

Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.) Kök, Gövde ve Yaprak Büyümesi Üzerine Kadmiyum(Cd^{++}) ve Civa (Hg^{++})’nın Etkileri

Fikriye KIRBAĞ ZENGİN* Ömer MUNZUROĞLU*

*Fırat Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 23119, Elazığ, TÜRKİYE,
omunzuroglu@firat.edu.tr

Received;29.09.2003, Accepted;23.03.2004

Özet: Fasulye fidelerinin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine civa ($HgCl_2$) ve kadmiyum ($CdCl_2.H_2O$)’un etkileri araştırıldı. Bir haftalık fasulye fideleri 10 gün boyunca Hoagland solüsyonuyla hazırlanmış farklı konsantrasyonlardaki ağır metal tuzu çözeltilerine maruz bırakıldı.

Civa ve kadmiyum uygulaması fidelerin kök, gövde ve yaprak büyümesini önemli oranlarda engelledi. Bu ağır metallerin konsantrasyonlarındaki artış ile kök, gövde ve yaprak büyümesinin inhibisyon oranı arasında bir paralellik görüldü. Fidelerin ağır metale maruz kalma süresinin uzaması kök, gövde ve yaprak büyümesindeki azalmanın daha fazla olmasına yol açtı. Kadmiyum ve civa stresine kök büyümesinin daha duyarlı olduğu, bunu gövde ve yaprak büyümesinin takip ettiği görüldü. Bu iki ağır metalden civanın kadmiyuma göre daha toksik olduğu belirlendi. Sonuçlar istatistik açıdan $p<0.05$ ve $p<0.01$ düzeylerinde önemli bulundu.

Anahtar kelimeler: Büyüme, civa, fasulye fideleri, kadmiyum

Effects of Cadmium (Cd^{++}) and Mersury (Hg^{++}) on the Growth of Root, Shoot and Leaf of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Seedlings

Abstract: The effects of mercury ($HgCl_2$) and cadmium ($CdCl_2.H_2O$) treatments as of chloride salts on the root shoot and leaf growth of the bean seedling were investigated. A week old bean seedlings were exposed to solutions of heavy metal salts at different concentrations Hoagland solution for 10 days

Mercury and cadmium treatments significantly inhibited the growth of root, shoot and leaves of seedlings. A correlation was observed between increases in the concentration of these heavy metals and inhibition of root, shoot and leaf growth. Longer exposure time to heavy metals of seedling lead to more decreasing of root, shoot and leaf growth. It was determined that mercury and cadmium stress is more sensitive the root growth, followed shoots and leaf growth. One of the two heavy metals, mercury was determined more toxic than cadmium. The results were found to be statistically significant ($p < 0.05$ and $p < 0.01$).

Key words: Bean seedlings, cadmium, grown, mercury

1. Giriş

Toprak, su ve havada değişik oranlarda bulunabilen ağır metaller belirli konsantrasyonun üzerinde kirliliğe yol açarlar. Ağır metallerin çevrede yaygın bir şekilde birikmesi, tüm canlılar için boyutları giderek artan bir tehlike oluşturmaktadır. Çevreyi kirleten bütün unsurlar bitkilerde strese neden olur. Stres ise bitkilerin fizyolojisini etkiler, onları genetik potansiyellerini değiştirir, verimliliklerini kısıtlar ve ölümüne yol açarak büyük oranlarda ürün kayıpları meydana getirir. Ağır metal kirliliğinin çeşitli nedenleri vardır. Bunlar antropojenik veya doğal kaynaklı olabilir. 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 metallerin özellikle belirli dozlardan itibaren bitkilerdeki fizyolojik fonksiyonları ve biyokimyasal olayları direkt veya dolaylı olarak etkilediği bilinmektedir. Bitki dokularında ağır metal birikimi fazla olursa mineral besin alımı [1], transpirasyon [2], fotosentez [3], enzim aktivitesi [4], nükleik asit yapısı [5], klorofil biyosentezi [6] ve çimlenme [7] gibi çok sayıda olay olumsuz yönde etkilenir. Bunlara membranlarda hasar [8], hormon dengesinin bozulması, su ilişkisinin değişmesi gibi fizyolojik olaylar da eklenebilir.

