

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zehra DURAK

**ADANA SOFULU DÜZENSİZ ÇÖP DEPOLAMA ALANINDA OLUŞAN
ÇÖP SIZINTI SULARININ BİTKİ YETİŞTİRİLMESİNDE
KULLANILMASI**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2005

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ADANA SOFULU DÜZENSİZ ÇÖP DEPOLAMA ALANINDA OLUŞAN ÇÖP
SIZINTI SULARININ BİTKİ YETİŞTİRİLMESİNDE KULLANILMASI**

Zehra DURAK
YÜKSEK LİSANS
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Bu tez 21/12/2005 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği İle
Kabul Edilmiştir.**

İmza

Yrd. Doç. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU
DANIŞMAN

İmza

Prof. Dr. Ahmet YÜCEER
Üye

İmza

Doç.Dr. Sevilay TOPÇU
Üye

Bu tez Enstitümüz Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü

İmza-Mühür

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ADANA SOFULU DÜZENSİZ ÇÖP DEPOLAMA ALANINDA OLUŞAN ÇÖP
SIZINTI SULARININ BİTKİ YETİŞTİRİLMESİNDE KULLANILMASI**

Zehra DURAK

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Zeynep ZAIÑOĞLU
Yıl : 2005 Sayfa : 76
Jüri : Yrd.Doç.Dr. Zeynep ZAIÑOĞLU
Prof. Dr. Ahmet YÜCEER
Doç.Dr. Sevilay TOPÇU

Bu çalışmada *Juncus acutus* bitkisi ile çöp deponi alanlarından oluşan sızıntı suyu ve arıtma tesislerinden oluşan arıtma çamurlarının içerisindeki ağır metallerin giderim performansları araştırılmıştır. Çalışmada çöp sızıntı suyu bitkilere sulama suyu olarak uygulanırken arıtma çamuru da yetiştirme ortamı olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda *Juncus acutus* bitkisinin kobalt, demir, nikel ve bakır analizleri kök, gövde, yapraklarında ve toprakta yapılmıştır. Sonuç olarak bitkinin anılan ağır metalleri özellikle köklerinde biriktirdiği ve bitkilerin yoğun kirlilik koşullarında bile canlılıklarını sürdürebildikleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çöp Sızıntı Suyu, Bitki ile Islah, *Juncus acutus*, arıtma çamuru

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

USE OF GARBAGE LEACHATE OF IRREGULAR GARBAGE STORAGE AREA OF ADANA SOFULU FOR PLANT GROWİNG

Zehra DURAK

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Zeynep ZAIİMOĞLU
Year : 2005 Pages : 76
Jury : Asst. Prof. Dr. Zeynep ZAIİMOĞLU
Prof. Dr. Ahmet YÜCEER
Assoc. Prof. Dr Sevilay TOPÇU

In this study, performance of removal of heavy metals from sewage sludge which have been formed in garbage leachate and treatment structures in garbage storage areas was investigated by using *Juncus acutus*. During the study, garbage leachate was given to plants as irrigation water and sewage sludge was used as growing media. At the end of the trail, cobalt, iron, nickel an copper analysis of *Juncus acutus* were made on soil, root, trunk and leaves of the plants. As the result, it was concluded that heavy metals were accumulated in the roots and plants can survive even heavy contaminated conditions.

Keywords: Garbage Leachate, Phytoremediation, *Juncus acutus*, sewage sludge

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince, bu tezin oluşum ve yönetim aşamalarında yardımlarını ve desteğini benden esirgemeyen, çalışmalarında her türlü olanağı sağlayan danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Zeynep ZAIMOĞLU'na sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince, bilimsel katkılarını sunan Prof Dr. Ahmet YÜCEER'e teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmamın her aşamasında destek ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Arzu ÖCAL'a, numunelerin hazırlanması aşamasında bilgi ve yardımları ile katkıda Sayın Arş. Gör. Seçil KEKEÇ'e, laboratuvar çalışmalarında yardım aldığım Sayın Hüseyin KÖSE ve Sayın Kamil Bey'e yazım çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Sayın Fatih ÖZGÜRAL'a teşekkür ederim.

Çalışmam süresinde her türlü desteklerini benden esirgemeyen İl Çevre ve Orman Müdürlüğü ve Adana Valiliği, CBS Teknik Ofis elemanlarına teşekkür ederim.

Tezin yürütülmesinde katkıda bulunan Çevre Mühendisliği Bölümü hocalarına ve personeline teşekkür ederim.

Bu yoğun süreçte desteklerini benden esirgemeyen eşim Sayın Adnan DURAK'a ve kızlarım Merve ve Pınar'a ayrıca gösterdikleri sabırdan dolayı da teşekkür ederim.

ÖZ.....	I
ABSTRACT	I
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Arıtma Çamurları	4
1.1.1. Arıtma Çamuru Kaynakları	4
1.1.2. Arıtma Çamurlarının Özellikleri.....	5
1.1.2.1. Fiziksel Özellikler.....	5
1.1.2.2. Çamurun Kimyasal Özellikleri.....	7
1.1.2.3. Biyolojik Özellikler	8
1.1.3. Arıtma Çamurlarının Bertarafı	8
1.1.4. Arıtma Çamuru Uygulamaları	11
1.1.5. Arıtma Çamurlarının Çevre Kirliliğine Etkisi	12
1.2. Sızıntı Suları.....	15
1.2.1. Sızıntı Sularının Genel Özellikleri.....	15
1.2.2. Çöp Depolama Sızıntılarının Su Kaynaklarına Etkileri	15
1.3. Yeşil Islah – Phytoremediation	17
1.3.1. Yeşil Islah (Phytoremediation) Kategorileri	18
1.3.1.1. Bitkisel Özümleme (Phytoextraction)	18
1.3.1.2. Köklerle Süzme (Rhizofiltration)	19
1.3.1.3. Köklerle Sabitleme (Phytostabilization)	20
1.3.1.4. Köklerle Bozunum (Rhizodegradation).....	21
1.3.1.5. Bitkisel Bozunum (Phytodegradation).....	22
1.3.1.6. Bitkisel Buharlaştırma (Phytovolatilization).....	22
1.3.2. Yeşil Islah – Phytoremediation Tekniğinde Kullanılan Bitkiler ve Özellikleri	23

1.4. Ağır Metal Biosorbsiyonu	24
1.4.1. Ağır Metaller ve Özellikleri	26
1.4.1.1. Demir (Fe).....	26
1.4.1.2. Kurşun (Pb)	35
1.4.1.3. Kobalt (Co).....	35
1.4.1.4. Kadmiyum (Cd).....	36
1.4.1.5. Çinko (Zn).....	36
1.4.1.6. Mangan (Mn).....	36
1.4.2. Ağır Metallerin Alıcı Ortamlardaki Etkileri.....	36
1.4.3. Ağır Metallerin Toprağa Etkisi.....	37
1.4.4. Ağır Metallerin Sudaki Etkileri	38
1.4.5. Ağır Metallerin Canlılara Etkisi	39
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	40
3. MATERYAL VE METOD	45
3.1. Materyal	45
3.1.1. Araştırma Yeri	45
3.1.2. Kullanılan Bitki (<i>Juncus acutus</i>).....	45
3.1.3. Sızıntı Suyu.....	47
3.1.3.1. Sofulu Katı Atık Deponi Alanının Özellikleri	47
3.1.3.2. Kullanılan Sızıntı Suyunun Özellikleri.....	49
3.1.4. Arıtma Çamuru	49
3.1.4.1. Adana Atıksu Arıtma Tesisi Özellikleri	50
3.1.4.2. Kullanılan Sızıntı Suyunun Özellikleri.....	55
3.2. Metod.....	55
3.2.1. Deney Düzenekinin Kurulması.....	55
3.2.2. Analizlere Hazırlama ve Analizlerin Yapılması.....	58
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	61
4.1. Fenolojik Gözlemler	61
4.2. Ağır Metal Giderimleri	63
4.2.1. <i>Juncus acutus</i> Bitkisinin Kobalt Giderimi.....	63
4.2.2. <i>Juncus acutus</i> Bitkisinin Demir Giderimi	65

4.2.3. <i>Juncus acutus</i> Bitkisinin Bakır Giderimi.....	66
4.2.4. <i>Juncus acutus</i> Bitkisinin Nikel Giderimi.....	67
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1 Biyolojik Arıtma Sistemlerinden oluşan çamur miktarı.....	2
Çizelge 1.2 Gübre ve Arıtma Çamurunun Başlıca Besin Elementi İçeriği.....	7
Çizelge 1.3 Değişik Arıtma Çamurlarının Kimyasal Bileşimleri.....	9
Çizelge 1.4 Çamur İşleme Ve Bertaraf Etme yöntemleri	10
Çizelge 1.5 Avrupa Birliğindeki atıksu arıtma çamurunun: miktarı ve bertaraf oranları	11
Çizelge 1. 6 Ticari gübre ve çamurdaki besin maddesi seviyelerinin kıyaslanması ..	14
Çizelge 1. 7 Atıksu arıtma tesisi çamurundaki metal içerikleri	14
Çizelge 1.8 Kirlili Alanları İyileştirebilen Bazı Bitki Türleri ile Biriktirebildikleri Metaller.	24
Çizelge 3. 1 Adana Sofulu Çöp Dökme Alanı Katı Atık Bileşimi.....	48
Çizelge 3. 2 Adana'da Atık Oluşum Miktarı	48
Çizelge 3. 3. Sofulu Deponi Sahası Sızıntı Suyu Karakteristiği	49
Çizelge 3. 4 Batı Adana Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Karakteristiği.....	55
Çizelge 3. 5 Bitkilerin sulama miktarları.....	57
Çizelge 3. 6 Ağır Metal Ölçümlerinin Yapıldığı Dalga Boyları	60
Çizelge 4. 1 Tartım Sonuçları.....	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1. 1 Klasik Aktif Çamur Sisteminde Çamur ÇıkışNoktaları	5
Şekil 3. 1 <i>Juncus acutus</i> bikisi	46
Şekil 3. 2 <i>Juncus acutus</i> bitkisinin doğal görüntüsü	47
Şekil 3. 3 Adana Sofulu Çöp Depolama Alanı ve Çevresi	49
Şekil 3. 4 Adana Batı Atıksu Arıtma Tesisinin Görünüşü	50
Şekil 3. 5 <i>Juncus acutus</i> Bitkisinin Saksılara Ekildikten Sonraki Görüntüsü	56
Şekil 3. 6 Sıcaklık ve Nem Ölçüm Cihazı.....	57
Şekil 3. 7 Bitkilerin Açık Havaya Çıkarıldıktan Sonraki Görüntüsü	58
Şekil 3. 8 Parçalara Ayrılan Bitkilerin Tartım Sırasındaki Görüntüleri	59
Şekil 3. 9 Kurutulmuş Numune.....	59
Şekil 4. 1 Bitkilerin Zamana Bağlı Boy ve Çap Ölçüm Sonuçları.....	62
Şekil 4. 2 <i>Juncus acutus</i> Bitkisinin Kobalt Giderimi.....	64
Şekil 4. 3 <i>Juncus</i> Bitkisinin Demir Giderimi	65
Şekil 4. 4 <i>Juncus</i> Bitkisinin Bakır Giderimi.....	66
Şekil 4. 5 <i>Juncus acutus</i> Bitkisinin Nikel Giderimi.....	67

1. GİRİŞ

Artan nüfus, gelişen endüstri ve ülkelerin tabii varlıklarını tehdit eden kirlenmeler, çevre sorunlarını yirminci yüzyılın son çeyreğinde insanlığın en önemli konularından biri haline getirmiştir. Hava, su, toprak, nükleer kirlilik derken, birçok alanda zarar verdiğimiz Dünyamızı geç de olsa kurtaracak fikirler ortaya atılmıştır.

Meydana gelen kirliliğin boyutlarının hızla artması dünyadaki dengeleri bozarken, çevreye bağımlı olan canlıların da bu durumdan olumsuz etkilenmelerine neden olmuştur. Sanayileşmenin artması, teknolojinin ilerlemesi kaçınılmazdır. Ancak bunların meydana getireceği olumsuz etkilerin de göz ardı edilmemesi ve bu etkilerin ortadan kaldırılması en önemli konulardan biridir. Buna bağlı olarak da çevre sorunları günümüzde en çok tartışılan, çözüm yolları aranan global problemlerin başında yerini almaktadır.

İnsanlar, eskiden, üçlü bir döngü içinde herhangi bir maddeyi kullanıyorlardı. Bunu beslenmede değerlendiriyorlar yada günlük yaşamda enerji kaynağı olarak pratiğe geçiriyorlardı. Bu döngü hammadde, üretim ve tüketim üçlüsünden oluşmaktaydı. Günümüzde buna dördüncü bir işlemi de eklemek gerekmektedir. Ortamı kirliletmeden atık ve artıkları yok etmek yada yeniden değerlendirmek (Recycling).

Günümüzde çevre problemlerinin başında gelen atıksuların arıtılması hususunda ülkelerin kalkınmışlık düzeylerine göre değişiklikler göstermekle birlikte birtakım arıtma yaklaşımları mevcuttur. Dünya genelinde evsel atıksu arıtımı için daha çok biyolojik arıtma sistemleri tercih edilmektedir. Genel anlamda evsel atıksuların arıtımı için, aktif çamur, stabilizasyon havuzları, damlatmalı filtre ve anaerobik arıtma gibi biyolojik sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır. (Mara, 1978; Batchelor ve diğ., 1991; Khan ve Ahmad, 1992). Bu sistemler arıtma verimlilikleri, arazi ihtiyacı ve ilk yatırım maliyeti gibi parametreler açısından değişiklikler arz etmektedir. Kullanılan aerobik atıksu arıtma sistemlerinin sonucunda bir yan ürün olarak oluşan arıtma çamurlarının bertarafı bir problem olarak ortaya çıkmaktadır (Çizelge 1.1). Bu çamurların birtakım bertaraf yöntemleri mevcut

olmakla birlikte bu çalışmada bu çamurların bertarafı için alternatif bir yöntem sunulacaktır.

Çizelge 1.1 Biyolojik Arıtma Sistemlerinden oluşan çamur miktarı (Arceivala, 1981; Metcalf & Eddy, 1991)

Arıtma Sistemleri	Çamur Miktarı (m ³ /N-yıl)
Ön Arıtma	0,6-1,3
Geleneksel Aktif Çamur	1,1-1,5
Uzun Havalandırmalı	0,7-1,2
Sıralı Kesikli Reaktör	0,7-1,5
Damlatmalı Filtre (düşük hızlı)	0,4-0,6
Damlatmalı Filtre (yüksek hızlı)	1,1-1,5
UASB	0,07-0,1
Septik tank-anaerobik filtre	0,07-0,1

Günümüzde nüfus artışına, teknolojik gelişmeye, sanayileşme ve kentleşmeye paralel olarak gerek miktar, gerekse içerik açısından hızla artan diğer bir problem de katı atıklardır. Katı atıkların doğaya olumsuz etkileri önemli bir çevre problemi haline gelmiştir. Dünya giderek büyük bir çöplük haline dönüşmektedir. Katı atıklardaki bu artış bir yandan çevrenin yükünün artmakta olduğunu, bir yandan da doğal kaynakların sorumsuzca tüketildiğini, hammadde ve enerjinin de israf edildiğini göstermektedir. Katı atıklar ile ilgili olarak bir takım geri dönüşüm çalışmaları yapılmaya çalışılsa da ülkemiz gibi kalkınmakta olan ülkeler hala katı atıklarını hala gelişi güzel vahşi bir biçimde deponi alanlarına bırakmaktadırlar. Bu şekilde bir çığ gibi büyüyen katı atıklarının içerisindeki sıvı materyal yağmur suları ile birleşerek belli bir süre sonra kendine bir yatak oluşturarak bir dere haline gelmekte ve barındırdığı yoğun kirletici yük ile birlikte ekosistemin istenmeyen bölgelerine taşınarak ekosistem için tehdit unsuru olmaktadır. Çalışmada arıtma çamurları ile birlikte tehdit unsuru haline gelen sızıntı sularının özellikle ağır metal içeriklerinin giderim verimlerinin değerlendirilmesi için yeni bir teknoloji olarak Yeşil ıslah (Phytoremediation) tekniği kullanılmıştır.

