



**KEBAN GALERİ SUYUNDA *LEMNA GİBBA* VE
LEMNA MINOR KULLANILARAK Ag ve Mn' ın
GİDERİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Müh. Hatice Kübra YILMAZ

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ**

Ekim-2017

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KEBAN GALERİ SUYUNDA *LEMNA GİBBA VE LEMNA MINOR*
KULLANILARAK Ag VE Mn' IN GİDERİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

**Hatice Kübra YILMAZ
(151116103)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Ekim 2017
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Ekim 2017**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ
Doç. Dr. Dicle BAL AKKOCA
Doç. Dr. Yusuf URAS**

EKİM-2017

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Maden Yatakları Jeokimya Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışma Fırat Üniversitesi BAP birimi tarafından FUBAP 16.73 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı FUBAP yönetimine teşekkür ederiz. Yüksek Lisans çalışmam boyunca öneri ve yorumları ile çalışmamı yönlendiren, desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ' a teşekkür ederim.

Hatice Kübra YILMAZ

Ekim- 2017

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLOLAR LİSTESİ	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. AĞIR METALLER.....	3
2.1. Gümüş (Ag)	3
2.2. Mangan (Mn).....	4
3. FİTOREMEDİASYON	6
3.1. Rizofiltrasyon (Köklerle süzme).....	7
3.2. Fitostabilizasyon (Köklerle sabitleme).....	7
3.3. Fitoeleştirasyon (Bitkisel özümleme).....	7
3.4. Fitovolatilizasyon (Bitkisel buharlaştırma)	8
3.5. Fitodegradasyon (Bitkilerde bozunum)	8
3.6. Rizodegradasyon (Köklerle Bozunum)	8
3.7. Hidrolik Kontrol	8
3.8. Vegetatif Örtü Sistemleri.....	9
3.9. Kıyı Tampon Şeritleri	9
4. SU MERCİMEKLERİ	10
4.1. <i>Lemna minor</i> (Linneaus 1753).....	10
4.2. <i>Lemna gibba</i> (Şişkin su mercimeği)	10
5. MATERYAL ve METOT	12
5.1. Çalışma Alanı	12
5.2. Çalışma Yöntemleri	12
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	18
6.1. Keban Galeri Suyu.....	18
6.2. <i>Lemna gibba</i> ve <i>Lemna minor</i>	20
6.2. 1. Gümüş (Ag)	20
6.2.2. Mangan (Mn).....	22

7.	SONUÇLAR	28
	KAYNAKLAR	29
	ÖZGEÇMİŞ	30



ÖZET

Bu çalışmada, *Lemna gibba* ve *Lemna minor* bitkilerinin galeri çıkış suyundaki Ag ve Mn giderim kapasiteleri incelenmiştir. Bu amaçla *Lemna gibba* ve *Lemna minor* bitkileri galeri çıkış suyuna yerleştirilen ve kesintisiz olarak beslenen reaktörlere adapte edilmiştir. Çalışma süresince (8 gün) günlük alınan su örneklerinde sıcaklık, pH ve elektrik kondüktivite değerleri (EC) anlık olarak ölçülmüş, bitkiler ise yıkanmış, kurutulmuş ve 300 °C’ de etüvde 24 saat süre ile yakılmıştır. Kül örneklerindeki Ag ve Mn miktarları Acme (Kanada) analiz laboratuvarında ICP-MS ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre elde edilen veriler şöyledir: Ag için *L.gibba* 2. günde % 11439, *L.minor* ise 2. günde % 4770; Mn için *L.gibba* I. günde % 200, *L.minor* ise 2. günde % 155 gibi akümülyasyon performansı göstermiştir. Ayrıca bu bitkilerin en ideal hasat zamanlarında ise *L.gibba* 5262 lt, *L.minor* ise 4484 lt sudan Ag gidermiştir. Aynı zamanda, *L.gibba* deneyin ilk gününde 185 lt, *L.minor* ise deneyin ikinci gününde 2190 lt sudan Mn akümüle etmiştir

Anahtar Kelimeler: Akümülyasyon, *Lemna gibba*, *Lemna minor*, ağır metal, galeri suyu, Keban

SUMMARY

The Removal of Ag and Mn by *Lemna gibba* and *Lemna minor* in the Keban Gallery Water

In this study, Ag and Mn removal efficiencies of *Lemna gibba* and *Lemna minor* plants in the gallery water were investigated. For this aim, *Lemna gibba* and *Lemna minor* plants were placed in the gallery water of Keban Pb-Zn ore deposits and adapted individually fed to the reactors. During the study period (8 days), the temperature, pH and electric conductivity values (EC) of the gallery water were daily measured in real time. These plants were washed, dried and burred at 300 °C for 24 hours in drying oven. Then, these ash samples were send to Acme (Canada) analysis laboratory for the determination of amounts of Ag and Mn and analyzed by ICP-MS. According to the results of analysis the obtained efficiencies are as follows; % 11439 at day 2 and % 4770 at day 2 for Ag in *Lemna gibba* and *Lemna minor*, respectively, % 200 at day 1 and % 155 at day 2 for Mn in *Lemna gibba* and *Lemna minor*, respectively. Moreover, at the ideal harvesting times of these plants, Ag in 5262 lt and 4484 lt water were accumulated by *L. gibba* and *L. minor*. At the same time, *L. gibba* on the first day and *L. minor* on the second day accumulated Mn in 185 liters and 2190 liters of the gallery water, respectively.

Key words: Accumulation, *Lemna gibba*, *Lemna minor*, heavy metals, gallery water, Keban

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 4.1. *Lemna minor*' ün görünüşü..... 11
- Şekil 4.2. *Lemna gibba*' ün görünüşü 11
- Şekil 5.1. Çalışma alanı lokasyon ve jeoloji haritası (Akgül, 1987)..... 13
- Şekil 5.2. Çalışma alanında deney setinin kurulduğu alandan çeşitli görüntüler 14
- Şekil 5.3. Çalışma alanındaki örnek alım çalışmaları ve deneyde kullanılan bitkilerin ve reaktörlerin görüntüsü..... 15
- Şekil 5.4. Örneklerin kül haline getirilmesi ve analize hazırlanmasına ait laboratuvar çalışmalarına ait görüntüler. 16
- Şekil 6.1. *Lemna gibba* ve *Lemna minor*' ün 8 gün boyunca gümüş akümülyasyonu 22
- Şekil 6.2. *Lemna gibba* ve *Lemna minor*' ün 8 gün boyunca mangan akümülyasyonu 25

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Güncel olarak uygulanan fitoremediasyon teknikleri ve bunların detayları.....	6
Tablo 6.1.	Keban galeri suyu fiziko kimyasal parametreler ve kimyasal analiz sonuçları ile ICP-MS' in dedeksiyon limit değerleri.....	19
Tablo 6.2.	<i>Lemna gibba</i> ve <i>Lemna minor</i> 'un 8 gün boyunca Ag akümülasyonu.....	21
Tablo 6.3.	<i>Lemna gibba</i> ve <i>Lemna minor</i> 'un 8 gün boyunca Mn akümülasyonu.....	25

1. GİRİŞ

Canlı organizmalar için hayati bir önem taşıyan suyun yeryüzündeki toplam potansiyelinin ancak % 0,3 civarındadır ve bu potansiyel yaklaşık 250 ülke tarafından kullanılmaktadır (Kocataş, 1996). Hızlı nüfus artışı ve endüstriyel faaliyetlere paralel olarak suya olan ihtiyaç her geçen gün artarken, hava ve toprakla iç içe olan su ekosistemleri doğal ve antropojenik kaynaktan çevreye salınan ağır metaller ile sürekli kirlenmektedir. Ağır metallerin yayılım hızı, doğal proseslerle uzaklaştırıldan daha fazladır. Ağır metaller, organik kirleticilerin aksine biyolojik yollarla konsantrasyon yada toksisitelerini azaltan parçalanma işlemine uğramadığı için toprak, su, dip sediment ve canlı organizmalarda birikirler. Bunlar besin zinciri yoluyla bir organizmadan başka bir organizmanın yapısına geçmekte ve insana kadar ulaşabilmektedir. Besin zinciriyle girdikleri canlı yapılardan atılmadıkları için canlıların bünyesinde yoğunlaşır ve etkili dozlara ulaştıklarında toksik etki yapar (Taylan ve Özkoç, 2007; Farooq vd., 2008; Şaşmaz vd., 2015).

Yoğunluğu 5 g/cm^3 'ten büyük olan veya atom ağırlığı 50 ve daha büyük olan elementlere ağır metaller denir. Ağır metal terimi, yüksek yoğunluğa sahip ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik etki gösterebilen elementler için de kullanılmaktadır. (Hamutoglu vd. 2012). Ağır metaller çevrede doğal olarak eser, cansız alemde, kayalar ile toprak ve suda, canlı alemde ise bitki ve hayvanlarda bulunmaktadır. Su kütlelerindeki ağır metal zenginleşmesine kayaların aşınması, volkanik aktiviteler gibi doğal fiziksel ve kimyasal süreçler katkı sağlamakla birlikte sistemdeki artışlarda en önemli paya insan kaynaklı aktiviteler sahiptir (Akbiyık, 2012).

Doğada metal kirlenmesine neden olan başlıca kaynaklar; maden işletmeleri, endüstriyel tesisler ve yakma tesisleridir (Sarı, 2005). Atıksular, katı atıklar, galvanik çamurlar, filtre tozları, uçucu küller, filtre pres atıkları ve arıtma çamurları gibi endüstriyel atık malzemeler de metal içeren atık kaynaklarıdır (Krebs vd., 1997).

Günümüzde teknolojinin de gelişmesi ile akarsular gibi sucul sistemler insan etkinlikleri sonucu oluşturulan atıklar ile kirlenmekte, bu durum sucul ortamda yaşayan canlı organizmaları tehdit etmektedir. Özellikle atıklardaki eser elementler, bu suların sulamada kullanılması ve deşarj edildiği ortamda yaşayan canlılar açısından, dolayısıyla besin zincirine girişi nedeniyle halk sağlığını tehdit etmesi yönünden önem taşımaktadır. Sucul ortamda yaşayan canlı organizmalar besin zinciri yoluyla bünyelerinde biriken ağır

metalleri birbirlerine taşıyabildikleri için insan sağlığını tehdit eden boyutlara ulaşabilmektedir. Dolayısıyla yüzey sularına deşarj edilen sulardaki ağır metallerin giderimi gerekmektedir (Akbıyk, 2012).