Ağır metallerin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine önemli etkiler yaptığı çok sayıda çalışmayla tespit edilmiştir. Mesela *Phaseolus vulgaris* bitkisine 48 saat süreyle 3 μM Cd uygulanmış ve yaprak hücrelerinde genişlemenin engellendiği, hücre duvarı elastikiyetinin azaldığı görülmüştür [2]. Ağır metaller içerisinde sınıflandırılmayan, fakat bitkilerde önemli toksik etkileri olduğu bilinen alüminyumun hücre duvarındaki pektinin karboksil gruplarına bağlanarak hücre duvarının uzama kabiliyetini ve elastikiyetini azalttığı bildirilmiştir [9]. 4000 μg Cu L^{-1} uygulanan 2

yıllık *Pinus resinosa* bitkilerinde solgunluk ve köklerde kahverengileşme olduğu, lateral kök gelişiminin engellendiği ve kontrollere göre kuru ağırlıklarının %30 azaldığı rapor edilmiştir [10]. 4000 µg Cu uygulanan *Lonicera tatarica* fidelerinin ağırlıklarında kontrollere göre %75 oranında azalma görülmüştür [11]. Yüksek konsantrasyonda çinko katyonu bitkilerin kök uzamasını engellemiş [12], klorozis ve nekroze sebep olmuştur [13]. Kadmiyumun nekroze, krom ve çinkonun ise klorozise yol açtığı [13] belirlenmiştir. Mangan *Glycine wightii* bitkisinin gelişen genç yapraklarında şekil bozukluklarına, yaprak yüzeyinde nekrotik bölgelerin oluşmasına, özellikle yaprak yüzeyinin üst kısmındaki orta ve yan damarların sertleşerek kahverengileşmesine ve nekroze sebep olmuştur [14].

Ağır metal stresinin bitkilerdeki metabolik olayları nasıl etkilediğini açıklığa kavuşturmak, ayrıca bitkilerin bu kirleticilere karşı hangi tepkiler verdiğini ve hangi uyum mekanizmaları geliştirdiğini belirlemek oldukça önemlidir. Problemin boyutu bu durumda daha iyi anlaşılabilir. Bu da alınacak önlemlerin ve gelecekle ilgili yapılacak planlamaların daha sağlıklı olmasını sağlar. Bu çalışmada fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) fidelerine klor tuzları şeklinde uygulanan civa ve kadmiyum gibi ağır metal katyonlarının ($HgCl_2$ ve $CdCl_2 \cdot H_2O$) kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışıldı. Ayrıca bu iki ağır metalin belirtilen parametreler açısından birbirleriyle karşılaştırma yapılarak toksisite dereceleri tespit edildi.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyalin temini

Araştırmamızda bitkisel materyal olarak fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) tohumlarının çimlendirilmesiyle geliştirilen bir haftalık fideler, ağır metal olarak civa (Hg^{++}) ile kadmiyum(Cd^{++})’un klor tuzları ($HgCl_2$ ve $CdCl_2 \cdot H_2O$) kullanıldı. Fasulye tohumları Elazığ Tarım İl Müdürlüğü Çiftçi Eğitim ve Yetiştirme Şubesi’nden, ağır metaller Merck firmasından temin edildi. Ağır metallerin stok solüsyonları, pH’sı 6.8 olan musluk suyu ile hazırlandı. Stok solüsyonların seyreltilmesinde Hoagland (SIGMA) solüsyonu kullanıldı.

2.2. Fidelerin yetiştirilmesi ve ağır metal uygulanması

Fidelerin yetiştirilmesi sırasında, ilk önce saptanacak parametrenin her bir ağır metal konsantrasyonu için 300 adet fasulye tohumu alındı ve 2 dakika süreyle 0.001 M HgCl₂'de bekletilerek steril edildi [12]. Daha sonra 15-20 dakika saf su ile yıkanan tohumlar 500 ml lik bir behere konularak üzerine 250 ml musluk suyu ilave edildi ve 24-25 °C lik karanlık ortamda 7 saat süreyle şişmeye bırakıldı. Bu sürenin sonunda şişme ortamından çıkarılan tohumlar, içerisine çift katlı filtre kağıdı döşenmiş ve 10 ml musluk suyu ile ıslatılmış 11 cm çapındaki petrilerin her birine 10'ar adet gelecek şekilde ekildi. Ekimden hemen sonra kapağı kapatılan petriler 24-25 °C' lik karanlık iklim dolabına kaldırılarak çimlenmeye bırakıldı. Bu arada içleri dere kumu ile doldurulan 13,5-14 cm çapında ve 13 cm derinliğinde plastik saksılar hazırlandı. Dere kumu saksılara aktarılmadan önce elendi, çeşme suyu ile yıkandı ve içerisinde HCl bulunan küvetlerde 2 gün tutuldu. Daha sonra iki defa çeşme suyu, 1 defa da saf su ile yıkanan kum 400 °C' lik etüvde yakılarak, tüm organik maddelerinden arındırıldı. Her bir ekim işleminde, önceki ekimden kalan kum birkaç defa çeşme suyu ve bir defa da saf su ile yıkandıktan sonra 150 °C' de kurutuldu [15].