Temel anlamda Phytoremediation, bitki anlamındaki "phyto" ile ıslah anlamındaki "remediation" kelimelerinden türetilen ve 1991'de terminolojiye giren bir yöntemdir ve bioremediation, botanical remediation ve green remediation olarak da anılmaktadır (EPA, 2000). Türkçe'de "Yeşil Islah" olarak kullandığımız bu ifade bitki temel alınarak çevreyi ıslah etme teknolojileridir. Bu teknoloji ile organik ve inorganik maddeler bitki kullanılarak kirlilik oluşturduğu alandan bertaraf edilebilmektedir (Henry, 2000). Atık su iyileştirmede kullanılan yeni bir yöntemdir. Ancak yeşil ıslahın çeşitli olumlu ve olumsuz yönleri vardır (EPA, 2000; Farrell ve ark., ; Henry, 2000; Sutherson, 1999). Yeşil ıslahın fizikokimyasal teknolojilerden çok daha kolay uygulanabilirliği ve bir çok organik ve inorganik kirleticide etkili olması, bu sistemlerin kuruluşu ve ıslah maliyetinin diğer teknolojilere göre çok (4-1000 kat) daha ucuz olması önemli olumlu yönleridir (Sadowsky, 1999). Sistem doğal ve yapay ortamlarda kullanılabilir. Yani kirlilik etmeni, bulunduğu yerde veya başka bir ortama taşınarak bertaraf edilebilir. Bu amaçla kurulmuş alanlar eğitim ve rekreasyon gibi çeşitli amaçlarla kamuya açık yeşil alanlar olarak hizmet verebilen ve sempati ile karşılanan alanlardır. Bitkilere bakım işlemleri, yenileme dahil düzenli yapıldığında sistem çok uzun ömürlüdür. Yerinde yapılan çalışmalarda kirlilik etmeninin alandan taşınma oranı çok düşük (yaklaşık % 5) olup, çevreye (hava ve su) yayılması da çok zayıftır. Bu teknolojinin en önemli olumsuz yönü ise; ağır düzeylerde kirlenmiş alanlarda bitkilerin kısa sürede etkinliğini gösterememesidir. Bu nedenle ancak düşük düzeylerde kirlenmiş alanlarda kullanılır. Sistemin etkinliği kök derinlikleri ve iklim koşulları ile sınırlıdır. Doğal olmayan bitkilerin bu amaçla kullanılması biyolojik çeşitliliği olumsuz yönde etkileyebilir. Yeşil ıslahın farklı kategorileri türlerin kirlilik etmenlerini bertaraf etme yollarına bitkisel özümleme (phytoextraction), köklerde süzme (rhizofiltration), köklerde sabitleme (phytotostabilization), köklerde bozunum (rhizodegradation), bitkisel bozunum (phytodegradation) ve bitkisel buharlaştırmadır (phytovolatilization).

Bu çalışmanın amacı, arıtma çamuru ve çöp sızıntı suları içerisindeki ağır metallerin *Juncus acutus* bitkisi tarafından absorbe edilerek yüzey ve yer altı sularına aracılığıyla geniş bir alana yayılımını engelliyerek dar bir alanda tutmayı başarmaktır.

1.1. Arıtma Çamurları

İçme suyu ve atık su arıtımı sonucu oluşan sıvı yada yarı katı halde, kokulu, uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ağırlıkça % 0.25-12 katı madde içeren atıklar arıtma çamuru olarak isimlendirilir.

1.1.1.Arıtma Çamuru Kaynakları

Evsel veya endüstriyel atıksu arıtma tesisleri temel olarak 3 gruptan oluşmaktadır. Dolayısıyla oluşacak çamur da üç farklı kaynaktan elde edilmektedir. Bu kaynaklar ön arıtmadan gelen çamurlar (ızgara, kum tutuculardan, ön çökeltim havuzlarından), ikincil arıtmadan gelen çamurlar (aktif çamur, damlatmalı filitre vb. sistemler) ve fiziksel-kimyasal arıtmadan kaynaklı çamurlar olarak gruplandırılabilir.

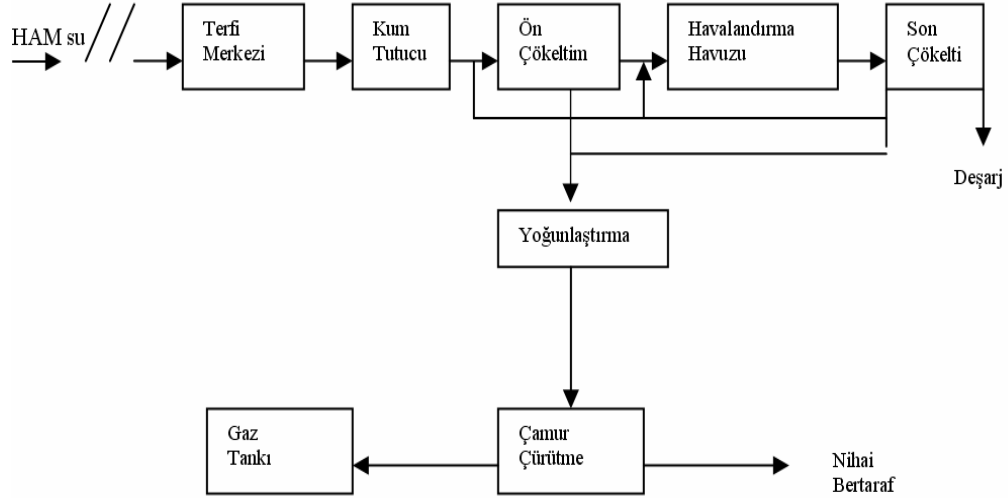
Ön Arıtma

Ön arıtmanın temel prensibi çökebilir haldeki katı maddelerin atık sudan uzaklaştırılmasıdır. Ön çökeltim havuzu kendiliğinden çökebilecek katı maddelerin tabanda, yüzebilen maddelerin ise yüzeyde toplanmasını sağlar. BOI'nin bir kısmı çökebilir katı maddeler ile birlikte giderilir. Yüzebilen katı maddeler köpük olarak isimlendirilir ve arıtma işlemine sokulmadan en yakın bertaraf sahasına iletilir. Çökeltim havuzu tabanında toplanan maddeler ham ön çökeltim çamuru olup su içeriği oldukça yüksektir bu çamur genellikle çürütülür ve çürük ön çökeltim çamuru olarak bilinir. Çürütücülerde oluşan üst sıvı arıtma tesisi başlangıcına geri döndürülür (Filibeli,1998).

İkincil Arıtma

Çözünebilir nitelikteki organik maddelerin biyokimyasal oksidasyonu yada BOI giderimidir. En yaygın kullanılan ikincil arıtma tesisleri aktif çamur sistemleridir. Karışık sıvı içine hava difüzörler, yüzeysel havalandırıcılar veya farklı yöntemlerle verilir. Havalandırma tankındaki biyokütle son çökeltim havuzunda çökeltmek zorundadır ve bir kısmı yeniden kullanılmak üzere tesis başına gönderilir. Aktif çamur sisteminde oluşan mikroorganizma miktarı sistem için

gerekli miktarı aşarsa, fazla katı maddelerin sistemden atılması gerekir. Bu atık aktif çamur olarak bilinir ve arıtma tesisi için gerçek problemlerden biridir (Filibeli,1996).



Şekil 1. 1 Klasik Aktif Çamur Sisteminde Çamur Çıkış Noktaları

Fiziksel - Kimyasal Arıtma

Ön çökeltim havuzuna demir ve alüminyum tuzları ilavesi sonucu ikincil arıtmadaki biyolojik çamurlara benzer özelliklere sahip çamurlar oluşur. İçmesuyu arıtma tesislerinde pıhtılaştırma ve yumaklaştırma için yaygın olarak kullanılan alüminyum sülfat (alüm) atık alüm çamurunu oluşturur (Filibeli,1996).

1.1.2. Arıtma Çamurlarının Özellikleri

1.1.2.1.Fiziksel Özellikler

Özgül Ağırlık

Birim hacimdeki çamur ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı olarak tanımlanır. Çamurlar değişik özgül ağırlıktaki katı ve sıvılardan ibaret olup takriben 1.0'dir.

Çamurlar İçin Hacim-Kütle İlişkisi

Çamurun hacmi esas olarak su muhtevasına ve içeriğindeki katı maddenin karakterine bağlıdır. Çamur hacimleri ile katı madde yüzdeleri arasında ters orantı mevcuttur.

Çamurun Katı Madde İçeriği

Katı madde konsantrasyonu mg/L veya % katı madde olarak belirtilir. Katı madde ölçümü için yaygın olarak kullanılan yöntem buharlaştırma yöntemidir. Çevre Mühendisliğinde %1 KM önemli bir katı madde konsantrasyonudur.

Çökeltme Özellikleri

Çamur genellikle çökebilme özellikleriyle karakterize edilir. Belirli bir çamur numunesinin çökeltme hızı çamur katı madde konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Seyreltik çamurlar daha hızlı, konsantre çamurlar ise daha yavaş çökerler.

Partikül Boyutu

Çamur içindeki partiküller sadece boyut olarak değil şekil ve yoğunluk olarak değişkendir. Bu yüzden partikül boyutuyla çamuru karakterize etmek zordur.

Çamurdaki Suyun Dağılımı

Çamurdaki su, ya serbest su halindedir ya da partiküllere yapışık haldedir. Çamurdaki su dört grup halinde incelenir.

- Serbest su: Çamur partiküllerine bağlı olmayıp, graviteli çökeltme ile kolayca ayrılır.
- Flok suyu: Floklar içinde hapsedilmiş su olup, yumakla birlikte hareket eder. Mekanik su alma işlemleriyle giderilebilir.
- Kapiler su: Partiküller üzerinde yapışık halde bulunur- ve bu partiküllerin sıkıştırılarak deformasyonları sonucu uzaklaştırılabilirler.
- Kimyasal bağlı su: Partiküller içinde bağlı kalmış sudur.

Çamurun Akışkanlık Özelliği

Akışkanlık özelliğinin belirlenmesinde en önemli parametre viskozite'dir. Genel olarak akışkanın kayma gerilmelerine karşı gösterdiği direnç akışkanın

viskozitesi olarak tanımlanır. Atterberg Limitleri zemin mekaniğinde, çeşitli su içeriklerinde toprağın davranışlarını tanımlamak için kullanılır:

- Plastik limit: Plastik davranışı tanımlar
- Likit limit: Materyalin sıvı gibi davranışlarını tanımlar
- Plastisite indeksi: İki limit arasındaki farkı tanımlar ve % olarak ifade edilir

Bu limitler çamurun yapısal özelliklerinin belirlenmesinde yararlıdır.

1.1.2.2.Çamurun Kimyasal Özellikleri

Çamurun Isıl Değeri

Çamurun ısı değeri, çamurun tipine ve içeriğindeki uçucu katı madde miktarına bağlıdır. Arıtılmamış ön çökeltim çamurunun ısı değeri, özellikle önemli miktarda yağ ve gres içeriyorsa çok yüksektir. Çürümüş çamur ham çamurdan daha düşük ısı değerine sahiptir.

Gübre Değeri

Çamurun gübre olarak değeri içerdiği N, P ve K miktarına bağlıdır. Çamuru gübre olarak değerlendirirken içerdiği ağır metaller ile diğer toksik maddeler de dikkate alınmalıdır. Nutrient konsantrasyonları toprak ve ürün ihtiyaçlarına bağlı olarak farklı olabilir.

Çizelge 1.2 Gübre ve Arıtma Çamurunun Başlıca Besin Elementi İçeriği (Filibeli, 1996)

	NUTRIENT,%		
	AZOT(N)	FOSFAT(P)	POTASYUM (K)
Tarımsal Amaçlı Gübreler	5	10	10
Stabilize Arıtma Çamuru	3.3	2.3	0.3

Besin Değeri

Çamur bazen hayvansal besi kaynağı olarak da kullanılabilir. Örneğin kurutulmuş aktif çamur hayvan yemine ilave edilebilir.

1.1.2.3.Biyolojik Özellikler

Atık su arıtımında meydana gelen çamurlarda iki önemli husus taksonomi ve patojen organizmaların varlığıdır. Çürütme işlemiyle patojenik organizmalar büyük oranda yok edilir.

1.1.3.Arıtma Çamurlarının Bertarafı

Atık suların arıtılmasında zor ve pahalı işlemlerden birisi, oluşan çamurlara uygulanan işlemler ve bertaraf yöntemleridir. Günümüzde çok farklı çamur bertaraf yöntemleri mevcuttur. Bunlar;

- Düzenli depolama (tek basma veya evsel katı atıklarla birlikte)
- Araziye gömme
- Araziye boşaltma
- Okyanusa boşaltma
- Anaerabik parçalama (çürütme)
- Termal işlemler (yakma)
- Toprak ıslahı (zirai üretimde kullanım)
- Fidanlıklarda, orman alanlarında, regreasyon alanlarda, peyzaj düzenlemede ve ev bahçelerinde
- Bozulmuş alanlarda (maden alanları, inşaat sahaları v.b.), otoyollarda,havaalanı pistlerinde
- Diğer

Çizelge 1.3 Değişik Arıtma Çamurlarının Kimyasal Bileşimleri (EPA,1990)

PARAMETRE	ARITMA ÇAMURU TÜRÜ		
	Ham Ön Çökeltim Çamuru	Çürütülmüş Ön Çökeltim Çamuru	Aktif Çamur
PH	5-6.5	6.5-7.5	6.5-7.5
Toplam kuru katı madde (%)	3-8	5-10	0.5-1
Toplam uçucu katı madde	60-90	30-60	60-80
Yağ ve gres(çözünen)*	6-35	5-20	5-12
Protein	20-30	15-20	32-41
Azot (N)*	1.5-4	1.6-6	2.4-7
Fosfor (P)*	0.8-2.8	1.4-4	2-7
Potasyum (K)*	0-1	0-3	0.2-0.5
Selüloz*	8-15	8-15	5-10
Demir (sulfitolmayan)*	2-4	3-8	-
Silisyum (Si)*	15-20	10-20	-
AĞIR METALLER (mg/kg)**			
Cd	16	76	-
Cr	110	160	-
Cu	200	340	-
Pb	500	-	-
Ni	46	63	-
Zn	620	930	-

*Genellikle sanayiden gelen tehlikeli katyonlar

Çizelge 1.4 Çamur İşleme Ve Bertaraf Etme yöntemleri. (Filibeli,2002)

