



BAZI KAVAK (*POPULUS L.*) TAKSONLARININ KADMIYUMA KARŞI FITOEKSTRAKSİYON ROLLERİ

Esra Nurten YER ÇELİK^{1,*}, Sezgin AYAN¹, Mehmet Cengiz BALOĞLU²

¹Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu

²Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Kastamonu

*Sorumlu yazar: esranurtenyer@gmail.com

Esra Nurten YER ÇELİK: <https://orcid.org/0000-0002-6368-3916>

Sezgin AYAN: <https://orcid.org/0000-0001-8077-0512>

Mehmet Cengiz BALOĞLU: <https://orcid.org/0000-0003-2976-7224>

Please cite this article as: Yer Çelik, E. N., Ayan, S., Baloğlu, C. M. (2021). Bazı kavak (*Populus L.*) taksonlarının kadmiyuma karşı fitoekstraksiyon roller, *Turkish Journal of Forest Science*, 5(1), 46-56

ESER BİLGİSİ / ARTICLE INFO

Araştırma Makalesi / Research Article

Geliş 10 Kasım 2020 / Received 10 November 2020

Düzeltilmelerin gelişi 18 Ocak 2021 / Received in revised form 18 January 2021

Kabul 27 Ocak 2021 / Accepted 27 January 2021

Yayımlanma 30 Nisan 2021 / Published online 30 April 2021

ÖZET: Kadmiyum (Cd) ile kontamine olmuş toprakların ıslah başarısı; dokularına Cd birikmesine izin veren bitkilerin seçimine ve kullanımına bağlıdır. Kavak taksonlarının hızlı büyüme, derin kök sistemlerine sahip olma ve kısa rotasyonla işletilebilme özellikleri yeşil ıslah için kullanılmalarına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada; altı kavak taksonu/klonu araştırmaya obje olmuştur. Bunlar; *Populus alba L.* (Akkavak), *P. tremula L.* (Titrek kavak), *P. nigra L.* (Karakavak) klon: Geyve ve N03.368A ve melez kavak klonları *P. euramericana Dode. Guinier I-214* ve *P. deltoides Bartr / Samsun (I-77/51)*. Kavak taksonlarının yaprak, kök ve dal aksamlarında Cd birikme miktarları Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) cihazı ile belirlenmiştir. Araştırmacılar Cd birikimi yapan bitki dokularını; en çok biriken aksamdan en az birikim yapan doku kısmına doğru; kök> gövde> yapraklar> meyve> tohum olarak sıralamaktadır. Çalışma kapsamında; yaprak örneklerinin analizi sonucunda; *P. tremula*'da 12,45 ppm miktarında en yüksek Cd miktarı tespit edilirken, minimum kadmiyum birikimi, 0,84 ppm ile *P. alba* türlerinde tespit edilmiştir. Kök örneklerinin analizinde; en yüksek kadmiyum miktarı 34 ppm miktarıyla *P. euramericana I-214*'te, en düşük birikim miktarı ise *P. alba* türünde 4.6 ppm olarak saptanmıştır. Dal örneklerinde ise; en yüksek kadmiyum miktarı 5,54 ppm ile *P. deltoides Samsun (I-77/51)* klonunda bulunmuştur. Minimum kadmiyum birikimi ise, *P. nigra Geyve* klonunda 0.44 ppm seviyesinde belirlenmiştir. Ayrıca araştırma sonucuna göre; Kavak taksonlarında sırasıyla en yüksek Cd birikimi yapan dokuların kök, dal ve yaprak olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Fitoremediasyon, Ağır metal, Hiperakümülatör, Yeşil Islah, AAS

PHYTOEXTRACTION ROLES OF SOME POPLAR (*POPULUS L.*) TAXA AGAINST TO CADMIUM

ABSTRACT: Reclamation success of soils contaminated with cadmium (Cd); It depends on the choice and use of plants that allow the accumulation of Cd to their tissues. The rapid growth of poplar taxa, having deep root systems and being able to operate with short rotation allow them to be used for green breeding. In this study, six poplar taxa were used. They were; *P. alba* (white poplar), *P. tremula* (aspen), *P. nigra* (black poplar) clone: Geyve and N03.368A and hybrid poplar clones; *Populus euramericana* Dode. Guinier / I-214 and *Populus deltoides* are Bartr / Samsun (I-77/51). The amount of Cd accumulation in leaf, root and branch parts of poplar taxa was determined by Atomic Absorption Spectrometer (AAS) device. Researchers plant tissues that accumulate Cd; From the most accumulated component to by the least accumulated that as have a respectively; have been listed as root> stem> leaves> fruit> seed. This scope of; as a result of the analysis of leaf tissue samples; the highest amount of cadmium was determined in *Populus tremula L.* with 12.45 ppm. Minimum cadmium accumulation was determined in *Populus alba L.* poplar species in the amount of 0.84 ppm. As a result of the analysis of root tissue samples; the highest amount of cadmium was determined in I-214 with 34 ppm. Minimum cadmium accumulation was determined in *Populus alba L.* poplar species in an amount of 4.6 ppm. As a result of the analysis of branch tissue samples; the highest cadmium amount was found in Samsun (I-77/51) clone with an amount of 5.54 ppm. The minimum cadmium accumulation was determined at *Populus nigra L.* - Geyve poplar clone at a level of 0.44 ppm. Also; according to the results of the research; It was determined that the tissues with the highest Cd accumulation in poplar taxa, respectively, are roots, branches and leaves.

