

**ATIK ÇAMURUN İYİLEŞTİRİLEBİLMESİ İÇİN BİTKİSEL ARITIM'IN  
(FİTOREMEDİYASYON) KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI\*\***

*Applicability of Phytoremediation in Waste Sludge  
Stabilization*

Cem KÖSEOĞLU  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Zeynep ZAIMOĞLU  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**ÖZET**

Bu çalışmada, *Aptenia Cordifolia*, *Carpobrotus Edulis* ve *B.Delagoensis Tubiflorum* bitkileri ile arıtma çamurunun ağır metal içeriğinin düşürülmesi ve süs bitkileri yetiştiriciliğinde bitki yetiştirme ortamı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda ortamda ve, kök ve yaprak/gövde olarak, bitkilerin bünyesinde kalan ağır metal miktarı belirlenmiştir. Diatomit ile hazırlanan yetiştirme ortamında Cr, Fe, Ni ve Mn için en yüksek verimi sırasıyla % 91,13, % 80,55, % 88,01 ve % 62,27 oranlarında *B. Tubiflorum* bitkisi sağlanmıştır. Aynı ortamda Cu ve Pb için en yüksek verimi sırasıyla % 45,19, % 73,41 oranlarında *C. Edulis* bitkisi sağlamıştır. Bazaltik tüfle hazırlanan ortamda ise Cr, Cu, Pb, Fe ve Ni için en yüksek verimi sırasıyla % 82,01, % 48,71, % 51,89, % 66,16 ve % 72,58 oranlarında *A. Cordifolia* bitkisi sağlanmıştır. Aynı sette Mn için en yüksek verimi % 59,33 oranında *C. Edulis* bitkisi sağlamıştır.

**Anahtar Kelimeler** : Bitki ile Islah, Ağır Metal Birikimi

**ABSTRACT**

In this study, improvement and rehabilitation potential of the wastewater treatment sludge Plant by *Aptenia Cordifolia*, *Carpobrotus Edulis* and *B.Delagoensis Tubiflorum* species and investigation of the potential use of the sludge in plant cultivation as growth medium were aimed. Residual heavy metal concentrations in growth medium and heavy metal accumulations in the tissues of the plants, as roots and stems/leaves, were observed. Highest removal rates of heavy metals were observed for Cr, Fe, Ni, Mn by *B. Tubiflorum* specie as 91.13%, 80.55%, 88.01% and 62.27% in the diatomite medium, respectively. The highest removals of Cu and Pb in the same medium were observed as 45.19% and 73.41% by *C. Edulis* specie, respectively. Cr, Cu, Pb, Fe and Ni removal rates in basaltic medium were observed to be highest in the sets of *A. Cordifolia*, as 82.01, 48.71%, 51.89%, 66.16% and 72.58%, respectively. In the same media highest Mn removal rate was observed by *C. Edulis*, as 59.33%.

**Keywords** : Phytoremediation, Heavy metal accumulation

---

\* Yüksek Lisans Tezi-MSc. Thesis

## **Giriş**

Toprak kaynakları endüstriyel faaliyetler sonucunda ağır metallerce kirlenmektedir. Bu faaliyetler pil üretimi, boyama sanayi, evsel atıksu arıtım çamurları, fosfatlı gübreler ve maden aktiviteleri olarak özetlenebilir. (Boularbah ve ark., 2005)

Evsel atıksular arıtımı kolay olsa bile değişken özellikleri nedeniyle, arıtımda son ürün olan arıtma çamuru bünyesinde pek çok kirleticiyi barındırır. Arıtma çamurlarının bertarafı için uygulanan yöntemler bu çamurların susuzlaştırılarak hacminin küçültülmesi ve sonra deponi alanlarına gönderilmesi ile yapılmaktadır. Fakat bu hem fazladan yeni bir maliyet yükü hem de gereksiz arazi kullanımına neden olmaktadır. Ayrıca uygun koşullarda yapılmayan deponi alanları da çevre için büyük risk taşımaktadır. Arıtma çamurlarının bünyesinde barındırdığı en önemli kirletici ise ağır metallerdir. Ağır metaller canlı bünyesinde düşük konsantrasyonlarda etkinlik göstermese bile yüksek konsantrasyonları toksik etkiye sahiptir. Ağır metallerin arıtma çamuru ve topraklardan giderimi konusunda bitkisel arıtım yöntemleri dünyanın pek çok yerinde araştırılan ve önem verilen bir konudur.