Etüve kaldırıldıktan yaklaşık 55 saat sonra, çimlenmiş ve radikula uzunlukları 2-2,5 cm ye ulaşmış tohumlardan bu saksılara ekim yapıldı. Ekim her bir saksıya 8 adet çimlenmiş tohum gelecek şekilde planlandı. Bundan sonra saksılar sera koşullarına alınarak fideler büyümeye bırakıldı. Sera koşulları; ışık için 3500 lüks, sıcaklık için 24-25 °C, fotoperiyot 16 saat ışık, 8 saat karanlık (uzun gün) olacak şekilde düzenlendi. Bu koşullarda bekletilen her saksı gün aşırı 50 ml musluk suyu ile sulandı. Sera koşullarında büyütülen bu fidelerden, tohumların ıslatılmasından itibaren başlayan zaman diliminin 5. gününde sağlıklı büyüme göstermeyenler elimine edildi. Bu seleksiyondan 2 gün sonra, yani bir haftalık olan homojen görünüme sahip fideler alınarak ağır metal çözeltilerine konuldu. Yapılan ön denemelerde civa ve kadmiyumun toksisite dereceleri arasında önemli farklılıklar görüldüğünden, bu iki ağır metalin farklı konsantrasyonları kullanıldı. Bu işlem için önce civanın (HgCl₂) ve kadmiyumun (CdCl₂.H₂O) 2 mM stok çözeltileri hazırlandı. Bu stok çözeltilerden civa ve kadmiyum için sırasıyla 0.02, 0.04, 0.06 ve 0.05, 0.06, 0.08 mM konsantrasyonlarında çözeltiler elde edildi. Stok çözeltilerden seyreltme işlemi Hoagland besin solüsyonu kullanılarak yapıldı. Daha sonra 500 ml'lik alüminyum folyo ile kaplı kavanozlara, her ağır metalin

3 konsantrasyonundan 200'er ml (kontrol için Hoagland solüsyonu) bırakıldı. Yetiştirilen 7 günlük fasulye fideleri saksılardan alınarak kökleri musluk suyunda iyice yıkandı. Bu fidelerden, her bir ağır metal konsantrasyonu için 10'ar adet (her kavanoza iki fide olacak şekilde) sünger kapaklar yardımıyla kavanozlara yerleştirildi ve 10 gün boyunca sera koşullarında büyümeye bırakıldı. Bu süre içerisinde, gün aşırı olacak şekilde, fidelerin kök ve gövde boylarıyla yaprak alanları tespit edildi.

2.2.1. Fidelerde kök-gövde boyu ve yaprak alanının tespiti

2.2'de anlatıldığı gibi yetiştirilen bir haftalık fasulye fidelerinin her biri işaretlendikten ve kök, gövde uzunluklarıyla yaprak alanlarına ait ilk ölçümler alındıktan sonra kavanozlardaki solüsyonlara zedelenmeden yerleştirildi. Fidelerin kök ve gövde uzunlukları milimetrik bir cetvel yardımıyla, yaprak alanları ise Munzuroğlu [16] da anlatılan yöntemle belirlendi. 10 gün boyunca koşulları yukarıda belirtilen serada büyümeye bırakılan fidelerin bu üç özelliği gün aşırı belirlenerek sonuçlar kaydedildi.

2.3. İstatistik analizler

Bütün deneyler 3 defa tekrar edildi. Her deney derisinde 20 adet fide kullanıldı. Sonuçlar ortalamanın standart hatası alınarak ve varyans analizi yapılarak istatistik analize tabi tutuldu. Varyans analizi bilgisayarda SPSS 10.0 Windows programı kullanılarak çoklu karşılaştırma testi ile $p<0.05$ ve $p<0.01$ önem seviyelerinde yapıldı.

