkisindeki fide yapraklarının fenolik bileşikleri ise kontrole göre % 4.7 ( $p>0.05$ ), % 34.7 ( $p<0.05$ ) ve % 26.0 ( $p<0.05$ ) düzeylerinde azaldığı belirlenmiştir (Şekil 10).

Fenoller biyotik ve abiyotik stres faktörlerine cevapta rol oynayan bileşiklerden olduğu bilinmektedir (Ruiz ve Romero, 2001). Bulgularımıza göre buğday çeşitlerinin fenolik bileşik miktarlarında Pb etkisinde değiştiği bulunmuştur. Bulgularımıza göre, köklerin fenolik bileşik miktarları 10 ve 100 mg L<sup>-1</sup> derişimlerde kontrole göre önemsiz olarak artmışken, 1000 mg L<sup>-1</sup> derişiminde ise önemli azalma olmuştur. Gövde ve yaprakların fenolik bileşik miktarları ise 10, 100 ve 1000 mg L<sup>-1</sup>'lik Pb derişimlerinde kontrole göre artışlar göstermiştir. Öncel ve ark. (2000) toksisitesinde fenoliklerin akümülyasyonunu metalin toksisitesine bağlamıştır. Craft ve Audia (1962) ise metal toksisitesinin dokularda meydana gelen hasardan kaynaklı olduğunu rapor edilmiştir. Tosunbey çeşidinin kök ve yeşil aksamlarındaki fenolik bileşiklerin azalmasının nedeni de fenoliklerin sentezinin inhibisyonu veya reaktif oksijen türlerinin indüklediği polimerizasyon olabileceği belirtilmiştir (Lavid ve ark., 2001; Çolak, 2009).

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma sonucunda; yerfıstığı fidelerinde düşük kurşun derişiminin dikkate değer bir etki meydana getirmediği ancak, yüksek kurşun derişiminin yerfıstığı fidelerinde morfolojik ve fizyolojik değişimlere neden olduğu saptanmıştır. Özellikle 1000 mg L<sup>-1</sup>'lik Pb derişiminin bitkilerde toksik etki yaptığı, bitkide morfolojik ve fizyolojik değişimler sonucunda büyüme ve gelişmede gerilemeye sebep olduğu tespit edilmiştir.

#### Kaynaklar

- Anonim, 2019. Bitkisel Üretim İstatistikleri. (<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>), (Erişim tarihi: 08.10.2019).
- Asri, F.Ö., Sönmez, S., 2006. Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. *Derim*, 23(2): 36-45.
- Aziz, A., Martin-Tanguy, J., Larher, F., 1998. Stress-induced changes in polyamine and tyramine levels can regulate proline accumulation in tomato leaf discs treated with sodium chloride. *Physiology Plant*, 104: 195-202.
- Azmat, R., Haider, S., Askari, S., 2006. Effect of Pb on germination, growth, morphology and histomorphology of Phaseolus mungo and Lens culinaris. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9(5): 979-984.
- Balsberg Pahlsson, A.M., 1989. Toxicity of heavys (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. *Water, Air and Soil Pollution*, 47: 287-319.
- Bates, L.S., Waldren S.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water- stress studies. *Plant Soil*, 39: 205-208.
- Batır, M.B., 2014. Kurşun (Pb) ve bakır (Cu) ağır metal stresi uygulanan enginar (*Cynara scolymus* L.) tohumlarının fidelerinde oluşan DNA değişikliklerinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Bazzaz, M.B., Govindjee, C., 1974. Effect of lead chloride on chloroplast reaction. *Environmental Letters*, 3(6): 175-191.
- Braz, J., 2005. Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17: 145-146.
- Breckle, S.W., 1991. Growth under heavy metals. In: Y. Waisel (Ed.), *Plant roots: The hidden half*. 3rd Edn., New York, NY: Marcel Dekker, pp. 351-373.
- Burton, K.W., Morgan, E., Roig, A., 1984. The influence of heavy metals on the growth of sitka-spruce in South Wales forests. *Plant and Soil*, 78: 271-282.