Bitkisel arıtım ortamdaki kirleticileri bitki kullanılarak gidermek anlamında kullanılmaktadır. (Cunningham ve ark., 1995). Bitkiler kök ve/veya gövdelerinde ağır metalleri bünyelerine alarak doğaya geri dönmesine mani olur. Bu özellik ağır metallerin çevreden giderimi amacıyla kullanılan bitkisel özümleme mekanizmasının temelini oluşturur. (Audet ve ark., 2006)

İspanyada yapılan bir çalışmada ağır metallerce kirlenmiş 4300 ha lık maden sahasının iyileştirilmesi çalışılmış. Kullanılan bitki türlerinin iyi gelişim sağladığı ancak arıtım kapasitelerinin bulunmadığı belirtilmiştir. Başka bir çalışma ise Kanada da bulunan kömür madeni atıklarının depo alanında yapılan iyileştirme denemeleridir. Burada araştırmacılar kullandıkları bitki türlerinin bu şekilde ağır kirlilik yükü bulunan ortamda bile etkinlik gösterdiğini ve bu şekle bölgenin tekrar doğaya kazandırılabilceğini belirtmişlerdir (Duncan., 2002). Bir döğüt türünün üzerinde yapılan ağır metal alım kapasitesi araştırmasında ise yüksek konsantrasyonda kirlilik içeren ortamlarda bitkinin daha az miktarda giderim kabiliyetinin bulunduğunu belirtmiş ancak tam tersi durumlarda ise bitkilerin çok yüksek oranlarda giderim yapabildiğini belirtmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada ise esas olarak kullanılan arıtma çamurunda bulunan ağır metallerin insan ve çevre sağlığına olabilecek olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi için *Aptenia Cordifolia*, *Carpobrotus Edulis* ve *B.Delagoensis Tubiflorum*.bitkilerin bu ortamdaki giderim potansiyellerinin belirlenmesi ayrıca diatomit ve Bazaltik tüfün bitkisel arıtım çalışmalarında hem arıtım potansiyeline hemde bitki gelişimine sağlayacağı katkılar incelenmiştir.

## **Materyal ve Metod**

### **Materyal**

Çalışma, Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Araştırma Laboratuvarında tamamlanmıştır. Çalışma için 5,5 lt'lik 27 adet kap bitki yetiştirme haznesi olarak kullanılmıştır. Çalışmada bitki yetiştirme ortamı olarak

stabilize atık çamur, bazaltik tuf, diatomit ve hazır toprak kullanılmıştır. Saksılara *Bryophyllum Delagoensis Tubiflorum*, *Carpobrotus Edilis* ve *Aptenia Cordifolia* bitkileri ekilmiştir. Çalışmada kullanılan bitki türleri Çukurova bölgesinin ekosistemine ait ve sukulent özelliğe sahip bitkilerdir.

Çalışmada kullanılan arıtma çamuru Adana Batı Atıksu Arıtma Tesisinden temin edilmiş olup ağır metal içeriği çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Arıtma Çamurunun Ağır Metal İçeriği

	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Aritma Çamuru	64,75	139,33	149,58	7985,00	123,42	259,92

Bazaltik tuf ve diatomit çalışmada hem iyi birer filtre malzemesi olmaları hemde bitkilerin arıtım potansiyellerine olan etkilerini gözlemlemek amacıyla kullanılmışlardır. Aşağıda çizelge 2'de bu materyallerin ağırmetal içerikleri verilmiştir.

Çizelge 2. Bazaltik Tufün ve Diatomitin Ağır Metal İçeriği

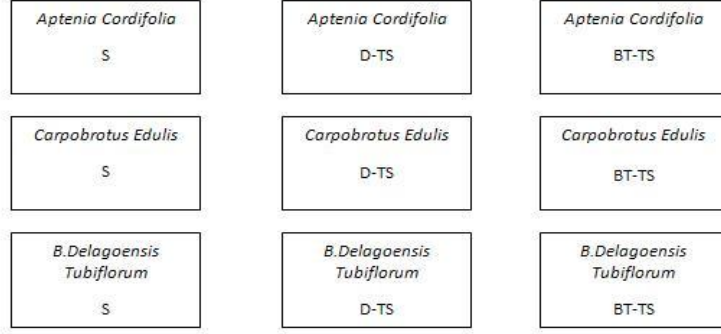
	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Bazaltik Tuf	21,5	14,75	2,83	5176,67	15,5	185,67
Saf Diatomit	8,5	133,08	2,92	4187,5	13,08	224

## Metod

Çalışma 01.06.2006 tarihinde başlamış ve üç aylık bir süreci kapsamıştır. Çalışma süresi boyunca haftalık olarak bitkilerin boy değişimleri ölçülmüş, günlük olarak ise iklimsel değişimler kaydedilmiştir.

Çalışma düzeneğinde bitki yetiştirme haznesi olarak 5,5 lt hacminde, yarı şeffaf, tabanı deliksiz kaplar kullanılmıştır. Düzenek her bitki türü için 9 ar saksı olmak üzere toplam 27 saksıdan hazırlanmıştır. Her blok da üç adet tekerrürden oluşan üçer farklı ortam mevcuttur. Şekil 1'de hazırlanan tekerürlerden bir tanesi gösterilmektedir. Buna göre yapılmış kısaltmalar ise şu şekildedir.

- S:Hazır botanik toprağı,
- D-TS: Diatomit + Arıtma çamuru,
- BT-TS: Bazaltik tuf + Arıtma çamuru kullanılmıştır.



Şekil 1. Deneme düzeneği 3 tekerrürlü hazırlanmıştır

Bazaltik tuf ve diatomit arıtma çamurunun yüksek su tutma kapasitesini düşürmek ve bitki için daha uygun bir ortam hazırlamak amacıyla kullanılmıştır. Hazırlanan ortamlarda her bir litre arıtma çamuruna karşın iki litre filtre malzemesi kullanılmıştır. Ayrıca bitkilerin en rahat gelişimini tamamlayabileceği içeriği belirli hazır toprak karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Ortamlar hazırlanırken hazneler araştırmancının sağlığı açısından dikkatle etiketlenmiş ve her kaptaki üstten 3 cm boşluk kalacak şekilde ortam malzemesi fazla sıkıştırmadan konulmuştur.