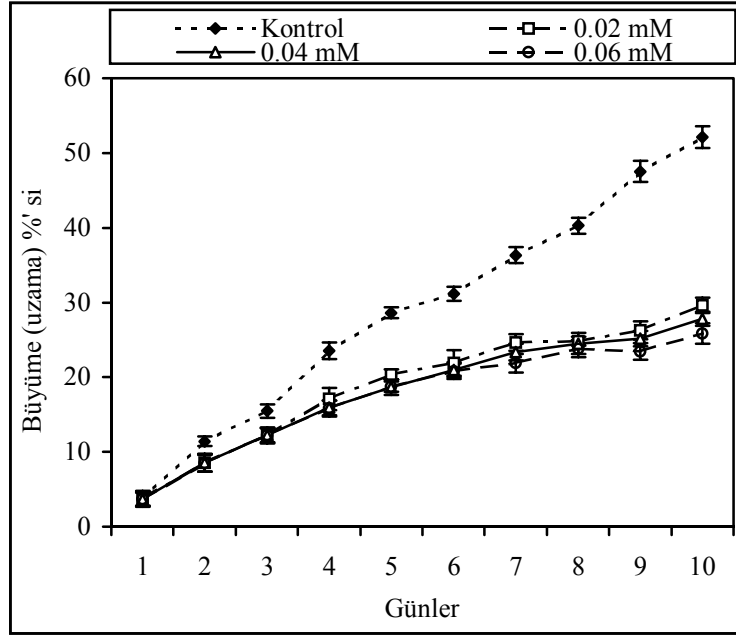
3. SONUÇLAR

Civa ve kadmiyum tuzlarının fasulye fidelerinin kök ve gövde uzunluklarıyla yaprak alanları üzerindeki etkileri şekiller 1-6'da özetlenmiştir. Görüldüğü gibi her iki ağır metal de fidelerin kök, gövde ve yaprak büyümesini önemli oranlarda ($p<0.05$, $p<0.01$) azaltmıştır.

Civa

On gün süreyle 0.02, 0.04 ve 0.06 mM civa tuzu içeren Hoagland solüsyonlarında büyütülen fasulye fidelerinin primer kök uzunlukları uygulamanın ikinci gününde kontrol bitkilerine göre, sırasıyla, %24.86, %25.39 ve %25.56 oranlarında daha az olmuş (Şekil 1) ve bu değerler $p<0.05$ düzeyinde önemli

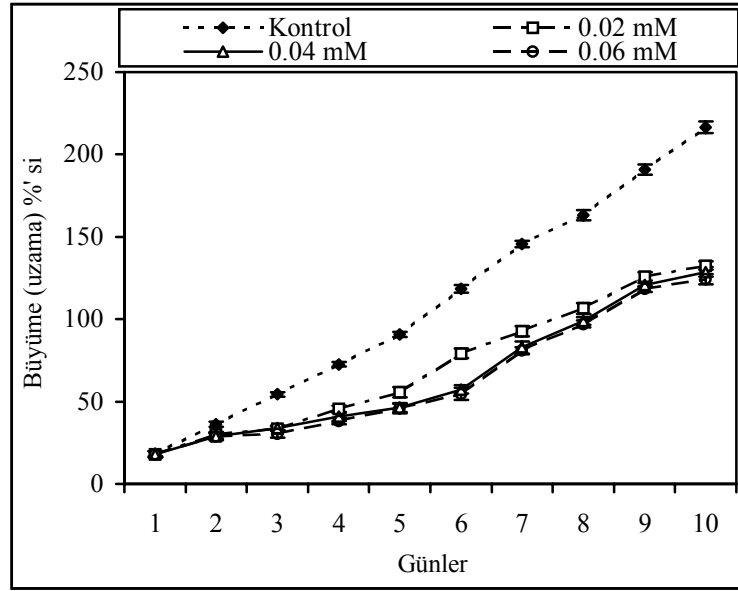
bulunmuştur. Deney gruplarının kendi aralarında istatistik olarak ($p>0.05$) bir farklılık görülmemiştir. On günlük uygulama süresinin sonunda yapılan ölçümler 0.02, 0.04 ve 0.06 mM $HgCl_2$ solüsyonlarının fidelerin kök uzunluğunu kontrol bitkilerine göre, sırasıyla %43.11, %46.62 ve %50.42 oranlarında azalttığını ($p<0.05$) göstermiştir. Ayrıca deney gruplarının kendi aralarında önemli sayılabilecek farklılıkların olduğu ($p<0.05$) tespit edilmiştir.