Keywords: Phytoremediation, Heavy metal, Hyperaccumulator, Green breeding, AAS

GİRİŞ

Ağır metaller, yoğunluğu $>5 \text{ g/cm}^3$ veya atom ağırlığı ≥ 50 olan elementler, -Cu, Fe, Zn, Pb, Hg, Co, Cr, Ni ve Cd gibi- yer kabuğunda doğal olarak bulunan bileşiklerdir, bozulmaz ve yok edilemezler. Vücuda gıdalar, içme suyu ve hava yolu ile girebilmektedirler. İz elementler gibi bazı ağır metaller (Cu, Se, Zn) insan vücudunun metabolizmasını sürdürmek için gereklidirler. Bununla birlikte; yüksek konsantrasyonlarda toksik olabilirler ve zehirlenmelere yol açabilirler (Hamutoğlu ve ark., 2012).

Biyosferde aşırı konsantrasyonlarda As, Cd, Cr, Zn gibi ağır metallerin birikmesi çevresel kirlenmeye yol açmaktadır. Ortamdaki birçok metalin aşırı yoğun konsantrasyonları bitkiler ve hayvanlar tarafından kolayca emilebilmektedir ve bu nedenle besin zincirine girerek insanları tehdit edebilmektedir. Kadmiyum çeşitli endüstriyel faaliyetlerde sıklıkla kullanılmakta olan çevresel ve mesleki açıdan önemli bir ağır metaldir (Schulze ve ark., 2005; White ve Brown, 2010).

Son birkaç on yılda, kirlenmiş ortamlardan tehlikeli kirleticileri çıkarmak, imha etmek veya elimine etmek için bitkilerin kullanılmasına dayanan bitki ıslahı yöntemleri gibi yenilikçi, çevre dostu ve uygun maliyetli biyolojik teknolojilere odaklanılmıştır. Çevreyi temizlemek için bitkilerin kullanılması, kirlenmiş toprakların ve suların fitoremediasyonunda uygulanabilen etkili ve yerinde bir teknolojidir (Clemens ve ark., 2002; Schulze ve ark., 2005). Ancak,

fitoremediasyon tekniği çok ağır düzeylerde kirlenmiş alanlarda değil, düşük düzeylerde kirlenmiş alanlarda bitkilerin kullanımına imkân vermektedir (Hamutoğlu vd. 2012). Fitoremediasyonun başarısı için kullanılan bitkilerin üç kriteri yerine getirmesi gereklidir. Bu kriterler; 1) Bu bitki kökleri topraktaki ağır metalleri alarak tüketebilmelidir, 2) Bu bitkiler ağır metalleri sürgünlere taşıyıp, biriktirmeli ve hasat sonrası bu sürgünler işlenebilmelidir, 3) Bitkiler, ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarının toksik etkisinden kendi bünyelerini koruyacak mekanizmalara sahip olmalıdırlar (Gumaelius, 2004; Ayan ve Yer, 2017).

Toprakta Cd birikimi insan sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu birikimi azaltmak için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Cd ile kontamine olmuş toprakların fitoremediasyonunun başarısı, dokularında yüksek miktarda Cd biriktirebilen bitkilerin seçimi ve kullanımına bağlıdır. Kavak taksonları fitoremediasyon uygulamalarında tercih edilen türler arasındadır. Kavakların biyoremediasyon amacıyla kullanılması, yere derinlemesine nüfuz eden derin ve zengin kökleri sistemleri nedeniyle iyi sonuçlar vermektedir.

Kavak türleri hızlı büyüme özellikleri ve kısa rotasyon ile işletilebilmeleri nedeniyle ayrıca önem arz etmektedirler. Genellikle, Cd bitkilerin köklerinde depolanmaktadır. Bazı araştırmacılar, bitkinin meyve kısmında hiç Cd gözlemediğini bildirmiştir. Bitkinin farklı kısımlarında Cd birikimi azalan sıra ile kök> gövde> yapraklar> meyve> tohum gerçekleşmektedir (Hall, 2002; Benavides ve ark., 2005).

Cd potansiyel olarak toksik ağır bir metaldir. Bitki dokularında da birçok morfolojik, fizyolojik ve genetik problemlere sebep olmaktadır. Bitki kökleri tarafından kirleticilerin alınımını ve sonrasında toprak üstü organlarda biriktirilmesini takiben bitkilerin hasat edilerek yok edilmesini içeren fitoekstraksiyon tekniği, Cu ve Zn gibi aktif olarak alınan besin elementleri ile Cd, Ni ve Pb gibi besin elementi olmayan ağır metallerin uzaklaştırılmasında da kullanılmaktadır (Padmavathiamma ve Loretta, 2007). Kavaklar, fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon, fitodegradasyon ve fitovolatilizasyon gibi birçok fitoremediasyon tekniğinde (Vanlı, 2007; Aybar ve ark., 2015) en yaygın kullanılan odunsu taksonlardır. Örneğin; Bor (B), bitkilerin normal büyümeleri için gerekli bir besindir. Toprakta düşük miktarda bulunmasına rağmen, özellikle kurak ve yarı kurak ortamlarda bitkiler için son derece toksik olmaktadır. Kavakların B toksisitesi ve birikimine toleranslı türler olduğu bilinmektedir. Bor (B) toksisitesi dünyada genişleyen bir çevre sorunu olduğundan yapay sulak alanlarda kavak türlerinin B uzaklaştırma performansının araştırıldığı bir çalışmada; Test edilen söğüt ve kavak türlerinin, toprağın filtreleme kapasitesini arttırarak, rizosfer çevresinde borun fitostabilizasyonunu sağladığı görülmüştür. B kaldırma yetenekleri açısından ise, Salix alba, Populus alba ve S. babylonica yapay sulak alanlarda daha fazla bitki stabilizasyon performansına sahipken, Populus nigra ve Salix anatolica en yüksek fitoekstraksiyon ile B kaldırma kapasitesine sahiptir (Velioğlu ve ark., 2020).