Bitkiler deneysel süreç boyunca üç günde bir olmak üzere birinci sınıf sulama suyuyla sulanmıştır. Can suyu olarak başlangıçta 400 ml su verilmiştir. Daha sonraki süreçte ise hazır botanik toprağının diğer ortamlara göre daha yüksek su tutma kapasitesinin olduğu fark edilip bu toprağın kullanıldığı haznelere diğerlerine verilenin 1/3 ü kadar su verilmiştir. Geri kalan üç aylık süreç boyunca bitkiler 3 günde bir 150 ml suyla sulanmıştır. Hazır toprağın bulunduğu haznelere ise 50 ml suyla sulanmıştır. Çalışmalar sırasında düzenli olarak sıcaklık ve nem ölçümleri yapılmıştır.

Sistemin sökülmesinden sonra bitkiler kök, yaprak/gövde olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Her bir haznedeki toprak numuneleri ve bitki kısımları hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları alınmıştır. Bitki kökü ve yaprak/gövdesinin tümü, toprak numunelerinin ise bir miktarı örnek alınarak ısıya dayanıklı poşetlere yerleştirilmiş ve sabit ağırlığa ulaşmasını sağlamak üzere 60 °C'ye ayarlanmış etüvde 5 gün boyunca bekletilmiştir. Beş gün sonunda bitkilerin kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Kurutulmuş bitkiler ve toprak numuneleri öğütülerek elekten geçirilmiş ve eş boyutta olmaları sağlanmıştır. Numuneler söküldükleri hazne numaralarına göre isimlendirilerek özel nem geçirmez poşetlerde saklanmıştır.

Numuneler Perkin Elmer marka Optima 2100 DV OES (Optical Emission Spectrometer) cihazı (Şekil 3.11) ile ağır metal analizlerine hazırlanmak için standart metotlar kitabındaki SM 3030 K Methoduna uyularak ön işleme tabi tutulmuştur. Numunelerden 0,3 g tartılarak mikrodalga yakma ünitesinin kaplarına konulmuştur, üzerine 9 ml % 65 saflıkta nitrik asit eklenmiş ve parçalanmaya bırakılmıştır. Parçalanmış numuneler etiketlenerek şişelere konulmuştur.

Numunelerin içerisinde kalan inorganik maddelerden uzaklaştırmak için süzme işlemi yapılmıştır. Süzme işlemi için Selülozik Whatman 0,45 mm filtre kağıdı kullanılmıştır. Süzülen numuneler saf su eklenerek 25 ml'ye tamamlanmıştır.

Ç.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü'ne ait olan Hassas Cihaz laboratuvarında Perkin Elmer marka Optima 2100 DV OES (Optical Emission Spectrometer) cihazı (Şekil 3.11) ile SM 3120 B Methoduna uyularak, SM 3030 K Methodu ile hazırlanmış numunelerin içindeki ağır metal muhtevası ölçülmüştür

Çaşıma sonunda elde edilen veriler spss 10 paket programına aktarılarak varyans analizi ile çalışmanın istatistiki analizi yapılmıştır. (Özdamar, 1999)

### **Bulgular ve Tartışma**

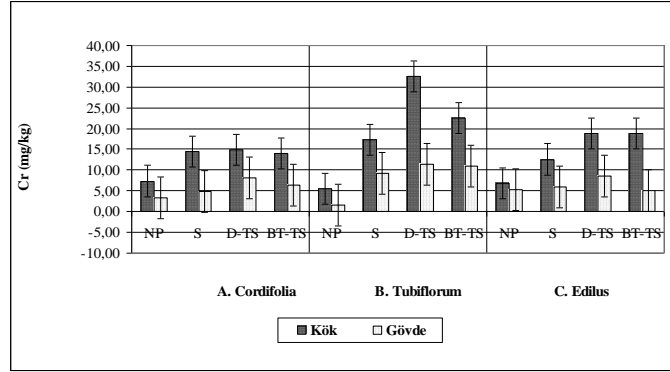
Çukurova Bölgesinde, 1929–1992 yılları arasındaki iklim sonuçlarına göre; ortalama yıllık sıcaklık 18,7°C, en soğuk ay 9,3°C ile Ocak ayı olup 0°C sıcaklık çok nadir görülür, en sıcak ay 28,0°C ile Ağustos ayıdır. Yılın 195,6 günü yazdır ve yağmurlu gün sayısı 76,4 gündür. Yağış her mevsimde farklı miktarlarda görülmekte ve en çok yağış Ocak, Şubat, Mart aylarında düşmektedir. Ortalama yıllık yağış 648,8 mm olup, en fazla 130,3 mm ile Aralık ayı, en az 4–6 mm ile Ağustos ayında görülmektedir. Bölgedeki yaz kuraklığının nedeni dinamik yüksek basınç alanlarının etkili olması ve bölgenin alçalıcı hava hareketlerinin etkisine girmesinin sonucudur.

