

Geliş Tarihi : 07.07.2005

## Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) Kök, Gövde ve Yaprak Büyümesi Üzerine Nikel ( $Ni^{+2}$ ) ve Krom'un ( $Cr^{+3}$ )' un Etkileri

Fikriye KIRBAĞ ZENGİN<sup>(1)</sup>

**Özet:** Bu çalışmada fasulye fidelerinin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine nikel ( $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ ) ve krom ( $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ )'un etkileri araştırılmıştır. Çalışmada bir haftalık fasulye fideleri kullanılmıştır. Her iki metalinde klor tuzu kullanılmıştır. Ağır metal solüsyonları saf suyla hazırlanmıştır. Nikelin stok solüsyonundan ( $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ ) 0.5, 0.7, 1.0 mM ve kromun stok solüsyonundan ( $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ ) ise 0.5, 0.7, 1.0 mM konsantrasyonları hazırlanmıştır. Fideler on gün süreyle hoagland solüsyonuyla hazırlanmış nikel (0.1, 0.3, 0.5 mM) ve krom (0.5, 0.7, 1.0 mM) klorürün farklı konsantrasyonlarında büyümeye bırakılmıştır. Fidelerin her gün kök ve gövde uzunlukları ile yaprak alanları ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre her iki ağır metalin de fidelerin kök, gövde ve yaprak büyümesini önemli oranlarda engellediği tespit edilmiştir. Bu ağır metallerin konsantrasyonlarındaki artış ile kök, gövde ve yaprak büyümesinin inhibisyon oranı arasında bir paralellik görülmüştür. Fidelerin ağır metale maruz kalma süresinin uzaması kök, gövde ve yaprak büyümesindeki azalmanın daha fazla olmasına yol açmıştır. Ayrıca kök, gövde ve yaprak büyümesindeki azalışın ağır metalin çeşidi ve konsantrasyonu ile ilişkili olduğu görülmüştür. Nikel ve krom stresine kök büyümesinin daha duyarlı olduğu, bunu gövde ve yaprak büyümesinin takip ettiği belirlenmiştir. Bu iki ağır metalden nikelin kroma göre daha toksik olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar istatistik açıdan  $P < 0.05$  ve  $P < 0.01$  düzeylerinde anlamlı bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Büyüme, fasulye fideleri, krom, nikel

### Effects of Nickel ( $Ni^{2+}$ ) and Chromium ( $Cr^{3+}$ ) on the Growth of Root, Shoot and Leaf of Bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) Seedlings

**Abstract:** In this study, the negative effects of nickel ( $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ ) and chromium ( $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ ) treatments on the root shoot and leaf growth of the bean seedling were investigated. Also one week old bean seedlings were used. The chlorine salts of each two heavy metals were used. Heavy metal solution prepared with pure water. The stock solution of nickel was prepared at a concentration of 0.5, 0.7, 1.0 mM ( $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ ) and other stock solution had a concentration of 0.5, 0.7, 1.0 mM for chromium (0.5, 0.7, 1.0 mM). Seedlings were left in the nickel and chromium chloride in different concentration prepared with hoagland solution growing. The elongation of seedling root, shoot and area of leaves were measured daily. According to the obtained results, both heavy metals significantly prevented the growth of root, shoot and leaves of seedlings. A parallel correlation was observed between increases in the concentration of these heavy metals and inhibition of root, shoot and leaf growth. Extending of exposure time to heavy metals of seedling lead to decreasing of root, shoot and leaf growth. It was found that the decreases in the root shoot and leaf growth related with kind of the heavy metal and concentrations. It was determined that nickel and chromium stress is more sensitive the root growths, followed shoot and leaf growth, respectively. It was determined that each other nickel and chromium to compare, nickel had the highest toxic effect. The results were found to be meaningful significant ( $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ ).

**Key words:** Bean seedlings, chromium, grown, nickel

### Giriş

Ekosistemlerin toprak, su ve hava gibi cansız öğeleri başta insan olmak üzere bitki ve hayvanların etkileri ile kirlenmektedir. Ayrıca çeşitli doğa olayları bu kirlenmeyi artırmaktadır. 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren endüstri gelişimine paralel olarak artan kirlilik günümüzde bütün canlıları tehdit eder bir duruma gelmiştir. Bu tehdit ana üretici konumunda olan bitkiler üzerinde çok daha fazladır.

Çevre kirliliği konusunda en çok kullanılan terimlerden biri ağır metallerdir. Endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzoz gazları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda gübreleme ve ilaçlama gibi

pek çok etken ağır metal kirliliğinin nedenleri arasında yer alır.

Ağır metaller arasında yer alan Mn, Fe, Cu, Zn ve Ni gibi elementler yüksek bitkiler için gerekli besinlerdir (Nedelkoska ve Doran, 2000). Bakır ve çinko gibi ağır metallerin normal konsantrasyonları bitkilerin büyüme ve gelişmesinde önemli rol oynayan protein ve enzimlerin yapısı için gerekli kofaktör olarak görev alırlar (Moustakas ve ark., 1994). Mikrobeselementi olsun veya olmasın ağır metallerin bitkide aşırı birikimi fizyolojik strese, büyüme ve gelişmede azalmaya sebep olur (Phalsson, 1989). Bitki

<sup>(1)</sup> Fırat Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 23119 - ELAZIĞ

dokularında ağır metal birikimi fazla olursa mineral besin alımı (Ouzounidou ve ark., 1992), fotosentez (Lidon ve ark., 1993), enzim aktivitesi (Nussbaum ve ark., 1988), klorofil biyosentezi (Somashekaraiyah ve ark., 1992) ve çimlenme (Munzuroğlu ve Geckil, 2002) gibi çok sayıda olay olumsuz yönde etkilenir. Bunlara membranlarda hasar (Kennedy ve Gonsalves, 1987), hormon dengesinin bozulması, su ilişkisinin değişmesi gibi fizyolojik olaylar da eklenebilir.