Bu çalışmada; farklı kavak takson ve klonları ile bitkinin farklı aksamalarının Cd birikimleri karşılaştırmalı olarak ortaya konulmaya çalışılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Klonların Yetiştirilmesi ve Kadmiyum Stresinin Uygulanması

Ankara Behiçbey Orman Fidanlığı kavak klon koleksiyonlarından temin edilen farklı kavak takson ve klonları bu çalışmada araştırma materyali olarak seçilmiştir. Araştırmada; *Populus*

alba L. (Akkavak), *P. tremula* L. (Titrek kavak), *P. nigra* L. (Karakavak) klon: *Geyve ve N03.368A* ve *P. euramericana* Dode. Guinier / I-214 (Melez kavak) ve *P. deltoides* Bartr. / *Samsun (77/51)* tür ve klonları kullanılmıştır.

Fidan üretimi için sert çelik kullanılmıştır. Çelik materyalleri yaklaşık 15-20 cm uzunluğunda ve 12±2 mm kalınlığında hazırlanmıştır. Çeliklerde yeterli sayıda nod (En az 2-3) bulunmasına dikkat edilmiştir. Çelikler dikim öncesinde 5-10 saniye kadar steril su ile seyreltilmiş sıvı bitki hormonuna [indol-3-butirik asit (IBA), fungusit, borik asit, Farmatalk-8000 ppm] maruz bırakılmıştır. Çelikler, hormon uygulamasından sonra 1:3 oranında turba : perlit karışımı içeren 25x40 cm polietilen torbalara dikilmişlerdir. Oluşan sürgünler 80-100 cm boya ulaştığında Cd stresi uygulanmıştır. Stres uygulaması, günün serin saatlerinde toprak nem seviyesi göz önüne alınarak, bitkilere günlük 200 mM CdSO₄H₂O çözeltisinin (He ve ark., 2013; Baccioa ve ark., 2014) uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Kadmiyum stresi uygulanmış kavak türleri/klonları, fidan torbalarının ağırlıklarına göre sırasıyla 100-250 ml CdSO₄H₂O çözeltisi ile kontrol grubu ise su ile muamele edilmiştir. Stres uygulaması başladıktan sonraki 28. günde gerek Cd uygulaması yapılmış gerekse kontrol fidanlarının yaprak, dal ve kök aksamlarından örnekler alınmıştır.

Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) ile Kavak Dokularında Kadmiyum Birikiminin Ölçülmesi

Cd ağır metal stresine maruz bırakılan ve kontrol grubundaki kavak taksonlarından yaprak, kök ve dal örnekleri alınarak laboratuvar ortamında 3 gün boyunca 70 °C'de kurutulmuştur (Marmioli ve ark., 2013). Kurutulan örnekler blender yardımıyla ve havanda ezilerek homojenize edilmiştir. Örnekler 3 tekrarlı 0,5 gr tartılmıştır. Örnekler üzerine çeker ocak içerisinde 1:4 oranında HNO₃ ve % 70'lik perklorik asit (HClO₄) karışımından 6 ml (1 gr=12 ml) ilave edilmiştir (Twyman, 2005).

Asit ile muamele edilen örnekler kapalı sistem yakma cihazında (Milestone-Ethos One-1.600 Watt) cihaza ait özel kaplar içerisinde yaklaşık 1 saat bekletilmiştir. Ölçümler, "Atomik Absorpsiyon Spektroskopi (AAS)" cihazı ile yapılmıştır. Kavak klonlarına ait yaprak ve dal örneklerinde ölçümleri ng/mL (ppb) seviyesinde hassas ölçüm yapabilen "Graft Fırın Sistem" tekniği ile çalışan GBC, Avanta marka AAS cihazı ile saptanmıştır. Kök örneklerinde ise değerlerin okuması µg/mL (ppm) seviyesinde "Alevli Atomik Absorpsiyon" tekniği ile çalışan AAS cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Cd ölçümleri 228,8 nm lamba dalga boyunda yapılmıştır. Örnekler için 3 farklı standartlar hazırlanmıştır. Standart hazırlanışı: 1 gr metalik kadmiyum tartılır ve 1 lt'lik balon jöjeye aktarılır. Üzerine yaklaşık 30 ml HCl eklenir ve hacim çizgisine kadar deiyonize saf su ile tamamlanır. Bu şekilde 1000 ppm'lik Cd standardı hazırlanmıştır. Kök doku örneklerinde 0.200, 1.000, 2.000 µg/ml (ppm), dal doku örnekleri için 20.000, 50.000, 100.000 ng/ml (ppb) ve yaprak doku örnekleri için 10.000, 25.000, 50.000 ng/ml (ppb) standart çözeltileri hazırlanmıştır.