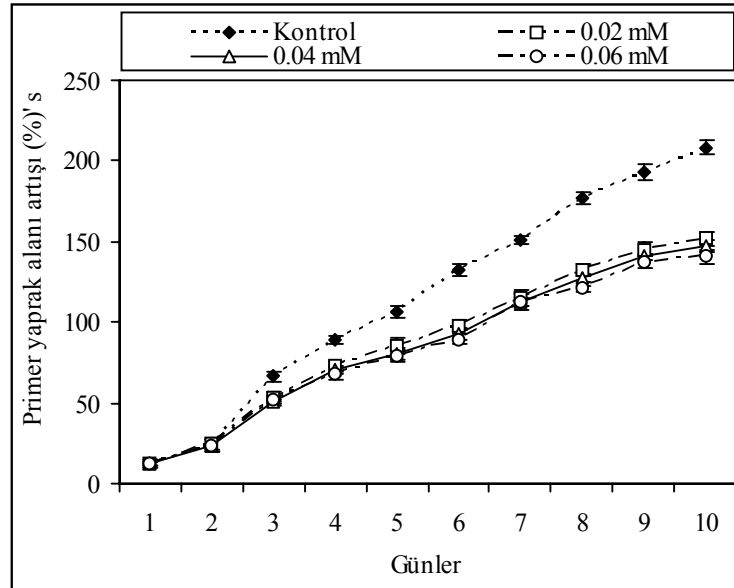
Şekil 1. 10 gün süreyle farklı konsantrasyonlardaki civa tuzu ($HgCl_2$)'na maruz bırakılan fasulye fidelerinin, gūnaşırı primer kök büyüme (uzama) oranları

Fasulye fidelerinin gövde uzunluklarını 0.02, 0.04 ve 0.06 mM $HgCl_2$ konsantrasyonları uygulamanın ikinci gününde kontrol bitkilerine göre, sırasıyla %17.38, %20.48 ve %21.12 oranlarında; uygulamanın onuncu gününde yine kontrol bitkilerine göre ve sırasıyla %38.78, %40.59 ve %42.65 oranlarında azaltmış (Şekil 2) ve bu değerler istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Ayrıca bu parametre açısından genel olarak deney gruplarının kendi aralarında önemli sayılabilecek farklılıkların olduğu ($p<0.05$) ortaya çıkmıştır. 0.02, 0.04 ve 0.06 mM civa tuzu içeren Hoagland solüsyonlarıyla büyütölen fasulye fidelerinin primer yaprak alanları uygulamanın ikinci gününde kontrollere göre, sırasıyla %1.22, %4.03 ve %4.23 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 ($p<0.05$). Mesela uygulamanın onuncu gününde 0.02, 0.04 ve 0.06 mM $HgCl_2$ uygulanan fidelerin yaprak büyümeleri (alanları) kontrol bitkilerine göre, sırasıyla %27.27, %29.44 ve %32.57 oranlarında az olmuştur ($p<0.05$).



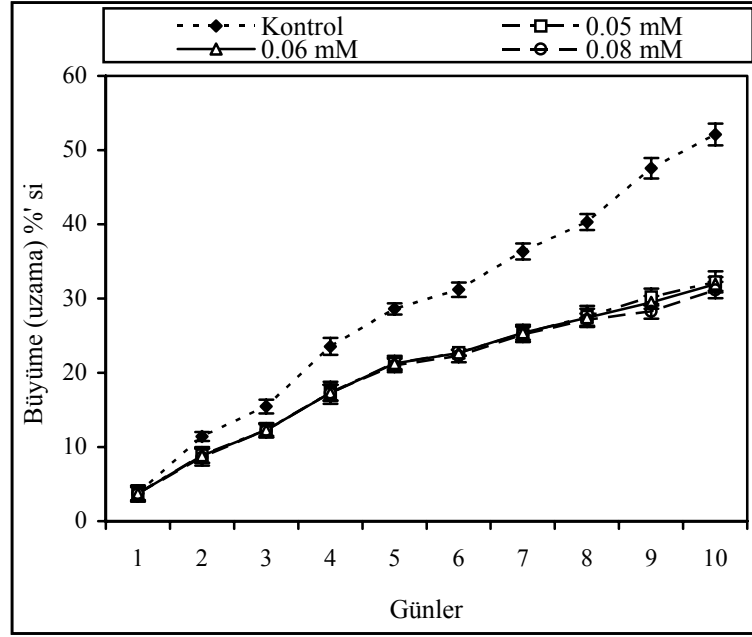
Şekil 2. 10 gün süreyle farklı konsantrasyonlardaki civa tuzu ($HgCl_2$)'na maruz bırakılan fasulye fidelerinin, günün başında gövde büyüme (uzama) oranları



Şekil 3. 10 gün süreyle farklı konsantrasyonlardaki civa tuzu ($HgCl_2$)'na maruz bırakılan fasulye fidelerinin, günün başında belirlenen yaprak alanı artış yüzdeleri.