Bu araştırmada hem her bir bitkinin ağır metal alımları belirlenmeye çalışılmış hem de üç bitki türünün birbirine göre alım kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Bitki yetiştirme ortamları,

- NP: Doğal ortamdan alınan grupları,
- S: Ortam olarak hazır botanik toprağında yetiştirilen grupları,
- D-TS: Diatomit ve arıtma çamuru ortamında yetiştirilen grupları,
- BT-TS: Bazaltik tuf ve arıtma çamurunda yetiştirilen grupları,

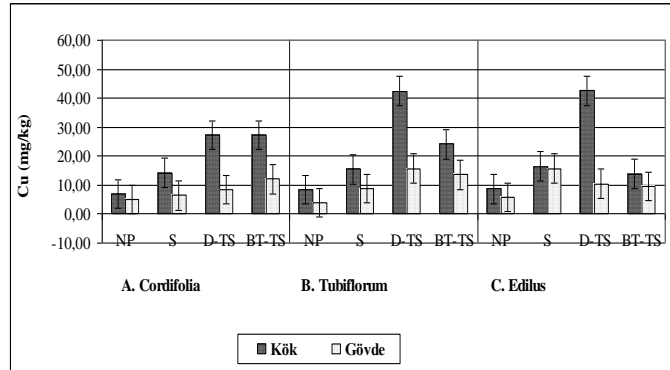
olarak ifade edilebilir.

Analizlerde yedi çeşit ağır metal incelenmiştir. Bunlar Cr, Cu, Cd, Pb, Fe, Ni ve Mn elementleridir. Elementler içinde Cd hem bitkilerin bünyesinde hem de arıtma çamurunda rastlanmamıştır. Bu durum mevcut Cd konsantrasyonunun analizler için kullanılan ICP cihazının minimum ölçüm değeri olan 0,005 mg/l değerinin altında olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer elementlerin değerlendirilmesi ve grafikleri aşağıda verilmiştir.



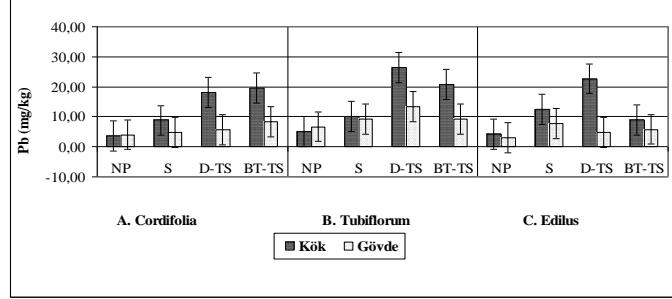
Şekil 2. Bitkilerin krom (Cr) alımlarının karşılaştırılması

Bitki çeşitleri içinde *B. Tubiflorum* bitkisi Cr (Krom) elementini en çok depolaya bilen bitki olarak göze çarpmaktadır (şekil 2). Bitki en yüksek birikim değerini D-TS grubu deney setinde köklerinde göstermektedir ( $32.53 \pm 32.45$ ). Daha sonra sırasıyla *C. Edulis* ve *A. Cordifolia* bitkisi için yetiştirme ortamına ilaveten diatomit kullanılan D-TS gurubu deney setinde ve yine köklerde gözlenmiştir ( $18.78 \pm 7.31$ ;  $14.89 \pm 3.7$ ).



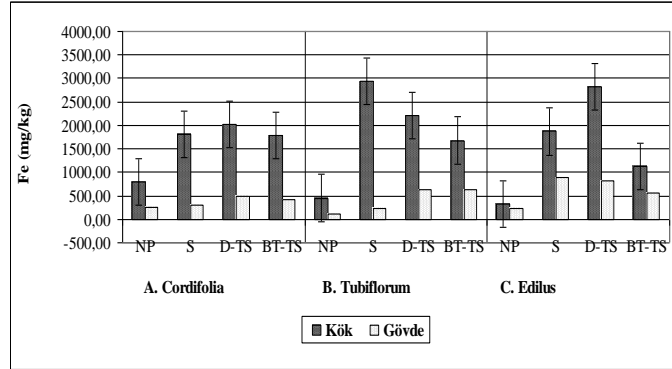
Şekil 3. Bitkilerin bakır (Cu) alımının karşılaştırılması

Bitki çeşitleri içinde *C. Edulis* ve *B. Tubiflorum* bitkisi Cu (Bakır) elementini en çok D-TS grubunda depolaya bilen bitki olarak göze çarpmaktadır (şekil 3) ( $42.58 \pm 7.99$ ;  $42.44 \pm 10.97$ ). Ancak *C. Edulis* bitkisi bünyesinde diğerine göre daha fazla Cu (Bakır) biriktirebilmiştir. Bu bitkiler kendi içlerinde de en çok alımı D-TS grubunun yaptığı gözlemlenmektedir.