Metallerin bitkilerdeki kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine önemli etkiler yaptığı çok sayıda çalışma ile belirlenmiştir. Kroma maruz bırakılan *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek. CO<sub>4</sub> bitkisinin kök ve gövde uzunluğu ile yaprak alanının kontrollere göre azaldığı bildirilmiştir (Shanker ve ark., 2004). Bakır ve nikelin *Pinus sylvestris* fidelerinin kök ve gövde büyümesini engellediği, klorozisin meydana geldiği, epiderma hücrelerinin ligninleşmesi sonucu kalınlaşarak kseromorf bir yapının ortaya çıkmasına neden olduğu belirlenmiştir (Kukkola ve ark., 2000). Dört bin µg Cu uygulanan 2 yıllık *Pinus resinosa* bitkilerinde solgunluk ve köklerde kahverengileşme olduğu, lateral kök gelişiminin engellendiği ve kontrollere göre ağırlıklarının %30 azaldığı rapor edilmiştir (Phalsson, 1989). dörtbin µg Cu uygulanan *Lonicera tatarica* fidelerinin ağırlıklarında kontrole göre %75 oranında azalma olmuştur (Heale ve Ormrod, 1982). Yüksek konsantrasyonda çinko katyonu bitkilerin kök uzamasını engellemiş (Sresty ve Madhova Rao, 1999) klorozis ve nekrozise sebep olmuştur (Delgado ve ark., 1993). Kadmiyumun nekrosise, krom ve çinkonun ise klorozise yol açtığı (Delgado ve ark., 1993) belirlenmiştir. *Phaseolus vulgaris* bitkisine 48 saat süreyle 3 µM Cd uygulanmış ve yaprak hücrelerinde genişlemenin engellendiği, hücre duvarı esnekliğinin azaldığı görülmüştür (Poschenrieder ve ark., 1989). Ağır metaller içerisinde sınıflandırılmayan, fakat bitkilerde önemli toksik etkileri olduğu bilinen alüminyumun hücre duvarındaki pektinin karboksil gruplarına bağlanarak hücre duvarının uzama yeteneğini ve esnekliğini azalttığı bildirilmiştir (Matsumoto ve ark., 1976).

Ağır metaller çok değişik kaynaklardan çevreye yayılmakta, toprak ve suyun kalitesini önemli oranlarda bozmaktadır. Plansız şehirleşme, artan trafik yoğunluğu, endüstriyel kuruluşlar gibi etmenler hem önemli tarım arazilerini ortadan kaldırmakta hem de etrafındaki tarım arazilerinde ve sularda ağır metal kirliliğine yol açmaktadır. Bu çalışmada fasulye (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) fidelerine klor tuzları şeklinde uygulanan nikel ve krom gibi ağır metal katyonlarının (NiCl<sub>2</sub> 6H<sub>2</sub>O ve CrCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O) kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu iki ağır metalin belirtilen parametreler açısından birbiriyle kıyası yapılarak toksiklik dereceleri tespit edilmiştir.

## Materyal ve Yöntem

### Materyalin temini

Bitkisel materyal olarak, fasulye (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) tohumlarının çimlendirilmesiyle geliştirilen fideler kullanılmıştır. Fasulye tohumları, Elazığ Tarım İl Müdürlüğü Çiftçi Eğitim ve Yetiştirme Şubesi'nden temin edilmiştir. Ağır metal olarak Merck firmasından sağlanan nikel (Ni<sup>+2</sup>) ve krom (Cr<sup>+3</sup>)'ın klor tuzları (NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O ve CrCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O) kullanılmıştır. Ağır metallerin stok solüsyonları pH'sı 6.8 olan musluk suyu ile hazırlanmıştır. Stok solüsyonların seyreltilmesi hoagland (SIGMA) çözeltisiyle yapılmıştır.

### Fidelerin Yetiştirilmesi ve Ağır Metal Uygulanması

Fidelerin yetiştirilmesi sırasında, ilk önce her bir ağır metal konsantrasyonu için 300 adet fasulye tohumu alınmıştır ve 2 dakika süreyle 0.001 M HgCl<sub>2</sub>'de bekletilerek steril edilmiştir (Sresty and Madhova Rao, 1999). Daha sonra 15-20 dakika saf su ile yıkanan tohumlar 500 ml lik bir behere konularak üzerine 250 ml musluk suyu ilave edilmiş ve 24-25 °C'lik karanlık ortamda 7 saat süreyle şişmeye bırakılmıştır. Bu sürenin sonunda şişme ortamından çıkarılan tohumlar, içerisine çift katlı filtre kağıdı döşenmiş ve 10 ml musluk suyu ile ıslatılmış 11 cm çapındaki petrilere her birine 10'ar adet gelecek şekilde ekilmiştir. Ekimden hemen sonra kapağı kapatılan petrilere 24-25°C'lik karanlık iklim dolabına kaldırılarak çimlenmeye bırakılmıştır. Bu arada içleri dere kumu ile doldurulan 13.5-14 cm çapında ve 13 cm derinliğinde plastik saksılar hazırlanmıştır. Dere kumu saksılara aktarılmadan önce elendi, çeşme suyu ile yıkandı ve içerisinde HCl bulunan küvetlerde 2 gün süreyle bekletilmiştir. Daha sonra iki defa çeşme suyu, 1 defa da saf su ile yıkandı ve 400°C'lik etüvde yakılmış, tüm organik maddelerden arındırılmıştır. Her bir ekim işleminde, önceki ekimden kalan kum birkaç defa çeşme suyu ve bir defa da saf su ile yıkandıktan sonra 150°C'de kurutulmuştur (Rovira, 1956).