Standartların dalga boyunda okuduğu absorbanlardan faydalanarak konsantrasyonlara karşı absorban grafiği çizdirilmiş ve bir standart eğri oluşturulmuştur. Cihaz örneğin absorbanını okuduğunda kalibrasyon grafiğinden konsantrasyon ölçmüştür.

Cd miktarı (mg/kg)=(Cö x V x SF) / m hesaplamasına bağlı kalınarak belirlenmiştir. Cö= Standart eğrisinden yararlanarak okunan konsantrasyon, V= yakma işlemi sonrası örneğin konulduğu balonjojenin hacmi (ml), m= alınan örnek miktarı (g), SF= Seyreltme faktörü. Örneğin; Cö=10,731, V=50 SF=1 m=0,5 ise Cd miktarı = 1073,1 ppb (ng/ml); ppm seviyesinde 1,073 ppm okuması yapılmıştır ve örnek konsantrasyon değeri olarak alınmıştır (1 ppm =1000 ppb).

Ölçümler cihaz sisteminde bir örnek için 3 tekrar ve her tekrar için 5 kez okuma değeri alınmıştır. Ortalama hesabına bağlı kalınarak kontrol ve stres uygulanan kavak dokularında (yaprak, dal ve kök) kadmiyum birikimine ait hesaplama kullanılarak saptanmıştır.

İstatistik Analizler

Kavak türleri/klonları ile bitki aksamaları (kök, dal, yaprak) arasındaki Cd birikim düzeyi farklılığını belirlemek için SPSS programı (16. Versiyon) kullanılarak Varyans Analizi (ANOVA) uygulanmıştır. ANOVA sonuçları doğrultusunda, oluşan farklılıkların homojen grupları Tukey's testi ile test edilmiştir.