Sulardaki ağır metallerin gideriminde kullanılan metotlar; kimyasal çökeltme, solvent ekstraksiyonu, membran teknolojileri, iyon değiştirme, elektrokimyasal işlemler, adsorpsiyon vb. prosedürleri içerir (Ahluwalia ve Goyal, 2007). Bu metodlar farklı metaller için farklı verimlilikler sunduğu gibi; düşük konsantrasyonlar, yüksek hacimler söz konusu olduğunda çok pahalıya mal olabilmektedir (Miretzky vd., 2004). Ayrıca bu teknolojiler genellikle önemli derecede dış enerji ve kimyasala gereksinim duyan karmaşık ve pahalı sistemler olduğu gibi sudaki kıymetli enerji ve besinlerin yeniden kullanımına izin vermemektedir. Bu nedenle, ucuz, fakat etkili arıtım olarak bitkisel arıtma sistemi önerilmektedir (Skillicorn vd., 1993). Bitkisel sistemlerle evsel, ticari, madencilik ve endüstriyel atıksu deşarjlarından kaynaklanan kirleticilerin sudan uzaklaştırılabildiği çevre dostu, ucuz ve alternatif bir teknoloji olarak kullanılabilceği belirtilmiştir (Srivastav vd., 1994).

Bu makrofitler yaşadıkları ortamın özelliklerine göre 3 farklı gruba ayrılırlar. Bunlar; (i) kökleri sedimente bağlı yaprakları yüzücü makrofitler ve tüm morfolojik organları suda serbest yüzen makrofitler ile (ii) kıyıda kök ve gövdesinin belirli bir kısmı su içerisinde yetişen emers tipi makrofitler, (iii) tamamen su altında yaşayan submers tipi makrofitlerdir (Doğan, 2011). Makrofitlerin direkt ve dolaylı olarak sulardaki ağır metal döngüsünde önemli rolleri vardır. Pb, Zn, Cu, Cd, Fe ve Hg gibi ağır metallerin *Lemna minor* ve *Lemna gibba*, *Hydrocotyle umbellata*, *Eichhornia crassipes* ve *Azolla pinnata*, gibi bazı sucul makrofitler tarafından akümüle edildiği bir çok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Manny vd., 1991; Samecka-Cymerman vd., 1996; Salt vd., 1995; Cardwell vd., 2002; Kara vd., 2003; Mkandawire ve Dudel, 2005; Mkandawire vd., 2006; Upadhyay, 2007; Şaşmaz ve Öbek, 2009; Öbek, 2009; Şaşmaz ve Öbek, 2012; Şaşmaz et al., 2015, 2016). Dolayısıyla aquatik bitkilerin özellikle kirlenmiş sulardaki metalleri akümüle ettikleri iyi bilinmektedir.

Bu tez çalışmasında, Karakaya Baraj Gölü'ne boşalan Keban Pb-Zn Madeni galeri çıkış suyundaki Ag ve Mn metallerinin gideriminde *Lemna gibba* ve *Lemna minor* 'ün alım kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

2. AĞIR METALLER

Ağır metaller atom ağırlığı 50' den fazla olan ve yoğunluğu ise 5 g/cm³'den fazla olan elementlere denir (Ag, Mn, Zn, Cu, Pb, As, Au, Cr, Hg, Fe, Co, Ni, Cd, Zn..). Ağır metaller yer kabuğunda yaygın olarak gözlenen doğal bileşiklerdir ve asla yok edilemezler. Bu metaller bünyemize içme suyu, hava yolu ve gıdalar aracılığıyla alınmaktadır ve canlı metabolizması için belirli oranlarda da olsa mutlaka alınması zorunludur (mesela çinko, selenyum, bakır gibi). Şayet bu elementlerin yüksek seviyeleri de bünyede çeşitli toksik etkilere ve zehirlenmelere sebep olabilir.

2.1. Gümüş (Ag)

Litosferde bakırın 1/1000'i seviyesinde olmasına rağmen gümüş bakıra benzer jeokimyasal özelliklere sahiptir. Gümüş, pH 4'ten daha büyük olduğundan toprakta hareketsiz ve hümik maddeler tarafından kompleksleştirilir.

Bazı topraklardaki bitki içeriği 0.5 mg/kg'ye ulaşabilmesine rağmen bitki hücresindeki Ag içeriği genellikle 0.01 mg/kg'dan daha azdır. Gümüş, besin eriyiğindeki bitkilere göre oldukça toksiktir, eriyikteki 0.5 mg/L bitkilerde kritik bir gümüş konsantrasyonu ile sonuçlanır. Gümüş mikroorganizmalar için ağır metallerin en toksiklerinden birisi olarak kabul edilir (Pais ve Jones, 2000).

Atom Numarası : 47

Litosferdeki Bolluğu : 7.5x10⁻² mg/kg

Atom Ağırlığı :107.868

Genel Değerlik Durumu : Ag⁺, Ag²⁺

Genel Mineral Formları : Arjantit (Ag₂S); aynı zamanda bakır gibi diğer metallerin bir yan ürünü olarak bulunur.

Topraklardaki Toplam İçeriği: 0.03-0.9 mg/kg

Topraklardaki Çözülebilir İçeriği: 0.01-0.05 mg/kg 1 N NH₄AOC

Deniz Suyundaki İçeriği : 4x10⁻⁵ mg/L

Tatlı Sudaki İçeriği : 0.13 µg/L

Denizel Hayvanlardaki İçeriği: 3-10 mg/kg

İnsanlardaki İçeriği : Kan, < 2.7 µg/L; kemik, 1.1 mg/kg; karaciğer, < 5-32 ng/g

Hayvanlardaki İçeriği	: 6 µg/kg
Bitkilerdeki İçeriği	: 0.01-0.5 mg/kg
Genel Yiyeceklerdeki İçeriği:	0.07-2.0 mg/kg
Gereklilik	: Bitkiler, yok; hayvanlar, yok.

2.2. Mangan (Mn)

Mangan, litosferdeki elementler içerisinde en yaygın dağılım gösteren elementlerden biridir. Mangan toprağın pH'ındaki artışla birlikte önemli oranda artmaktadır. Manganın yük değeri, alkalın ve nötr toprakların organik madde miktarına bağlı olarak değışiklik gösterir. Mangan toprak profilinde genellikle düzenli olarak dağılım gösterir (Pais ve Jones, 2000).

Mangan genellikle bitkiler için yararlı bir elementtir. Bitki dokusundaki yararlılık sıralaması bitki türlerine bağlı olarak 10-500 ppm arasında değışir. Bitkilerin mangana olan duyarlılığı oldukça değışkendir ve eksikliği konusunda hasas bitkiler toksisitesine de oldukça hassastır. Genelde toprak pH artışına bağlı olarak manganın değeri de azalır. Mangan eksikliği yüksek pH (>7.5) ile toksisite ise düşük toprak pH (<5.5) ilişlidir. Manganın değeri düşük toprak sıcaklığı ile azalır ve toprak organik madde içeriği ile azalır. Mangan toksisitesi asit topraklar üzerinde ve anaerobik şartlar altında oluşabilir. Bir bitkinin manganın bulunuşu önemli oranda diğerelementlerle olan primer ilişkisine bağlı olarak değışebilir (Pais ve Jones, 2000).

Atom Numarası	: 25
Litosferdeki Bolluşu	: 1000 mg/kg
Atom Ağırlığı	: 54,94
Genel Değerlik Durumu	: Mn ²⁺ , Mn ³⁺
Genel Mineral Formları	: Pyrolusit (MnO ₂), Psilomelan, Manganit (MnO OH)
Topraklardaki Toplam İçeriği	: 200-3000 mg/kg, ortalama 545 mg/kg
Topraklardaki Çözülebilir İçeriği	: 170 mg/kg
Deniz Suyundaki İçeriği	: 0,4-1.0 10 ⁻⁴ mg/L
Tatlı Sudaki İçeriği	: 0.1-110 mg/L
Denizel Hayvanlardaki İçeriği	: 1-60 mg/kg

İnsanlardaki İçeriği	: Kemik, 0,2-2,3 mg/kg; kas, 0,2-2,3 mg/kg; kan 0,0016-0,075, süt 0,01 mg/L
Hayvanlardaki İçeriği	: 2-4 µg/kg
Bitkilerdeki İçeriği	: 10-500, referans bitkilerde 200 mg/kg
Genel Yiyeceklerdeki İçeriği	: 2-80 mg/kg
Gereklilik	: Bitkiler, evet; hayvanlar, evet.



3. FİTOREMEDİASYON

Çevre kirliliğinin önlenmesinde kimyasal ve fiziksel arıtma yöntemleri, uygulama süresinin kısıllığı ve uygulama kolaylığı gibi bazı avantajlara sahip olmasından dolayı, hem arıtma maliyetinin yüksekliği, hem de arıtmada ortaya çıkan diğer kirleticilerin nihai giderim zorlukları nedeniyle çevresel açıdan istenmemektedir. Bu yöntem kimyasal arıtmaya alternatif olarak tercih edilmiştir ve hem ekolojik hem de ekonomik olması gerekçesiyle son yıllarda sıkça kullanılan bir yöntem haline gelmiştir (Vanlı ve Yazgan, 2008). Fitoremediasyon bitkiler yardımıyla metal veya kirleticilerin giderimini konu alan bir yöntemdir. Çeşitli ortamlar için kullanılan fitoremediasyon teknolojileri Tablo 3.1’de verilmiştir. Fitoremediasyon ismi altında değişik teknolojiler bilinmektedir. Bu teknolojiler şunlardır: fitostabilizasyon, rizodegradasyon, fitoekstraksiyon, fitovolatilizasyon, rizofiltrasyon, hidrolik kontrol fitodegradasyon, vejetatif örtü sistemleri ve kıyı tampon şeritleri (Hamutoğlu vd., 2012; Şaşmaz, 2014’den alınmıştır).

Tablo 3.1. Güncel olarak uygulanan fitoremediasyon teknikleri ve bunların detayları (Hamutoğlu vd., 2012).