Etüve kaldırıldıktan yaklaşık 55 saat sonra, çimlenmiş ve radikula uzunlukları 2-2.5 cm ye ulaşmış tohumlardan yukarıdaki saksılara ekim yapılmıştır. Ekim, her bir saksıya 8 adet çimlenmiş tohum gelecek şekilde planlanmıştır. Bundan sonra saksılar sera koşullarına alınarak fideler büyüme bırakılmıştır. Sera koşulları, ışık için 3500 lüx, sıcaklık için 24-25°C, fotoperiyot 16 saat ışık, 8 saat karanlık (uzun gün) olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu koşullarda bekletilen her saksı gün aşırı 50 ml musluk suyu ile sulanmıştır. Sera koşullarında büyümeye terk edilen bu fidelerden, tohumun ıslatılmasından itibaren başlayan zaman diliminin 5. gününde sağlıklı büyüme göstermeyenler elimine edilmiştir. Bu seleksiyondan 2 gün sonra, yani bir haftalık olan homojen görünüme sahip fideler alınarak ağır metal çözeltilerine konulmuştur. Bu işlem için önce nikelin (NiCl<sub>2</sub> 6H<sub>2</sub>O) 2 mM, kromun

(CrCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O) 20 mM stok çözeltileri hazırlanmıştır. Bu stok çözeltilerden nikel ve krom için sırasıyla 0.1, 0.3, 0.5 ve 0.5, 0.7, 1.0 mM konsantrasyonlarında çözeltiler elde edilmiştir. Bu konsantrasyonların belirlenmesinde elde edilen literatür bulguları (Moya, 1993; Ross, 1994) ve çok sayıda yapılan ön denemelerin sonuçları göz önüne alınmıştır. Stok çözeltilerden seyreltme işlemi hoagland besin çözeltisi kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra 500 ml'lik alüminyum folyo ile kaplı kavanozlara, her ağır metalin 3 konsantrasyonundan 200 ml (kontrol için hoagland solüsyonu) bırakılmıştır. Yetiştirilen 7 günlük fasulye fideleri saksılardan alınarak kökleri musluk suyunda iyice yıkanmıştır. Bu fidelerden, her bir ağır metal konsantrasyonu için 10'ar adet (her kavanoza iki fide olacak şekilde) sünger kapaklar yardımıyla kavanozlara yerleştirilmiştir ve 10 gün boyunca sera koşullarında büyümeye bırakılmıştır. Bu süre içerisinde fidelerin kök ve gövde boylarıyla yaprak alanları tespit edilmiştir.

#### Fidelerde kök-gövde boyu ve yaprak alanının tespiti

Bir haftalık fasulye fidelerinin her biri işaretlendikten sonra kök ve gövde uzunluklarıyla yaprak alanlarına ait ilk ölçümler alınmıştır. Daha sonra fideler kavanozlardaki solüsyonlara zedelenmeden yerleştirilmiştir. Fidelerin kök ve gövde uzunlukları milimetrik bir cetvel yardımıyla, yaprak alanları ise Munzuroğlu (1999) na göre belirlenmiştir. Ölçümler 10 gün boyunca hergün yapılmıştır. Her bir ağır metal konsantrasyonu için toplam 20 adet fide kullanılmıştır.

#### İstatistik Analizler

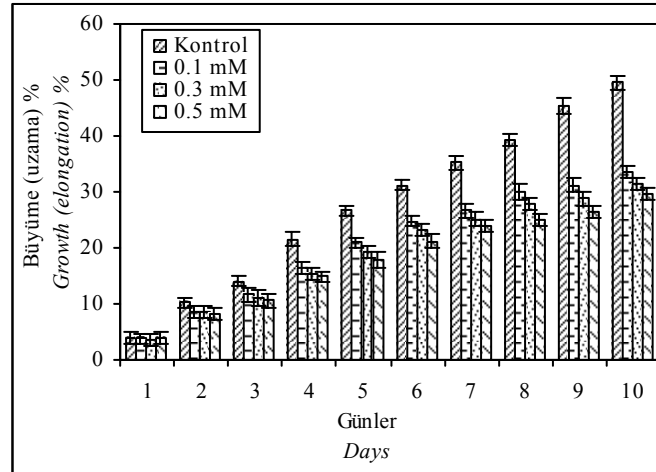
Bütün deneyler 3 defa tekrar edilmiştir. Her deney dersinde 20 adet fide kullanılmıştır. Sonuçlar ortalamann standart hatası alınmış ve varyans analizi yapılarak istatistik analize tabi tutulmuştur. Varyans analizi bilgisayarda SPSS 10.0 Windows programı kullanılarak çoklu karşılaştırma testi ile P<0.05 ve P<0.01 önem seviyelerinde yapılmıştır.