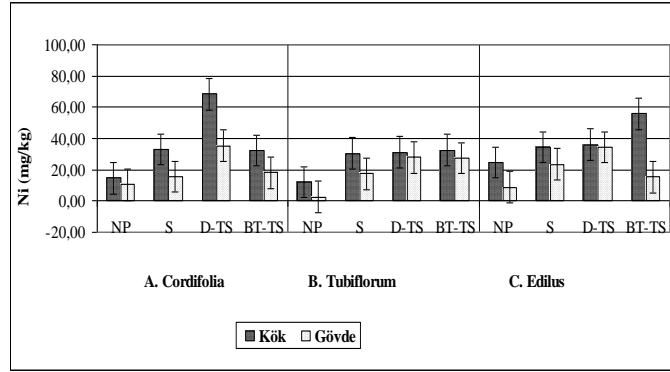
Şekil 4. Bitkilerin kurşun (Pb) alımının karşılaştırılması

Şekil 4'de bitki çeşitleri içinde *B. Tubiflorum* bitkisi Pb (Kurşun) elementini en çok depolaya bilen bitki olarak göze çarpmaktadır.(26.31±1.44) Bu bitki kendi içinde ise en çok alımı D-TS grubunun yaptığı gözlemlenmektedir. *A. Cordifolia* bitkisi için Pb (Kurşun) alımı en çok BT-TS grubunda olmuştur.(19.61±9.31) *C. Edulis* bitkisi için Pb (Kurşun) alımı en çok BT-TS grubunda olduğu gözlenmektedir (22.67±17.01).



Şekil 5. Bitkilerin demir (Fe) alımının karşılaştırılması

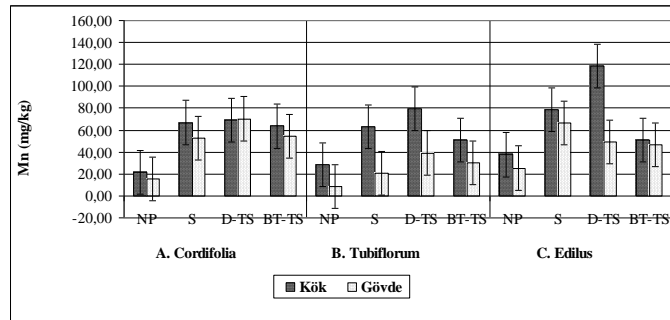
Şekil 5'de bitki çeşitleri içinde *B. Tubiflorum* bitkisi Fe (Demir) elementini en çok depolaya bilen bitki olarak göze çarpmaktadır.(2934.17±168.65) Bu bitki kendi içinde ise en çok alımı S grubunun yaptığı gözlemlenmektedir. *A. Cordifolia* bitkisi için Fe (Demir) alımı en çok D-TS grubunda olmuştur.(2021.11±84.69) Ancak diğer gruplarında alımları yaklaşık olarak aynıdır. *C. Edulis* bitkisi için Fe (Demir) alımı en çok D-TS grubunda olmuştur (2827.50±275.22).



Şekil 6. Bitkilerin nikel (Ni) alımının karşılaştırılması

Şekil 6'da bitki çeşitleri içinde *A. Cordifolia* bitkisi Ni (Nikel) elementini en çok depolaya bilen bitki olarak göze çarpmaktadır.(68.33±7.60) Bu bitki kendi içinde ise en çok alımı D-TS grubunun yaptığı gözlemlenmektedir. *B. Tubiflorum* bitkisi için Ni (Nikel) alımı en çok BT-TS grubunda olsa da bitkiler arasında oldukça az bir fark mevcuttur.(32.58±8.23) *C. Edulis* bitkisi için Ni (Nikel) alımı en çok BT-TS grubunda olmuştur(55.86±4.58).

Aşağıda ise bitkilerin Mn alımları incelenmiştir. Bitki çeşitleri içinde *C. Edulis* bitkisi Mn (Mangan) elementini en çok depolaya bilen bitki olarak göze çarpmaktadır.(118.78±12.30) Bu bitki kendi içinde ise en çok alımı D-TS grubunun yaptığı gözlemlenmektedir. *B. Tubiflorum* bitkisi için Mn (Mangan) alımı en çok D-TS grubunda gerçekleştirmiştir.(79.53±8.78) *A. Cordifolia* bitkisi için Mn (Mangan) alımı en çok D-TS grubunda olmuştur.(69.39±2.30) Aynı zamanda *A. Cordifolia* bitkisi Mn (Mangan) birikimini hem kök hem de gövdesinde yüksek konsantrasyonlarda gerçekleştirebilmiştir. (şekil 7.)



Şekil 7. Bitkilerin mangan (Mn) alımının karşılaştırılması

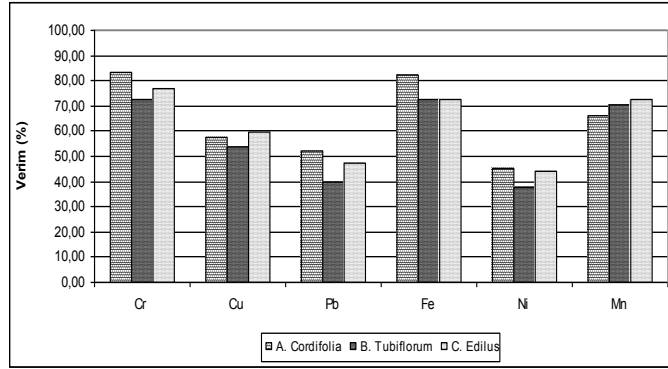
Bitkilerin ağır metal giderim potansiyelleri incelenecek olursa. Gruplandırma bitkinin yetiştirildiği ortamın cinsine göre yapılmış ve 3 grupta ele alınmıştır.