Birim İşlemler, Birim Prosesler veya Arıtma Yöntemi	Fonksiyonu
ÖN ARITMA İŞLEMLERİ	
Çamurun öğütülmesi	İrilik Azaltma
Çamur kumsuzlaştırma	Kum giderme
Çamurların karıştırılması	Karıştırma
Çamur depolama	Depolama
YOĞUNLAŞTIRMA	
Graviteli yoğunlaştırma	Hacim Azaltma
Flotasyon yoğunlaştırma	Hacim Azaltma
Santrifüjleme	Hacim Azaltma
Graviteli bant yoğunlaştırma	Hacim Azaltma
Dönen tambur yoğunlaştırma	Hacim Azaltma
STABİLİZASYON	
Klor Oksidasyonu	Stabilizasyon
Kireç Stabilizasyonu	Stabilizasyon
Isıl İşlem	Stabilizasyon
Anaerobik çürütme	Stabilizasyon, kütle azaltma
Anaerobik çürütme	Stabilizasyon, kütle azaltma
Komplostlaştırma	Stabilizasyon, ürün geri kazanımı
ŞARTLANDIRMA	
Kimyasal şartlandırma	Çamur şartlandırma
Isıl İşlem	Çamur şartlandırma
Elutasyon	Çamur şartlandırma
DEZENFEKSİYON	
Pastörizasyon	Dezenfeksiyon
Uzun süreli depolama	Dezenfeksiyon
ÇAMUR SUYUNU ALMA	
Vakum filtre	Hacim azaltma
Santrifüj	Hacim azaltma
Pres filtre	Hacim azaltma
Yatay bant filtre	Hacim azaltma
Kurutma yatakları	Hacim azaltma
Lagün	Hacim azaltma, depolama
KURUTMA	
Flaş kurutucu	Ağırlık azaltma, hacim azaltma
Püskürtmeli kurutma	Ağırlık azaltma, hacim azaltma
Döner kurutucu	Ağırlık azaltma, hacim azaltma
Çok gözlü fırınlar	Ağırlık azaltma, hacim azaltma
ISIL İŞLEM	
Çok gözlü fırın	Hacim azaltma, kaynak geri kazanımı
Akışkan yataklı fırın	Hacim azaltma
Katı atıklarla birlikte yakma	Hacim azaltma
Yaş oksidasyon	Hacim azaltma, stabilizasyon
NİHAİ BERTARAF	
Arazi doldurma	Nihai bertaraf
Arazi iyileştirme	Yararlı kullanım
Tarımsal amaçlı kullanım	Yararlı kullanım
Dağıtım ve pazarlama	Yararlı kullanım
Kimyasal sabitleme(solidifikasyon)	Yararlı kullanım, nihai bertaraf
Düzenli depolama	Hacim azaltma
Lagünleme	Nihai bertaraf

1.1.4. Arıtma Çamuru Uygulamaları

Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde 1990 yılında 7 milyon ton (kuru) arıtma tesisi çamuru ortaya çıkmaktadır. Bu rakamın 2005 yılında 15-20 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir (Spinosa ve ark. 2001).

Arıtma çamurunun başlıca bertaraf yöntemi %48 ile düzenli depolamadır. Bunu %32 ile araziye uygulama, %13 ile yakma ve %5 ile denize boşaltma uygulamaları izlemektedir. Çamur bertaraf her ülkede farklılıklar göstermektedir. İrlanda İspanya ve İngiltere 1999 yılında yürürlüğe giren arıtma çamurunun denize boşaltılması yasağından özellikle etkilenmektedir. Ayrıca düzenli depolama için uygun alanlar azalmakta ve çamur yakmadaki sınırlamalarda tartışılmaktadır.

Çizelge 1.5 Avrupa Birliğindeki atıksu arıtma çamurunun: miktarı ve bertaraf oranları (Spinosa ve ark., 2001)

ÜLKE	TARIMDA KULLANIM (%)	DÜZENLİ DEPOLAMA (%)	YAKMA (%)	DENİZE BOŞALTMA (%)	ÇAMUR MİKTARI (1000tk.m./yıl)
Almanya	25	65	10		2750
Belçika	57	43	-	-	35
Danimarka	43	29	28	-	150
Fransa	27	53	20	-	900
Hollanda	53	29	10	8	280
İngiltere	51	16	5	28	-
İrlanda	23	34	-	43	1500
İspanya	61	10	-	29	23
İtalya	34	55	11	-	300
Lüksemburg	80	20	-	-	800
Portekiz	80	12	-	8	15
Yunanistan	10	90	-	-	200
				TOPLAM	7153

AB ülkelerinde arıtma çamurunu değerlendirme yöntemlerinde düzenli depolama en çok uygulanan yöntem olmasına karşın, hemen hemen bütün ülkeler dolgu alanı için gerekli alanların azalması, yüksek maliyet, daha sıkı çevre standartları ve geri dönüşümü teşvik eden politikalardan dolayı bu durumun gelecekte sürdürülemeyeceğinin farkındadırlar. Bazı ülkeler organik atığın geri dönüşümünü artıracak ve depolama sahalarından çıkan metan çözünür emisyonların sınıflandırılması için tedbirler almaktadır. Almanya, Danimarka ve Fransa gibi

ülkelerde gelecekte düzenli depo alanları arıtma çamurunu sadece yakma ürünü kül olarak kabul edebilecektir.

Diğer taraftan tarımda iyileştirici (tarımsal amaçlı) olarak kullanımı da çamurdaki yüksek ağır metal ve organik kirletici riski ile yüksek oranda azot ilavesi zorunluluğu çamurun tarımsal amaçlı kullanımını sınırlandırmaya devam edecek faktörlerdir.

Ülkemizde özellikle son yıllarda yasal düzenlemelerle birlikte atıksu arıtma tesislerinin sayısında önemli artışlar sağlanmış ve beraberinde de açığa çıkan çamurlar büyük miktarlara ulaşmıştır. Ülkemizde çamur bertaraf! genellikle katı atıklarla birlikte depolama veya araziye gömme şeklinde gerçekleşmektedir. Bu yöntemler ucuz olmalarına karşılık, kullanılabilecek alanların azalması ve taşıma masrafları nedeniyle alternatif yöntemler aranmaktadır.

Çamurun tarımsal arazide kullanılarak bertaraf edilmesinde çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Özellikle N ve/veya P miktarı bitkinin ve toprağın yıllık ihtiyacından fazla olmamalıdır. Bunun yanı sıra çamurun içeriğinde bitki ve toprak için zararlı toksik maddeler ve ağır metaller bulunabileceğinden tarımsal arazide kullanım sürekli kontrol ve dikkat gerektirmektedir.

Türkiye'de 65'i devlete 278'i özel sektöre ait olmak üzere toplam 343 adet endüstriyel atık su arıtma tesisinde yaklaşık 2.8 milyon ton arıtma çamuru açığa çıkmaktadır. Bu çamurun 421.000 tonu tarımda ve 156.000 tonu diğer amaçlarla kullanılırken; 1,08 milyon tonu araziye , 333.000 tonu belediye çöplüğüne, 211.000 tonu denize boşaltılarak, 121.000 tonu gömülerek, 91.000 tonu düzenli depolanarak ve 43.000 tonu yakılarak bertaraf edilmektedir.

1.1.5. Arıtma Çamurlarının Çevre Kirliliğine Etkisi

Arıtma tesislerinde oluşan çamurlar çeşitli kademelerde işlem gördükten sonra uzaklaştırma yeri olarak toprağa verilebilir ve toprak ıslahında kullanılabilir. Atık suların ve atık suları arıtan tasfiye tesislerinin plan ve işletmelerinin çok farklı olması sebebiyle çamur özellikleri çok değişkendir. Ayrıca çamura uygulanan işlemlerde

çamurun karakterini değiştirir. Birinci kademedeki ham çamur , biyolojik olarak kararlı olmadığından görünüş ve koku sorununa neden olur.

Anaerobik olarak çürütülmüş çamur, ham çamura kıyasla çok farklı fiziksel ve kimyasal yapıya sahip olup biyolojik olarak da kararlıdır. Sanayi atık sularını arıtan tesislerin çamurlarında ağır metallerin yüksek değerleri bulunur.

Çamurun hangi periyotla toprağa verileceği, bazen üretim programına ve izin verilen yüke göre değişir. Toprağa verilebilecek yük&n hesabında önemli faktör, taşkın veya göllenmeye sebep olmaksızın absorbe edebileceği maksimum çamur miktarıdır. Kumlu zeminlerin kapasitesi daha yüksektir. Ancak yeraltı sularının kirlenme ihtimali daha fazladır.İkinci önemli faktör azot ve fosfor gibi besin maddeleridir. Bu maddelerin yüzey ve yeraltına karışması arzu edilmeyen bir husustur.

Toprağa verilebilecek müsaade edilebilir çamur yükü;

- Çamurun azot konsantrasyonu,
- Bitkilerin azot ihtiyacına ve iklim şartlarına,
- Toprağın mevcut azot konsantrasyonu,
- Toprağın özelliklerine bağlıdır.

Müsaade edilebilir yük ayrıca çamurun metal muhtevasına, toprak tipine, toprağın pH değerine ve bitki türüne bağlı olarak değişir.

Çamurun arazide bertarafı ve faydalı kullanımını etkileyen başlıca özellikleri, organik içeriği (uçucu katı olarak ölçülür), besi maddeleri, patojenler, metaller ve toksik organiklerdir. Çamurun arazide kullanılması durumunda, gübre özelliği (azot, fosfor ve potasyum içeriği) önem kazanır. Ticari bir gübre ile çamurun karşılaştırması Çizelge 1.6’da verilmektedir. Araziye verilen çamur, bitki büyümesi için gereken besin elementlerini karşılar. Bazı uygulamalarda, çamurun fosfor ve potasyum içeriği bitki gereksinimini karşılayamayacak kadar az olabilir. Çamurdaki iz elementler, inorganik kimyasal elementler olup bitki ve hayvanlar için gerekli veya zararlı olabilir. Ağır metal konsantrasyonları Çizelge 1.7’de verilmektedir.

Çamurun arazide kullanım miktarı, yapısındaki ağır metal konsantrasyonuna bağlıdır.

Çizelge 1. 6 Ticari gübre ve çamurdaki besin maddesi seviyelerinin kıyaslanması (Metcalf & Eddy, 1991)

	Besin maddesi %		
	Azot	Fosfor	Potasyum
Tarımda kullanılan gübre	5	10	10
Stabilize aktif çamur tipik değeri	3.3	2.3	0.3

Çizelge 1. 7 Atıksu arıtma tesisi çamurundaki metal içerikleri (Metcalf & Eddy, 1991)

Metal	Kuru çamur, mg/kg	
	Aralık	Ortalama
Arsenik	1.1-230	10
Kadmiyum	1-3,410	10
Krom	10-99,000	500
Kobalt	11.3-2,490	30
Bakır	84-17,000	800
Demir	1,000-154,000	17,000
Kurşun	13-26,000	500
Manganez	32-9,870	260
Civa	0.6-56	6
Molibden	0.1-214	4
Nikel	2-5,300	80
Selenyum	1.7-17.2	5
Kalay	2.6-329	14
Çinko	101-49,000	1700

1.2. Sızıntı Suları

Depolama alanlarında sızıntı suyu, bu hacimlere dışarıdan giren yağmur suları, yüzeysel sular ve yeraltı sularının çöplerden çözünebilir ve askıdaki katı maddeleri bünyesine almasıyla oluşur.

1.2.1.Sızıntı Sularının Genel Özellikleri

Çöp depolama sahalarında sızıntı sularının ortaya çıkışı oldukça karmaşık bir prosestir. Araziye depolanan katı atıklar kimyasal ve biyokimyasal yollarla dönüşüme uğrar. Yiyecek artıkları, bahçe artıkları ve hayvansal atıklar gibi organik kökenli gruplar mikroorganizmalarca kullanılarak gerek oksijenli ve gerekse oksijensiz olarak bozunurlar. Demir ve diğer metal bileşenler ise oksitlenerek ayrışır. Yiyecek artıklarının bozuşması çok kısa bir sürede gerçekleşirken, cam ve plastikler gibi bazı madde gruplarının ayrışması çok uzun yıllar alabilir.

Depolanan çöplerin bozuşması, depolama sahasının stabilize olması açısından arzu edilen bir durumdur. Ancak, yağış sularının, yüzeyden akan suların veya yeraltı suyunun tam olarak stabilize olmamış çöpler ile temas etmesi sonucu parçalanma ürünleri çöp depolama hücrelerinin dışına taşınarak çevre kirliliğine sebep olur. Bir başka ifadeyle, katı atık yığınlarına ve depolama hücrelerine belirli bir su tutma kapasitesinin üstünde aşırı miktarda su girmesi durumunda, atıklar bu fazla suyu tutamaz ve dışarı bırakır. Sızıntı suyu tabir edilen bu fazla su, çöpler içinden geçerken çeşitli kirleticileri ve parçalanma ürünlerini de yıkayarak bünyesine alır ve yüzey ve yeraltı su kaynaklarına taşır. Genel olarak az yağış alan kurak bölgelerdeki depolama sahalarında sızıntı suyu problemi önemli boyutlara ulaşmaz. Fakat, yıllık yağış miktarı 400 mm den fazla ise sızıntı problemi çok tehlikeli boyutlar kazanabilir.

1.2.2.Çöp Depolama Sızıntılarının Su Kaynaklarına Etkileri

Çöplerin açıkta depolanması, Türkiye'de yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Genelde yöntem çöplerin gelişigüzel atılması şeklinde uygulanmaktadır ve depolama alanlarının birkaçı kente su veren su havzalarının içinde yer almaktadır. Bu nedenle

kentin su kaynakları büyük bir tehlike içindedir. Depolama alanlarının çevreye yapabilecekleri olumsuz etkilerin minimuma indirilebilmesi için pek çok teknik geliştirilmiştir. Ne yazık ki ülkemizdeki çöp depolama alanlarının büyük bir bölümünde bu tür teknikler uygulanmamaktadır. Bunun da ötesinde katı atıkların toplanması ve bertarafında özellikle tehlikeli ve zararlı maddeler içeren endüstriyel atıklar için hiçbir ayırım yapılmamakta, bu atık bileşenleri de evsel kaynaklı çöplerle birlikte depolama alanlarına gelişigüzel bir biçimde boşaltılmaktadır.

Depolama alanlarında oluşan sızıntı suyunun miktarı bu alanlara dışarıdan giren suyun miktarı ile orantılıdır. Bu nedenle altyapısı mevcut olmayan yerlerde, yüzey sularının deponiye girmesi önlenemeyecek ve böylece yüzeyi yağışlara açık düzensiz çöp depolama alanlarından kaynaklanacak sızıntı suları da önemli miktarlara ulaşacaktır.

Sızıntı suları, depolama hacmi içinde kaldıkları sürece çevresel sorunlar yaratmazlar. Bu alanı terk ettiklerinde ise iki ayrı yörünge izleyebilirler: Yeraltına sızma veya yüzeysel akış. Her iki yörünge boyunca da oluşturdıkları kirlenme problemleri özellikle su kaynaklarını etkiler. Yeraltına sızan suların akiferlerde mevcut, kullanılabilir yeraltı suyu kaynaklarına ulaşması sonucunda bu kaynaklarda uzun yıllar boyunca giderilemeyecek kirlenmeler ortaya çıkabilir. Böyle bir durumun oluşması, söz konusu su kaynağının elden çıkması ve sürekli kaybı anlamına gelir. Bu kaynakların mutlaka kullanılması gerekiyorsa, yeraltından çekilen suların çok pahalı arıtma kademelerinden geçirildikten sonra kullanımı mümkün olur. Bu durumda yapılması gereken harcamalar, başlangıçta düzenli ve korunmuş çöp depolama düzeni yapılması için gerekli olacak harcamalardan çok daha fazladır.

Yüzeysel akışa geçen sızıntı suları, özellikle içme suyu temin edilen havzalarda, içme suyunun kalitesine olumsuz etkiler yapar. Yüzeysel akışın yeraltına sızan kısmı ise yukarıda belirtilen yer altı suyu kirlenmesi problemlerine neden olabilirler. Depolama alanlarından yüzeysel olarak ortaya çıkan sızıntıların karakterizasyonu ve bu sızıntıların zararlı etkilerinin azaltılması nispeten daha kolaydır. Sızıntı sularının içerdikleri çeşitli kirletici parametrelere göre, bu sulara

atıksu arıtma tekniğinden bilinen yöntemlerin uygulanmasıyla, söz konusu zararların minimuma indirilmesi mümkündür.