#### Bulgular ve Tartışma

Nikel ve krom tuzlarının fasulye fidelerinin kök ve gövde uzunluklarıyla yaprak alanları üzerindeki etkileri Şekil 1-6'da özetlenmiştir. Görüldüğü gibi her iki ağır metal de fidelerin kök, gövde ve yaprak büyümesini önemli oranlarda azaltmıştır.

#### Nikel

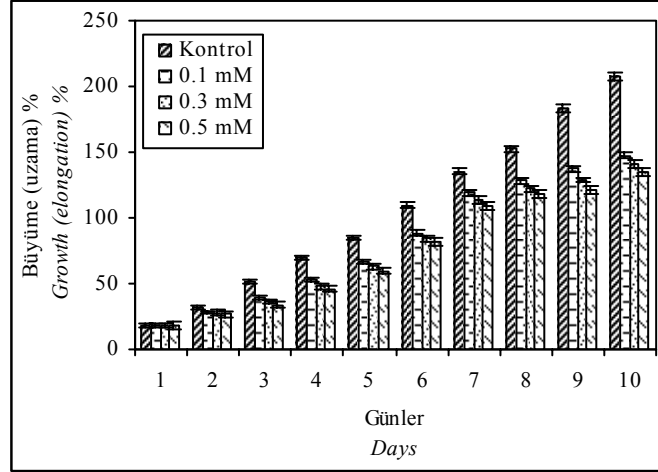
On gün süreyle 0.1, 0.3 ve 0.5 mM nikel tuzu içeren hoagland solüsyonlarında büyütülen fasulye fidelerinin primer kök uzunlukları uygulamanın ikinci gününde kontrol bitkilerine göre, sırasıyla %15.47, %17.43 ve %18.70 oranlarında daha az olmuş (Şekil 1) ve bu değerler P<0.05 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. İstatistik olarak (P>0.05) bir farklılık deney gruplarının kendi aralarında görülmemiştir. On günlük uygulama süresinin sonunda yapılan ölçümler 0.1, 0.3 ve 0.5 mM nikel solüsyonlarının fidelerin kök uzunluğunu kontrol bitkilerine göre, sırasıyla %32.15, %36.37 ve %40.10 oranlarında azaltığını (P<0.05) göstermiştir.



Şekil 1. On gün süreyle farklı konsantrasyonlardaki nikel (NiCl<sub>2</sub> 6H<sub>2</sub>O) tuzuna maruz bırakılan fasulye fidelerinin, günlük primer kök büyüme (uzama) oranları.  
Figure 1. Primary root growth (elongation) ratio determine, every other day, for ten days of bean seedling treatment different concentrations of nickel (NiCl<sub>2</sub> 6H<sub>2</sub>O).

0.1, 0.3 ve 0.5 mM nikel tuzu uygulanan fidelerin gövde büyüme oranları uygulamanın ikinci gününde kontrole göre, sırasıyla %12.97, %13.90 ve %16.15 ( $P<0.05$ ) oranlarında daha az olmuştur. Bu değerler uygulamanın onuncu günü için, sırasıyla %28.99, %32.28 ve %35.16 olarak tespit edilmiştir ( $P<0.01$ ). Ayrıca bu parametre

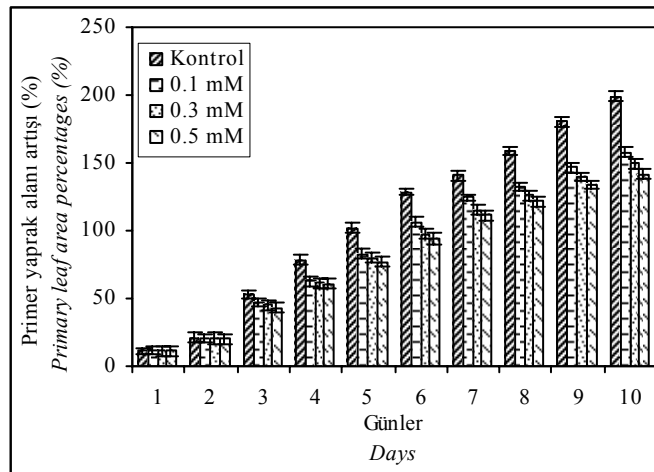
açısından, genel olarak, deney gruplarının (0.1, 0.3 ve 0.5 mM) kendi aralarında da önemli sayılmayacak ( $P<0.01$ ) farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. On gün süreyle farklı konsantrasyonlarda nikel tuzu ( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) uygulanan fasulye fidelerinin, günlük gövde büyüme (uzama) oranları.  
Figure 2. Shoot growth (elongation) ratio determines, every other day, for ten days of bean seedling treatment different concentrations of nickel ( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).

Nikelin her üç konsantrasyonu da fidelerin primer yaprak alanlarındaki artışı etkilemiş ve uygulamanın ikinci gününde fidelerin primer yaprak alanları, kontrole göre, sırasıyla %1.54, %2.27 ve %2.37 oranlarında daha az büyümüştür ( $P>0.05$ ). Bu değerler uygulamanın 10.

gününde yine nikelin düşük konsantrasyonundan yüksek konsantrasyonuna doğru, sırasıyla %23.23, %24.94 ve %28.82 olarak tespit edilmiştir ( $P<0.05$ ) (Şekil 3).