Mekanizma	Süreç hedefi	Ortam	Kirleticiler	Bitkiler
Fitoekstraksiyon	Kirleticici alma ve uzaklaştırma	Toprak, sediment ve çamur	Metaller, metaloidler, radyonükleidler	Hindistan hardalı, pennycress, ayçiçeği, hibrit kavaklar
Rizofiltrasyon	Kirleticici alma ve uzaklaştırma	Yüzey ve yeraltı suyu	Metaller, radyonükleidler	Ayçiçeği, Hindistan hardalı, su sümbülü
Fitostabilizasyon	Kirleticici etkisizleştirme	Torak, sediment ve çamur	As, Cd, Cr, Cu, Hs Pb, Zn	Hindistan hardalı, librit, kavaklar, çimler
Rizodegradasyon	Kirleticici giderme	Toprak, yeraltı suyu	Organik bileşikler	Kırmızı dut, çimler
Fitodegradasyon	Kirleticici giderme	Toprak, sediment ve çamur, yüzey suyu	Organik bileşikler, Klorinat çözücüler, herbisitler, fenoller	Alg, hibrit kavaklar, siyah söğüt, servi
Fitovolatilizasyon	Kirleticiciyi buharlaştırma	Toprak, sediment, çamur	Klorinat çözücüler, bazı inorganikler (Se, Hg, As)	Kavaklar, yonca, hindistan hardalı,
Hidrolik kontrol	Kirleticici bozunma	Yüzey ve yeraltı suyu	Suda çözünen organik-inorganikler	Hibrit kavaklar, söğüt
Vejetatif (fitoremediasyon) örtü sistemleri	Erozyon kontrolü	Toprak, sediment çamur	Organik ve inorganik bileşikler	Kavaklar, çimler
Kıyı Tampon Şeritleri	Kirleticici giderme	Yüzey ve yeraltı suyu	Suda çözünen organik-inorganikler	Kavaklar

3.1 Rizofiltrasyon (Köklerle süzme)

Bitki kökleri ile hem besin maddelerini hem de metal kirleticilerin alımını kapsamaktadır. *Brassica juncea*, *Helianthus annuus* ve *Phaseolus vulgaris* gibi topraksız bitki yetiştirmede olduğu gibi bitki türünün kökleri ile Cr, Ni, Pb, Cu, Cd, U ve Zn gibi metallerin sıvı çözeltilerinden giderilmesini konu almaktadır. Bu yöntem için en ideal bitki, yüksek miktarda hedef metali biriktirebilmeli, önemli miktarda kök biyokütlesi veya yüzey alanı üretmeli, tolere edebilmeli, minimum düzeyde sekonder atık üretmeli ve düşük maliyetli olmalıdır (Hamutoğlu vd., 2012).

3.2 Fitostabilizasyon (Köklerle sabitleme)

Atıkların, rüzgar ve su erozyonu yoluyla geçişini engelleyen bitki bazlı iyileştirme tekniğidir; yeraltı suyuna kirleticilerin girişini, düşey olarak hidrolik kontrolünü sağlar, fiziksel ve kimyasal olarak kök soğurarak kirliliği durağanlaştırır, çeşitli kimyasal yöntemlerle topraktaki değişim tespit edilir (Schnoor, 2000; Banks ve Kulakow, 2003; Artan, 2007). Fitostabilizasyonun amacı bir bölgeden metal kirleticileri çıkarmak değil onları stabilize etmek, çevreye ve insan sağlığına etkisini azaltmaktır. Fitostabilizasyon yöntemi toprak, sediment ve çamurların arıtılmasında kullanılır (Hamutoğlu vd., 2012).

3.3 Fitoekstraksiyon (Bitkisel özümleme)

Fitoekstraksiyon; bitki organlarından taşınan bitki köklerinde bulunan özellikle ağır metaller ve metaloidler gibi toksinlerin atılmasını sağlar. Bu teknik Cu ve Zn gibi aktif olarak alınan mikrobese elementleri ve Cd, Ni ve Pb gibi besin elementi olmayan ağır metallerin uzaklaştırılmasında kullanılabilir. Fitoekstraksiyon teknolojisi sadece metal kirliliğinin düşük veya orta seviyede olduğu alanlar için uygulanabilmektedir. Çünkü çok fazla kirlenmiş alanlarda bitki büyümesi sürdürülemezdir. Bu teknolojiye doğal hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır. Bununla birlikte toprak çözeltisinde düşük çözünürlüğe sahip metallerin çözünürlüğünü arttırmak için şelatlayıcı ajanlar eklenebilmektedir (Hamutoğlu vd., 2012).

3.4 Fitovolatilizasyon (Bitkisel buharlaştırma)

Topraktaki bazı metallerin bitkiler kullanılarak atmosfere verilmesi için kullanılan bir arıtım yöntemidir. Bu yöntemde, bitkiler aracılığıyla alınan metaller uçucu bileşenlere dönüştürülmesi sonucunda atmosfere verilme işlemidir. Doğal olarak oluşan veya genetiği değiştirilmiş *Brassica juncea* ve *Arabidopsis thaliana* gibi bazı bitkilerin ağır metalleri absorbe ettikleri ve gaz formuna dönüştürerek atmosfere verebildikleri bildirilmiştir (Hamutoğlu, 2012). *Brassicaceae*' nin bazı türleri günde 40 grama kadar gaz halindeki Se bileşiği salma özelliğine sahiptir. Bazı sucul bitkiler de Se fitoremediasyonu için iyidir. Bazı bitkiler elemental Hg(II) 'yi emer ve yaprakları atmosfere uçucu Hg (0) bırakır. Bu iyileştirme yönteminde kirlenmiş bitki materyalini imha etmekte fayda vardır.

3.5 Fitodegradasyon (Bitkilerde bozunum)

Bu yöntem Fitotransformasyon yöntemi olarak da isimlendirilir ve bitki dokularında metallerin metabolize edilmesidir. Bu yöntemde, toprak mikroorganizmaları ve bitkilerdeki metabolik işlevler arasındaki rizosferik birliktelikle organik kirleticiler parçalanmasıdır (Hamutoğlu vd., 2012). Organik kirleticilerin fitodegradasyonu bitki içerisinde veya rizosferde gerçekleşebilmektedir (Ghosh ve Singh, 2005).

3.6 Rizodegradasyon (Köklerle Bozunum)

Bu yöntem, bitki köklerinin etkisi veya mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilirse rizodegradasyon şeklinde tanımlanır. Rizodegradasyon organik kirleticilerin mikroorganizma faaliyetleri sonucu topraktaki kök bölgesinde ayrışmasıdır. Kök çevresinde mikrobiyal aktiviteleri etkileyen ve köklerden bırakılan organik asit, şeker, yağ asitleri, aminoasit, büyüme etmenleri, sterol, flavanon, nükleotid ve enzimler bulunur. Kökle bozunumun en önemli yararı kirleticilerin doğal ortamda yok olmasıdır. Ancak bunlar bitki veya atmosfere az da olsa taşınır (Söğüt vd., 2004; Hamutoğlu vd., 2012).

3.7. Hidrolik Kontrol

Hidrolik kök kontrolü veya fitohidrolik kontrol olarak da bilinen bu yöntem, bitkiler vasıtasıyla yeraltı sularında kirleticilerin toplanmasını ve taşınmasını önlemek, birikmesini

ve taşınmasını engellemektir. Bu işlem yüzey ve yeraltı sularında uygulanmaktadır. Bu yöntemin en ideal tarafı yapay bir sisteme gerek olmadan ve de kök sisteminin pompadan daha uzun mesafelere kadar büyümesi veya uzaması nedeniyle çok geniş alanlarda etkili olabilmektedir. Bu yöntemin ideal olmayan tarafı ise iklime ve mevsim şartlarına göre bitkinin su ihtiyacının farklı olmasıdır. Yapracağı olmayan ağaçlar kış mevsimlerinde çok verimli şekilde bu işlemi yapamayabilirler (Hamutoğlu vd., 2012).

3.8. Vegetatif Örtü Sistemleri

Bu yöntem, toprak yüzeyindeki kendiliğinden ve uzun süreli yetişen bitki toplulukları ile kirleticilerin giderilmesi veya kontrol altına alınmasıdır. Bu yöntemde en yaygın olarak kullanılan bitki kavak ağaçlarıdır (Hamutoğlu vd., 2012).

3.9. Kıyı Tampon Şeritleri

Bu yöntemde, akarsuları kirletme potansiyeli olan kirlenmiş yer altı veya yüzey sularının akıntı ya paralel şerit halinde bitkilerin ekilmesi ile kirleticilerin giderilmesi yöntemidir. Burada bu kirleticilerin, taban suyuna karışmaması ve sözkonusu kirliliğin çevreye yayılmaması ana hedefler arasındadır. Sistem, sediment taşınımını azaltır ve dolayısıyla da erozyona da engel olur. Kanada'daki çalışmalarda, bu yöntemin uygulandığı alanlarda herbisit akışını % 42-70, toprak erozyonunu %90 oranlarında önlendiği görülmüştür. Ayrıca sistemle sudaki azot %67-96, fosfor %27-97, fekal koliformlar %70-74, sediment %71-91 ve pestisitler %8-100 oranlarında azalmıştır. Bu yöntem en çok pestisitlerin ve gübrelerin kaldırılmasında kullanılmıştır. Vegetatif örtü sistemi yönteminde olduğu gibi bu yöntemin en popüler bitkisi kavak ağacıdır (Hamutoğlu vd., 2012).

4. SU MERCİMEKLERİ

Su mercimeği (*Lemnaceae*) familyası, dünyanın birçok bölgesinde yaygın olarak bulunan küçük yüzen su bitkileridir. Su mercimekleri türleri küçük ve yeşil temiz su bitkileri olup, yaprakları 1-3 mm genişliğinde, kökleri ise 1 cm civarındadır. Bunlar çiçekli bitkilerin en küçük ve basit, fakat en hızlı çoğalan türleridir. Yapraktaki hücreler bölünmek suretiyle yeni bir yaprak meydana gelir. Su mercimekleri yapraklarına birleşik anlamına gelen “frond” adı verilir. Su mercimeği frondları %92-94 oranında su içermektedirler. Su mercimeğinin her bir yaprağı, hayat devresi boyunca 10-20 defa çoğalır (Bayhan vd., 1996). Su mercimeklerinin büyüme hızı çok yüksektir. Su mercimeği türleri diğer vasküler bitkilerden en az iki misli daha hızlı büyümektedirler (Özkoç, 2011). Su mercimeği türleri 5-7 °C gibi düşük su sıcaklıklarında ve 1-3°C gibi düşük hava sıcaklıklarında da gelişebilmektedirler. Bu bitki geniş pH aralığına karşı toleranslıdır. En iyi pH aralığı ise 4.5-7.5’ tir. pH’ ın 10’un üzerinde olması büyüme için önemli ölçüde etkilemektedir (Özkoç, 2011).

4.1. *Lemna minor* (Linneaus 1753)

Suya batık ya da su üstünde yüzer durumda bulunan tatlı sularda yaşayan basit yapılı, küçük, 2-4 mm çapında ve su yüzeyinde yüzen otsu bitkilerdir (Şekil 4.1). *Lemna minor* bitkisi genelde su birikintileri, memba, akarsuların durgun yerlerinde, göl, gölcük, bataklıklarda düz bir arazide yayılış gösteren küçük disk şeklinde yaprakları olan üst yaprakları, dış bükey, alt kısmı yukarı bombeli, kökleri suda serbest olarak aşağı sallanan, yeşil renkli bitkilerdir. *Lemna minor* oksijen seviyesi yüksek olan yerlerde yaşarlar. Nisan-Ekim aylarında gelişim gösterirler. En hızlı gelişim dönemleri ise Temmuz- Ağustos ayları arasındadır. Akarsularda ise suyun daha durgun olduğu girintilerde, ceplerde, kıyıya yakın kesimlerde gelişim göstermektedirler (Davis, 1988). Su içindeki besin maddeleri bitkinin yapraklarının alt yüzeyinden absorblanmaktadır (Üçüncü, 2011).