- Craft, C.C., Audia, W.V., 1962. Phenolic substances associated with wound-barrier formation in vegetables. *Botanical Gazette*, 123: 211-219.
- Çolak, U., Doğan, M., 2011. Kurşun uygulamasının *Triticum aestivum* L. cv. Ceyhan-99'daki bazı fizyolojik etkileri. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4(2): 49-53.
- Dere, S., 2017. The effect of lead pollution on agricultural production and human health. *International Conference on Agriculture, Forest, Food, Food Sciences and Technologies*, 15-17 May, Nevşehir, s. 28.
- Dere, S., 2019. Kurşun kirliliğinin tarımsal üretime etkileri. *Ejns International Journal on Mathematics, Engineering & Natural Sciences*, 3(12): 108-118.
- Doğan, M., Çolak, U., 2009. *Triticum aestivum* L. cv. Tosunbey'e uygulanan kurşunun bazı fizyolojik özelliklere etkisi. *Ekoloji*, 19(73): 98-104.
- Doğan, M., Demirörs Saygıdeğer, S., 2009. Kadmiyumun *Ceratophyllum demersum* L. üzerindeki fizyolojik ve morfolojik etkileri, *Ekoloji*, 18(7): 57-64.
- Doğan M., Demirörs Saygıdeğer, S., Çolak, U., 2009. Effect of lead toxicity on aquatic macrophyte *Elodea canadensis* Michx. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83(2): 249-254.
- Eichhorn, G.L., Butzow, J.J., Shin, Y.A., 1985. Some effects of metal ions on DNA structure and genetic information transfer. *Journal of Biosciences*, 8(3-4): 527-535.
- Eun, S.O., Youn, H.S., Lee, Y., 2000. Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of *Zea mays*. *Physiology Plant*, 110(3): 357-365
- Fargasova, A., 1994. Effect of Pb, Cd, Hg, As and Cr on germination and root growth of *Sinapis alba* seeds.

- Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 52: 452-456.
- Ghosh, M., Singh, S.P., 2005. Comparative uptake and phytoextraction study of soil induced chromium by accumulator and high biomass weed species. *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(2): 67-79.
- Goldbold, D.L., Kettner, C., 1991. Lead influences root growth and mineral nutrition of *Picea abies* seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 139(1): 95-99.
- Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö., Çobanoğlu, D., 2004. Ağır metal iyonlarının ( $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Hg}^{+2}$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ ) *Clivia* sp. bitkisi polenlerinin çimlenmesi ve tüp büyümesi üzerine etkileri. *Fırat Üniversitesi Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi*, 16(2): 177-182.
- Hare, P.D., Cress, W.A., 1997. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulation*, 21: 79-102.
- Henssler, H., Gospage, S., 1987. The exhaust emission standards of the European community. *SAE Transactions*, 96(7): 69-83.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 1984. Trace element in the soil and plants. CRC Press, 3rd Edn., Boca Raton London New York Washington, D.C., pp. 331-331.
- Kennedy, C.D., Gonsalves, F.A.N., 1989. The action of divalent Zn, Cd, Hg, Cu and Pb ions on the ATPase activity of a plasma membrane fraction isolated from roots of *Zea mays*. *Plant and Soil*, 117(2): 167-175.
- Keser, G., 2005. *Nasturtium officinale* R. Br.'de kurşunun strese bağlı enzimlerin aktivitelere, gelişmeye, mineral ve klorofil içeriğine etkileri. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kıran, Y., Munzuroğlu, Ö., 2004. Mercimek (*Lens culinaris* Medik.) tohumlarının çimlenmesi ve fide büyümesi üzerine kurşunun etkileri. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1): 1-9.
- 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. *Gazi University Journal of Science*, 18(1): 17-25.
- Kieffer, P., Dommès, J., Hoffmann, L., Hausman, J.F., Renault, J., 2008. Quantitative changes in protein expression of cadmium-exposed poplar plants. *Proteomics*, 8(12): 2514-2530.