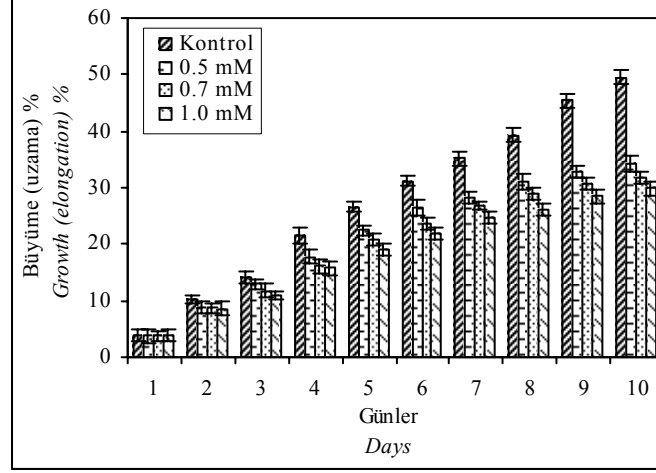


Şekil 3. On gün süreyle farklı konsantrasyonlarda nikel ( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) tuzu uygulanan fasulye fidelerinin, günlük belirlenen yaprak alanı artışı yüzdeleri.  
Figure 3. Leaf area percentages for ratio determine, every other day, for ten days of bean seedling treatment different concentrations of nickel ( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).

## Krom

Kromun kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine olan etkileri Şekil 4-6'da verilmiştir. Bu şekillerden de görüleceği üzere kromun konsantrasyonlarındaki artış ile kök, gövde ve yaprak büyümesinin inhibisyonu arasında

pozitif bir ilişki vardır. Bu ağır metalin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerindeki inhibitif etkileri uygulamanın sonuna doğru daha açık bir şekilde ortaya çıkmıştır.



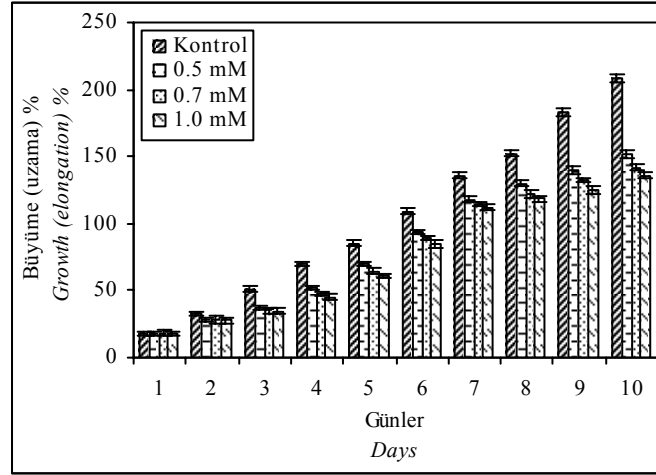
Şekil 4. On gün süreyle 0.5, 0.7 ve 1.0 mM krom tuzu ( $CrCl_3.6H_2O$ ) uygulanan fasulye fidelerinin, günlük kök büyüme (uzama) oranları.

Figure 4. Primary root growth (elongation) ratio determine, every other day, for ten days of bean seedling treatment different concentrations of chromium ( $CrCl_3.6H_2O$ ).

0.5, 0.7 ve 1.0 mM krom tuzu içeren hoagland solüsyonlarında büyümeye bırakılan fasulye fidelerinin primer kök büyümeleri uygulamanın ikinci gününde kontrole göre, sırasıyla %13.41, %14.39 ve %16.25 oranlarında daha az olmuş ve bu değerler önemli ( $P<0.05$ ) bulunmuştur. Bu fark uygulamanın sonuna doğru daha da artmıştır. Örneğin uygulamanın onuncu gününde 0.5, 0.7 ve 1.0 mM  $CrCl_3.6H_2O$  uygulanan fidelerin primer kökleri kontrole göre, sırasıyla %30.88, %35.84 ve %39.52 oranlarında daha az uzamıştır ( $P<0.01$ ). Bu parametre açısından genel olarak deney gruplarının kendi aralarında önemli sayılabilecek bir farklılık ortaya çıkmamıştır ( $P>0.05$ ).

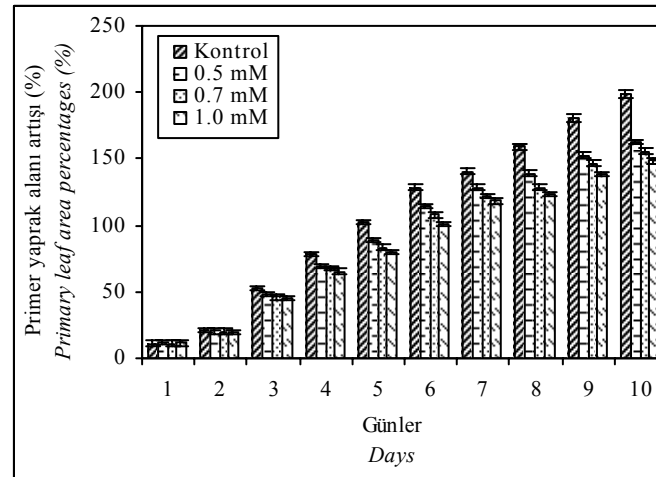
Fasulye fidelerinin gövde uzunluklarını 0.5, 0.7 ve 1.0 mM  $CrCl_3.6H_2O$  konsantrasyonları uygulamanın ikinci gününde kontrol bitkilerine göre, sırasıyla %11.73, %12.85 ve %14.17 oranlarında; uygulamanın onuncu gününde yine kontrol bitkilerine göre ve sırasıyla %27.25, %31.72 ve %34.65 oranlarında azaltmış (Şekil 5) ve bu değerler