4.2. *Lemna gibba* (Şişkin su mercimeği)

Yapraksız gövdeleri su yüzeyinde yüzücü, 1,5-7 mm, biraz asimetric, tek veya kısa şeffaf sapçıklarla birbirine bağlı olarak birden fazla, alt yüzü kuvvetli şekilde şişkin, bazen yassı, genelde beyazımsı, mat kırmızımsı mavi, üst yüzü yeşil veya bazen kırmızımsı çiçekleri 4-7 adettir. Su içindeki besin maddeleri bitki yapraklarının alt yüzeyinden absorblanmaktadır (Üçüncü, 2011). Göl, su birikintileri, dere ve su kanalları ve su kaynaklarında bulunur (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. *Lemna minor*' ün görünüşü



Şekil 4.2. *Lemna gibba*' ün görünüşü

5. MATERYAL ve METOT

5.1. Çalışma Alanı

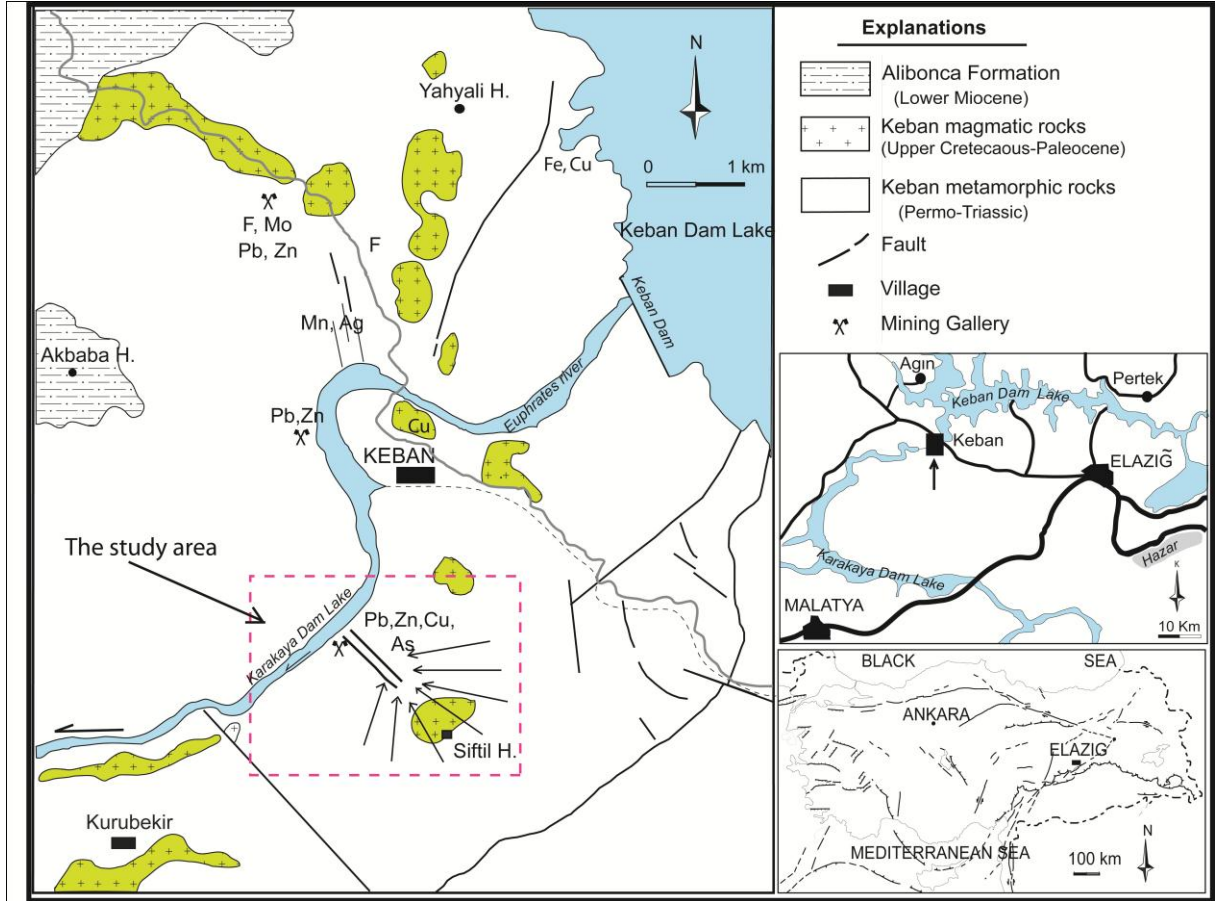
Çalışma alanı Karakaya Baraj Gölü yakınında ve Keban'ın yaklaşık 2 km güneyinde yer almaktadır (Şekil 5.1 ve 5.2). Keban kurşun çinko yatağı, Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki en büyük kurşun çinko yataklarından birisidir (Öztunalı, 1989). Bu yatağın Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, F, W, Mo, Au ve Ag elementlerinin birincil ve ikincil cevherleşmelerinden oluştuğunu belirtmiştir. Doğu Fırat bölgesinde özellikle Derebaca ve Siftil Tepe bölgesinde tabakaları kesen hidrotermal Pb, Zn, Cu cevherleşmeleri, kalkışist-kristalize kireçtaşları dokanaklarında Pb, Zn ve Cu cevherleşmeleri gözlenmektedir (Yılmaz vd., 1992; Kalender, 2000). Bölgedeki madencilik çalışmalarının M.Ö. 2000 yılından başlamış (Seeliger vd., 1985) ve halen bu çalışmalar devam etmektedir. Bu amaçla bölgede çok sayıda yarma ve galeriler açılmıştır (Şekil 5.2). Bölgedeki en önemli galeri ise Siftil Tepe yöresindeki galeridir (Şekil 5.2). Özellikle Siftil Tepe çevresindeki yüzey suları yeraltına süzülmemekte, cevherli alanlarda dolaşımı ve bu alanlardaki cevherleşmelere ait bazı metalleri değişik oranlarda çözerek bünyesine almakta ve daha sonra da bu galeri vasıtasıyla da dışarı atılmaktadır. Dolayısıyla bu suların farklı metaller açısından yüksek olması pek doğaldır. Bu galerinin içerisinden yılın her mevsiminde farklı debiye sahip su akmaktadır ve bu su hemen yanı başında bulunan Karakaya Baraj Gölü'ne dökülmektedir (Şekil 5.2).

5.2. Çalışma Yöntemleri

Bu çalışma arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada yürütülmüştür. Örnek alım çalışmaları 23 ile 30 Mayıs 2017 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Örnek alımı esnasında hava güneşli, en yüksek hava sıcaklığı 26°C, en düşük hava sıcaklığı ise gecede 14°C civarında ölçülmüştür. Çalışmalar 7 gün boyunca devam etmiş, her gün aynı saatte düzenli olarak örnekler alınmış ve laboratuvara taşınmıştır.

Arazi çalışmaları; öncelikle bu çalışmada kullanılan *Lemna gibba* ve *Lemna minor* bitkileri İstanbul Üniversitesi Botanik Bahçesi'nden temin edilmiştir (Şekil 5.3) . Bu bitkiler çalışmanın yapılacağı güne kadar laboratuvarında suyu günlük olarak değiştirilen havuzlarda bekletilmiştir. Daha sonra bu bitkiler çalışmanın yürütüleceği galeri çıkış su kanalına yerleştirilen gözenekli ve ince tül ile çevrelenmiş 50x35x30 cm ebatlarındaki reaktörlere ayrı ayrı konulmuştur (Şekil 5.3). Böylece *L. gibba* ve *L. minor*' lü reaktörler

galeri çıkış suyu ile kesintisiz olarak beslenmişlerdir. Bitki örnekleri ilk günden başlayarak her gün aynı saatte yaklaşık 50 gram kadar alınıp laboratuvara getirilmiştir. Benzer şekilde her gün bitkileri besleyen galeri çıkış suyundan 500 mL su örneği alınmıştır. Örneklerin alındığı sırada anlık suda sıcaklık, pH ve elektrik kondüktivite değerleri de ölçülmüştür.



Şekil 5.1. Çalışma alanı lokasyon ve jeoloji haritası (Akgül, 1987).

Laboratuvar çalışmalarında ise, laboratuvara getirilen bitki örnekleri önce musluk suyu ile iyice yıkanmış, daha sonra ise saf su ile durulanmıştır. Bu örnekler oda sıcaklığında 48 saat süre ile kurumaya bırakılmıştır (Şekil 5.4). Kurutulan örnekler 95 °C de yaklaşık 24 saat süre ile etüvde kurutulmuş ve kuru ağırlık olarak ölçülmüştür. Kurutulmuş örneklerden 10-15 gr arasında tartılan bitkiler beher kaplar içerisinde fırında 300 °C’ de gaz çıkışları bitinceye kadar yaklaşık 24 saat süre ile yakılmış ve kül haline gelmesi beklenmiştir (Şekil 5.4). Kül örnekleri uygun plastik kaplar içerisine konularak analiz edilinceye kadar saklanmıştır. Kül ve su örneklerinde Mo, Cu, Pb, Zn ve As analiz edilmek üzere ACME (Kanada) analiz laboratuvarına gönderilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.2. Çalışma alanında deney setinin kurulduğu alandan çeşitli görüntüler (Keban ve Karakaya Baraj Gölü, Galeri ağızından Siftil Tepe'ye bakış, Keban ana galerinin girişine ait görüntü. Anagaleriden çıkan suyun Karakaya Baraj Gölü'ne boşalmasına ait görüntü).



Şekil 5.3. Çalışma alanındaki örnek alım çalışmaları ve deneyde kullanılan bitkilerin ve reaktörlerin görüntüsü.



Şekil 5.4. Örneklerin kül haline getirilmesi ve analize hazırlanmasına ait laboratuvar çalışmalarına ait görüntüler.

Analiz laboratuvarında uygulanan işlemler şunlardır bu kül örneklerinden 1 gr kül örneği alınarak 2 mL derişik nitrik asit ilavesinden sonra 1 saat süreyle 95 °C’ de ısıtılmıştır. HCl /HNO₃ / H₂O₂ in 1/1/1’ lik karışımı elde edilerek, bitki örneklerinin ağır metal düzeylerini belirlenmesi amacıyla ICP-MS Perkin-Elmer Elan 9000 ’de analizleri yapılmıştır.

Büro çalışmalarında ise, arazi ve laboratuvar verileri birleştirilerek, güncel literatür ışığında yorumlanarak, söz konusu bitkilerin günlük alım kapasiteleri belirlenmiştir. Daha sonra bu çalışmalar rapor haline getirilerek, Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur.