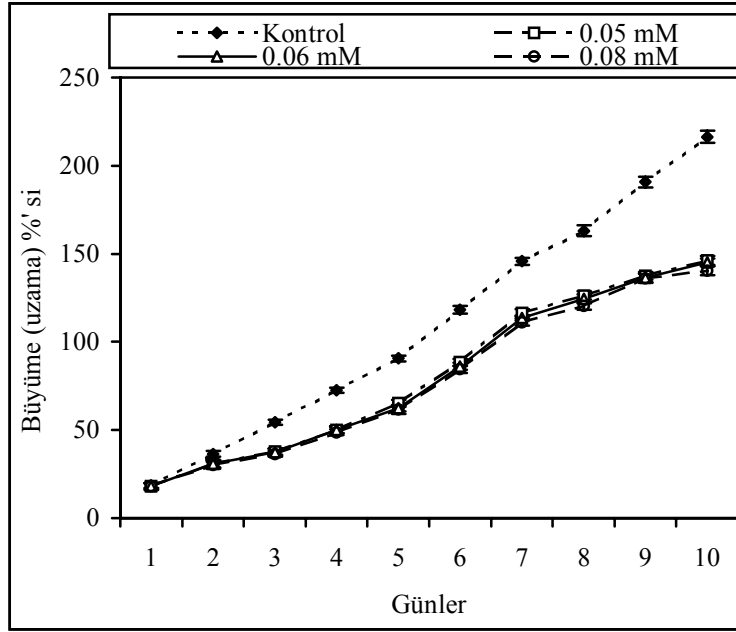
Kadmiyum

Kadmiyumun kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine olan etkileri Şekiller 4-6'da verilmiştir. Bu şekillerden de görüleceği üzere kadmiyum konsantrasyonlarındaki artış ile kök, gövde ve yaprak büyümesinin inhibisyonu arasında pozitif bir korelasyon vardır. Bu ağır metalin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerindeki inhibitif etkileri uygulamanın sonuna doğru daha açık bir şekilde ortaya çıkmıştır.



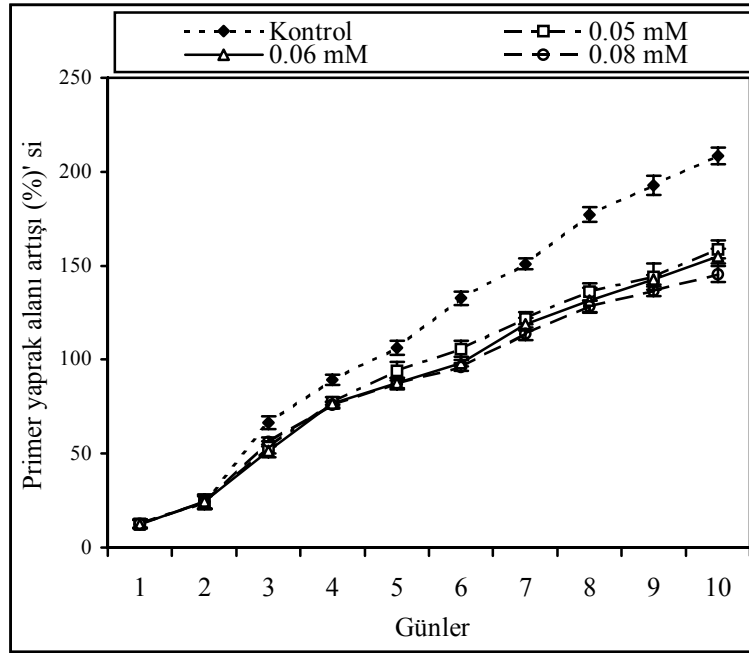
Şekil 4. 10 gün süreyle farklı konsantrasyonlardaki kadmiyum tuzu ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)'na maruz bırakılan fasulye fidelerinin, günün başı primer kök büyüme (uzama) oranları

0.05, 0.06 ve 0.08 mM kadmiyum tuzu içeren Hoagland solüsyonlarında büyümeye terk edilen fasulye fidelerinin primer kök büyümeleri (uzunlukları) uygulamanın ikinci gününde kontrollere göre, sırasıyla %21.71, %22.59 ve %24.43 oranlarında daha az olmuş ve bu değerler önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. Bu fark uygulamanın sonuna doğru daha da artmıştır. Mesela uygulamanın onuncu gününde 0.05, 0.06 ve 0.08 mM $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ uygulanan fidelerin primer kökleri kontrollere göre, sırasıyla %38.12, %38.67 ve %40.21 oranlarında daha az uzamıştır ($p < 0.01$). Bu parametre açısından genel olarak deney gruplarının kendi aralarında önemli sayılabilecek bir farklılık ortaya çıkmamıştır ($p > 0.05$).