Grafiklerde verilen değerler % olarak verilmiştir. Bitki yetiştirme ortamları şu şekilde:

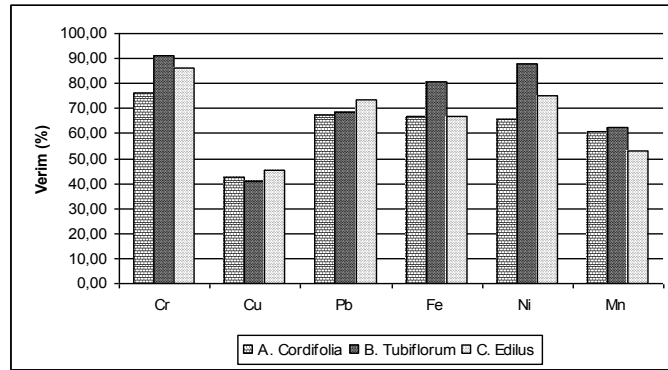
- S: Ortam olarak hazır botanik toprağında yetiştirilen grupları,
  - D-TS: Diatomit ve arıtma çamuru ortamında yetiştirilen grupları,
  - BT-TS: Bazaltik tuf ve arıtma çamurunda yetiştirilen gruplarını,
- temsil etmektedir.

S grubu incelendiğinde tüm bitki türleri için arıtma çamurundan en çok giderimi sağlanan krom (Cr) olarak göze çarpmaktadır. Bitkilerin giderim sıraları ise sırasıyla demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu), kurşun (Pb) ve nikel olarak söylene bilir (Şekil 8).



Şekil 8. S grubu bitkilerin ağır metal giderim verimleri

Tüm ağır metaller göz önünde bulundurulursa, giderim verimi en yüksek bitki krom (Cr) %83,54, kurşun (Pb) %52,21, demir (Fe) %82,36, nikel (Ni) %45,07 oranlarıyla *A. Cordifolia* bitkisidir. Bakır (Cu) %59,76 mangan (Mn) %72,31 da ise en yüksek verimi *C. Eduli* bitkisi sağlamıştır.



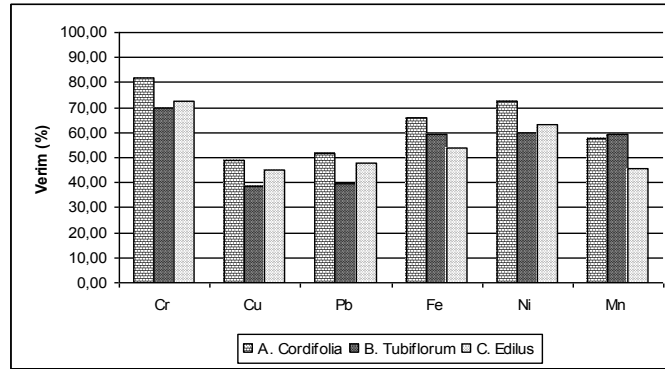
Şekil 9. D-TS grubu bitkilerin ağır metal giderim verimleri

DT-TS grubu incelendiğinde tüm bitki türleri için arıtma çamurundan en çok giderimi sağlanan krom (Cr) olarak göze çarpmaktadır. Ağır metallerin giderim sıraları ise sırasıyla nikel (Ni), demir (Fe), kurşun (Pb) mangan (Mn) ve bakır (Cu), olarak söylene bilir (şekil 9).

Tüm ağır metaller göz önünde bulundurulursa. Giderim verimi krom (Cr) %91,13, nikel (Ni) %88,01, demir (Fe) %80,55, mangan (Mn) %62,27 için en yüksek bitki *B. Tubiflorum*'dur. Kurşun (Pb) ve bakır (Cu) da ise en yüksek verimi *C. Edulis* bitkisi sırasıyla %73,74, %45,19 oranlarında sağlamıştır.

BT-TS grubu incelendiğinde tüm bitki türleri için arıtma çamurundan en çok giderimi sağlanan krom (Cr) olarak göze çarpmaktadır. Ağır metallerin giderim sıraları ise sırasıyla nikel (Ni), demir (Fe), kurşun (Pb) mangan (Mn) ve bakır (Cu), olarak söylene bilir.(şekil 10)

Tüm ağır metaller göz önünde bulundurulursa, giderim verimi en yüksek bitki krom (Cr) %82,01, bakır (Cu ) %48,71, kurşun (Pb) %51,89, demir (Fe) %66,16, nikel (Ni) %72,58 oranlarıyla *A. Cordifolia* bitkisidir. Mangan (Mn) %59,33 da ise en yüksek verimi *B. Tubiflorum* bitkisi sağlamıştır.