Modern depolama tekniğinde alınacak ilk önlem, depolama hacmine dışarıdan girebilecek her türlü yabancı suyun önünün kesilmesi ile, oluşabilecek sızıntı suyunun miktarın minimuma indirmektir.

1.3. Yeşil İslah – Phytoremediation

Günümüzde kullanılan fizikokimyasal arıtma tekniklerinin çoğu, aşırı derecede kirlenmiş suların yerinde veya başka bir yerde gerçekleştirilen arıtmalarında yararlanılan başlıca yöntem olmaktadır. Bu yöntemler, düşük kirletici içeriğine sahip ve kirleticilerin yapay ve dağınık olarak bulunduğu geniş kirletilmiş alanların iyileştirilmesi için yeterince uygun olmayan tekniklerdir (Rulkens ve ark., 1998). Bu durumda diğer yöntemlere kıyasla bitki ile iyileştirme ucuz bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Daha düşük maliyet, insan popülasyonu ve ekosistem için risk faktörünün kabul edilebilir sınırlarda olması durumunda, iyileştirme sürecinin nispeten daha uzun bir süreyi kapsamasına rağmen bitki ile iyileştirme yöntemlerinin kullanıldığı uygulamalar, bir problem olarak görülmeyecektir (Rulkens ve ark., 1998).

Bu bağlamda bitki anlamındaki "phyto" ile ıslah anlamındaki "remediation" kelimelerinden türetilen ve 1991'de terminolojiye giren phytoremediation, bioremediation, botanical remediation ve green remediation olarak da anılmaktadır (EPA, 2000). Türkçe'de "Yeşil İslah" olarak kullandığımız bu ifade bitki temel alınarak çevreyi ıslah etme teknolojileridir. Bu teknoloji ile organik ve inorganik maddeler bitki kullanılarak kirlilik oluşturduğu alandan bertaraf edilebilmektedir (Henry, 2000). Atık su iyileştirmede kullanılan yeni bir yöntemdir. Yeşil ıslahın çeşitli olumlu ve olumsuz yönleri vardır (EPA, 2000; Farrell ve ark., ; Henry, 2000; Sutherson, 1999). Yeşil ıslahın fizikokimyasal teknolojilerden çok daha kolay uygulanabilirliği ve bir çok organik ve inorganik kirleticide etkili olması, bu sistemlerin kuruluşu ve ıslah maliyetinin diğer teknolojilere göre çok (4-1000 kat) daha ucuz olması önemli olumlu yönleridir (Sadowsky, 1999). Sistem doğal ve

yapay ortamlarda kullanılabilir. Yani kirlilik etmeni, bulunduğu yerde veya başka bir ortama taşınarak bertaraf edilebilir. Bu amaçla kurulmuş alanlar eğitim ve rekreasyon gibi çeşitli amaçlarla kamuya açık yeşil alanlar olarak hizmet verebilen ve sempati ile karşılanan alanlardır. Bitkilere bakım işlemleri, yenileme dahil düzenli yapıldığında sistem çok uzun ömürlüdür. Yerinde yapılan çalışmalarda kirlilik etmeninin alandan taşınma oranı çok düşük (yaklaşık % 5) olup, çevreye (hava ve su) yayılması da çok zayıftır. Bu teknolojinin en önemli olumsuz yönü ise; ağır düzeylerde kirlenmiş alanlarda bitkilerin kısa sürede etkinliğini gösterememesidir. Bu nedenle ancak düşük düzeylerde kirlenmiş alanlarda kullanılır. Sistemin etkinliği kök derinlikleri ve iklim koşulları ile sınırlıdır. Doğal olmayan bitkilerin bu amaçla kullanılması biyolojik çeşitliliği olumsuz yönde etkileyebilir.

1.3.1. Yeşil İslah (Phytoremediation) Kategorileri

Yeşil ıslahın farklı kategorileri türlerin kirlilik etmenlerini bertaraf etme yollarına bağlı olarak bitkisel özümleme (phytoextraction), köklerde süzme (rhizofiltration), köklerde sabitleme (phytotostabilization), köklerde bozunum (rhizodegradation), bitkisel bozunum (phytodegradation) ve bitkisel buharlaştırmadır (phytovolatilization).

1.3.1.1.Bitkisel Özümleme (Phytoextraction)

Bazı bitkilerin topraktaki organik veya inorganik kirlilik etmenlerini kök veya sürgünlerine almasından yola çıkılarak oluşturulmuş bir teknik olup, genelde ağır metallere kirli toprakların ıslahı amacıyla kullanılmaktadır. Dağınık olarak kirli alanların iyileştirilmesi için çok geçerli bir yöntem olup, bulaşık alana dikilen biriktirici bitkinin budanması veya sökülmesi ile kirlilik etmenleri alandan uzaklaştırılır. Biçilen veya budanan bu kısımların yeniden kullanılabilmesi önemli bir avantajdır. Çünkü bu bitkiler diğer bitkilere oranla üyelerinde 100 kata kadar daha fazla kirlilik etmeni biriktirebilir. Hasat edilen kısımlar gübre olarak kullanılabilirdiği gibi, içindeki ağır metaller yeniden elde edilebilir. Bitkisel madencilik (phytomining) denilen bu yöntem; işlenerek çıkarılması ekonomik olmayan maden cevherlerinin elde edilebilmesi yolunu açmaktadır. ABD'de bu yolla

altın ve nikel gibi elementler geri kazanılmaktadır (EPA, 2000; Pivet, 2001; Sutherson, 1999). Bu yöntem için uygun ve çoğu Brassicaceae, Euphorbiaceae, Asteraceae, Lamiaceae ve Scrophulariaceae, familyalarından olmak üzere bünyesinde ağır metal biriktirebilen 400 kadar tür saptanmıştır.

Bunlar arasında *Alyssum wulfenianum*, *Brassica juncea*, *Eichornia crassipes*, *Helianthus*, *Hibiscum cannabinus*, *Medicago sativa*, *Morus rubra*, *Nicotiana tabacum*, *Oryza sativa*, hibrit *Populus*'lar, *Salix nigra*, *Streptanthus polygaloides* 'Gray', *Taxodium distichum* bazı *Thalapsi* türleri, *Typha*, *Festuca arundinacea* gibi bazı çim türleri ve algler bulunur. Bitkilerin kirli topraklarda yetişebilmesi için toprak pH'sının ayarlanması gibi bazı önlemlerin alınması da gerekebilir. Kirlilik taban suyuna geçmişse bitki köklerinin ulaşabileceği derinlik dikkate alınmalıdır (EPA, 2000; Garbisu ve Alkorta, 1997; Hossner ve ark., 1998; Jhee ve ark.1999;Pivet, 2001).

1.3.1.2.Köklerle Süzme (Rhizofiltration)

Rhizofiltration biyotik ve abiyotik işlemlere bağlı olarak kirleticilerin köklerin içine alınması veya bitki köklerin üzerinde (adsorpsiyon) yapışıp kalmasıdır. Bu işlemlerin oluşu sırasında kirleticiler bitkiye alınabilir ve taşınabilir. Burada temel olan kirleticilerin bitki üzerinde veya içinde hareketsizliğinin sağlanmasıdır. Kirleticiler daha sonra çeşitli yollarla bitkiden alınabilir. Bu yöntem yer altı suları, yüzey suları ve atık sularda uygulanmaktadır. Karasal ve sucul bitkilerin kullanılmasına olanak tanınması sistemin avantajıdır. Ayrıca sistem doğal ortamlarda uygulanabilirliğinin yanı sıra havuz, tank, gölet gibi yapay alanlarda da uygulanabilir. Yani kirlilik kaynağında veya uzakta bertaraf edilebilir. Kirli suyun kirleticilerin bitki tarafından alınmasına olanak tanıyacak pH düzeyine getirilmesi, su akış hızının kontrol altına alınması ve bitkilerin belirli aralıklarla yenilenmesi için iyi bir mühendislik sistemi gerektirir. Kirleticiler bazı bitkilerce başarıyla alınarak su arındırılmaktadır. Örneğin *Brassicajuncea* (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Cr, Cs, Sr), *Myriophyllum spicatum* (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn) ve *Helianthus annuus* (U, Co, Cs, Sr, Cr, Mn, Cd, Ni, Cu, Pb, Zn), *Eichornia crassipes*, *Hydrocotyle umbellata* ve *Lemna*

minör türleri birçok kirlilik etmenine karşı kısa sürede başarılı olmuştur (EPA, 2000). Bu teknolojiye karasal bitkilerin kullanılabilmesi ince bir tabakasının olduğu yüzen platformlar gerekir (Henry, 2000). Çernobil yakınlarında oluşturulan küçük bir havuzdaki platformlarda yetiştirilen *Helianthus annuus* dört ve sekiz haftada bünyesinde çok fazla miktarda Cs137 ve Sr90 biriktirmiştir (Pivetz, 2001).

1.3.1.3.Köklerle Sabitleme (Phytostabilization)

Bu yöntem doğal ortamda toprağın stabil hale getirilmesi için uygulanır. Burada bitkinin yetiştiği toprağın içindeki kirlilik etmenlerinin kökler çevresinde veya içinde biriktirilmesi yada tutulmasının yanı sıra kirleticilerin rüzgar, su erozyonu, yıkanma ve toprak dağılması ile taşınmasının engellenmesidir.

Bitkinin kök çevresi mikrobiyolojisi ve kimyası ile yakından ilişkili olan sistemde bitki kirleticisi etmenin yapışını suda eriyemez-taşınamaz şekilde değiştirebilir. Köklerle sabitleme toprak, sediment ve çamurda uygulanabilir. Toprak taşınmasını gerektirmemesi önemli bir avantajdır. Ayrıca alan bitkilendirildiği için ekosistemdeki restorasyon zenginleştirilir. En önemli dezavantajı kirlilik etmenlerinin alanda kalarak uzun zaman içindeki değişikliklerle taşınabilmesi veya yıkanarak taban suyuna karışabilmesidir. Sistemde gübreleme ve toprak ıslahı çalışmalarına maksimum stabilizasyon etkisini sağlamak için gerek vardır. Kök derinliği sistemin etkinliği bakımından çok önemlidir, örneğin kavak kökleri 150-300 cm derinlikler için düşünülebilir. Stabilizasyon bitkiye bağımlı olup, bu amaçla *Populus* (As, Cd, Ca, Zn), *Brassica juncea* (Cr, Pb), *Aropogon gerardii*, *Festuca arundinacea* ve *Glycine max* kullanılmaktadır (EPA, 2000).

Hibrit bir kavak Güney Dakota ABD'deki bir çalışmada ilk yıl 12 m büyüme kaydederek bünyesinde tahmin edilenden çok daha yüksek miktarlarda As ve Cd biriktirmiştir (Pivetz, 2001; Sutherson, 1999). *Agrostis tenuis* cv. *Goginan* (asidik Pb ve Zn), *Agrostis tenuis* cv. *Parys* (Cu) ve *Festuca rubra* cv. *Merlin* (kalkerli Pb ve Zn) çeşitleri, İngiltere'de (Liverpool) da yapılan bir alan çalışmasından sonra ticari ölçekte uygun olarak saptanmıştır (Henry, 2000).

1.3.1.4.Köklerle Bozunum (Rhizodegradation)

Rhizodegradation, kök çevresindeki mikroorganizmaların zenginleştirilerek organik kirleticilerin toprakta bozulması işlemidir. Kök çevresinde mikrobiyal aktiviteleri etkileyen ve köklerden bırakılan şeker, aminoasit, organik asit, yağ asitleri, sterol, büyüme etmenleri, nükleotid, flavanon ve enzimler bulunur. Kirlilik yaratan organik bileşikler de bu çevrededir. Kökle bozunumun en önemli yararı kirleticilerin doğal ortamda yok olmasıdır. Ancak bunlar bitki veya atmosfere az da olsa taşınır. Phytodegradation petrol artıkları, polycyclic aromatik hidrokarbonlar, benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, pestisitler, klorlu çözücüler, pentachlorofenol, polychlorinated bifenoller, surfactanlar gibi kirlilik etmenlerine karşı uygulanabilir. *Morus rubra*, *Malus fusca*, ve *Maclura pomifera* fenolik bileşiklerin bozulmasında etkilidir. Bu amaçla ayrıca *Andropogon gerardi*, *Agropyron desertorum* (pentachlorofeno), *Agropyron smithii*, *Bouteloua curtipendula* ve *B. gracilis* (polycyclic aromatik hidrokarbonlar), *Elymus canadensis*, *Festuca arundinacea*, *F. ovina* var. *duriuscula*, *F. rubra* (polycyclic aromatik hidrokarbonlar ve pentachlorofenol), *Glycine max* (klorlu çözücüler), *Kochia* sp. (herbisitler), tek yıllık *Lolium* (petrol artığı hidrokarbonlar), *Lespedeza curnata*, *Maclura pomifera* ve *Malus fusca* (fenolik bileşikler), *Medicago sativa*, *Mentha spicata* (fenolik bileşikler), *Morus rubra* (fenolik bileşikler), *Oryza sativa* (propanit), *Panicum virgatum*, *Panicum miliaceum* (flavonoid ve komarinler gibi bileşikler), *Phaseolus vulgaris* cv. *Tender Green*' {parathion ve diazinon gibi insektisitler}, *Pinus taeda*, *Populus deltoides* x *nigra* DN-34, *Populus* x *canadensis* (benzene, toluene, ethylbenzene, xylene), *Schizachyrium scoparius*, *Sorghastrum nutans*, *Sorghum vulgare*, *Stenotaphrum secundatum* (petrol artığı hidrokarbonlar) ve *Thypha latifolia* (surfactanlar) başarıyla kullanılmıştır. Bu bitkiler kök çevrelerinde uygun bakteri gelişimini sağlayarak da bozunmayı etkiler (EPA, 2000; Pivetz, 2001; Sutherson, 1999).

1.3.1.5.Bitkisel Bozunum (Phytodegradation)

Phytotransformation olarak da bilinen phytodegradation kirletici etmenlerin bitki bünyesine alınarak metabolizma işlemleri sırasında değiştirilmesidir. Bozunma işlemi bitkinin dışarıya bıraktığı bileşiklerle bitki dışında da olabilir. Phytodegradation işleminde bitkinin kirletici etmeni bünyesine alması gerekir. Bu işlem genellikle kök bölgesi ile hatta en uç kök kısımları ile sınırlıdır. Organik bileşiklerin bitki bünyesine alınabilmesi eriyebilirliği, bitki tipi, kirlilik etmeninin toprakta kalma süresi veya eskiliği ile toprağın fiziksel ve kimyasal yapısına bağlıdır. Hemen eriyebilen bileşiklerin bitki tarafından alınması zordur. Phytodegradation toprak, sediment, çamur ve yer altı sularında uygulanabilir.