istatistik olarak önemli bulunmuştur ( $P<0.05$ ). Ayrıca bu parametre açısından genel olarak deney gruplarının (0.5, 0.7 ve 1.0 mM  $CrCl_3.6H_2O$ ) kendi aralarında önemli sayılabilecek farklılıkların olduğu ( $P<0.05$ ) ortaya çıkmıştır. 0.5, 0.7 ve 1.0 mM krom tuzu içeren hoagland solüsyonlarıyla büyütülen fasulye fidelerinin primer yaprak alanları uygulamanın ikinci gününde kontrole göre, sırasıyla %1.25, %1.74 ve %2.17 oranlarında daha az artmış, fakat bu değerler istatistik açıdan önemli bulunmamıştır ( $P>0.05$ ). On günlük uygulama süresinin sonuna doğru bu ağır metalin yaprak büyümesi üzerindeki engelleyici etkisi daha belirgin olarak kendini göstermiştir ( $P<0.05$ ). Örneğin uygulamanın onuncu gününde 0.5, 0.7 ve 1.0 mM  $CrCl_3.6H_2O$  uygulanan fidelerin yaprak büyümeleri (alanları) kontrol bitkilerine göre, sırasıyla %18.35, %21.72 ve %25.29 oranlarında az olmuştur ( $P<0.05$ ).



Şekil 5. On gün süreyle 0.5, 0.7 ve 1.0 mM krom tuzu ( $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) uygulanan fasulye fidelerinin, günlük gövde büyüme (uzama) oranları.

Figure 5. Shoot growth (elongation) ratio determines, every other day, for ten days of bean seedling treatment different concentrations of chromium ( $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).



Şekil 6. On gün süreyle 0.5, 0.7 ve 1.0 mM krom tuzu ( $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) uygulanan fasulye fidelerinin, günlük yaprak alanı artışı yüzdeleri.

Figure 6. Leaf area percentages for ratio determine, every other day, for ten days of bean seedling treatment different concentrations of nickel chromium ( $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).

Elde edilen sonuçlara göre nikel ve kromun klor tuzları fasulye fidelerinin kök, gövde ve yaprak büyüme oranlarını önemli oranlarda engellemiştir. Ağır metal solüsyonunun konsantrasyonundaki artış ile kök, gövde ve yaprak büyümesinin inhibisyonu arasında pozitif bir ilişki gözlenmiştir. Fideleri nikel ve kroma maruz bırakma periyodunun sonuna doğru kök, gövde ve yaprak büyüme oranlarındaki azalma çok daha açık bir şekilde ortaya çıkmıştır. Nikel ve krom birbiriyle kıyaslandığında nikelin daha toksik olduğu tespit edilmiştir. Kök büyümesinin metal toksisitesine daha duyarlı olduğu, bunu gövde ve yaprak büyümesinin takip ettiği anlaşılmıştır.

Bu çalışmada nikel ve krom için tespit edilen bu sonuçlar daha önce farklı bitki türleri için belirlenen çok sayıda bulguyla uyum içerisindedir. Örneğin nikelin *Trigonella corniculata* L. fidelerinin kök ve gövde uzunluğunu (Prada ve ark., 2003) nikel ve bakırın *Empetrum nigrum* bitkisinin gövde uzunluğunu (Monni ve ark., 2001), nikelin *Petroselinum crispum* fidelerinin yaprak alanını (Atta-Aly, 1999), çinko ve nikelin *Cajanus cajan*'ın iki genotipinde (LRG30 ve ICPL87) kök gelişimini azalttığı (Sresty ve Madhava Rao, 1999) rapor edilmiştir. *Oryza sativa* L. cv. Bahia'da kadmiyum ile nikelin kök ve gövde uzunluğunu (Moya ve ark., 1993), kadmiyum, bakır ve kromun *Convolvulus arvensis* L. fidelerinin kök, gövde ve

yaprak gelişimini (Gardea-Torresdey ve ark., 2004), kromun *Pisum sativum* L. cv. Bonneville fidelerinin gelişimini (Bishnoi ve ark., 1993), *Zea mays* L. Dekalp cv. Sponsor bitkisinde kadmiyumun kök ve gövde uzunluğunu (Rascio ve ark., 1993), bakırın *Lolium perenne* bitkisinde kök ve gövde uzunluğunu azalttığı (Wong ve Bradshaw, 1982) belirlenmiştir. Bakır ve nikel içeren topraklarda yetiştirilen *Empetrum nigrum* fidelerinin gövde uzamasının kontrol fidelerine göre %30 daha az olduğu rapor edilmiştir (Shevtsova, 1998). Nikel uygulanan *Hypericum perforatum* L. fidelerinin kontrol bitkilerine göre daha yavaş büyüdüğü, bunun sebebinin ise metabolik fonksiyonlarının azalması ve enzimlerin inaktive olması nedeniyle büyümede azalmanın olduğu belirtilmiştir (Murch ve ark., 2003).