Şekil 10. BT-TS grubu bitkilerin ağır metal giderim verimleri

Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler. İstatistiki olarak analiz edilebilmesi için spss 10 paket programı yardımıyla varyans analizi yapılmıştır. Uygulama dört set üzerinden yapılmıştır. Uygulanan test sonuçlarında oluşturulan grupların birbirlerine göre önem seviyelerini gösteren değerler spss paket programına göre eğer 0.005 değerinin altında ise bu bize sonucun istatistiksel olarak önemli derecede farklı olduğunu göstermektedir. Aksi durumda oluşturulan gruplar birbirine göre istatistiksel olarak önemli derecede farksız olduğunu ifade etmektedir. Tablolarda kullanılan kısaltmalar önemlilik derecesine göre yapılmıştır.

- a= Fark istatistiki olarak ileri derecede önemli
- b= Fark istatistiki olarak önemsiz
- c= Fark istatistiki olarak önemsiz
- d= Fark istatistiki olarak ileri derecede önemsiz

Üç bitki türünün gövdelerinin ve köklerinin ağır metal alımı bakımından birbirine göre karşılaştırılmasını incelediğimizde bu sette çalışmada kullanılan üç farklı bitki türünün kök ve gövdelerinde gerçekleştirdikleri ağır metal alımlarının birbirlerine göre istatistiki olarak önemli olup olmadığını göstermektedir.

Çizelge 3. Birinci Deney Setinin İstatistiki Anlamlılığı

Önemlilik	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)
Gövde	0.420 d	0.400 d	0.438 d	0.144 d	0.061 c	0.892 d
Kök	0.593 d	0.616 d	0.680 d	0.794 d	0.097 c	0.893 d

a: ileri derecede önemli, b: önemli, c: önemsiz, d: ileri derecede önemsiz

Çizelge 3'e göre *A. Cordifolia*, *B. Tubiflorum*, *C. Eduli* bitkilerinin gövdelerinde yaptıkları ağır metal birikimi birbirlerine göre istatistiki bakımdan ileri derecede önemsiz. Yani aralarında herhangi bir farklılık bulunmamaktadır.

Kullanılan bitkilerin kök yapısında gerçekleştirdikleri birikim ise Cr, Cu, Fe, Pb ve Ni için ileri derecede önemsiz iken Mn için önemsiz olarak derecelendirilebilirler.

Bitkilerin yetiştirildikleri ortamlara göre kök ve gövdelerinde yaptıkları ağır metal alımının karşılaştırılmasını incelediğimizde. Bu sette çalışmada kullanılan bitkilerin, bitki yetiştirme ortamı olarak kullanılan S, DT-TS ve BT-TS gruplandırılarak kök ve gövdelerinde gerçekleştirdikleri ağır metal alımlarının karşılaştırılarak birbirlerine göre önem seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4. Denemenin İstatistiki analizi

Önemlilik	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)
Gövde	0.796 d	0.982 d	0.870 d	0.813 d	0.544 d	0.552 d
Kök	0.439 d	0.001 a	0.254 d	0.013 a	0.106 d	0.791 d

a: ileri derecede önemli, b: önemli, c: önemsiz, d: ileri derecede önemsiz

Çizelge 4'de göre hazır toprak, diatomit ile arıtma çamuru ve bazaltik tüf ile arıtma çamurunda yetiştirilen bitkilerin gövdelerinde yaptıkları ağır metal birikimi birbirlerine göre istatistiki bakımdan ileri derecede önemsiz. Bitkilerin aralarında herhangi bir fark bulunmamaktadır.

Kullanılan bitkilerin kök yapısında gerçekleştirdikleri birikim ise Cr, Fe, Mn ve Ni için ileri derecede önemsiz iken Cu ve Pb için ileri derecede önemli olarak derecelendirilebilirler. Elde edilen sonuca göre oluşturulan set için bitkilerin gerçekleştirdiği Cu ve Pb alım miktarları farklılık göstermektedir.

Bitki Türlerinin Yetiştirildikleri Ortamlarla Eşleştirilerek Birbirine Göre Kök ve Gövdelerinde Yaptıkları Ağır Metal Alımının Karşılaştırılması incelendiğinde. Bu sette çalışmada kullanılan *A. Cordifolia*, *B. Tubiflorum*, *C. Edulis* bitkilerinin hazır toprak, diatomit ile arıtma çamuru ve bazaltik tüfle arıtma çamuru yetiştirme

ortamlarıyla eşleştirilerek gruplandırılmış, kök ve gövdelerinde gerçekleştirdikleri ağır metal alımları karşılaştırılarak birbirlerine göre önem seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 5. Denemenin istatistiki analizi

Önemlilik	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)
Gövde	0.796 d	0.982 d	0.870 d	0.813 d	0.544 d	0.552 d
Kök	0.439 d	0.001 a	0.254 d	0.013 a	0.106 d	0.791 d

a: ileri derecede önemli, b: önemli, c: önemsiz, d: ileri derecede önemsiz

Çizelge 5'e göre ortamlarla eşleştirilen bitkilerin gövdelerinde yaptıkları ağır metal birikimi birbirlerine göre istatistiki bakımdan ileri derecede önemsizdir. Bitkilerin aralarında herhangi bir fark bulunmamaktadır.