Yer altı suları pompalarla yüzeye de alınabilir. Yöntemin en önemli avantajı indirgenme veya bozulmanın fizyolojik olaylar doğrultusunda bitki içinde olması ve mikroorganizmalara bağlı olmamasıdır. Yöntemin dezavantajı ise bozulma sırasında zehirli ara ve son ürünler oluşabilmesi ve bunların çok zor tespitidir. Örneğin kavak derin kökleri ile taban suyundaki azotu (nitrat) almakta, bitkide azot proteinlere veya azot içeren bileşiklerin yapısına girmekte ve bir kısmı da gaz olarak atmosfere bırakılmaktadır (Pivetz, 2001). Nellessen ve Fletcher (1993) yaptıkları çalışmada 70 organik bileşiği bünyesine alarak onların bozulmasını sağlayan 88 bitki türü saptamışlardır (EPA, 2000). Bu yöntemde kullanılan türler arasında kavak hibritleri, *Populus deltoides* x *nigra* DN34 (klorlu çözücüler, atrazine, savaş gereçleri), *Myriophyllum spicatum* ve *Nitella* (savaş gereçleri), *Salix nigra*, *Liriodendron tulipifera*, *Taxodium distichum*, *Betula nigra* ve *Quercus virginia* türleri (herbisit-bentazon) ile bazı algler ve eğreltiler de bulunur (EPA, 2000; Pivetz,2001).

1.3.1.6.Bitkisel Buharlaştırma (Phytovolatilization)

Phytovolatilization organik (klorlu çözücüler) ve inorganik (Hg, Se) kirletici etmenlerin bitki bünyesine alınarak, yapısının atmosfere verilecek şekilde değiştirilmesi ve atmosfere verilmesidir. Bozulma işlemi phytovolatilization işlemi sırasında meydana gelir. Yöntemin en emli avantajı çok zehirli bileşiklerin (örneğin civalı bileşikler) daha az zehirli formlara dönüşmesidir. Ancak çok zararlı-zehirli

materyallerin atmosfere bırakılabilmesi de bir dezavantajdır. Bu sistemde kök derinliği çok önemlidir.

Yeraltı sularında sorun olması durumunda ise bitki köklerinin derin olması gerekir. Kirliliği yeraltı suları pompalarla yüzeye çıkarılarak suyun daha sıkı bitki köklerine alınması da sağlanabilir. Kullanılan bitkiler arasında hibrit kavak (klorlu çözücüler), *Medicago sativa*-alfalfa (klorlu çözücüler), *Brassica juncea* ve *B. napus* (Se), *HMscus cannabinus* cv. *Indian* (Se), *Festuca arundinacea* (Se) ve *Arabidopsis thaliana* (Hg) sayılabilir.

1.3.2. Yeşil Islah – Phytoremediation Tekniğinde Kullanılan Bitkiler ve Özellikleri

Ağaç çeşitlerinin çoğu kötü koşullara sahip karakterdeki arazilerde bile büyüebilmektedir. Bu durum verimsiz ve kötü kalitedeki topraklar üzerinde ağaçların düşük maliyet ile yetiştirilebilmesine olanak vermektedir. Ağaçlar aynı zamanda toprağın metrelerce derinliklerine kadar inebilen, masif kök sistemine sahip olan bitkilerdir. Bazı çeşitlerde, ağacın toprak üstünde kalan bölümü hasat edilebilmekte, çevreye herhangi bir zarar vermeden kesilen yerlerden yeni sürgünler çıkmak suretiyle ağaç yeniden büyümektedir. Ağır metallerin bitkinin odunsu yapısına bağlanmaları durumunda bu yöntem, kirlleticilerin düzenli olarak yok edilmesi açısından yararlıdır. Bitki ile iyileştirmede kullanılacak en uygun bitki, yüksek metal düzeylerinde bile yasayabilme, hasat edilebilen kısımlarında yüksek düzeyde metal toplayabilme, hızlı bir büyüme yeteneği, arazide çok miktarda biyokütle üretebilme potansiyeli ve güçlü ve zengin bir kök sistemine sahip olmalıdır.

Topraklardan metallerin yok edilmesinde bitkilerin kullanılması düşüncesi, doğal olarak mineralleşmiş topraklardaki yeşil bölümlerinde yüksek metal konsantrasyonlarını toplayan, çeşitli yabancı bitkilerin keşfinden sonra oluşmuştur (Zaimoğlu ve ark., 2002). Bitkilerin metalleri konsantre etme kapasiteleri zararlı bir özellik olarak kabul edilir. Çünkü bazı bitkiler doğrudan veya dolaylı olarak, insanların beslenme yoluyla almış oldukları zehirli ağır metallerin bir bölümünün

sorumluluğuna sahiptirler (Brown ve ark., 1994). Bitkilerin besin olarak tüketilmesi yoluyla ağır metallerin insanlar tarafından alınması, insanlar üzerinde uzun süre etkili olabilmektedir (Ow, 1996). Metal hyperaccumulator'ler diye adlandırılan doğal olarak ortaya çıkan bitkiler, ekimi yapılan bitkilere kıyasla 500(±10) kez daha yüksek düzeyde element toplayabilmektedirler. Metallerin hyperaccumulator'lerde toplanma derecesinin, çoğunlukla kuru ağırlıklarının %5 (±1)'i olduğu gözlenmiştir. Ne yazık ki, hyperaccumulator'in pek çoğu fazla büyük değildir ve de yavaş büyümektedirler. Bunların büyük miktarlarda yetiştirilmeleri için teknolojik olarak yetersizliğimiz söz konusudur. Hyperaccumulator'in yıllık biyokütle verimleri genellikle diğer bitkilere göre bir iki kat daha düşüktür (Ow, 1996). Bu nedenle yüksek biomass değerlerine sahip olan ve mevcut tarımsal uygulamalarla kolayca yetiştirilebilen bitkilerde metal birikim kapasitelerinin değerlendirildiği araştırmalara önem verilmektedir.

Çizelge 1.8 Kirli Alanları İyileştirebilen Bazı Bitki Türleri ile Biriktirebildikleri Metaller (Brooks ve ark., 1998).

Element	Bitki Türleri	Toprak altı biomas konsantrasyonları (Mgha ⁻¹)	Tek yıllık bitkilerin toprak üstü bioması (Mgha ⁻¹)
Kadmiyum	<i>Thlaspi caerulescens</i>	3000	4
Kobalt	<i>Haumaniastrum robertii</i>	10200	4
Bakır	<i>Haumaniastrum katangense</i>	8356	5
Kurşun	<i>Thlaspi ratundifolium</i> subsp.	8200	4
Mangan	<i>Macadamia neurophylla</i>	55000	30
Nikel	<i>Alyssum bertolonii</i>	13400	9
Nikel	<i>Berkheya coddii</i>	17000	18
Selenyum	<i>Astragalus pattersoni</i>	6000	5
Talyum	<i>Iberis intermedia</i>	3070	8
Uranyum	<i>Atriplex confertifolia</i>	100	10
Çinko	<i>Thlaspi calaminare</i>	10000	4

1.4. Ağır Metal Biosorbsiyonu

İnsanoğlunun soluduğu hava, içtiği su ve yediği besinlerdeki metal içerikleri eskiye göre artmıştır. Bunun nedenleri tarımda üretim yöntemlerinin çok değişmiş

olması, artan gübre ve zirai ilaç kullanımı, ulaşım araçlarının egzoz gazları, üretimin artması ile artan katı atıklar, atık sular ve bunların sağlıksız bir biçimde depolanmaları ile besin maddelerine ulaşabilmeleri kentlerin büyümesi ile yoğun yaşam koşulları, kullanılan yakıtların kalitesi gibi eskiye göre çok değişmiş olan koşullardır. Gerçi metallerin hepsi insan sağlığına zararlı değildir. Örneğin insan vücudunun ihtiyaç duyduğu K, Ca, Mg ve Fe gibi metallerde vardır.

Doğada tabii olarak bulunan 90 elementten 26'sı insan ve hayvan hayatı için önemlidir. Bunlardan 11 adedi makro element, 15'i mikro elementlerdir.

Temel mikro elementler Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Mo, I, Si ve V'den oluşan 9 adedi bitkiler için faydalıdır. Bitkilerin çeşitli element içerikleri ise, bitki türüne, genetik yapısına, yetiştiği toprağın mikro element içeriği iklim şartlarına ve bitkinin yetişme düzenine bağlıdır.

Bazı bitkilerin mikro elementlerin aşırı biçimde biriktirdikleri bilinmektedir. Aynı toprakta yetişen ve aynı olgunlukta olan baklagiller ot ve tahıllara göre daha yoğun Co, Ni, Fe, Cu, Zn içerir.

Maden endüstrisi: Kömür ve diğer maden ocaklarının çalıştırılabilmesi için madenden çıkarılarak atılması gereken maden drenajları yüksek derişimlerde Ca, Mg, Fe ve düşük derişimlerde Al, Mn ve diğer ağırmetal iyonlarını içerir. Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, Ni gibi madenleri içeren cevherlerin gerek topraktan çıkarılması, gerekse temizlenmesi, öğütülmesi ve saflaştırılması esnasında oldukça fazla su kullanılır ve bu sular yüksek derişimler de adı geçen metal iyonları içerir.

Metal endüstrisi: Bu endüstrilerin çeşitli fiziksel ve kimyasal proseslerinde fazla miktarda su kullanılır. Atık suları bu metal iyonlarını içerir.

Diğer sanayi tesisleri: sanayi tesisleri atıksuları, en fazla ağırmetal kirliliği ve zehirliliği içeren atıksulardır. Metal kaplama sanayi, otomotiv fabrikaları, elektrik, elektronik mutfak ve ev eşyaları üreten sanayi tesisleri, boru, kapsül, tüfek, makine ve boya endüstrileri atıksuları bu gruba girer.

Ağır metallerin çevreye yayılımında etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler çimento üretimi, demir-çelik sanayi, termik santreller, cam üretimi çöp ve

atık çamur yakma tesisleridir. Havaya bırakılan ağır metaller, sonuçta karaya ve buradan bitkiler ve besin zinciri yoluyla da hayvanlara ve insanlara ulaşırlar ve aynı zamanda hayvan ve insanlar tarafından havadan aerosol olarak veya toz halinde solunurlar. Ağır metaller endüstriyel atık suların içme sularına karışması yoluyla veya ağır metallerle kirlenmiş partiküllerin tozlaşması yoluyla da hayvan ve insanlar üzerinde etkin olurlar.

1.4.1. Ağır Metaller ve Özellikleri

1.4.1.1. Demir (Fe)

Topraktan genellikle Fe^{+3} (ferri) halde alınır ve sonra hemen Fe^{+2} (ferro)ye indirgenir. Fe klorofil molekülünün yapısına girmediği halde ancak Fe^{+2} haline olduğu zaman klorofil molekülünün sentezinde önemli bir rol oynar. Fe eksikliğinde meydana gelen kloroz hastalığına yakalanmış yapraklarda oldukça bol miktarda Fe^{+2} rastlanır. Bu haldeki (indirgenmemiş) Fe bitki için kullanılır halde değildir. Bundan da anlaşıldığı gibi Fe ancak Fe^{+2} (ferro) halde indirgendiği takdirde fizyolojik olarak aktiftir. Fe, solunumda rol oynayan çeşitli enzim (katalaz, peroksidaz, sitokrom oksidaz v.s.) ve taşıyıcıların da bileşimine girdiğinden hücre metabolizması bakımından ayrıca bir önem taşır.

Fe, bitki bünyesinde en yavaş hareket eden elementlerden biridir. Eğer Fe'li bir kültürde büyütülen bitkiler Fe'siz bir kültüre transfer edilirse meydana gelen genç yapraklarda belirgin olarak kloroz hastalığı gözlenir. Bu da bize hiç bir şekilde yaşlı yaprak ve dokulardan genç yaprak ve dokulara Fe transferi yapılmadığını gösterir.

Aşın Fe eksikliğinde yapraklarda ileri derecede kloroz hastalığı görülür. Bu hastalık özellikle genç yapraklarda; çok ince ağsı damarlarına (damarlar koyu yeşil) ve damarlar arasındaki bölgelerde yer yer sararma şeklinde kendisini belli eder. Çok ekstrem hallerde damarlarda da sararma görülür. Fe yokluğunda meydana gelen semptomlar çoğu kez giderilemez. Jacobson ve Oertli (1956)'ya göre bunun sebebi, Fe eksikliği protein sentezini dolayısıyla klorofil oluşumunu inhibe etmektedir ve yeni klorofil sentezi olmadığı için de yapraklarda meydana gelen sarı renk yeşile dönüşmemektedir. Yani olay geriye dönüşümsüzdür. Fakat hafif Fe eksikliğinden

kaynaklanan klorozu gidermek olasıdır. Bunun için toprağa FeSCVlı bileşikler verilir. Ancak bu işlem yapılmadan önce, eğer varsa, topraktaki kireç temizlenmelidir. Çünkü kireç, Fe'i bağlar ve bitki böyle bağlı Fe'den yararlanamaz. Ayrıca Fe'li bileşiklerin seyreltik çözeltisi yapaktan püskürtülerek de verilebilir.

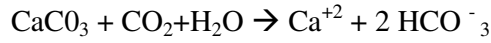
Topraklarımız Fe'ce zengindir. Fakat bazen Fe^{+3} değerlikli olduğundan ve bitkide indirgenemediğinden noksanlık belirtileri görülür.

Alımı ve Görevleri

Bitki, demiri kök uçlarında bulunan özel Fe alıcılarla Fe^{+2} iyonu ve Fe-kilyet formunda aktif olarak alır. Fe^{+3} 'ün alınabilmesi için önce Fe^{+2} ye indirgenmesi gerekir. İndirgenmenin korteks hücrelerinin plasma lemmasının yüzeyine lokalize olmuş enzimlerce gerçekleştiği düşünülmekte olup, bunun için gereken elektron hücrelerin sitokrom (cytochrom) ve flavin (örneğin Riboflavin) üzerinden sağlanır. Bitkinin yeterince Fe ile beslenebilmesi onun indirgeme gücüne bağlıdır. Fe kilyeti alınmadan önce acaba kök yüzeyinde parçalanıyor mu yoksa da molekül olarak mı almıyor sorusu sonuçta bağlayıcıların doğasına bağlı değildir. Bitkide Fe^{+2} tekrar oksitlenir ve sitratla (cytrat) kilyetlenir ve daha sonra Fe^{+3} kilyet olarak depolanır. Demir bitki metabolizmasında yalnızca Fe^{+2} şeklinde etkili olabileceğinden Fe^{+3} kilyetten tekrar koparılarak indirgenir. Bu, ışığa bağlı olduğundan 420nm de gerçekleşir. Bitki kökleri, kilyet oluşturuç salgılar verir. Ağır metaller farklı ilgi ile onlarla kilyet oluşturmak için aralarında rekabete girerler (Estes ve Bructsch 1973). Buradan örneğin Cu toksitesinin bariz Fe noksanlık belirtisine sebep olduğu anlaşılır. Gerek alımda gerekse bitkide taşınmada Fe^{+2} ile başta Ca^{+2} iyonu olmak üzere iki değerlikli metaller arasında bir konkurens yaşanır. Bu konkurens bitki çeşidine ve gelişme durumuna göre farklıdır. Ne var ki pratikte bitkilerin Fe ile beslenmesi için antegonik etki, pH değeri, redoks-potansiyeli ve CO2 partikel basıncından daha az önemlidir.