6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Keban Galeri Suyu

Keban Pb-Zn yatağı yüzyıllardır işletilen bir maden yatağıdır ve bu amaçla yatağın bulunduğu alanda cevheri çıkarmak amacıyla çok sayıda galeriler açılmıştır. Bu galerilerden yılın hemen hemen 4 mevsiminde de su çıkışı olmaktadır ve bu çıkan su farklı debilerle sularını Karakaya Baraj Gölüne boşaltmaktadır (Şekil 5.2). Bu anlamda bölgedeki en önemli galeri Siftil Tepe yamaçlarının tabanından beslenen galeridir. Galeriden çıkan suyun debisi düzenli olarak örnek alım sırasında 22 lt/dk şeklinde ortalama debisi ölçülmüştür. Galeri suyunun pH, sıcaklık ve elektrik kondüktivite (EC) değerleri Tablo 6.1’ de verilmiştir. Benzer şekilde bu suyun ortalama pH değeri 7.36 ve EC içeriği ise 2.29 mS cm⁻¹ olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla bu suyun asitlik derecesi nötre çok yakın olup, içerisindeki çözülmüş katı madde miktarı ise yüzey ve kirlenmemiş yeraltı sularına göre oldukça yüksektir. Sudaki katı madde içeriğinin yüksek olması, bu suların içerisinden geçtiği kayaç ve mineralleri yıkayarak, bünyesine katmakta olduğunu ve dolayısıyla da bu suda çözülmüş katı madde miktarının arttığını göstermektedir. Bu galeri çıkışından alınan suların ICP-MS’de farklı elementler için kimyasal analizleri yapılmıştır (Tablo 6.1). Bu tabloda Keban bölgesindeki galeri suyu yanında ICP-MS’in her bir element için analiz edebileceği en düşük analiz değerleri de bu tabloda verilmiştir. Bu sonuçlardan da görüldüğü üzere galeri suyuna ait bazı metallerin örneğin arseniğin WHO (1993)’ nun normal içme suyu standart değerlerine göre çok daha yüksek değerlere sahip olduğu gözlenmiştir. İçilebilir değerlerin üzerinde değerler sunmuştur. Bu da yöredeki galeri suların bölgedeki madencilik faaliyetlerinden etkilendiği dolayısıyla bölgedeki metalleri çözerek bünyelerine kattığını söylemek mümkündür. Bu sonuçlar da göstermiştir ki bölgedeki As değeri uluslararası literatürdeki (Kabata-Pendias, 2011) maden sahalarındaki As kirliliğine yakın değerlere karşılık gelmektedir. Kanada’ da madencilik faaliyetlerinden etkilenen göl sularında As konsantrasyonları 100-500 mg/l olarak bildirilmiştir (Smedley ve Kinniburg, 2002). Benzer şekilde Ag içeriği de çalışma alanındaki değeri 0.5 µg L⁻¹ iken, WHO (1993) değerlerine (0.05 µg L⁻¹) göre en az on katı daha fazla değere sahip olduğu görülmektedir. Çalışma alanındaki galeri susyundaki mangan değeri ise 818 µg L⁻¹ WHO’nun içilebilir oranları ise 50 µg L⁻¹’ dir. Bu da tıpkı gümüş gibi galeri sularını önemli oranda zenginleştiği ve bu suları önemli miktarda kirlettiği görülmüştür (Tablo 6.1).

Tablo 6.1. Keban galeri suyu fiziko kimyasal parametreler ve kimyasal analiz sonuçları ile ICP-MS' in dedeksiyon limit değerleri.

Parameter	Detection Limit	Gallery water
Temperature (T°C)	-	19.7 ± 0.4
pH	-	7.36 ± 0.24
EC mScm ⁻¹	-	2.29 ± 0.04
HCO ₃ ⁻ mgL ⁻¹	-	371 ± 12
NO ₃ ⁻ mgL ⁻¹	-	9.19± 0.32
SO ₄ mgL ⁻¹	-	1278± 20
Cl ⁻ mgL ⁻¹	-	26.56 ± 0.23
F ⁻ mgL ⁻¹	-	0.258± 0.01
Ca mgL ⁻¹	0.05	778 ± 12
Mg mgL ⁻¹	0.05	264 ± 8
K mgL ⁻¹	0.05	15.9 ± 0.8
Na mgL ⁻¹	0.05	136.7± 5
Fe µgL ⁻¹	10	585 ± 32
Mn µgL ⁻¹	0.05	818 ± 28
S µgL ⁻¹	1	575 ± 13
P µgL ⁻¹	1.5	65 ± 3.2
B µgL ⁻¹	5	195 ± 7.4
Cu µgL ⁻¹	0.1	67 ± 2.3
Zn µgL ⁻¹	0.5	7230 ± 28
Th µgL ⁻¹	0.05	0.22 ± 0.02
U µgL ⁻¹	0.02	42 ± 2.74
Ag µgL⁻¹	0.05	0.5 ± 0.1
As µgL ⁻¹	0.5	96 ± 8
Ba µgL ⁻¹	0.05	159± 12
Cd µgL ⁻¹	0.05	11.4 ± 12
Mn µgL⁻¹	0.05	818 ± 30
Cr µgL ⁻¹	0.5	19 ± 0.7
Pb µgL ⁻¹	0.1	7.5 ± 0.4
Ni µgL ⁻¹	0.2	14.5 ± 7.4
Se µgL ⁻¹	0.5	7.5 ± 2.3
Sr µgL ⁻¹	0.01	4303 ± 135
Tl µgL ⁻¹	0.01	2.85 ± 0.2
Hg µgL ⁻¹	0.1	1.3 ± 0.1

6.2. Lemna gibba ve Lemna minor

6.2.1. Gümüş (Ag)

Çalışma alanında *Lemna gibba* ve *Lemna minor*'un 8 gün boyunca Ag akümülyasyon değerleri Tablo 6.2' de verilmiştir. LG-0 ve LM-0 örnekleri kontrol örnekleri olup, bu örnekler henüz deney başlamadan önce bu bitkilerin içerdiği gümüş değerlerine karşılık gelmektedir. Bu bitki örnekleri hiçbir şekilde galeri suyu ile teması olmamış ve bundan etkilenmemiş örneklerdir. Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan bitkiler için kontrol değerleri olarak kabul edilmiştir.

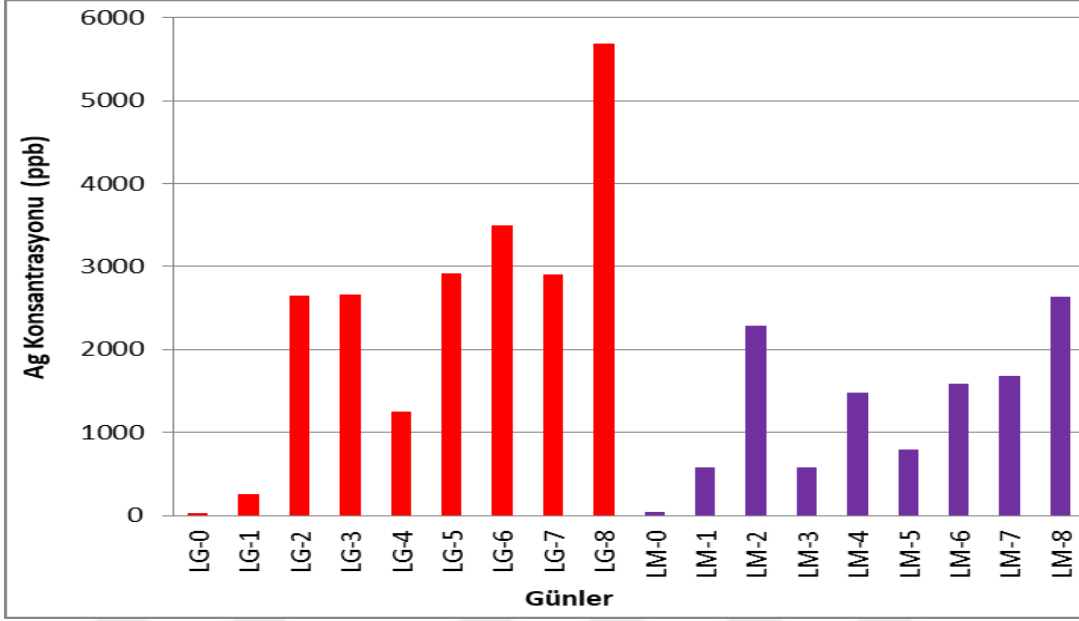
LG-0 örneği *L. gibba*'nın kontrol örneği olup, bu örnekteki gümüş değeri 23 ppb olarak analiz edilmiştir. İlk gün sonunda *L. gibba* 254 ppb gümüş akümüle etmiştir ve buna göre ilk günün gümüş için akümülyasyon performansı (AP) % 1004 ($\% AP = 254 - 23 / 23$) olarak belirlenmiştir (Tablo 6.2, Şekil 6.1). İkinci gün için ise benzer şekilde akümülyasyon oranı oldukça fazla artmış ve ikinci gün % AP ($\% AP = 2654 - 23 / 23$) 11439 (11.4 kat) olarak belirlenmiştir (Tablo 6.2, Şekil 6.1). İlerleyen günlerde ise 4. gün de akümülyasyon performansında önemli bir düşüş gözlenmiş ancak sekizinci gün sonunda ise tekrar artarak maksimum seviyeye ulaşmıştır. *L. gibba*'nın 8. gün sonunda % AP 24648 olup, bu bitki 5692 ppb gibi yüksek oranda gümüşü bünyesinde akümüle etmiştir. Sözkonusu bitkinin akümülyasyon seviyesindeki önemli artış ve azalışlar, bitkinin yeterince doygunluğa erişmesi ile bu metali bünyesine almadığı hatta zaman zaman kusarak bünyesinden attığı şeklinde yorumlanmaktadır (Öbek, 2009). 8 günlük deney süresince en ideal hasat zamanı ise 2 gün ve 8 gün olarak belirlenmiştir ((Şekil 6.1). Keban galeri suyundaki Ag içeriği $0.5 \mu\text{g L}^{-1}$ (ppb) olduğu düşünülürse, İkinci günde *L. gibba* bitkisi 254 ppb gümüş toplamıştır ve bu değerden kontrol değerini (23 ppb) çıkardığımızda, iki gün boyunca sudan toplanmış olan gümüş değerine karşılık gelir ($= 2654 - 23 / 0.5$) veya iki gün boyunca ne kadar litre suyun gümüşden tamamen temizlendiği anlamı doğmaktadır. Yapılan hesaplamalarda 5262 litre sudaki gümüş *L. gibba* tarafından kaldırılmış veya toplanmıştır.