Şekil 5. 10 gün süreyle farklı konsantrasyonlardaki kadmiyum tuzu ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)'na maruz bırakılan fasulye fidelerinin, günâşırı gövde büyüme (uzama) oranları

0.05, 0.06 ve 0.08 mM $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ uygulanan fasulye fidelerinin gövde büyümeleri (uzunlukları) uygulamanın ikinci gününde kontrol bitkilerine göre, sırasıyla %15.27, %15.68 ve %17.56 oranlarında; uygulamanın onuncu gününde yine kontrol bitkilerine göre ve sırasıyla %32.48, %32.92 ve %35.05 oranlarında daha az gerçekleşmiş ve bu değerler istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Ayrıca bu parametre açısından genel olarak deney gruplarının kendi aralarında önemli sayılabilecek farklılıkların olduğu ($p < 0.05$) ortaya çıkmıştır. 0.05, 0.06 ve 0.08 mM kadmiyum tuzu içeren Hoagland solüsyonlarında büyütülen fidelerin primer yaprak alanları uygulamanın ikinci gününde kontrol bitkilerine göre, sırasıyla %1.63, %1.83 ve %2.64 oranlarında daha az artmış (Şekil 6.), 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 açık şekilde kendini göstermiştir ($p < 0.05$). Uygulamanın onuncu gününde 0.05, 0.06 ve 0.08 mM $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ uygulanan fidelerin yaprak büyümeleri kontrol bitkilerine göre sırasıyla %23.91, %25.60 ve %30.17 oranlarında daha az gerçekleşmiş ve bu değerler önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. Ayrıca deney gruplarının kendi aralarında da farklılıkların olduğu görülmüştür ($p < 0.05$).



Şekil 6. 10 gün süreyle farklı konsantrasyonlardaki kadmiyum tuzu ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)'na maruz bırakılan fasulye fidelerinin, güneşirni belirlenen yaprak alanı artış yüzdeleri.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Elde ettiğimiz bulgulara göre civa ve kadmiyumun klor tuzları fasulye fidelerinin kök, gövde ve yaprak büyümelerini önemli oranlarda engellemiştir. Her iki ağır metalin konsantrasyonundaki artış ile kök, gövde ve yaprak büyümesinin inhibisyonu arasında pozitif bir korelasyon gözlenmiştir. Fideleri civa ve kadmiyuma maruz bırakma periyodunun sonuna doğru kök, gövde ve yaprak büyümelerindeki azalma çok daha açık bir şekilde ortaya çıkmıştır ($p < 0.01$). Civa ve kadmiyum birbiriyle kıyaslandığında civanın daha toksik olduğu tespit edilmiştir. Kök büyümesinin metal toksisitesine daha duyarlı olduğu, bunu gövde ve yaprak büyümesinin takip ettiği anlaşılmıştır.

Civa ve kadmiyum için tespit ettiğimiz bu sonuçlar daha önce farklı bitki türleri için belirlenen çok sayıdaki bulguyla uyum içerisindedir. Mesela kadmiyum ve civanın *Vigna unguiculata* L. var. *Pusa falguni* bitkisinde kök ve gövde büyümesine engel olduğu [17]; kadmiyum, bakır, kurşun ve çinkonun *Sorghum bicolor* L. bitkisinde konsantrasyona bağlı olarak kök ve gövde gelişimini azalttığı [18] tespit edilmiştir. *Oryza sativa* L. cv. Bahia'da kadmiyum ile nikelin kök ve gövde uzunluğunu [19]; *Brassica juncea* fidelerinde çinkonun gövde uzunluğunu [20]; *Zea mays* L. Dekalp cv.

Sponsor bitkisinde kadmiyumun kök ve gövde uzunluğunu [21] azalttıkları bildirilmiştir. Kadmiyumun *Pinus pinea* ve *P. pinaster* fidelerinde kök uzunluğunu engellediği [22]; bakır konsantrasyonundaki artışın *Oryza sativa* L. cv.Safari bitkisinde gövde uzunluğunu azalttığı [23] rapor edilmiştir.

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 [24]. Metallerin köklerde tutulup biriktirilmesi köklerin morfolojisinin, anatomisinin ve büyümesinin diğer organlara göre çok daha fazla etkilemesi sonucunu beraberinde getirir.