- Kopittke, P.M., Asher, C.J., Blamey, F.P.C., Menzies, N.W., 2007. Toxic effects of  $\text{Pb}^{+2}$  on the growth and mineral nutrition of signal grass (*Brachiaria decumbens*) and Rhodes grass (*Chloris gayana*). *Plant and Soil*, 300(1-2): 127-136.
- Kuiper, P.J.C., 1985. Lipid metabolism of higher plants as a factor in environmental adaptation. In: P.A. Siegenthaler (Ed.), *Structure, function and metabolism of plant lipids*, 9rd Edn., Elsevier, Amsterdam, pp. 525-530.
- Kupper, H., Kupper, F., Spiller, M., 1996. Environmental relevance of heavy metal- substituted chlorophylls using the example of water plants. *Journal of Experimental Botany*, 47(295): 259-266.
- Lane, S.D., Martin, E.S., 1977. A histochemical investigation of lead uptake in *Raphanus sativus*. *New Phytologist*, 79: 281-286
- Lavid, N., Schwartz, A., Tel Yarden, O., Tel-Or. E., 2001. The involvement of polyphenols and peroxidase activities in heavy-metal accumulation by epidermal glands of the waterlily (Nymphaeaceae). *Planta*, 212(3): 323-331.
- Lichtenthaler, H.K., Wellburn A.R., 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5): 591-592.
- Lindberg, R.A., Quinn, A.M., Hunter, T., 1992. Dual-specificity protein kinases: Will any hydroxyl do? *Trends in Biochemical Sciences*, 17(3): 114-119.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J. Farr, A.L., Randall, R.J., 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *The Journal of Biological Chemistry*, 193(1): 165-175.
- Marschner, H., 1995. Mineral nutrition of higher plants. Elsevier, 2nd Edn., Academic Press, London.
- Miles, C.D., Brandle, J.R., Daniel, D.J., Chuder, O., Schnare, P.O., Uhlick, D.J., 1972. Inhibition of photosystem II isolated chloroplast by lead. *Plant Physiology*, 49(5): 820-825.
- Miranda, M.G., Ilangovan, K., 1996. Uptake of lead by *Lemna gibba* L. influence on specific growth rate and basic biochemical changes. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 56: 1000-1007.
- Nagoor, S., 1999. Physiological and biochemical responses of cereal seedlings to graded levels of heavy metals. II. Effects on protein metabolism in maize seedlings. *Advances in Plant Sciences*, 12: 425-433.
- Nriagu, O.J., 1992. Toxic metal pollution in Africa. *The Science of the Total Environment*, 121: 1-37.
- Nwosu, J.U., Harding, A.K., Linder, G., 1995. Cadmium and lead uptake by edible crops grown in a silt loam soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 54(44): 570-578.
- Obroucheva, N.V., Bystrova, E.I., Ivanov, V.B., Anupova, O.V., Seregin, I.V., 1998. Root growth responses to lead in young maize seedlings. *Plant and Soil*, 200: 55-61.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., Pehlivan, M., 2009. Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. *Alinteri*, 1(B): 14-26.
- Ouzounidou, G., Moustakas, M., Eleftheriou, E.P., 1997. Physiological and ultrastructural effects of cadmium on wheat (*Triticum aestivum*) leaves. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 32: 154-160.
- 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(3): 315-320.
- Öztürk, L., Eker, S., Özkutlu, F., 2003. Effect of cadmium on growth and concentrations of cadmium, ascorbic acid and sulphhydryl groups in durum wheat

- cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27: 161-168.
- Ozyazici, M.A., Dengiz, O., Ozyazici, G., 2017. Spatial distribution of heavy metals density in cultivated soils of Central and East Parts of Black Sea Region in Turkey. *Eurasian Journal of Soil Science*, 6(3): 197-205.
- Parys, E., Romanowska, E., Siedlecka, M., Poskuta, J., 1998. The effect of lead on photosynthesis and respiration in detached leaves and in mesophyll protoplasts of *Pisum sativum*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 20(3): 313-322.
- Rama Devi, S., Prasad, M.N.V., 2004. Membrane lipid alterations in heavy metal exposed plant. In: M.N.V. Prasad (Ed.), *Heavy Metal Stres in Plants, from Molecules to Ecosystems*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 99-116.