LM-0 örneği *L. minor*'ün kontrol örneği olup, bu örnekteki gümüş değeri 47 ppb olarak saptanmıştır. İlk gün sonunda *L. minor* 586 ppb gümüş akümüle etmiştir ve buna göre ilk günün gümüş için akümülyasyon performansı (AP) % 1147 ($\% AP = 586 - 47 / 47$) olarak belirlenmiştir (Tablo 6.2, Şekil 6.1). İkinci gün için ise benzer şekilde akümülyasyon oranı oldukça fazla artmış ve ikinci gün % AP ($\% AP = 2289 - 47 / 47$) 4770 (4.77 kat) olarak belirlenmiştir (Tablo 6.2, Şekil 6.1). İlerleyen günlerde ise 3. ve 5. gün

akümülyasyonlarında önemli düşüşler gözlenmiştir ancak sekizinci gün sonunda ise tekrar artarak maksimum seviyeye ulaşmıştır. *L. minor*'ün 8. gün sonunda % AP 5502' dir. Bu bitki ikinci günde 2289 ppb, 8. Günde ise 2633 ppb bünyesinde gümüş akümüle etmiştir. *L. minor*, tıpkı *L. gibba* gibi deney süresi boyunca lineer bir gümüş akümülyasyonu sağlamamış, özellikle 3. ve 5. günde akümülyasyonlarda azalışlar gözlenmiştir (Şekil 6.1). Sekiz günlük deney süresi boyunca en ideal hasat zamanı 2 gün olarak belirlenmiştir (Şekil 6.1). Keban galeri suyundaki Ag içeriği $0.5 \mu\text{g L}^{-1}$ (ppb) olduğu düşündüğünde, en ideal hasat zamanı olan ikinci günde *L. minor* bitkisi 2289 ppb gümüş toplamıştır ve bu değerden kontrol değerini (47 ppb) çıkardığımızda, iki gün boyunca sudan toplanmış olan gümüş değerine karşılık gelir ($=2289-47/0.5$) veya iki gün boyunca ne kadar litre suyun gümüşden tamamen temizlendiği anlamı doğmaktadır. Yapılan hesaplamalarda 4484 litre sudaki gümüş *L. minor* tarafından akümüle edilmiştir.

Tablo 6.2. *Lemna gibba* ve *Lemna minor*'un 8 gün boyunca Ag akümülyasyonu

Örn. No	Ag (ppb)	Akkümülyasyon Performansı %	
LG-0	23	0	Kontrol örneği
LG-1	254	1004	
LG-2	2654	11439	
LG-3	2668	11500	
LG-4	1245	5313	
LG-5	2923	12609	
LG-6	3495	15096	
LG-7	2910	12552	
LG-8	5692	24648	
LM-0	47	0	Kontrol örneği
LM-1	586	1147	
LM-2	2289	4770	
LM-3	585	1145	
LM-4	1477	3043	
LM-5	797	1596	
LM-6	1593	3289	
LM-7	1685	3485	
LM-8	2633	5502	



Şekil 6.1. *Lemna gibba* ve *Lemna minor*' ün 8 gün boyunca gümüş akümülyasyonu

6.2.2. Mangana (Mn)

Çalışma alanında tıpkı *Lemna gibba* ve *Lemna minor* ile gümüş akümülyasyonu yapıldığı gibi, mangana için de 8 gün boyunca benzer çalışma yapılmıştır (Tablo 6.3, Şekil 6.2). Benzer şekilde mangana için LG-0 ve LM-0 örnekleri kontrol örnekleri olarak kabul edilmiştir.

Şekil 6.2'deki mangana için LG-0 örneği *L. gibba*'nın kontrol örneği olup, bu örnekteki mangana değeri 76 ppm olarak analiz edilmiştir. İlk gün sonunda *L. gibba* 228 ppm mangana akümüle etmiştir ve buna göre ilk günün gümüş için akümülyasyon performansı (AP) % 200 ($\% AP = \frac{228-76}{76}$) olarak belirlenmiştir (Tablo 6.3, Şekil 6.2). İkinci gün için ise benzer şekilde akümülyasyon oranı ilk güne düşüş göstererek % 188 olarak belirlenmiştir (Tablo 6.3, Şekil 6.2). İlerleyen günlerde ise çok önemli oranda artışlar gözlenmemiştir. Deney süresi boyunca maksimum akümülyasyon performansı 6. günde % 564 oranında artmıştır. Bu element için *L. gibba* deney süresi boyunca doğrusala yakın bir akümülyasyon trendi izlemiştir. Keban galeri suyundaki Mn içeriği $818 \mu\text{g L}^{-1}$ (0.82 mg L^{-1}) olduğu düşünülürse, ilk günde *L. gibba* bitkisi 228 ppm mangana toplamıştır. Bu değerden kontrol değerini (76 ppm) çıkardığımızda, ilk günde sudan toplanmış olan mangana değerine karşılık gelir ($=\frac{228-76}{0.82}$) veya ilk günde ne kadar litre suyun mangandan tamamen temizlendiği anlamı doğmaktadır. Yapılan hesaplamalarda 185 litre sudaki mangana ilk günde *L. gibba* tarafından giderildiği veya toplandığı belirlenmiştir.

LM-0 örneği *L. minor*'ün mangan için kontrol örneği olup, bu örnekteki mangan değeri 1160 ppm olarak saptanmıştır. İlk gün sonunda *L. minor* 1762 ppm, ikinci gün sonunda ise 2956 ppm mangan akümüle etmiştir ve buna göre ilk günün mangan için akümülyasyon performansı (AP) % 52 ($\% AP = 1762 - 1160 / 1160$), ikinci gün için ise benzer şekilde akümülyasyon oranı ise % AP ($\% AP = 2956 - 1160 / 1160$) 155 (1.55 kat) olarak belirlenmiştir (Tablo 6.3, Şekil 6.2). İlerleyen günlerde ise 4. gün akümülyasyonlarında % 247 gibi bir artış gözlenmiştir. *L. minor*'ün mangan için akümülyasyon performansı sekiz gün boyunca genelde doğrusal bir artış göstermekle birlikte, sadece 5. Gün akümülyasyonunda genel trende uygun olarak azalış gözlenmiştir (Şekil 6.2). Bu bitki dördüncü günde 4023 ppm mangan akümüle ederek % 247 gibi bir akümülyasyon performansı göstermiştir. Bu gün de manganın hasat edilmesi için en ideal hasat zamanı olduğunu söylemek mümkündür (Şekil 6.2). Keban galeri suyundaki mangan içeriği $818 \mu\text{g L}^{-1}$ (ppb) olduğu düşünüldüğünde, en ideal hasat zamanı olan dördüncü günde *L. minor* bitkisi 4023 ppm mangan toplamıştır ve bu değerden kontrol değerini (1160 ppm) çıkarıldığında, dört gün boyunca sudan toplanmış olan mangan değerine karşılık gelir ($=4023 - 1160 / 0.82$) veya dört gün boyunca ne kadar litre suyun mangandan tamamen temizlendiği anlamı doğmaktadır. Yapılan hesaplamalarda 3491 litre sudaki mangan *L. minor* tarafından tamamen akümüle edilmiş ve temizlenmiştir.

Alvarado vd. (2008), *Eichhornia crassipes* ve *Lemna minor*'ün arseniği akümüle etme potansiyellerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, her iki tür için de biyoakümülyasyon kapasiteleri arasında önemli bir fark olmadığını ancak *Lemna minor*'ün % 5'lik daha düşük bir giderim potansiyeline sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Şaşmaz ve Öbek (2009), *Lemna gibba* L. kullanarak, ikincil arıtım havuzlarındaki As' in akümülyasyonunu araştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmaya göre *Lemna gibba*'nın As için 7 gün boyunca alım kapasitesi incelenmiş ve As için en yüksek alım kapasitesine % 133 artış ile 2.günde ulaşıldığı belirlenmiştir. *L. gibba* L.'daki akümülyasyon miktarı 2. günde 380 ppm'e çıkarken, 3.günde ise 98 ppm'e düşmüştür. Akümülyasyon miktarındaki böyle ani düşüşlerin *L.gibba* L.'nin As'e olan doyumluk düzeyinden kaynaklanabileceği açıklanmıştır (Öbek, 2009; Şaşmaz ve Öbek, 2009). Söz konusu çalışmada bildirilen en yüksek As alım kapasitesi olan %133 değerindeki artış, bu tez çalışmasında elde edilen en yüksek As alım kapasitesinden (hasatlama süresi olarak belirlenen 2. günde başlangıca göre %7077' lik artış) düşük bir değerdir.

Lemna gibba kullanılarak Megateli vd., (2009)' in yaptıkları çalışmada bakırın gideriminin ilk iki günde hızlı bir şekilde (% 73) gerçekleştiği, izleyen günlerde ise Cu giderim yüzdesinin yatay bir seyir izlediği ve genellikle çok az bir artış gösterdiğini bildirilmiştir.

Brankovic vd. (2012), yapay bir göldeki 8 makrofit türünde ortalama Cu konsantrasyonunun bitkiden bitkiye farklılık gösterdiğini belirlemişlerdir. En yüksek değerin *Mentha aquatica* bitkisinde olduğunu vurgulamışlardır.

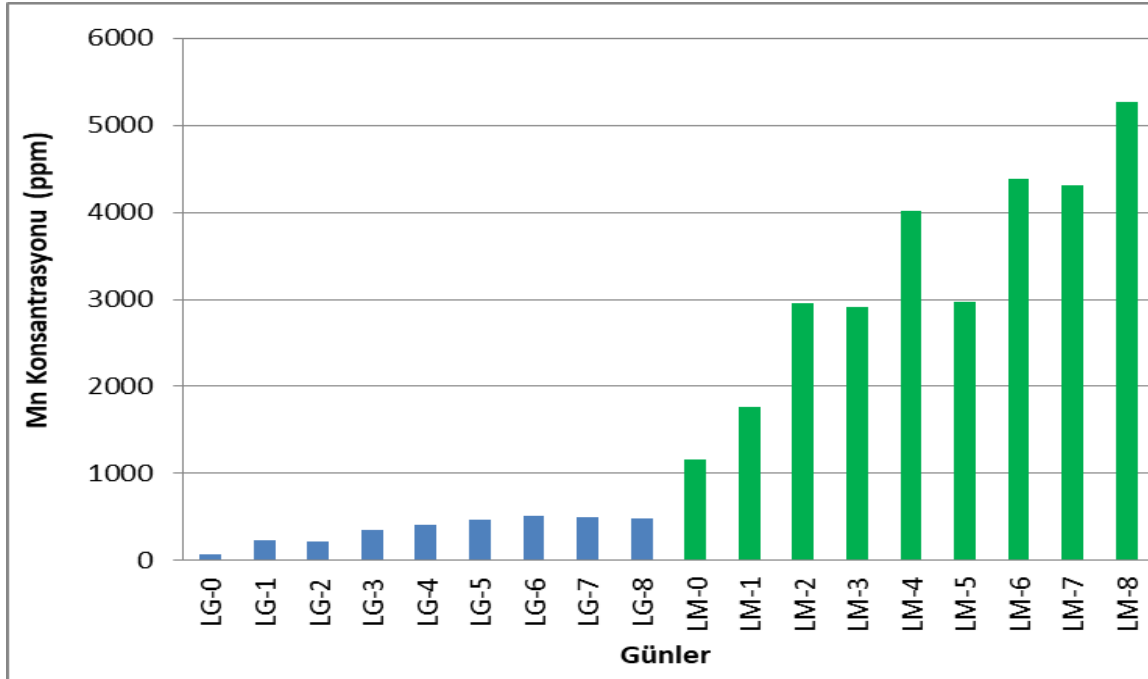
Abdallah (2012), farklı konsantrasyonlarda kurşun içeren (2, 4, 10 ve 15 mg/L) sulu çözeltilerden kurşunun *Lemna gibba* ile fitoremediasyonunu laboratuvar ortamında çalışmıştır. Bitkideki kurşun birikiminin yaklaşık 110-850 mg/g kuru ağırlık değerinde olduğunu tespit etmiştir. Bu değerler çalışmamızda tespit edilenlerden daha yüksektir. Çalışmamızda bitkinin maruz bırakıldığı galeri suyunun Pb konsantrasyonu 7.5 ppb olarak tespit edilmiştir. Bu değer, Abdallah (2012)' nın çalışmasında kullanıldığı Pb konsantrasyon değerlerinden oldukça düşüktür. Bu nedenle, bitkinin maruz bırakıldığı konsantrasyon arttıkça bitkinin Pb birikiminin de artacağı söylenebilir. Bu durum Abdallah (2012)' nın çalışmasında da görülmüş, konsantrasyon artışıyla genel olarak bitkinin biriktirdiği kurşun miktarı da artmıştır.