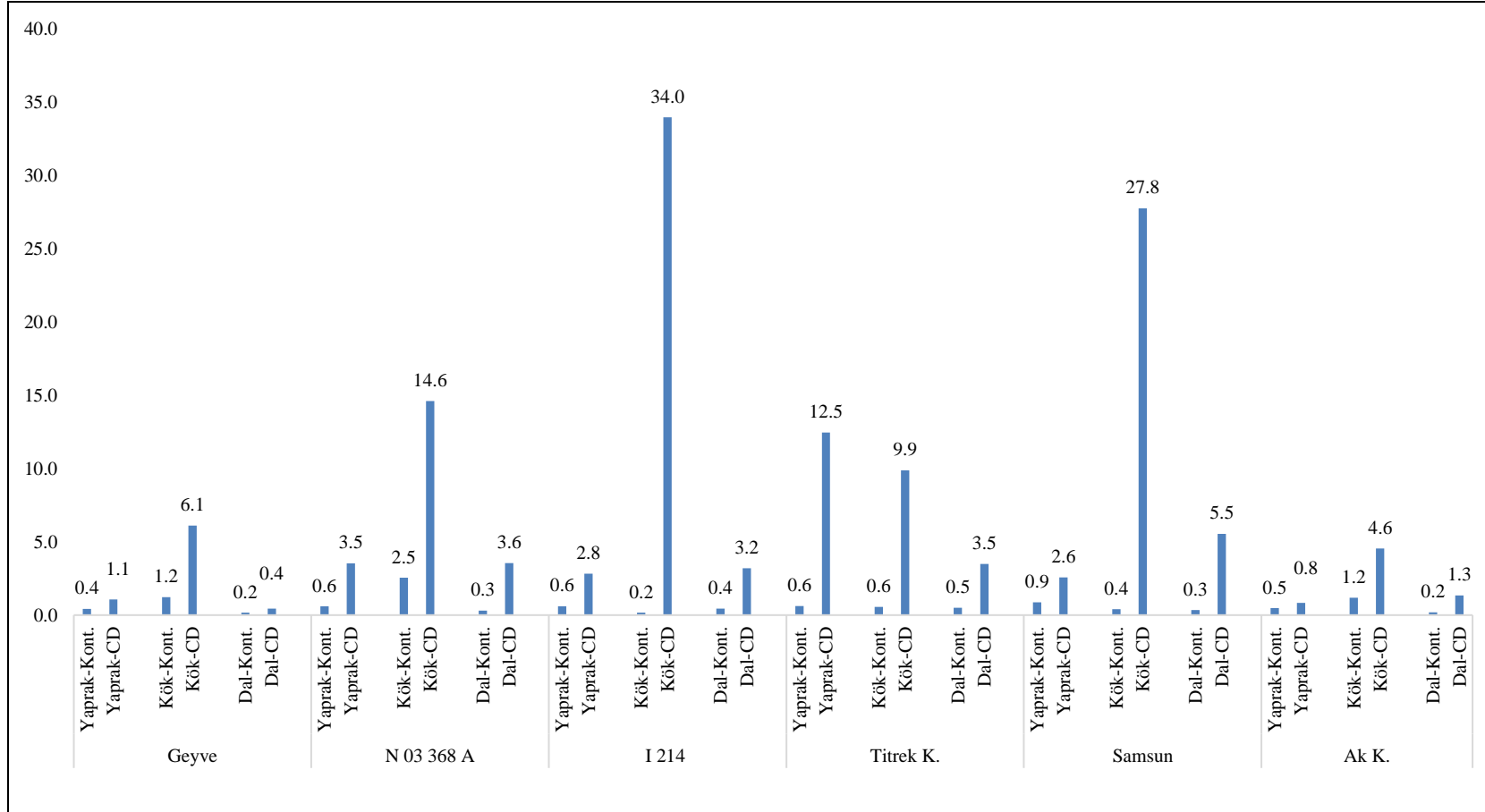
BULGULAR

Kavak takson ve klonlarına göre yaprak, kök ve dal aksamalarında biriken Cd miktarları Şekil 1'de gösterilmiştir. Kavak taksonları/klonları arasında kök, dal ve yaprak dokusunda Cd birikim miktarı bakımından anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Taksonlar arasında belirlenen anlamlı farklılıklar ve çoklu test gruplandırmaları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bitki aksamalarına göre taksonlar/klonlar arasındaki Cd birikim miktarları

Tür/Klon	Kök (ppm)	Dal (ppm)	Yaprak (ppm)	Bitki aksamalarında Cd birikim miktarları
	Cd			
<i>Populus nigra</i> , Geyve	6,10±0,0057b	0,44±0,0057a	1,07±0,0057b	Kök>Yaprak>Dal
<i>Populus nigra</i> N. 03.368A	14,60±0,0057d	3,55±0,0057e	3,53±0,0088e	Kök>Dal>Yaprak
<i>Populus euroamericana</i> I-214	33,95±0,0057f	3,20±0,0057c	2,83±0,0057d	Kök>Dal>Yaprak
<i>Populus tremula</i>	9,87±0,0057c	3,49±0,0057d	12,45±0,0057f	Yaprak>Kök>Dal
<i>Populus deltoides</i> Samsun (77/51)	27,75±0,0057e	5,54±0,0057f	2,57±0,0057c	Kök>Dal>Yaprak
<i>Populus alba</i>	4,55±0,0057a	1,33±0,0057b	0,83±0,0057a	Kök>Dal>Yaprak
F değeri ve P düzeyi	459680,25* / 0,000	98057,70* / 0,000	128300,04* / 0,000	

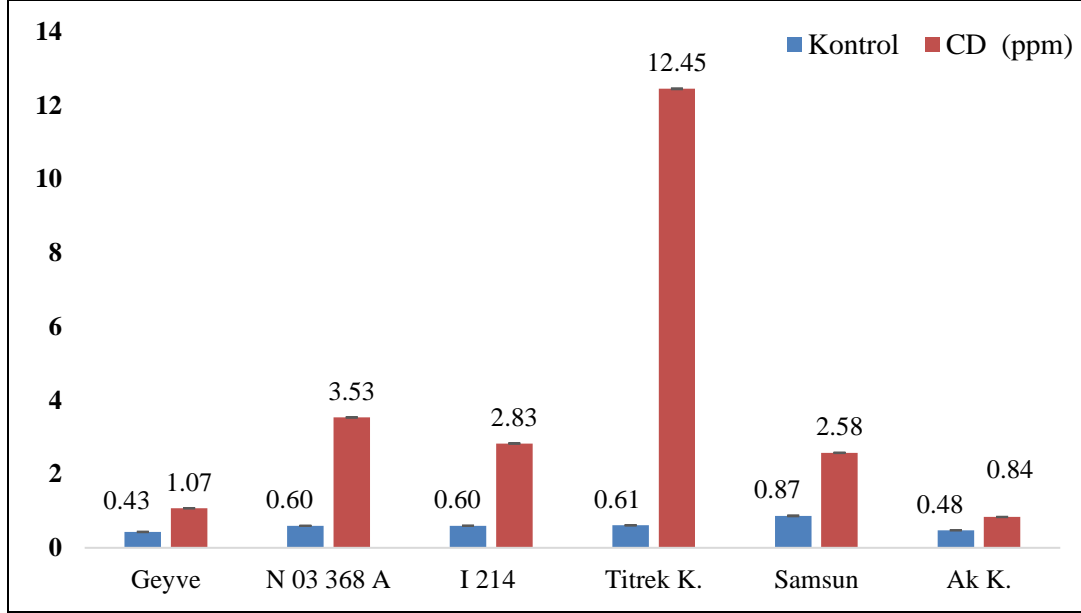
*: % 95 güven düzeyini temsil eder.