- Ratkevicius, N., Correa, J.A., Moenne, A., 2003. Copper accumulation, synthesis of ascorbate and activation of ascorbate peroxidase in *Enteromorpha compressa* (L.) Grev. (*Chlorophyta*) from heavy metal-enriched environments in Northern Chile. *Plant Cell Environment*, 26(10): 1599-1608.
- Rolfe, G.L., Bazzaz, F.A., 1975. Effect of lead contamination on transpiration and photosynthesis of loblolly pine and Autumn olive. *Forest Science*, 21(1): 33-35.
- Ruiz, J.M., Romero, L., 2001. Bioactivity of the phenolic compounds in higher plants. *Studies in Natural Products Chemistry*, 25: 651-681.
- Ruiz-Jimenez, J., Luque-Garcia, J.L., Luque De Castro, M.D., 2003. Dynamic ultrasound-assisted extraction of cadmium and lead from plants prior to electrothermal atomic absorption spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 480(2): 231-237.
- Salunkhe, D.K., Chavan, J.K., Adsule, R.N., Kadam, S.S., 1992. World oilseeds. *Chemistry, technology and utilization*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Sawidis, T., Marnasidis, A., Zachariadis, G., Stratis, J., 1995. A study of air pollution with heavy metals in Thessaloniki city (Greece) using trees as biological indicators. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 28(1): 118-124.
- Sharmila, P., Pardha Saradhi, P., 2002. Proline accumulation in heavy metal stressed plants: An adaptive strategy. In: M.N.V. Prasad (Ed.), *Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants*, Springer, Dordrecht, Kluwer, pp. 179-199.
- Singh, R.P., Tripathi, R.D., Sinha, S.K., Maheshwari, R., Srivastava, H.S., 1997. Response of higher plants to lead contaminated environment. *Chemosphere*, 34(11): 2467-2493.
- Spona, K.D., Baum, B., 1993. Untersuchungen zur pflanzenverfolgbarkeit von blei, cadmium, kupfer und zink auf kontaminierten böden den in einem industriellen ballungsgebiet. In: U. Radtke (Ed.), *Schwermetalle, Dusseldorfer Geographische Schriften*, Düsseldorf, pp. 203-222.
- Suchoszek-Lukaniuk, K., Jaromin, A., Korycinska, M., Kozubek, A., 2011. Health benefits of peanut (*Arachis hypogaea* L.) seeds and peanut oil consumption. In: V.R. Preedy (Ed.), *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*, (1rd Edn.), Academic Press, UK, pp. 873-880.
- Symeonidis, L., Karataglis, S., 1992. The effect of lead and zinc on plant growth and chlorophyll content of *Holcus lanatus* L. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 168(2): 108-112.
- Terzi, H., Yıldız, M., 2013. Bitkilerde ağır metal toksisitesi: proteomik yaklaşım. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(021001): 1-21.
- Van Assche, F., Clijsters, H., 1990. Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant Cell and Environment*, 13(3): 195-206.
- Verma, S., Dubey, R.S., 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science*, 164(4): 645-655.
- Vitoria, A.P., Lea, P.J., Azevedo, R.A., 2001. Antioxidant enzymes responses to cadmium in radish tissues. *Phytochemistry*, 57(5): 701-710.
- Xiong, Z.T., 1998. Lead uptake and effects on seed germination and plant growth in a Pb hyperaccumulator *Brassica pekinensis* Rupr. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 60(2): 285-291.
- Zayed, A., Gowthaman, S., Terry, N., 1998. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: I. Duckweed. *Journal of Environmental Quality*, 27(3): 715-721.
- Zengin, F.K., Munzuroğlu, Ö., 2004. Effects of lead (Pb<sup>++</sup>) and copper (Cu<sup>++</sup>) on the growth of root, shoot and leaf of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(3): 1-10.
- Zhou, Q., 2001. The measurement of malondialdehyde in plants. In: Q. Zhou (Ed.), *Methods in Plant Physiology*, China Agricultural Press, Beijing, pp. 173-174.