Kök bölgesinde pH değişimi demirin çözünürlüğünü etkiler. Ancak bitkinin Fe alımını doğrudan etkilediği düşünülmemektedir. Azarabadi ve Marschner (1979), demirin kök uçunca fosforun ise kökün daha ziyade bazal kısmınca alındığını ve Fe alımını etkilemediğini öne sürerken Miller ve ark (1960) ve Djendaw (1971), ise

yetiştirme ortamında yüksek konsantrasyonda fosfor bulunmasının Fe alımının ve özellikle de taşınmasının önüne geçtiğini bildirmektedirler. Aşırı fosforlu gübre uygulaması Fe-klorozunun sebebi olarak görülmektedir. Nitekim klorozlu yapraklarda sağlıklı yapraklardan daha fazla fosfor bulunur. Ne varki Müllner (1979) ve Kovancı ve ark (1978), gerçekleştirdikleri çalışmalarda karbonatlı topraklarda yayayışlı P miktarı ile Fe klorozu arasında bir ilişki bulamazken Bübl (1981), araştırmalarından Fe klorozlu yapraklardaki fosforun klorozun sebebinden ziyade sonucu olduğunu bulmuştur. Ne varki Amberger (1988), yetiştirme ortamında fazla miktarda P var ise bunun Fe ile çözünemeyen demir fosfat bileşiği oluşturarak çöktüğü gibi bitkinin taşıma sisteminde de aynı olayın gerçekleşeceğini ve özellikle süs bitkilerinde yükses sıcaklıkta bunun sıkça görüldüğünü ve bu olayın bitkide açıkça Fe-klorozuna yol açtığını bildirmektedir. Bikarbonat ve hidroksil iyonları, demir ile kireçli alkalın topraklarda FeCO_3 ve Fe(OH)_2 bileşikleri oluşturarak aym şekilde demiri inaktif hale getirirler. İç Anadolu ve Güney Doğu Anadolu topraklarında yüksek miktardaki CaCO_3 aynı şekilde yüksek miktarda CO_2 ile düzensiz toprak solunumu sonucu yüksek HCO_3^- ve Ca^{+2} iyon konsantrasyonuna yol açar.



Her iki iyonda Fe alımı ve bünyede taşınmasını engelleyerek Fe noksanlığı yaratırlar (Gruber 1981).

Toprakta HCO_3^- iyon birikimi bir süre su altında kalan topraklarda veya onun bikarbonatlı su ile sulanması halinde de meydana gelir. Bu tür topraklarda yahutta bol yağışlı yıllarda kloroz görülmesi Fe klorozunun sebebini açıklamaktadır. Kireçli topraklarda Fe klorozuna HCO_3^- un neden olduğunu Mengel ve Malisiovas (1981), gerçekleştirdikleri araştırmada bikarbonat verilen konuda genç yaprağın 184 ppm ile yüksek miktarda Fe içermesine rağmen Fe noksanlığı çekerek büyüyemediğini, oysa Fe ve HCO_3^- verilmeyen konudaki genç yapraklarda daha az miktarda Fe bulunmasına karşın kloraz oluşmadığını belirleyerek açıklığa kavuşturmuşlardır. Bübl (1981) yine yaptığı araştırmada HCO_3^- iyonunun genç yaprak hücrelerine Fe taşınmasını engelliyerek bunların demirsiz kalarak kloroza yol açtığını belirliyerek yukarıdaki açıklamalara kuvvet kazandırmıştır.

Besin maddelerinin reaksiyonu bitkilerin Fe alımını etkiler. Bitkilere alkalın özellikli besin maddesi ve bu bağlamda NO_3^- verilmesi NH_4^+ e göre daha sık ve çabuk Fe-kloroz oluşumuna yol açar (Mengel ve Maksiovas 1981). Çünkü bol miktarda NO_3^- verildiğinde nitratin indirgenmesi anında açığa çıkan OH^- iyonu Fe alımını engeller. Yine burada toprak çözeltisindeki HCO_3^- konsantrasyonu önemli rol oynar.

Bitkilerin Fe absorpsiyon kapasiteleri farklıdır. Ayçiçeği, pamuk veya domates bol miktarda Fe alabilen (Effizient) bitkilerdir. Nötr Fe^{+3} tuzu verilmesinden kısa bir süre sonra bitkiler kilyetlerin tersine bu formdaki demiri alamadığından noksanlık belirtileri gösterirler. Daha sonra bunlar yoğun şekilde proton ve indirgeyici maddeler dışa vururlar. Böylece besin çözeltisinin pH değeri 4 e kadar iner ve HCO_3^- iyonları nötralize olurken diğer taraftan da köklerin Fe^{+3} i indirgenme kapasitesi artar, bunun sonucu Fe^{+2} alımı artar ve önemli ölçüde yeni klorofil oluşumu meydana gelir (Marschner 1986). İndirgeyen maddeler olarak basit şekerler, klorogen (chlorogen) asitler, kahve (kaffee) asitler gibi organik asitler ve fenoller görev üstlenirler. Fe noksanlığı böylece önce Fe alabilen dikotiledonlarda giderilir. pH değeri tekrar yükselir ve kısa süre sonra olay baştan itibaren tekrarlanır. Fe alamayan (ineffizient) bitkiler yani arpa, mısır ve benzeri monokotiledonlar, demire bu şekilde mobilite kazandırma özelliğine sahip değiller. Bu açıdan çeşitler arasında da oldukça büyük farklılıklar vardır. Fe-klorozuna dayanıklı asmalar örneğin fazla miktarda H^+ iyonu dışa vururlar. Fe gereksinimlerini karşılama mekanizması özet olarak şu şekilde işler (Amberger 1988, Marschner 1986).

- Toprak çözeltisine H_4 iyonları verirler,
- İndirgeyici ve kilyet yapıcı maddeler dışa vururlar,
- Kökün indirgenme kapasitesi yüksektir,
- Fe transport maddesi olarak malat, malonat ve sitrat sentezi artar.

Fe noksanlığı çeken kimi bitkiler, normal bitkilere oranla fazla miktarda H^+ iyonu serbest bırakmaktadır. Bu bitkinin katyonu anyondan almasının ve anyon-kasyon dengesizliğinin muhtemelen organik anyon birikimi ile giderilmesinin

sonucudur (Scherer, 1978). Nitekim Fe noksanlığı çeken bitki dokularında amino asit ve NO_3 birikimi karakteristiktir. Bu NO_3 birikimi ise indirgenmenin engellenmesinin bir sonucudur (Carter, 1980).

Bitkilerin Fe ile beslenmesinde ve içerdiği miktarına bitkinin türü, yaşı, ortamın pH sı, CaCO_3 miktarı, ağır metallerin cins ve miktarı ile topraktaki OH^- , HCO_3^- iyonlarının varlığı ile P miktarı etkili olur. Bitkiler gelişmenin başlangıcında hızlı alırlar ve bu gelişme ile devam eder. Gelişmenin yavaşlaması ile Fe akımının hızı da düşer.

Difüzyon veya kütle akım ile kök hücrelerinin plazma lemmasına ulaşan demir, muhtemelen demir kilyetler şeklinde ksilem taşıma sistemi ile bünkede taşınır. Fe, yarı mobil bir besin elementi olduğu ve yaşlı yapraklardan genç yapraklara aktarılması dikkate alınacak kadar önemli olmadığı için noksanlık belirtisi önce genç yapraklarda görülür.

Demirin bitkideki fonksiyonu herşeyden önce enzim proteininde yer almasına dayanır. Hem içerikli ve Fe- S - proteidler en önemli gruplardır. Birincide Fe porfirin sistemine bağlıdır. Buna sitokrom, sitokromoksidas, katalas, peroksidas ve nitrojenas dahildir. Demir noksanlığında bunların aktiviteleri düşer.

Demir, ışığa bağlı olayları düzelediğinden bitki büyümesinde anahtar konumdadır. Doku kültürü ile yapılan araştırmalarda hücrelerin bölünmesi ve boyuna büyümesi için ağır metallerin belirli bir konsantrasyonda olmaları gerektiği görülmüştür. Demir iyonları meristematik hücrelerde bölünme olayına başlattığından Trigger' olarak faaliyet gösterirler. Onun bu görevini bir başka element kesinlikle gerçekleştiremez. Demir içerikli sitokromlar, solunum zincirlerinin=elektron transport zincirinin kolları olduğu gibi valenz değişimini de yapabilirler.

Demir, Flovaprotein süksinatdehidrogenaz, NADH-sitokrom-redüktas gibi hemin içermeyen enzimlerde de bulunur .terminal solunum veya oksidasyonda sitokromoksidasın etkisi ile substanz hidrojeni ve atmosfer oksijeni de yanarken H_2O meydana gelir. Buna karşın flavo enzim aktivitesinden kuvvetli bir bitki zehiri olan ve peroksidasın yardımı ile substranz hidrojenini oksitleyen H_2O_2 meydana gelir. Her

iki gelişmede de son ürün H_2O olup, peroksit konsantrasyonunun yüksek olması halinde H_2O_2 hem H alıcı hemde H verici olarak görev üstlenir ve katalas enziminin H ve O moleküllerine parçalanır. Demir, klorofil oluşumu ve fotosentezde son derece önemli rol oynar. Porfirinler klorofilin temel taşıdır, Birporfin sistemi birbirine metin köklüleri ile bağlanan 4 pirol halkasından oluşur. Renk maddelerinin biyosentezi, sitrat devranında ve piridoksala bağlı amino asit glisinden aktivite kazanmış kehribar asidin (aminolevulin=sigma-aminolevulin asit) oluşumunun altında kondensasyonu ile başlar. Bu ara aşamanın iki molekülü, su parçalanmasının altında porfobilinogen halkasını yaparlar. Bundan dezaminizasyon altında uroporfirin 3 meydana gelir. Porpirinler, kilyet oluşumu çerçevesinde Fe, Mg, Zn gibi metal atomların yapıya alma eylemi taşırlar. Bu sayede ya Fe-protoporfirin IX ve hücre heminine, yani oto okside olabilen sitokromlar ve peroksidaz, katalas ve sitokrom oksidaz gibi enzimlere yahutta Mn^{2+} ve Mg^{2+} profofirin IX üzerinden klorofile ulaşır.

Ferroksin, Foto sistem 1 de heminsiz önemli bir proteindir. -432 mV ile redokspotansiyeli oldukça düşük olup, ışık reaksiyonunun elle tutulabilen ilk kimyasal ürünüdür. Proteinde bulunan sistein SH grubu ile Fe iyonunu tutma ve tekrar verme gücüne sahiptir. Böylece ışığın var olması durumunda karotinden gridin nükleotide elektron aktarma görevini yapar.

Son zamanlarda yapılan araştırmalara göre nüklein asitler, Fe içerdiklerinden nüklein asit metabolizmasına Fe nin katıldığını göstermektedir. Nitekim Fe noksanlığında kloroplastlarda ve ribosomlarda nüklein asit miktarı önemli ölçüde düştüğü gibi protein sentezi gerilerken serbest bazik aminoasit ve amidler artar. Kloroplastlardaki proteininklorofil oluşumuna bir şekilde katalizatör etkisi yaptığı düşünülmektedir.

Demir, baklagillerin köklerinin simbiyotik N fiksasyonunda hiçde küçümsenilmeyecek rol oynar. Atmosferin molekül azotunu amonyağa indirgeyen nitrogenaz enzimi bir Mo-Fe-Protein ile birde Fe içeren 2 proteinden oluşur. Bu enzim bakteeroid denen kök yumrusunda bulunur. Ayrıca demir porfirin leghemoglobin miktarı arasında pozitif bir ilişki vardır. Ferroksin redüksiyon

ekivalent kutbu olarak görev yapar. Fe iyonları cis-akonitas, arginas ve benzeri enzimlerinin kofaktörü olarak etkili olurlar.

Demir Eksikliği

Demir noksanlığı esas olarak hafif bünyeli kuruma eğiliminde ve karbonatlarca zengin alkalın topraklarda meydana gelir. Buna ortamda fazla miktarda bulunan HCO_3 ve fosfat iyonları çözünemeyen demir karbonat, hidroksid veya fosfat kompleksleri oluşturmalarına neden olurlar.

Fe noksanlığında halka oluşumu gerilediğinden sigma-aminolevulin ve diğer amino asitler birikir. Katalas ve peroksidazın aktivitesi yavaşlar ve bunun sonucu fotosentetik olarak aktif olan kloroplastlar, ribozomlar ve mitokondrinlerde H_2O_2 yığılması olur. Aynı şekilde sitokromoksidazın aktivitesinin sınırlanması ile havanın oksijeni hidrojenin oksitlenmesini engeller.

Fe noksanlığı (Fe- kloroz) belirtileri yetersiz Fe beslenme sonucu yavaşlayan klorofil senteziyle yakından ilgilidir. Tahıllarda başak sayısı ile yapraklarda klorofil miktarı düşer. Hareketi sınırlı olan demirin noksanlık belirtileri önce genç yapraklarda görülür. Bütün bitkiler için hafif demir noksanlığında yapraklarda damarlar arası önce sarı veya soluk yeşil olup, Mn noksanlığının tersine yeşil yaprak damarları çevreleyen dokulardan kesinlikle farklıdır. İlerleyen noksanlıkla beraber yaprak damarları da sararır ve yapraklar sarı beyaz veya beyaza dönüşür. Belirtiler her ne kadar Mg noksanlığına benzer ise de Fe noksanlık belirtileri genç yapraklarda görülür. Sararan yapraklar uzun süre dalda kalır. Yoğun Fe noksanlığında yukarıdan aşağıya doğru bitki tamamen sararır. Demirce yetersiz torfta üretim yapılması veya seralara bol P li gübre verilmesinde de Fe noksanlığı meydana gelir.

Demir Noksanlığına Karşı Alınacak Önlemler

Fe noksanlığında karşı mücadele de başarıya ulaşma ancak sıralanan önlemlerin eksiksiz ve zamanında uygulanması ile mümkündür (Gruber 1981).

Kloroz meydana gelen yerler için Fe noksanlığına karşı hassas olmayan kültür bitkileri seçilmeli.

- Kloroza rezistans altlık, çeşit ve türleri seçilmeli.

- Uygun strüktür oluşturan toprak işlemler yapılmalı.
- Kireçli topraklarda bitki kök bölgesinde indirgeyici ortam hazırlanmasına özen göstermek gerekir.

Bunun için;

- Ön olgunlaşma geçirmiş ancak hızla mineralize olmayan organik gübre uygulamalı. Hızlı mineralizasyonda fazla miktarda CO₂ nin açığa çıkması Fe noksanlığına yol açar.
- Derin sürümde alt katmanlardaki kireçli katmanın kök bölgesine taşınması engellenmeli.
- Kök bölgesinde CO₂ birikmesine neden olan pulluk tabanı patlatılmak, hızla parçalanarak bol CO₂ veren organik gübre veren yeşil gübre uygulanmasından kaçınılmalı.
- Islah çalışmaları ile taşıma sistemi iyi çalışan bitki çeşitleri üretmeli ve yetiştirilmeli,
- Asma ve meyve ağaçlarında tarım aletleri kullanılırken ve tavşan kemirmesi yoluyla tahribata yol açmamalı, ayrıca mücadele ilaçların aşırı konsantrasyonlarından kaçınılmalı,
- Ağaçlarda odunsu oluşumu sağlayarak zararlarından korumalı,
- Fazla budama ile asmalar aşırı ürün vermeye zorlanmamak,
- Bakır, krom, nikel ve çinko gibi ağır metallerin konsantrasyonlarının yüksek olmamasına dikkat edilmeli.

Demir Fazlalığı

Pratikte Fe fazlalığının genelde fazla zararı görülmez. Asidik ortamlar ile su baskınlarının altında kalan topraklarda Fe fazlalığı olabilir. Bitkilerde Mn ve/veya P noksanlığı meydana gelir. Çünkü P, Fe ile bitkinin alamayacağı bileşikler oluşturur.