Şekil 1. Farklı kavak taksonlarının/klonlarının yaprak, kök ve dal dokularında Cd birikim miktarları

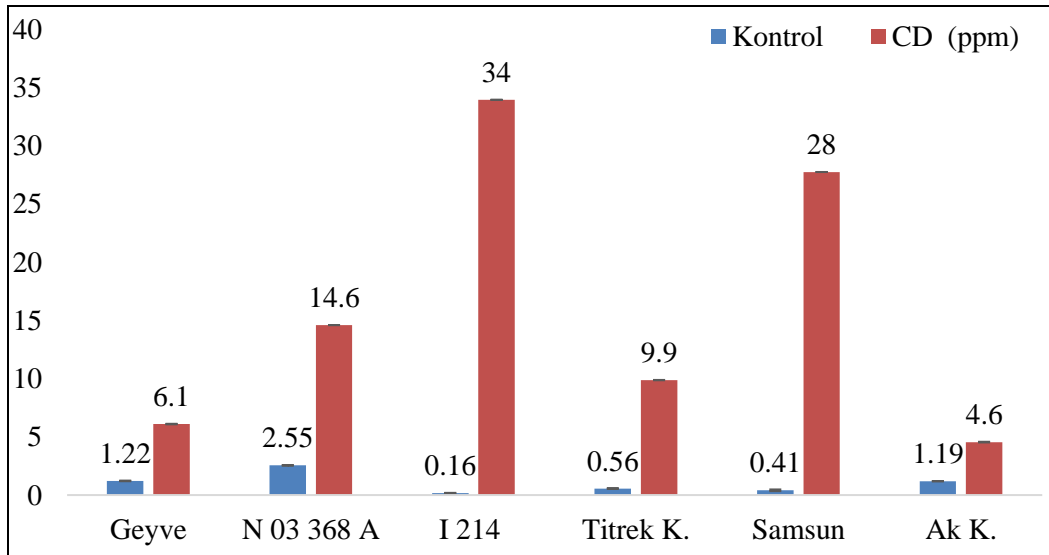


Yaprak doku örneklerinin analizleri sonucunda; Cd miktarı en yüksek titrek kavakta 12,45 ppm düzeyinde tespit edilmiştir. En az kadmiyum birikimi ise 0,84 ppm düzeyinde akkavak türünde belirlenmiştir (Şekil 2). Taksonların yaprak örneklerindeki Cd birikimleri arasında 14,8 kat daha fazla fark tespit edilmiştir.



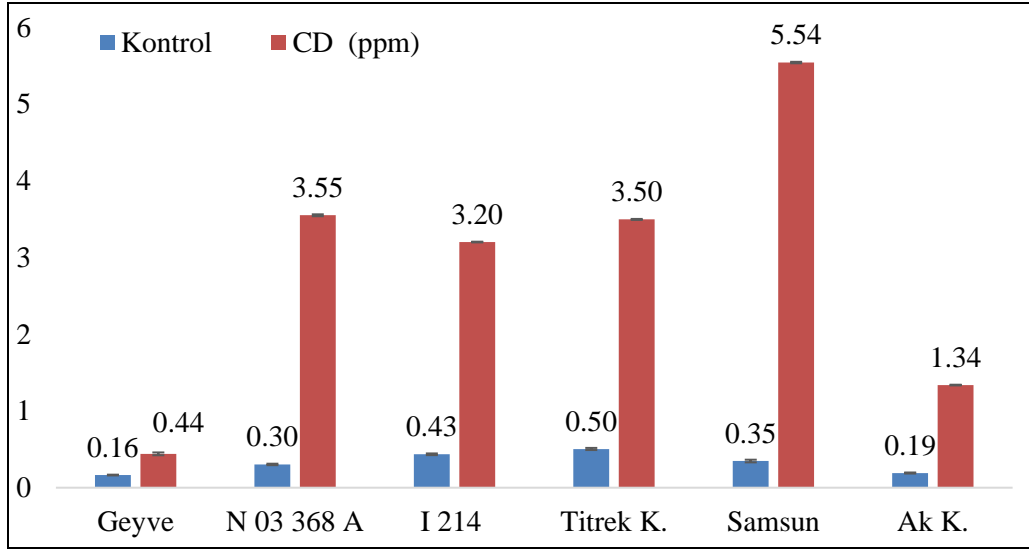
Şekil 2. Kavak taksonları yaprak örneklerinde kadmiyum birikim miktarları

Kök aksamalarının analizleri sonucunda; Cd miktarı en yüksek I-214 melez kavağında 34 ppm düzeyinde, en az birikim ise 4,6 ppm düzeyinde akkavak türünde belirlenmiştir (Şekil 3). Taksonların kök örneklerindeki Cd birikimleri arasında 7,4 kat daha fazla fark tespit edilmiştir.



Şekil 3. Kavak taksonları kök örneklerinde kadmiyum birikim miktarları

Dal örneklerinin analizlerinde ise Cd miktarı en yüksek *P. deltoides* Samsun (77/51) klonunda 5,54 ppm düzeyinde, en az Cd birikimi ise 0,44 ppm düzeyinde karakavak Geyve klonunda belirlenmiştir (Şekil 4). Taksonların dal örneklerindeki Cd birikimi açısından en yüksek ve en düşük miktar arasında 12,6 kat bir varyasyon tespit edilmiştir.