Metallerin farklı mekanizmalarla kök, gövde ve yaprak büyümesine engel olduğu, bu durumun bitki türüne ve gelişme şartlarına göre değiştiği bilinmektedir. Alüminyum kök hücre bölünmesini (Hanson, 1984); çinko, bakır ve kurşun kök hücre uzamasını (Lane ve ark., 1978) etki ederek büyümeyi engeller. *Zea mays* bitkisinde yapılan bir çalışmada alüminyumun kök kalıptasındaki polisakarit metabolizması ve golgi aktivitesi üzerine etkisi nedeniyle kök hücre bölünmesini engellediği bildirilmiştir (Bennet ve ark., 1985). Alüminyumun bir buğday varyetesinin kök hücrelerinde DNA replikasyonu ve hücre bölünmesini azalttığı ve dolayısıyla kök büyümesini engellediği ileri sürülmüştür (Zhengua ve ark., 1993). Kökte metal birikiminin merkezdeki hücrelere göre korteks hücrelerinde daha fazla olduğu, bu nedenle kök korteks hücrelerinin daha erken hasar gördüğü bilinmektedir (Barcelo ve Poschenrieder, 1990). Krom (Vazquez ve ark., 1987) ve alüminyuma (Wagatsuma, 1983) maruz bırakılan bitkilerde kök korteksi ve epidermal hücrelerinde plazmoliz gözlenmiş ve kök uzamasının korteks hücre gelişimi ile sınırlandırıldığı belirtilmiştir. Ağır metallerin etkisiyle suberin miktarının artarak kökün kahverengileştiği, bu durumun da su alımını sınırladığı ileri sürülmüştür (Barcelo and Poschenrieder, 1990). Özellikle nikelin yapraklarda klorozise neden olduğu, yaprak gelişimini engellediği, kökün anatomik yapısına etki ettiği, kök meristem hücrelerinin kalınlaşmasına neden olarak bölünmeyi engellediği rapor edilmiştir (Molas ve Bran, 2004).

Ağır metal stresinden kök büyümesinin gövde ve yaprak büyümesine göre daha fazla etkilenmesi normal bir durumdur. Çünkü ortamdaki solüsyonla doğrudan temasta olan yapılar köklerdir. Bitkilerin ağır metal stresini hafifletmek için çeşitli tolerans ve direnç mekanizmaları geliştirdiği, bunlardan bir tanesinin metalin köklerde tutulması ve gövdeye dağılımının engellenmesi olduğu rapor edilmiştir (Fernandes ve Henriques, 1991). Metallerin köklerde tutulup biriktirilmesi köklerin morfolojisinin, anatomisinin ve büyümesinin diğer organlara göre çok daha fazla etkilemesi sonucunu beraberinde getirir.

Sonuç olarak; nikel ve krom fasulye fidelerinin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerinde önemli inhibitif

etkilerde bulunmuştur. Bu iki metalden, çalışılan parametreler açısından toksik etkisinin çoktan aza doğru Ni>Cr şeklinde olduğu tespit edilmiştir.

#### Kaynaklar

- Atta-Aly, M.A., 1999. Effect of nickel addition on the yield and quality of parsley leaves. *Sci. Horticulturae*, 82: 9-24.
- Barcelo, J., Poschenrieder, Ch., 1990. Plant water relations as effected by heavy metal stress. *J. of Plant Nut.*, 13 (1): 1-3.
- Bennet, R.J., Bren, C.M., Bandu, V., 1985. Aluminium toxicity and regene ration of the root Cap: preliminary evidence for a golgi apparatus derived morphogen in the primary root of *Zea mays*. *S. Afr. J. Bot.*, 51: 363-370.
- Bishnoi, N.R., Dua, A., Gupta, V.K., Sawhney, S. K., 1993. Effect of chromium on seed germination, seedling growth and yield of peas., *Agr. Eco. Environ.*, 47, 47-57.
- Delgado, M., Bigeriego, M., Guardiola, E., 1993. Uptake of Zn, Cr and Cd by water hyacinths. *Wat. Res.*, 27 (2): 269-272.
- Fernandes, J.C., Henriques, F.S., 1991. Biochemical, physiological and structural effect of excess copper in plants. *The Bot. Revi.*, 57: 246-273.
- Gardea-Torresdey, J.L., Perata-Videa, J.R., Montg, M., De la Rosa, G., Corral-Diaz, B., 2004. Biocumulation of cadmium, chromium and copper by *Convolvulus arvensis* L.: impact on plant growth and uptake of nutritional elements, *Bioresource Technology*. 92: 229-235.
- Hanson, J.B., 1984. The function of calcium in plant nutrition. Praeger Pub., Advances in Plant Nut., New York, 1: 149-248.
- Heale, E.L., Ormrod, D.P., 1982. Effects of nickel and copper on *Acer rubrum*, *Cornus stolonifera*, *Lonicera tatarica* and *Pinus resinosa*. *Can. J. Bot.*, 60: 2674.
- Kennedy, C.D., Gonsalves, F.A.N., 1987. The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and efflux of excised roots. *J. Exp. Bot.*, 38: 800-817.
- Kukkola, E., Rautio, P., Huttunen, S., 2000. Stress indications in copper-and nickel exposed Scots pine seedlings. *Environ. Exp. Bot.*, 43: 197-210.
- Lane, S.D., Martin, E.S., Garrod, J.P., 1978. Lead toxicity effect on indole-3-acetic-induced cell elongation. *Planta*, 144: 79-84.
- Lidon, F.C., Ramalho, J., Henriques, F.S., 1993. Copper inhibition of rice photosynthesis. *J. Plant Physiol.* 142: 12-17.
- Matsumoto, H., Hirasawa, E., Torika, H., Takahashi, E., 1976. Localization of absorbed aluminium in pea root and its binding to nucleic acids. *Plant Cell Physiol.*, 17: 127-137.