Kullanılan bitkilerin kök yapısında gerçekleştirdikleri birikim ise Cr, Fe, Mn ve Ni için ileri derecede önemsiz iken Cu ve Pb için ileri derecede önemli olarak derecelendirilebilirler. Elde edilen sonuca göre oluşturulan set için bitkilerin gerçekleştirdiği Cu ve Pb alım miktarları birbirlerine göre farklılık göstermektedir.

Giderim Verimlerinin Karşılaştırılacak olunursa. Bu sette çalışma sonucunda, analizleri yapılan ortam numunelerinin başlangıç değerleri göz önüne alınarak yapılan verim hesapları neticesinde bitkilerin gerçekleştirmiş olduğu ağır metal giderim verimleri her bir ağır metal cinsi için istatistiksel olarak varyans analizi ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6. Giderim verimlerine Göre Ortamların İstatistiksel Analizi

Önemlilik	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)
Bitkilere göre	0.402 d	0.846 d	0.417 d	0.735 d	0.079 c	0.951 d
Ortam Çeşitlerine göre	0.151 d	0.001 a	0.008 a	0.003 a	0.000 a	0.000 a

a: ileri derecede önemli, b: önemli, c: önemsiz, d: ileri derecede önemsiz

Çizelge 6'ya göre çalışmada kullanılan üç farklı bitki türünün birbirlerine göre giderim verimlerinin istatistiksel olarak analizi sonucunda tüm ağır metal giderim verimleri birbirlerine göre ileri derecede önemsizdir. Ağır metallerin giderim verimleri arasında herhangi bir fark bulunmamaktadır.

Yetiştirme ortamlarına göre oluşturulan sınıflandırmada yapılan varyans analizine göre Cr giderimi ortamlara göre ileri derecede önemsizdir. Cu, Fe, Pb, Mn ve Ni giderim verimlerinde ise ortam çeşitleri birbirlerine göre ileri derecede önemlidir. Yani alımlar arasında ciddi bir fark vardır.

### Sonuçlar

Yapılan çalışmada esas olarak kullanılan arıtma çamuru insan ve çevre sağlığına olabilecek olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi sağlanmaktadır. Arıtma çamurunda bulunan ağır metallerin bitkinin kök ve gövdesinde kontrol altında tutulmasıyla tekrar toprağa, yüzey ve yer altı sularına karışması önlenmiş olacaktır.

Çalışmada kullanılan diatomit ve bazaltik tüf hem bitkilerin gelişimine rahat bir ortam sağlaması amacıyla hemde arıtma katkılarının buluna bileceği düşüncesinden dolayı seçilmiştir. Çalışma sonucunda kullanılan bitkilerin büyük bir çoğunluğu özellikle *Carpobrotus Edulis* bitkisi diatomit ile hazırlanmış ortamda ağır metalleri daha rahat absorbe etmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda *Aptenia Cordifolia*, *Carpobrotus Edulis* ve *B.Delagoensis Tubiflorum* bitkilerinin bünyelerine aldıkları ağır metalleri kök bölgelerinde biriktirdikleri saptanmıştır. Özellikle *B.Delagoensis Tubiflorum* bitkisinin kök bölgesinde biriktirebildiği krom, kurşun ve demir miktarlarının diğer iki bitkiden daha yüksek oranda absorbe edebildiği görülmektedir. *Aptenia Cordifolia* bitkisi de benzer şekilde ağır metalleri özellikle nikeli kök bölgesinde absorbe ettiği belirlenmiştir. *Carpobrotus Edulis* kök bölgesinde özellikle mangan ve bakırı absorbe ettiği gözlenmiştir.

Çalışmanın sürdürüldüğü yaz aylarında sıcakların yüksek olması ve buna bağlı yüksek buharlaşma miktarına rağmen bitkiler rahat bir gelişim süreci geçirmişlerdir. Bazı tekerrürlerde bitkiler deney sürecini tamamlayamamıştır. Genel itibarıyla bitkiler yeni ortamlarına çabuk adapte olmuş yavaş ama kararlı bir gelişim sağlamışlardır.

Bitkilerin bünyelerinde biriktirebildikleri ağır metallerin geri kazanımı için bitkiler yakıldıktan sonra oluşan küllerinden eldesi sağlanabilir.

Bu çalışma sonucunda konu ile ilgili araştırmacıların bundan sonraki araştırmalarda oluşturulması gerekli çalışmalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

### Kaynaklar

- ÖZDAMAR, K., 1999. Paket programlarda istatistiksel veri analizi, (I), Kaan Kitabevi, Eskişehir. 535sayfa
- DUNCAN., 2002. Nova Scotia, Springhill' deki (Kanada) Duff Bank Kömür Madeni Atıklarının Yeniden Bitkilendirilme Potansiyeli.
- CUNNINGHAM, S. D., William R., Huang B., Jianwei W. Phytoremediation of contaminated soils *Trends in Biotechnology, Volume 13, Issue 9, September 1995, Pages 393-397*
- BOULARBAH, A., Schwartz, C., Bitton, G., Aboudrar, W., Ouhammou, A., Morel, J.L., 2006. Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: 2. Assessment of metal accumulation and toxicity in plants, *Chemosphere* 63 811–817
- AUDET, P., Charest, C., 2007. Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective, *Environmental Pollution* 147 231e237