Şekil 4. Kavak taksonları dal örneklerinde kadmiyum birikim miktarları

TARTIŞMA ve SONUÇ

Topraktaki Cd birikimi insan sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Topraktaki Cd seviyesini azaltmak için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojilerden biri topraktaki Cd absorbe etmek için bitkilerin depo olarak kullanımı yani fitoremediasyondur. Yani, Cd depolayan bitkilerin hasat edilmesi ile toprağın temizlenmesidir. Cd ile kirlenmiş topraklarda fitoremediasyonun başarısı dokularında Cd birikmesine olanak sağlayacak bitkilerin seçimi çok önemlidir. Bu bakımdan, kavak taksonları fitoremediasyon için kullanımı önerilmektedir (Kramer, 2010). Çünkü, kavak ağacı türleri hızlı büyüme gösteren, derin kök sistemine ve kısa rotasyon ile işletilebilmeleri sebebiyle tercih edilmektedir (Di Lonardo vd., 2011). ABD'nin Güney Dakota eyaletinde hibrit bir kavak ile yürütülen çalışmada; Kavakların ilk yıl 12 m büyüme kaydederek, bünyesinde tahmin edilenden çok daha yüksek miktarlarda As ve Cd biriktirmiştir (Pivetz, 2001). Cd'un *Populus tremula* x *Populus alba* (genotip INRA 717-1B4)'daki kumulatif etkilerini ortaya koymak için yürütülen ardışık iki Cd konsantrasyonu (3.2 mmol ve 16 mmoles Cd) uygulamasında; Kavağın fitoremediasyon ve özellikle de fitostabilizasyon için potansiyel bir bitki olabileceği vurgulanmıştır (Velioğlu ve Akgül, 2016).

Bu çalışmada; Atomik absorpsiyon cihazı yardımıyla kavak taksonlarının yaprak, kök ve dal aksamlarındaki kadmiyum birikim miktarı belirlenmiştir. Yaprak doku örneklerinin analizleri sonucunda; kadmiyum miktarı en yüksek *P. tremula* L.'da 12,45 ppm düzeyinde tespit edilmiştir. En az kadmiyum birikimi ise 0,84 ppm düzeyinde *P. Alba* kavak türünde belirlenmiştir. Kök doku örneklerinin analizleri sonucunda; kadmiyum miktarı en yüksek *P. euramericana* I-214 klonunda 34 ppm düzeyinde, en az kadmiyum birikimi ise 4,6 ppm düzeyinde *P. alba* kavak türünde belirlenmiştir. Dal doku örneklerinin analizleri sonucunda ise; kadmiyum miktarı en yüksek *P. deltoides* Samsun (77/51) klonunda 5,54 ppm düzeyinde, en az kadmiyum birikimi ise 0,44 ppm düzeyinde *P. nigra* - Geyve kavak klonunda belirlenmiştir. Yaprak döken türler için yaprak dokusunda kadmiyum birikiminin tahmini

olarak ortalama 0.1 ile 17 ppm arasında olabileceği belirlenmiştir. Akçağaçta yaprak dokusunda 1.6 ppm, gövde/dal kısmında 4.9 ppm kadmiyum birikimi saptanmıştır. Söğüt bitkisinde ise yaprak dokusunda ortalama 15.7 ppm ve gövde/dal kısmında 37.6 ppm birikim olduğu tespit edilmiştir. *Populus tremuloides* Michx.'de ise yaprak aksamında 7.7 ve gövde/dal aksamında 13.7 olarak kadmiyum birikimi görülmüştür (Shacklette, 1972). Araştırmannın sonuçları, bu çalışmanın bulguları ile benzerlik göstermektedir.

Kavak taksonlarında en yüksek kadmiyum birikiminin görüldüğü dokunun kök olduğu tespit edilmiştir. Yaprak ve dal birikim düzeylerinden oldukça yüksek değerler kök dokusunda belirlenmiştir. Araştırmacılar çalışmalarında Kavak ağacının farklı dokularında biriken toplam Cd miktarının, otsu hiperakümülatörler tarafından biriktirilmiş Cd miktarından çok daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir (Di Lonardo ve ark., 2011; Pietrini ve ark., 2010). Bu sonuçlar, kavağın Cd fitoremediasyonu için uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca, birçok çalışmada kavağın kök, ağaç kabuğu ve yapraklarında farklı Cd birikimi, olduğunu tespit edilmiştir (Laureysens ve ark., 2005; He ve ark., 2011; Elobeid ve ark., 2012). Kadmiyum birikim miktarı farklı çalışmalarda da kök>gövde>yaprak>meyve>tohum şeklinde tespit edilmiştir (Benavides ve ark., 2005; Dai ve ark., 2013; Jakovljevic ve ark., 2014). Ayrıca, aynı kavak türün farklı klonlarının tür içi genetik farklılığı nedeniyle ağır metal toleransının varyasyon gösterdiği vurgulanmıştır (Clemens, 2001; Castiglione ve ark., 2009). Bu araştırma kapsamında kullanılan altı farklı takson ve klonun tamamında dal ve yaprak aksamlarına göre en çok Cd birikimi kök aksamında tespit edilmiştir.