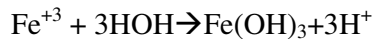
Bitkilerde Demir Varlığı

Bitkilerde Fe miktarı, kuru madde üzerinden 50 ile 2000 ppm gibi geniş bir yelpazede değişir. Gelişme devresine ve bitki çeşidine göre demir miktarı değişir. Primer Fe noksanlığı için kritik nokta 50 ppm veya biraz üzerindedir. Fotosentetik olarak gelişmesini tamamlamış ve tam aktif yapraklarda fazla miktarda Fe bulunur. Ne var ki bitkideki toplam Fe pek fazla birşey ifade etmez. Çünkü demir ile normal beslenen veya noksanlığı çeken bitkilerin toplam Fe miktarı yüksek olabilir. Bitkideki toplam demirin yaklaşık %80 kadarı ince strüktürlü kloroplastlarda lokalize olmuş veya proteinlere bağlı olarak bulunur. Bitkisel ve hayvansal organlarda depolanma formu bir protein kılıfla (Apoferitiri) çevrelenmiş Fe^{+3} - hidroksi-fosfat kompleksi olan ferritindir. İhtiyaca göre bu kompleksten Fe mobil hale getirilir.

Toprakta Demir Varlığı

Demir mineral topraklarda toprak kütesinin %8 kadarına oluşturarak oksijen, silisyum ve alüminyumdan sonra yerkürede en fazla bulunması ile bir makro besin elementidir. Bitkiler tarafından az miktarda alınması yanında görevleri itibari ile de bir mikro besin elementidir. Fe, piroksen, amfibol, olivin ve birotit gibi mineraller yanında limonit gibi sulu oksit ve sülfidlerde de bulunur. Normal şartlarda oluşan topraklarda ferri demir oksit %2-5 arasında bulunur iken tropik yöre topraklarında %60 a kadar çıkabilir. Bunlar toplam Fe yönünden zengin olmalarına karşın yarayışlı demirce fakirdirler. Burada toprak yüzeylerinin kırmızımsı veya kahverengi olması yüzeylerinin sulu demir oksitlerce kaplanmış olmasındandır.

Toprakta demirin önemli bir bölümü oksitlenmiş formda olup götit, hematit veya magnetik şeklinde bulunur. Bu oksitler, çok stabil olup ilerleyen mineral ayrışması ile birikim olur. Bu da toprakta yarayışlı demiri belirler. Bunun sonucu yarayışlı Fe miktarı düşük olup daha ziyade pH'a bağlıdır. Burada Fe^{+3} ve Fe^{+2} iyonları oldukça belirgindir. Fe^{+3} pH=3'ten itibaren hidroksit daha doğrusu hidrat şeklinde şeklinde çökelirken Fe^{+2} pH=nötrde $Fe(OH)_2$ şeklinde çökelir. Fe^{+3} 'ün pH a bağlı olarak çökmesi (Binsday,1972)'e göre;



Fizyolojik 4,5-7 pH değerlerinde denge ekstrem şekilde çözünemeyen $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yönüne kayar. Bol yağış alan topraklarda demirin büyük bir bölümü hornblend biotit pirit ve klorit gibi minerallerde Fe^{+2} şeklinde olan demir parçalanıp ayrışma sonucu demir oksit ve demir hidroksite dönüşür. Toprak oluşumunda Fe iki değişim geçirir.

1) Yağışı bol serin yerlerde Mg, Ca, K ve Na gibi katyonlar toprak alt katmanlarına taşınırken toprakların üst katmanlarının asidik özellik kazanmalarına Bu durumda toprak üst katmanlarda Fe^{+2} ye indirgenmiş demirin bir kısmı daha az asidik tabakalara taşınarak demir hidratlar, demir oksitler ve organik bileşikler gibi bitkiye yararışlı Fe bileşikleri şeklinde çökelir.

2) Yağışı bol ve sıcak iklim (tropik) bölge topraklarında toprak oluşumu ve yağış yoluyla katyonlar toprağın alt katmanlarına taşınırken üst kısımlarda ortam oksitlenme için elverişli hale gelirken burada demirin büyük bir bölümü sulu demir oksitlere ($\text{FeO}_3, 3\text{H}_2\text{O}$) dönüşür. Bunlar toprakların üzerini bir zar gibi kaplayarak kırmızımsı ve sarımsı renk verirler.

1.4.1.2. Kurşun (Pb)

Çağımızda toprakta en önemli kurşun kaynağı yanan petrol ürünleridir. Topraktaki yüksek pH derecesi mevcut kurşunun, hidroksit, fosfat ve karbonat bileşikler olarak çökmesine yol açmaktadır. Kireçli topraklarda kireç kurşun iyonları ile yer değiştirerek kurşunun toprakta tutulmasına yol açmaktadır.

İnorganik kurşun genel olarak bitkilerin dış cephesinde kaldığından yıkama ile büyük ölçüde temizlenir. İnorganik kurşun tohum ve köklerde aşırı birikme yapmaz. Organik kurşun ise bitkiler tarafından hızla alınmaktadır.

1.4.1.3. Kobalt (Co)

Toprakta normal düzeyi dekara 0.25-10 kg'dır. Kumtaşı ve kireç taşında kobalt çok azdır. Kumlu, yüksek kireçli ve asidik karakterli kayalardan oluşan topraklarda eksikliğine sık rastlanır. Mangan fazlası olan topraklarda da olumsuz etki yapmaması için kobalt uygulanır.

1.4.1.4.Kadmiyum (Cd)

Toprakta aşırı kireç ve çinko bitkinin kadmiyum alımını etkiler. Yüksek toprak pH'ı ve yüksek kil oranında kadmiyumun bitkiler tarafından alınmasını yavaşlatan faktörlerdir.

Çinko rafinerileri civarında,oto lastikleri ve madeni yağlarda bulunması nedeniyle sulanan topraklarda kadmiyum yoğunluğu yüksektir. Kullanılan fosforlu gübreler de toprağa bir miktar kadmiyum katılmasına yol açar.

Ağır metallerin bitkiler tarafından alınması toprak şartları ile yakından ilgilidir. Yüksek ph derecelerinde,fazla killi veya fazla humuslu topraklarda kadmiyumun bitki tarafından alınması zorlaşır.

1.4.1.5.Çinko (Zn)

Yüksek pH'lı topraklarda çinko bileşikleri zor çözülür. Bitkilerde yüksek miktarlarda fosfor uygulaması çinko açlığına yol açabilir. Bitkilerde çinko açlığı, yaprak damar aralarında sararmalarla başlar. Çinko fazlası da zararlıdır.

1.4.1.6.Mangan (Mn)

Doğada mangan daha çok demir oksitlerle birlikte bulunur. Toprakta 50-750 kg/dekar arasında ölçümler normaldir.

Topraklarda kireçleme toprak pH'sını ve kalsiyum yoğunluğunu yükselterek bitkinin mangan alımını zorlaştırır.

Mangan yönünden fakir topraklarda, bitkilerin genel olarak 100-250 gr/dekar mangan kullandığı göz önünde tutularak yeter miktarda mangan sülfat verilmesi gerekir. Uygulamanın banda verme yoluyla yapılması daha ekonomiktir.

1.4.2.Ağır Metallerin Alıcı Ortamlardaki Etkileri

Ağır metaller biyolojik prosesleri katılma derecelerine göre yaşamsal ve yaşamsal olmayan olarak sınıflandırılırlar. Yaşamsal olarak tanımlananların organizma yapısında belirli bir konsantrasyonda bulunmaları gereklidir ve bu

metaller biyolojik reaksiyonlara katıldıklarından dolayı düzenli olarak besinler yoluyla alınmaları zorunludur. Örneğin bakır hayvanlarda ve insanlarda kırmızı kan hücrelerini ve birçok oksidasyon ve redüksiyon prosesinin vazgeçilmez parçasıdır. Buna karşın yaşamsal olmayan ağır metaller çok düşük konsantrasyonda dahi psikolojik yapıyı etkileyerek sağlık problemlerine yol açabilmektedirler. Bu gruba en iyi örnek kükürtlü enzimlere bağlanan cıvadır. Bir ağır metalin yaşamsal olup olmadığı dikkate alınan organizmayada bağlıdır. Örneğin nikel bitkiler açısından toksik etki gösterirken, hayvanlarda iz element olarak bulunması gerekir.

1.4.3.Ağır Metallerin Toprağa Etkisi

Ağır metallerin toprakta birikmesinin sadece toprak verimliliği ve ekosistemin fonksiyonları üzerinde değil aynı zamanda besin zinciri yoluyla hayvan ve insan sağlığı üzerinde de önemli etkileri vardır. Topraklardaki ağır metal kirliliği, endüstri ve madencilik aktivitelerinin gelişmesiyle ve atık suyla yapılan sulamaların ve arıtma çamuru uygulamalarının yaygınlaşmasıyla global bir problem halini almıştır. Ağır metallerle kirlenmiş toprakları temizleme çalışmaları çevre mühendisliği alanındaki en zor konulardan biridir. Kirlenmiş toprağın kompleks fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile kirleticilerin toprak ortamındaki davranış ve ilişkilerine ait bilgilerin sınırlı olması gibi faktörler, temizleme faaliyetlerinin maliyetlerinin yükselmesinin yanı sıra klasik atık bertaraf teknolojilerinin uygulanmasının da sınırlı boyutlarda kalmasına sebep olmuştur. Bu nedenle toprak kirliliğinin giderilmesinde maliyeti düşük ve etkinliği yüksek uygulanabilir yeni teknolojilerin gelişimine acil olarak ihtiyaç vardır. İzolasyon, immobilizasyon, toksisitenin azaltılması, fiziksel ayırma ve ekstraksiyon toprak temizleme çalışmalarındaki hem arazi ölçeğinde uygulanan hem de gelişme aşaması devam eden teknolojiler incelenerek karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda metallerle kirlenmiş topraklar için en uygun temizleme metodunun seçiminde yöre karakteristikleri, konsantrasyon ve bunlar gibi çeşitli faktörlerin göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır.

1.4.4.Ağır Metallerin Sudaki Etkileri

Su kirliliği altmışlı yıllarda hem okyanus hem de kara sularında endişe verici boyutlara ulaşmıştır. Su kirliliğinin artması endüstri alanındaki büyümeyi çok iyi bir şekilde yansıtmaktadır. 19.yy'ın başlarında Türkiye dahil Avrupa'da birçok ülkede lağım suları nehirlerle akıtılmaya başlamış ve böylece yalnız büyük ırmaklar kirlenmekle kalmamış aynı zamanda yer altı sularıda kirlenmiştir. Bu olaylar sonucu bazen sanayi ve tarım ile bazen de evlerde kullanılan sular önemli sayılabilecek ölçüde kirlenmiştir.

Ağır metal gibi kimyasal kirleticiler; sucul canlılarda yarattığı toksik, akut, kronik ve doğrudan etkilerin yanı sıra, dolaylı fizyolojik etkileri de olmaktadır. Bu tür kirleticiler, canlı kaynakların yumurta larvalarını ve genç bireylerini çok daha fazla etkilemektedir. Canlı kaynakların sürdürülebilir üretimlerinin ve nesillerin devam ettirmeleri tehlikeye girmektedir. Fizyolojik etkileri şöyle sıralayabiliriz: planktonlarda hücre bölünmesinin gecikmesi ve engellenmesi, kabuklularda beslenme alışkanlıklarının değişmesi, balıklarda anormal yumurtlama ve yumurtlama dönemlerinin değişmesi, kanser tümörlerinin oluşumu gibi etkiler yapmaktadır. Pb, Hg, Cu, Zn gibi ağır metaller suda çok az miktarlarda bulunurlar. Bunların hepsi su hayvanları için toksiktir. Çoğu 1 ppm sınırında öldürücüdür.

Çinko normal miktarlarda bazı enzimatik fonksiyonlar için gereklidir ve birçok proteinde yapı elementi olarak bulunur. Bakır bazı enzimlerde bulunur ve pek çok omurgasızın kan proteininde solunum pigmenti halinde mevcuttur.

Çinko ve bakır özellikle deniz balıklarındaki protözonlardan meydana gelen hastalıkların tedavisinde kullanılır. Burada metalin toksik etkileri bir süre sonra CaCO_3 ile çökelmeyle giderilir.

Kelatlaşma, bakırın balıklara karşı zehirliliğini azaltır. Örneğin sitrik asitle kelatlaşan CuSO_4 daha az toksiktir. $\text{Ph} = 6-8.5$ arasında kelatlaşan bakırın % 90'ının suda çözülmüş kalmasını sağlar.

Ağır metallerin toksisitesi pH, çözünmüş oksijen, temperatur, balığın büyüklüğüne oranla çözeltinin hacmi, çözeltinin yenilenme frekansı, çözeltideki diğer maddeler ve sinerjetik etki gibi faktörlere bağlıdır.

Suyun pH' ı en önemli faktör olabilir. Ağır metallerin destile ve yumuşak sularda sert ve bazik sulara göre daha toksik olduğu sanılmaktadır. Sıcaklık artışı ağır metallerin balıklara karşı olan toksikliğini çoğaltır.

Kurşun tuzlarının toksisitesi su miktarı azaldıkça ve balığın büyüklüğü arttıkça azalır. Ayrıca kurşun salgıyla balık üzerinde çöktürülerek zehirliliği giderilir.

İki ağır metal ya da bir ağır metalle başka bir madde arasındaki sinerjik etkiye gelince örneğin Cu-Zn kombinasyonları bazen tek basma Zn veya Cu' dan daha zehirlidir.

1.4.5.Ağır Metallerin Canlılara Etkisi

Vücutta doğal olarak bulunan bazı metallerin sağlığınıza yararları vardır. Örneğin Fe kansızlığı önler, Zn ise 100'den fazla enzim reaksiyonunda yer alır.Metallerin normal olarak vücutta bulunma oram çok düşüktür. Bu oran yükseldiği takdirde, vücutta toksik etki yapmaya başlarlar.

Ağır metaller, yoğunlukları suyun yoğunluğunun en az 5 katı daha fazla olan metallerdir. Ağır metallerin hiçbir fonksiyonu yoktur ve vücut için zararlıdır. Eğer ağır metallerin vücudumuza giriş hızı, vücudumuzun onları dışarı atma hızından düşükse,zaman içinde vücudumuzda birikme yaparlar.