- Molas, J., Bran, S., 2004. Relationship between the chemical form of nickel applied to the soil and its uptake and toxicity to barley plants (*Hordeum vulgare* L.). *Geoderma*, 122: 247-255.
- Monni, S., Uhlig, C., Hansen, E., Magel, E., 2001. Ecophysiological responses of *Empetrum nigrum* to heavy metal pollution. *Environ. Pollut.*, 112: 121-129.
- Moustakas, M., Lanaras, T., Symeonidis, L., Karataglis, S., 1994. Growth and some photosynthetic characteristics of field grown *Avena sativa* under copper and lead stress. *Photosynthetica*, 30: 389-396.
- Moya, J.L., Ros, R., Picazo, I., 1993. Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants. *Photosynthesis Research*, 36: 75-80.
- Munzuroğlu, Ö., 1999. Sigara dumanının fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) fide gelişimi üzerinde bazı biyokimyasal ve morfolojik etkilerinin araştırılması. *F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi*, 11 (1): 67-75.
- Munzuroğlu, Ö., Geçkil, H., 2002. Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. *Environ. Cont. and Toxi.*, 43: 203-213.
- Murch, S.J., Haq, K., Rupasinghe, V.H.P., Saxera, P.K., 2003. Nickel contamination effects growth and secondary metabolite composition of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.). *Environ. Exp. Bot.*, 49: 251-257.
- Nedelkoska, T.V., Doran, P.M., 2000. Characteristics of heavy metal uptake by plants species with potential for phytoremediation and phytomining. *Minerals Eng.*, 13: 549-561.
- Nussbaum, S., Shemutz, D., Brunold, C., 1988. Regulation of assimilatory sulfate reduction by cadmium *Zea mays* L. *Plant Physiology*, 88: 1407.
- Ouzounidou, G., Eleftheriou, E.P., Karataglis, S., 1992. Ecophysical and ultrastructural effects of copper in *Thlaspi ochroleucum*. *Can. J. of Bot.*, 70: 947-957.
- Phalsson, A.M.B., 1989. Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. *Water, Air, Soil Pollut.*, 47: 287-319.
- Poschenrieder, Ch., Gunse, B., Barcelo, J., 1989. Influence of cadmium on water relations, stomatal resistance and abscisic acid content in expanding bean leaves. *Plant Physiol.*, 90: 1365-1371.
- Prada, B.K., Chhibba, I.M., Nayyor, J.K., 2003. Influence of nickel-contaminated soils on fenugreek (*Trigonella corniculata* L.) growth and mineral composition. *Sci. Horticulturae*, 98: 113-119.
- Rascio, N., Vecchia, F.D., Ferretti, M., Merlo, L., Ghisi, R., 1993. Some effects of cadmium in maize plants. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 25: 244-249.
- Ross, M.S., 1994. Sources and form of potentially toxic metals in soil-plant systems. In: Toxic metals in soil-plant systems (ed M.S. Ross). John Wiley, Chichester, 3-25.
- Rovira, A.D., 1956. Plant root excretions in relation to the rhizosphere effect. *Plant and Soil* VII, 2, 178-193.
- Shanker, A.K., Djanaguiraman, M., Sudhagen, R., Chandrashekar, C.N., Pathmanabhan, G., 2004. Differential antioxidative response of ascorbate glutathione pathways enzymes and metabolites to chromium speciation stress in greengram (*Vigna radiata* L.) roots. *Plant Sci.*, 166: 1035-1043.
- Shevtsova, A., 1998. Responses of subarctic dwarf shrubs to climate change and air pollution" Annales Universitatis Turkuensis Ser. AII, 113. Doctoral thesis.
- Somashekaraiah, B.V., Padmaja, K., Prasad, A.R.K., 1992. Phytotoxicity of cadmium ions on germinating seedlings of mung bean (*Phaseolus vulgaris*) involvement of lipid peroxides in chlorophyll degradation. *Physiol. Plantarum*, 85: 85-89.
- Sresty, T.V.S., Madhova, K.V., 1999. Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cell of pigeonpea. *Environ. and Exp. Bot.*, 41: 3-13.
- Vazquez, M.D., Poschenrieder, Ch., Barcelo, J., 1987. Chromium VI induced structural and ultrastructural changes in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ann. Bot.*, 59: 427-438.
- Wagatsuma, T., 1983. Effect of nonmetabolic conditions on the uptake of aluminum by plant roots. *Soil Sci. Plant Nut.*, 29: 323-333.
- Wong, M.H., Bradshaw, A.D., 1982. A comparison of the toxicity of heavy metals, using root elongation of ryegrass, *Lolium perenne*. *New Phytol.*, 91: 255-261.
- Zhengua, S., Wang, J., Guan, H., 1993. Effect of aluminum and calcium on growth of wheat seedlings and germination of seeds. *J. of Plant Nut.*, 16: 2135-2148.