YAZAR KATKILARI

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

TEŞEKKÜR

Araştırma, Kastamonu Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi (Proje No: KÜBAP-01/2016-39) tarafından desteklenmiştir. Bu çalışma Dr. Öğr. Üyesi Esra Nurten YER ÇELİK'in doktora tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR

- Aybar, M., Bilgin, A., Sağlam, B., (2015). Fitoremediasyon Yöntemi İle Topraktaki Ağır Metallerin Giderimi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1 (1-2) 59-65.
- Baccioa, D., Castagna, A., Tognetti, R., Ranieri, A., Sebastiani, L. (2014). Early responses to cadmium of two poplar clones that differ in stress tolerance. Journal of Plant Physiology, 171, 1693–1705.
- Benavides, M. P., Gallego, S. M. (2005). Tomaro, M. L.. Cadmium Toxicity in Plants. Brazil Journal Plant Physiology, Vol.17 No.1, Londrina, 21-34.
- Castiglione, S., Todeschini, V., Franchin, C., Torrigiani, P., Gastaldi, D., Ciatelli, A., Rinaudo, C., Berta, G., Biondi, S., Lingua, G. (2009). Clonal differences in survival capacity, copper and zinc accumulation, and correlation with leaf polyamine

- levels in poplar: A large-scale field trial on heavily polluted soil, *Environ Pollut.*, 157:2108–2117.
- Clemens, S. (2001). Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. *Planta*, 212:475–486 doi:10.1007/s004250000458.
- Clemens, S., Palmgren, M.G. & Krämer, U. (2002). A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. *Trends in Plant Science*, 7, 309-315.
- Dai, Hui-Ping., Chan-Juan, Shan., Genliang, Jia., Chao, Lu., Tu-Xi Yang and An-Zhi Wei. (2013). Cadmium detoxification in *Populus×canescens*. *Turkish Journal of Botany*, 37: 950-955.
- Di Lonardo, S., Capuana, M., Arnetoli, M., Gabbrielli, R., Gonnelli, C. (2011). Exploring the metal phytoremediation potential of three *Populus alba* L. clones using an in vitro screening. *Environ Sci Pollut Res.*, 18:82–90.
- Elobeid, M., Göbel, C., Feussner, I., Polle, A. (2012). Cadmium interferes with auxin physiology and lignification in poplar. *J Exp Bot.*, doi :10.1093/jxb/err384.
- Hall, J. L. (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 53, 1-11.
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A.B., Cansaran-Duman, D., Aras, S., (2012). Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(4): 235-53.
- He, J., Li, H., Luo, J., Ma, C., Li, S., Qu, L., Gai, Y., Jiang, X., Janz, D., Polle, A., Tyree, M., Luo Z. (2013). A Transcriptomic Network Underlies Microstructural and Physiological Responses to Cadmium in *Populus canescens* L. *Plant Physiology*, Vol. 162, pp. 424–439.
- He, J., Qin, J., Long, L., Ma, Y., Li, H., Li, K., Jiang, X., Liu, T., Polle, A., Liang, Z., Luo, Z. B. (2011). Net cadmium flux and accumulation reveal tissue-specific oxidative stress and detoxification in *Populus×canescens*. *Physiol Plant* 143:50–63.
- Jakovljevic, T., Bubalo, M. C., Orlovic, S., Sedak M., Bilandzic, N., Brozincevic, I., Redovnikovic IR. (2014). Adaptive response of poplar (*Populus nigra* L.) after prolonged Cd exposure period. *Environmental science and pollution research international*, 21:3792-3802 doi:10.1007/s11356-013-2292-7.
- Kramer, U. (2010). Metal hyperaccumulation in plants. *Annu Rev Plant Biol*, 61:517–534.
- Laureysens, I., De Temmerman, L., Hastir, T., Van Gysel, M., Ceulemans, R. (2005). Clonal variation in heavy metal accumulation and biomass production in a poplar coppice culture, II. Vertical distribution and phytoextraction potential, *Environ Pollut.*, 133:541–551.
- Marmioli, M., Imperiale, D., Maestri, E., Marmioli, N. (2013). The response of *Populus* spp. to cadmium stress: Chemical, morphological and proteomics study. *Chemosphere*, 93:1333-1344.
- Padmavathiamma PK, Loretta YL. (2007). Phytoremediation technology: Hyper-accumulation metals in plants. *Water Air Soil Pollut*, 184: 105-26.
- Pietrini, F., Zacchini, M., Iori, V., Pietrosanti, L., Bianconi, D., Massacci, A. (2010). Screening of poplar clones for cadmium phytoremediation using photosynthesis, biomass and cadmium content analyses, *Int J Phytoremediat* 12:105–120. *Plant Physiology Preview*. DOI:10.1104/pp.110.164152.
- Pivet, B. E. (2001). Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites, United States Environmental Protection Agency EPA, 540/S-01/500, 36 p.
- Schulze, E., Beck, E., Müller-Hohenstein, K. (2005). *Plant Ecology*. Springer, Germany, Berlin, 702p.
- Shacklette, H. T. (1972). Cadmium in plants. U.S. Geological Survey Bull. 1314-G.

- Twyman, R. M. (2005). Sample Dissolution for Elemental Analysis/Wet Digestion. pp: 4503-4510, University York, UK.
- Vanlı, Ö. (2007). Pb, Cd, B Elementlerinin Topraklardan Şelat Destekli Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 88 s. İstanbul.
- Velioğlu, E., Akgül, S., (2016). Poplars and Willows in Turkey: Country Progress Report of the National Poplar Commission. Time period: 2012-2015, Poplar and Fast Growing Forest Trees Research Institute, 20. S, İzmit/Turkey.
- White, P. J. ve Brown, P. H. (2010). Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany*, 105, 1073-1080.