Khellaf ve Zerdaoui (2013), *Lemna gibba* L.'nin farklı sıcaklık ve pH şartlarında Zn alım kapasitelerini incelemişlerdir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre *Lemna gibba* tarafından Zn akümüasyonu için pH 5 ve 6, sıcaklığın ise 21 C° 'den daha büyük olması durumunda en ideal faktörlerin ortaya çıktığını belirtmişlerdir.

Khellaf ve Zerdaoui (2009), ağır metal kirliliğinin *L. minor* L.' ün büyümesi üzerine etkisini araştırmış ve *L. minor* L.' ün bakır ve kadmiyum kirliliği üzerine hassasiyeti çok yüksek, nikel ve çinko üzerine ise daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Benzer şekilde araştırmacılar, çinko (Zn) bakımından kirlenmiş suların temizlenmesinde *L. gibba* L.' nin performansını incelemiş ve özellikle pH 6 değerinde ve 21°C sıcaklıkta bitkinin en yüksek alım kapasitesine sahip olduğunu vurgulanmıştır.

Tablo 6.3. *Lemna gibba* ve *Lemna minor*'ün 8 gün boyunca Mn akümülayonu

Örn. No	Mn (ppm)	Akkümülayon Performansı %	
LG-0	76	0	Kontrol örneği
LG-1	228	200	
LG-2	219	188	
LG-3	343	351	
LG-4	413	443	
LG-5	462	508	
LG-6	505	564	
LG-7	495	551	
LG-8	487	541	
LM-0	1160	0	Kontrol örneği
LM-1	1762	52	
LM-2	2956	155	
LM-3	2908	151	
LM-4	4023	247	
LM-5	2965	156	
LM-6	4388	278	
LM-7	4307	271	
LM-8	5270	354	



Şekil 6.2. *Lemna gibba* ve *Lemna minor*'ün 8 gün boyunca mangan akümülayonu

Miranda vd. (2010)' nin yaptıkları çalışmada, *Lemna gibba* L. bitkisi, bir serada belirli sıcaklık periyodunda 50-300 mg/L konsantrasyon aralığında kurşun (Pb) metaline yedi gün süresince maruz bırakılmıştır. *Lemna gibba*' nın büyümesinde Pb etkisi, onüç gün boyunca aynı deneysel yöntem ile incelenmiştir. *Lemna gibba* L. tarafından en yüksek Pb akümülyasyonu üçüncü gün sırasında 50 mg/L ile meydana gelmiştir. Kurşunun bütün test sonuçlarındaki konsantrasyonlarında su mercimeği gelişiminde kesinlikle %100 inhibitör (önleyici) etkisi olduğu belirtilmiştir. Tüm testlerde en yüksek bağıl orana üçüncü günde ulaşılmış olup; toplam çözümler nişasta redüksiyonu % 59.3, toplam çözümler protein redüksiyonu % 94.7, toplam çözümler aminoasit artışı % 246, toplam çözümler şeker artışı %50 ve % 18.2 toplam fenol artışı %18.2 gibi toksisite etkileri görülmüştür. Bu çalışma, kurşun metalinin *L. gibba* L.'nin büyümesi sırasında toksik etkilere neden olduğunu kanıtlamıştır.

Bir diğer çalışmada ise (Üçüncü, 2011), bakır nitrat, kurşun nitrat, krom (III) oksit ve karışımlarının, 7 günlük süreçte, *Lemna minor* kullanılarak biyoremediasyonu ve bu metallerin *L. minor* üzerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar kurşunun, bakır ve kroma göre *L. minor* üzerine daha toksik olduğunu göstermiştir. Metallerin toksisite sıralaması Pb>Cu>Cr (III) olarak bulunmuştur. Biyoremediasyon çalışmasından elde edilen sonuçlar ise; ICP-MS cihazında okutulmuş ve *L. minor* kullanılarak yapılan 7 günlük çalışma sonunda en yüksek uzaklaştırma oranlarının kurşun için % 89-97, bakır için %37-51 ve krom için %99'un üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Gala gölü suları ile bu alandaki tarımsal faaliyetlerden dönüş sularının toplandığı deşarj kanalında ağır metal kirliliğinin, Gala Gölü florasında yaygın olarak bulunan su mercimeği (*Lemna minor*) bitkisi ile giderim verimliliği laboratuvar koşullarında araştırılmıştır. Karakterizasyonu yapılan su numunelerindeki ağır metal giderim verimi, Gala Gölü'nün kuzeyinde bulunan Tekke deresinden toplanan su mercimekleri (*Lemna minor*) ile tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar iki farklı hacimde, iki kontrol grubu kullanılarak bitkili ve bitkisiz olmak üzere yürütülmüş ve Cd, Cu, Pb ve Ni bazında bir değerlendirme yapılmıştır. Su mercimekleri laboratuvar şartlarına adapte edildikten sonra Gala Gölü'nden ve deşarj kanalından alınan su numuneleri içerisinde bekletilmiş ve bitkide ağır metal ölçümleri yapılmıştır (Erkoç, 2011).

Balcıgil (2013) çalışmasında, *Lemna minor* L. bitkisinin atıksulardan besin maddesi, karbon ve ağır metal giderim kapasitesini araştırmıştır. Çalışmanın başlangıcında *Lemna minor* bitkisinin doğal koşulların ardından kontrollü koşullar altında adaptasyonuna çalışılmıştır. Laboratuvar koşullarında çoğaltılan su mercimeklerinin KOİ, NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P, Cu, Pb ve Zn içeriklerini farklı atıksularda giderim verimliliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar 3000 ml' lik küvetlerde gerçekleştirilmiş ve havuz sistemi esas alınmıştır. Sentetik ve evsel atıksu ile gerçekleştirilen çalışmalarda, %54-74 oranında KOİ, %86-90 oranında NH₃-N, %78-94 oranında NO₃-N, %53-94 oranında PO₄-P, %65-79 Cu, %76-84 Pb ve %80-83 Zn giderimi tespit edilmiştir.

Hem çözünmüş hem de asılı halde katı madde açısından çok zengin olan ve aynı zamanda yüzey ve yeraltı sularını önemli oranda kirleten kaynaklar olan kömür madeni kaynaklı suların (Juwarkar ve Jambhulkar, 2008) temizlenmesinde *Lemna minor* ve *Azolla pinnata*. 'nın kullanabileceği gösterilmiştir (Bharti ve Banerjee, 2013).

Tatar ve Öbek (2014), *Lemna gibba* L. ve *Lemna minor* L.'ün arıtma sularındaki borun gideriminde oldukça etkili olduğunu belirterek, bu sulardaki düşük konsantrasyonlardaki borun, bu bitkiler tarafından yüksek seviyelerde akümüle edilebildiğini tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, yazarlar, *L.gibba* L.'nin *L. minor* L.'den daha fazla boru atık sulardan toplayabildiğini de göstermişlerdir. Ayrıca bu bitkilerin bor için iyi bir bioindikatör bitki olabileceğini de vurgulamışlardır.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada *L.gibba* ve *L.minor* bitkilerinin Keban Pb-Zn madenine ait galeri suyundaki Ag ve Mn metallerini akümüle etmek yetenekleri araştırılmıştır. Hem *L.gibba* hem de *L.minor* sözkonusu bu metalleri önemli oranda akümüle etmişlerdir. Her iki bitki de Ag ve Mn akümülyasyonunda olağanüstü bir verim ile çalışmışlardır. *L.gibba* gümüş için ikinci günde olağanüstü bir akümülyasyon performansı göstererek kontrol örneğine göre yaklaşık 114 kat Ag akümülyasyonunu gerçekleştirmiştir ve bu metal için en ideal hasat zamanı olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde *L.minor* de gümüş için ikinci günde 47.7 kat akümülyasyon gerçekleştirerek, önemli bir performans sergilemiştir. Bu anlamda *L.gibba*, *L.minor*'dan daha iyi bir akümülyasyon performansı göstermiştir. *Lemna gibba* bitkisi hasat zamanı olarak düşünülen ilk iki günde 5262 lt, *Lemna minor* ise yine ikinci günde 4484 lt sudaki gümüşü tamamen temizlemiştir.

Bu iki bitkinin manganı galeri suyundan giderme oranları oldukça değişkenlik arzemiştir. *L.gibba* bitkisi deneyin ilk gün % 200, üçüncü gün ise % 351 gibi yüksek bir mangan alımı performansı gerçekleştirmiştir. *L.minor* ise ikinci günde % 155, dördüncü günde ise % 247 gibi mangan akümülyasyonu gerçekleştirmiştir. Gerçekte *L.minor*, *L.gibba* 'den daha yüksek oranda manganı akümüle etmiştir ancak akümülyasyon performanslarına bakıldığında ise tersi bir durum ortaya çıkmaktadır. Mangan alımı için *L.gibba* bitkisi için ilk gün, *L.minor* için ise ikinci ve dördüncü günler en ideal hasat zamanları olarak belirlenmiştir. Deneyin ilk gününde *L.gibba* bitkisi 185 lt sudaki manganı, *L.minor* ise ikinci günde 2190 lt, dördüncü günde ise 3491 lt sudaki manganı temizleme kapasitesine sahip olduğu gözlenmiştir. Bu açıdan düşünüldüğünde *L.minor*, *L.gibba*'dan daha fazla sudan manganı akümüle etmiştir.