Metallerin farklı mekanizmalarla kök, gövde ve yaprak büyümesine engel olduğu, bu durumun bitki türüne ve gelişme şartlarına göre değiştiği bilinmektedir. Mesela alüminyum kök hücre bölünmesini [25]; çinko, bakır ve kurşun kök hücre uzamasını [26] engellemek suretiyle büyümeye ket vurur. *Allium cepa* köklerinde yapılan çalışmalar [27] alüminyumun nükleik asitlere bağlanarak sitokinezi engellediğini göstermiştir. *Zea mays* bitkisinde yapılan bir çalışmada alüminyumun kök kaliptrasındaki polisakkarit metabolizması ve golgi aktivitesi üzerine etkisi nedeniyle kök hücre bölünmesini engellediği bildirilmiştir [28]. Alüminyumun bir buğday varyetesinin kök hücrelerinde DNA replikasyonu ve hücre bölünmesini azalttığı ve dolayısıyla kök büyümesini engellediği ileri sürülmüştür [29].

Sonuç olarak; civa ve kadmiyum fasulye fidelerinin kök, gövde ve yaprak büyümesini önemli oranlarda inhibe etmiştir. Bu iki ağır metalden civa kadmiyuma göre bu organların büyümesini daha fazla engellemiştir.

Kaynaklar

- [1] G. Ouzounidou, E.P. Eleftheriou, S. Karataglis, *Canadian Journal of Botany*. 1992, 70, 947-957.
- [2] C.H.Poschenrieder, B. Gunse, J. Barcelo, *Plant Physiol*. 1989, 190, 1365-1371.
- [3] F.C. Lidon, J. Ramalho, F.S. Henriques, *Plant Physiol*. 1993, 142, 12-17.
- [4] S. Nussbaum, D. Shemutz, C. Brunold, *Plant Physiology* 1988, 88, 1407.
- [5] S. Doncheva, B. Nicolov, V. Ogneva, *Physiol. Plantarum* 1996, 96, 118-122.

- [6] B.V. Somashekaraiah, K. Padmaja, A.R.K. Prasad, *Physiol. Planarum* 1992, 85, 85-89.
- [7] Ö Munzuroğlu, H. Geçkil, *Environ. Cont. and Toxi.* 2002, 43, 203-213.
- [8] C.D. Kennedy, F.A.N. Gonsalves, *J. Exp. Bot.* 1987, 38, 800-817.
- [9] H. Matsumoto, E. Hirasawa, H. Torika, E. Takahashi, *Plant Cell Physiol.* 1976, 17, 127-137.
- [10] A.M.B. Phalsson, *Water, Air, Soil Pollut.* 1989, 47, 287-319.
- [11] E.L. Heale, D.P. Ormrod, *Can. J.Bot.* 1982, 60, 2674.
- [12] T.V.S. Sresty, K.V. Madhova, *Env. and Exp. Bot.* 1999, 41, 3-13.
- [13] M. Delgado, M. Bigeriego, E. Guardiola, *Wat. Res* 1993, 27 (2), 269-272.
- [14]. C.S. Andrew, H.J. Pieters, *CSIRO Australian Div. Trop. Agron. Tech* 1976, 18, 1-12.
- [15]. A.D. Rovira, *Plant and Soil* 1956, 2, 178-193.
- [16] Ö. Munzuroğlu, *F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi* 1999, 11 (1), 67-75.
- [17] S. Nagoor, *J. of Phy. Research* 1997, 10, 31-34.
- [18] B.R. Pandit, P.G. Prasannakumar, *Pollut. Res.* 1999, 18, 459-466.
- [19] J.L. Moya, R. Ross, I. Picazo, *Photosynthesis Research* 1993, 36, 75-80.
- [20] K.V.S.K. Prasad, S.P. Paradha, P. Sharmila, *Environ. and Exp. Bot.* 1999, 42, 1-10.
- [21] N. Rascio, F.D. Vecchia, M. Ferretti, L. Merlo, R. Ghisi, *Arch. Environ. Contam. Toxicol* 1993, 25, 244-249.
- [22] I. Arduini, D.L. Godbold, A. Onnis, *Physiol. Plant* 1994, 92, 675-680.
- [23] F.C. Lidon, F.S. Henriques, *Environ Exp Bot.* 1998, 39, 197-202.
- [24] J.C. Fernandes, F.S. Henriques, *The Bot. Rev* 1991, 57, 246-273.
- [25] J.B. Hanson, *Advances in Plant Nut.*, New York 1984, p.149-248.
- [26] S.D. Lane, E.S Martin, J.P. Garrod, *Planta* 1978, 144, 79-84.
- [27] S. Morimura, E. Takahashi, H. Matsumoto, *Z. Pflanzenphysiol.* 1978, 88, 395-401.
- [28] R.J. Bennet, C.M. Breen, V. Bandu, *S. Afr. J. Bot.* 1985, 51, 363-370.
- [29] S. Zhengua, J. Wang, H. Guan, *J. of Plant Nut.* 1993, 16, 2135-2148.