8. KAYNAKLAR

- Abdallah, M.A.** 2012. Phytoremediation of heavy metals from aqueous solutions by two aquatic macrophytes, *Ceratophyllum demersum* and *Lemna gibba* L. *Environ Technol.* 33(13-15):1609-14.
- Ahluwalia, S.S., Goyal, D.,** 2007. Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater, *Bioresource Technology*, 98, 2243-2257.
- Akbıyık F.,** 2012. Felent çayı'nda mikro ve makro elementlerin biyotik ve abiyotik öğelerde birikimlerinin araştırılması Yüksek Lisans Tezi Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı 2012, 116 sayfa
- Alvarado, S. Guédez, M. Lué-Merú, M.P. Graterol, N. Anzalone, A. Arroyo, C.J. Záray, G.,** 2008. Arsenic removal from water by bioremediation with the aquatic plants water hyacinth (*Eichornia crassipes*) and Lesser Duckweed (*Lemna minor*). *Bioresource Technology*, 99; 8436–8440.
- Artan, R.O.** 2007. Ağır Metal içeren atık suların ileri arıtımında su mercimeği (*Lemna Sp.*) bitkisinin kullanılması. Yüksek lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Balcıgil, M.** 2013, Nutrient and heavy metal removal from domestic wastewater by using duckweed, M.Ü Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Banks, M.K., Kulakow, P., Schwab, A.P., Chen, Z. ve Rathbone, K.,** 2003. Degradation of Crude Oil in the Rhizosphere of *Sorghum bicolor*. *International Journal of Phytoremediation* 5; 225-234.
- Bayhan, H, Akça, L., Altay, A., Şakar, S.** 1996. Yüzen Su Bitkileri ile Atıksulardan Nutrient Giderimi, Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu,S: 589- 598, Mersin, 13-15.
- Bharti, S., Banerjee, T.M.** 2013. Bioassay analysis of efficacy of phytoremediation in decontamination of coal mine effluent. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 92; 312–319.
- Brankovic, S., Pavlovic-Muratspahic, D., Topuzovic, M., Glisic, R., Milivojevic, J., Dekic, V.** 2012. Metals concentration and accumulation in several aquatic macrophytes. *Biotechnology and Biotechnological Equipment* 26: 2731-2736.
- Cardwell, A.J., Hawker, D.W., Greenway, M.** 2002. Metal accumulation in aquatic macrophytes from Southeast Queensland, Australia. *Chemosphere*, 48:653-663.
- Davis, PH.** 1988. *Flora of Turkey and The East Aegean Island.* Edinb. Univ. Press.
- Doğan, M.** 2011. Akuatik Makrofitlerde Ağır Metal Akümülyasyonu. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 4 (2):33-36.
- Erkoç, Ö.B.** 2011. Su Mercimeği (*Lemna minor*) Bitkisi ile ağır metal içeren Gala Gölü sularının ileri arıtımının değerlendirilmesi. Namık Kemal Üniv. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, 88 s.
- Farooq, M., Anwar, F. and Rashid, U.,** 2008. Appraisal of Heavy Metal Contents in Different Vegetables Grown in the Vicinity of an Industrial Area” *Pak. J. Bot.*, 40 (5), 2099-2106.

- Ghosh, M. ve Singh, S.P.**, 2005. A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of its Byproducts. *Applied Ecology and Environmental Research*, 3, 1-18
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A.B., Cansaran-Duman, D. Aras, S**, 2012; Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları, *Türk Hij. Den. Biyoloji Dergisi*, 235-253.
- Kabata-Pendias A.** 2011. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, 213pp
- Kara, Y., Basaran D., Kara, İ., Zeytinluoglu, A. and Genç, H.** 2003. Bioaccumulation of Nickel by Aquatic Macrophyta *Lemna minor* (Duckweed). *International Journal of Agriculture & Biology*, 281–283.
- Khellaf, N., Zerdaoui, M.** 2013. Phytoaccumulation of zinc using the duckweed *Lemna gibba* L.: effect of temperature, pH and metal source. *Desalination and Water Treatment* 51 (28-30); 5755-5760.
- Krebs, W., Brombacher, C., Bosshard, P. P., Bachofen, R., Brandi, H.**, 1997. Microbial Recovery of Metals from Solids. *FEMS Microbiology Reviews*. 20: 605-617.
- Manny, B.A., Nichols, G.J., Schloesser, D.W.** 1991. Heavy metals in aquatic macrophytes in drifting in a large river. *Hydrobiologia*, 219:333-344.
- Megateli, S., Semsari, S., Couderchet, M.** 2009. Toxicity and removal of heavy metals (cadmium, copper, and zinc) by *Lemna gibba*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 72 1774–1780.
- Miranda, M.G., Sobrino, A.S., Alvarez, C., Quiroz, A.** 2010. Bio-accumulation and toxicity of lead (Pb) in *Lemna gibba* L (duckweed). *Journal of Environmental Science and Health* 45/1; 107-110.
- Mkandawire, M., Dudel, E.G.**, 2005. Accumulation of arsenic in *Lemna gibba* L. (duckweed) in tailing waters of two abandoned uranium mining sites in Saxony, Germany. *Sci. Total Environ.* 336 (1–3), 81–89.
- Mkandawire, M., Taubert, B., Dudel, E.G.**, 2006. Limitations of growth-parameters in *Lemna gibba* bioassays for arsenic and uranium under variable phosphate availability. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 65 (1), 118–128.
- Miretzky, P., Saralegui, A. and Cirelli, A.F.** 2004. Aquatic Macrophytes Potential for the Simultaneous Removal of Heavy Metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere*, Vol:57, pp. 997–1005.
- Obek, E.** 2009. Bioaccumulation of heavy metals from the secondary treated municipal wastewater by *Lemna gibba*. *Fres. Environ. Bull.*, 18 (11a); 2159–2164.
- Özkoç, Ö.B.**, 2011. Su mercimeği bitkisi ile ağır metal içeren Gala Gölü sularınınileri artırımın değerlendirilmesi. NKÜ, Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, 88 s. Tekirdađ
- Öztunalı, Ö.**, 1989. Keban maden sahaları durum tespit raporları. 1985-89 (yayınlanmamış). Etibank Maden Arama Müdürlüğü 30 s. Ankara.
- Pais, I., Jones, J.B.**, 2000. *The Handbook of Trace Elements*. St. Luice Press, Florida, p. 222.

- Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, N.P.A., Dushenkov, V., Ensley, B.D., Chet, I., Raskin, I.** 1995. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology*, 13:468-472.
- Samecka-Cymerman, A., Kempers, A.J.** 1996. Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macrophytes around Wroclaw, Poland. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 35: 242-247.
- Sarı, B.** 2005. Metal sanayi atık çamurlarından ağır metal gideriminde biyoliç yönteminin kullanılması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Doktora Tezi. 99 s. Adana.
- Sasmaz A and Öbek E,** 2009. The accumulation of arsenic, uranium, and boron in *Lemna gibba* L. exposed to secondary effluents. *Ecological Engineering* 35, 1564–1567.
- Sasmaz, A., Obek, E.** 2012. The accumulation of silver and gold in *Lemna gibba* L. exposed to secondary effluents. *Chem. der Erde*, 72; 149–152.
- Şaşmaz, M.** 2014. *Lemna gibba* L. ve *Lemna minor* L.' ün galeri suyundaki bazı ağır metalleri alım kapasitelerinin karşılaştırılması. F.Ü. Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi. 49 s. Elazığ
- Sasmaz M., Topal, E.I.A., Obek E., Sasmaz, A.** 2015. The potential of *Lemna gibba* L. and *Lemna minor* L. to remove Cu, Pb, Zn, and As in gallery water in a mining area in Keban, Turkey. *Journal of Environmental Management* 163, 246-253.
- Sasmaz M, Öbek E, Sasmaz A.** 2016. Bioaccumulation of Uranium and Thorium by *Lemna minor* and *Lemna gibba* in Pb-Zn-Ag Tailing Water. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 97/6: 832-837.
- Schnoor, J.L.** 2000. Phytostabilization of metals using hybrid poplar trees. In: Raskin, I. and Ensley, B.D., eds. *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean-up the environment*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 133- 150.
- Seeliger, T.C., Pernicka, E., Wagner, G.A., Begemann, F. Schmitt-Strecker, S. Eibner, C. Öztunalı, Ö. Baranyi, I.** 1985. Archäometallurgische Untersuchungen in Nord- und Ostanatolien. *Jahrbuch des Römisch-Germanisches Zentralmuseum* 32:597-659.
- Skillicorn P., Spira W. and Jouney W.,** 1993. Duckweed Aquaculture, a new aquatic farming system for developing countries. The World Bank, Washington, USA.
- Sögüt, Z., Zaimoğlu, Z., Erdoğan, R.K., Doğan, S.** 2004. Su kalitesinin arttırılmasında bitki kullanımı (yeşil ıslah-Phytoremediation). Adana: Çukurova Üniversitesi,.
- Srivastav, R.K., Gupta, S.K., Nigam, K.D.P. and Vasudevan, P.,** 1994. Treatment of chromium and nickel in waste-water by using aquatic plants, *Water Research*, 28 (7), 1631-1638.
- Smedley P.L., Kinniburgh, D.G.** 2002. A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry* 17; 517-568.
- Taylan, Z.S. ve Özkoç, H.B.,** 2007. Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların biokullanılabilirliği. *BAÜ FBE Dergisi*, 9 (2), 17-33.
- Tatar, Ş., Öbek, E.** 2014. Potential of *Lemna gibba* L. and *Lemna minor* L. for accumulation of Boron from secondary effluents. *Ecological Engineering* 70; 332–336.

- Üçüncü, E.** 2011 Su mercimeği kullanarak farklı konsantrasyonlardaki ağır metal karışımlarının laboratuvar ortamında biyoremediasyonu. A.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi. Ankara.
- Upadhyay, A.R., Mishra, V.K., Pandey Sudhir, K. and Tripathi, B.D.,** 2007. Biofiltration of secondary treated municipal wastewater in a tropical city, Ecological Engineering, 30, 9–15.
- WHO,** 1993. Guidelines for drinking – water quality, recommendations. World Health Organization, 2nd ed., 188, Genova.
- Yılmaz, A., Ünlü, T. ve Sayılı, S.,** 1992. Keban (Elazığ) kurşun-çinko cevherleşmelerine bir yaklaşım; ön çalışma; MTA Dergisi. 114,47-70



9. ÖZGEÇMİŞ

Hatice Kübra YILMAZ, 1989 Elazığ Palu'da doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Namık Kemal İlköğretim Okulunda, Lise eğitimini ise 2006-2007 Eğitim Öğretim Yılında Mehmet Akif Ersoy Lisesi'nde tamamladı. 2009-2010 Eğitim öğretim Yılında Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2013-2014 Şubat döneminde bu bölümden mezun oldu. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde 2015-2016 Eylül döneminde Yüksek lisansa başladım. Evlidir.