Endüstriyel ürünlerin üretiminde ağır metallerin yoğun bir biçimde kullanılması nedeniyle insanların ağır metallere maruz kalma oranı son 50 yılda çok ciddi bir biçimde artmıştır.Civalı amalgam dolgular, boyalar ve musluk sularındaki kurşun, işlenmiş gıdalar kozmetik ürünleri,şampuan, saç ürünleri ve diş macunundaki kimyasal kalıntılar nedeniyle insanlar her an ağır metallerle iç içe yaşamaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Karaca, Haktanır, 2000 tarafından yapılan çalışmada İzmit DUSA (Endüstriyel İplik Üretimi) ve SEKA (Kağıt ve Selüloz Üretimi) fabrikalarının atık su arıtma tesislerinde ortaya çıkan arıtma çamurlarının İzmit Alikahya Köyü'nden alınan tarım toprağının alınabilir kurşun (Pb) ve dehidrogenaz enzim aktivitesi üzerinde yapmış olduğu etkiler araştırılmıştır. Bu amaçla, laboratuvarda hazırlanan toprak-çamur karışımları tarla kapasitesinin % 70'i kadar nemlendirilerek 28°C 'de inkübasyona alınmıştır. Belirli oranlarda atık çamur örnekleri uygulanmış (kontrol, 20, 40, 80, 160 tonha⁻¹) toprak örneklerinde, alınabilir Pb 1., 5., 15., 30., 60., 120. ve 240. gün olmak üzere 7 inkübasyon döneminde, dehidrogenaz aktivitesi de 1., 3., 7., 14., ve 30. gün olmak üzere 5 inkübasyon döneminde belirlenmiştir. İki atık çamurunun farklı dozlarının topraklara uygulanmasıyla alınabilir Pb kapsamında önemli artışların bulunduğu belirlenmiş olup (P<0.01), SEKA çamuru ilave edilmiş toprakların alınabilir Pb kapsamındaki artışın DUSA çamuruna göre tüm dozlarda fazla olduğu saptanmıştır. DUSA ve SEKA çamurları dehidrogenaz aktivitesini farklı etkilemiştir. Her iki çamurun yüksek dozlarda ilave edildiği topraklarda dehidrogenaz aktivitesi artış göstermiş olup, bu artışın DUSA çamurunda daha fazla olduğu belirlenmiştir. DUSA çamuru ilave edilmiş topraklarda dehidrogenaz aktivitesi SEKA çamuruna göre daha fazla belirlenmiştir. DUSA çamuru ilave edilmiş topraklarda inkübasyonun 30. gününde 160 tonha⁻¹ çamur dozunda dehidrogenaz aktivitesi 55.56 mgTPF g⁻¹ olarak bulunmuşken, aynı inkübasyon süresi ve aynı dozda ilave edilmiş SEKA çamurunda aktivite 38.90 mgTPF g⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Bilyk ve Dzlubek, 1992 yaptıkları çalışmada, atıksu çamurlarının tarımda kullanılmasının farklı topraklar üzerinde ürün miktarının artırılması ve gübre elementlerinin geri kazanılması için doğal bir metod olduğunu belirtmişler ve tarımsal amaçlar için deri endüstrisi çamurlarının kullanımının henüz pek yaygın olmadığını altını çizmişlerdir. Endüstriyel katı atık ve çamurların tarımda kullanılması için bunların ayrıntılı olarak uygunluğunu değerlendirmek gerektiği ve başlıca kriterin çamurun, tarımsal ihtiyaç olan iz elementler, besin maddeleri ve

hijyene göre kullanışlı olup olmadığına karar verilmesi olduğunu belirlemişlerdir. Bunun için ilk adımın ağır metallerin, besin maddelerinin ve mikro elementlerin konsantrasyonlarının belirlenmesi ve bu amaçla kimyasal analizler yapılması, bu adımda da toprağın tipine ve bitki türlerine göre de çalışılması gerektiğini belirtmişlerdir. Tarımda kullanılan endüstriyel çamurların insan ve hayvan sağlığını etkilememesinin en önemli koşuldur.

Tatar, 2003, Elazığ Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi'nde ortaya çıkan arıtma çamurlarındaki ağır metallerin giderimi araştırmıştır. Bu amaçla, tesisin nihai çamur toplama alanlarından alınan kompozit numunelerin ağır metal içerikleri tayin edilmiştir. Ağır metal giderimini belirlemek için kompozit numune, hidrojen peroksit içeren ve içermeyen farklı hacim ve konsantrasyonlarda fosforik asit ile oda sıcaklığında 1 saat süreyle karıştırılıp pH ve elektriksel iletkenliğe bakılarak filtre edildikten sonra filtrattaki ağır metal düzeyleri saptanmıştır. Filtrede kalan çamur numunesinde ise inorganik ve organik madde düzeyleri belirlenmiştir. Filtrede kalan çamur numunesindeki inorganik maddeler (su ve kül) hariç organik madde (ham protein, ham selüloz, ham yağ, azot içermeyen madde) düzeylerinde %3 H₂O₂ içeren ve içermeyen H₃PO₄ uygulamalarında önemli bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir.

Özgüven, 2003, Çalışmasında evsel atıksu arıtma tesisi çıkış sularının ultraviyole (UV) ışınla dezenfeksiyonu incelenmiştir. Dezenfeksiyon çalışmalarında silindirik UV reaktörü kullanılmış ve optimum verimin sağlanması için sisteme filtrasyon kademesi eklenmiştir. Sistem verimleri, katı madde, bulanıklık, temas süreleri açısından değerlendirilmiştir. 15 hafta süreyle yapılan çalışmada toplam bakteri, toplam koliform ve fekal koliform tayinleri yapılarak, alıcı ortam standartlarının sağlanması için ideal şartlar belirlenmiştir.

Sonuç olarak, evsel atıksu arıtma tesisi çıkış sularının UV ile dezenfeksiyonunda, alıcı ortam standartlarının sağlanması için filtrasyonun gerekli olduğu tespit edilmiştir. Perlit dolgulu filtre hem katı madde ve bulanıklık gideriminde hem de mikroorganizma gideriminde etkili olmuştur. Sonuçlar mikrobiyal giderimin %99,5'in üzerinde olduğunu ve alıcı ortam standartlarının sağlandığını ortaya koymuştur.

Sadowsky, 1999, Dünyada gelişen teknolojiye bağlı olarak ortaya çıkan endüstriyel işlemler, yerleşim, tarımsal aktiviteler gibi çeşitli insan faaliyetleri sonucunda hava, su ve toprak gibi doğal kaynaklar farklı düzeylerde ve çeşitli organik veya inorganik kirleticilerle kirlenmiştir. Bir çok alanda özellikle endüstride kirlenen kaynakların arıtılması için çeşitli fizikokimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin kullanımı ile arıtım sonucunda mutlaka yine bir atık ve giderilmesi gereken sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu teknikler pahalı ve genelde zor uygulanabilir sistemlerden oluşmaktadır. Avrupa ve ABD’de kirli alanların ıslahı için yılda 20 billion dolar harcandığı tahmin edilmektedir.

EPA, 2000, bitkinin toprak, su ve havayı temizleyebilme yeteneği önemli bir buluş olarak kabul edilmiştir. Bitki anlamındaki “*phyto*” ile ıslah anlamındaki “*remediation*” kelimelerinden türetilen ve 1991’de terminolojiye giren “*pyhtoremediation*”, “*bioremediation*”, “*botanical remediation*” ve “*green remediation*” olarak da anılmaktadır.

Henry, 2000, Türkçe’de “Yeşil Islah” olarak kullandığımız bu ifade bitki temel alınarak çevreyi ıslah etme teknolojileridir. Bu teknoloji ile organik ve inorganik maddeler bitki kullanılarak kirlilik oluşturduğu alandan bertaraf edilebilmektedir.

EPA, 2000, Kirleticiler bazı bitkilerce başarıyla alınarak su arındırılmaktadır. Örneğin *Brassica juncea* (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Cr, Cs, Sr), *Myriophyllum spicatum* (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn) ve *Helianthus annuus* (U, Co, Cs, Sr, Cr, Mn, Cd, Ni, Cu, Pb, Zn), *Eichornia crassipes*, *Hydrocotyle umbellata* ve *Lemna minor* türleri birçok kirlilik etmenine karşı kısa sürede başarı ile yetiştirilmişlerdir.

Pivet, 2001, *pyhtoremediation* teknolojisinde karasal bitkilerin kullanılabilmesi ince bir toprak tabakasının olduğu yüzen platformlar gerekir. Köklerle süzmede her 1000 galon kirli suyun temizlenmesinin maliyeti 2-6 ABD \$’ıdır (Henry, 2000). Çernobil yakınlarında oluşturulan bir küçük havuzdaki platformlarda yetiştirilen *Helianthus annuus* dört ve sekiz haftada bünyesinde çok fazla miktarda Cs¹³⁷ ve Sr⁹⁰ biriktirmiştir.

EPA, 2000, Yeşil Islah adıyla anılan yöntem doğal ortamda toprağın stabil hale getirilmesi için uygulanır. Burada bitkinin yetiştiği toprağın içindeki kirlilik etmenlerinin kökler çevresinde veya içinde biriktirilmesi ya da tutulmasının yanısıra kirleticilerin rüzgar, su erozyonu, yıkanma ve toprak dağılması ile taşınmasının engellenmesidir. Bitkinin kök çevresi mikrobiyolojisi ve kimyası ile yakından ilişkili olan sistemde bitki kirleticisi etmenin yapısını suda eriyemez-taşınmaz şekilde değiştirebilir. Köklerle sabitleme toprak, sediment ve çamurda uygulanabilir. Toprak taşınmasını gerektirmemesi önemli bir avantajdır. Ayrıca alan bitkilendirildiği için ekosistemdeki restorasyon zenginleştirilir. En önemli dezavantajı kirlilik etmenlerinin alanda kalarak uzun zaman içindeki değişikliklerle taşınabilmesi veya yıkanarak taban suyuna karışabilmesidir. Sistemde gübreleme ve toprak ıslahı çalışmalarına maksimum stabilizasyon etkisini sağlamak için gerek vardır. Kök derinliği sistemin etkinliği bakımından çok önemlidir. Örneğin kavak kökleri 150-300 cm derinlikler için düşünülebilir. Stabilizasyon bitkiye bağımlı olup, bu amaçla *Populus* (As, Cd, Ca, Zn), *Brassica juncea* (Cr, Pb), *Andropogon gerardii*, *Festuca arundinacea* ve *Glycine max* kullanılmaktadır.

Henry, 2000, *Agrostis tenuis* cv. Goginan (asidik Pb ve Zn), *Agrostis tenuis* cv. Parys (Cu) ve *Festuca rubra* cv. Merlin (kalkerli Pb ve Zn) çeşitleri İngiltere’de (Liverpool) yapılan bir alan çalışmasından sonra ticari ölçekte uygun olarak saptanmıştır.

Pivet, 2001; Sutherson, 1999. Hibrit bir kavak cinsi Güney Dakota (ABD)’daki bir çalışmada ilk yıl 12 m büyüme kaydederek bünyesinde tahmin edilenden çok daha yüksek miktarlarda As ve Cd biriktirmiştir.

Campbell 1999 Yaptığı çalışmada 70 organik bileşiği bünyesine alarak onların bozulmasını sağlayan 88 bitki türü saptamışlardır

Pivet, 2001, Yöntemin en önemli avantajı indirgenme veya bozulmanın fizyolojik olaylar doğrultusunda bitki içinde olması ve mikroorganizmalara bağlı olmamasıdır. Yöntemin dezavantajı ise bozulma sırasında zehirli ara ve son ürünler oluşabilmesi ve bunların çok zor tespitidir. Örneğin kavak derin kökleri ile taban

suyundaki azotu (nitrat) almakta, bitkide azot proteinlere veya azot içeren bileşiklerin yapısına girmekte ve bir kısmı da gaz olarak atmosfere bırakılmaktadır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Çalışmada hazırlanan deney düzeneği için materyal olarak arıtma çamuru, *juncus acutus* bitkisi ve sızıntı suyu kullanılmıştır.

3.1.1.Araştırma Yeri

Deney düzeneği Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında kurulmuştur.

3.1.2.Kullanılan Bitki (*Juncus acutus*)

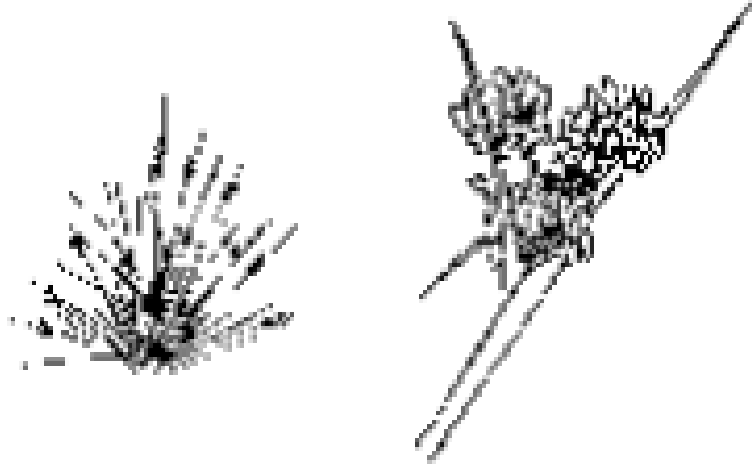
Çalışmada *Juncus acutus* bitkisi kullanılmıştır. *Juncus* cinsi tek ve çok yıllık olmak üzere 160 adet otsu türü içermektedir. Kıyılarda ıslak alanlarda yada bir kısmı toprakta bir kısmı suda ve büyük bir kısmın da suyun dışında yaşayan bu türlerin bir çoğunda rizom şeklinde gelişen toprak altı bölgeleri bulunur, bitkiler kümeli olarak gelişirler, gövde tüysüz, genellikle silindirik olup nadiren düzleşmiş veya çimlere benzer şekildedir.

Gövde tabanındaki yapraklar tabanda bölünmüştür ve gövdeyi bir kın gibi sarar. Dik formulu olan bitkinin yaprakları ince uzun, şeritler şeklindedir. Çiçekleri, bir başakta çok sayıda, sık veya dallanmış salkımlar üzerinde yer alır. Çiçekler ya pulsu yaprakçiksız ve yalın talkımsı çiçek kümelerinde bulunur (çoğunlukla başçıklarda toplanmıştır) yada dış bölümünde bir adet iki yarık pulsu yaprak iç bölümünde iki adet yarım pulsu yapraktan oluşan tabansal bir pulsu gülcük içinde, tek tek olarak bulunur. Çiçek tozları dörtlü kümeler biçimindedir. Yeşilimsi veya kahverengimsi renktedir. Toprak altı gövdesinin bölünmesi ile çoğaltılabilir (Söğüt,1996).

Çok yaygın olan *Juncus*ların Türkiye'de 34 türü doğal olarak yetişmektedir. *Juncus*'ların çok azı dekoratif olarak öneme sahiptir. Bunlarda su kenarlarındaki bataklık yerlerde ve sığ sular içerisinde su kuşlarını koruma amaçlı kullanılmıştır.

Bitki 45 cm den daha derin sularda yaşayamaz. Juncus'lar dik ve kümeli formlu diğer bitkilerle benzer şekilde kullanılabilirler. Tüm türleri düzenlemelerde kullanılabilir özelliklere sahip olmamasına rağmen uygun sularda kıyı çizgisini kapatmak, hareketlendirmek gibi amaçlarla kullanılabilirler. Kullanımları ile alana doğallık kazandırır. Formal düzenlemelerde ve küçük alanlardaki çalışmalarda bu bitkinin kullanımı sıkıntı yaratabilir. Büyük ve düz alanlarda kullanımı daha yaygındır (Söğüt,1996).

Çalışmada Juncus familyasına ait J. acutus (sivri hasırotu) türü kullanılmıştır. J. acutus yoğun kümeler biçiminde gelişir, toprak altı gövdeleri zayıftır. Kından çıkan sürgünleri bulunur. Gövdeler (15-)50-150 cm uzunlukta sert ve 2 ile 5 adet tabansal yapraklıdır (Şekil 3.1).



Şekil 3. 1 Juncus acutus bikisi

Juncus yabani olarak yetişen bir bitkidir ve çoğunlukla sulak bölgede yetişir. Çalışmada kullanılan bitkiler Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı seraları civarından toplanmıştır. Kullanılacak bitkilerin seçiminde eşit büyüklükte bitkilerin toplanmasına özen gösterilmiştir.



Şekil 3. 2 *Juncus acutus* bitkisinin doğal görüntüsü

3.1.3.Sızıntı Suyu

Bu çalışmada sulama suyu olarak kullanılan sızıntı suyu Adana Sofulu Çöp Deponi Sahasından getirilmiştir.

3.1.3.1.Sofulu Katı Atık Deponi Alanının Özellikleri

1989 yılında Güneşli çöp dökme sahasının kapatılmasından sonra, Sofulu Belediyesi sınırında bulunan hazine arazisi kamulaştırılarak çöp dökme yeri olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1990 yılından 1998 yılına kadar geçen sürede Sofulu çöp depolama alanı tipik bir açık çöp boşaltım sahası görünümündeydi. Alana gelen çöplerin geliş yerleri, miktarı ve içerikleri ile ilgili hiçbir kayıt tutulmamıştır. Hastane atıkları dahi alana gelişigüzel bir şekilde boşaltılmıştır. Bu nedenle deponi alanı, çevreyi koku, duman, sinek ve kötü görünüm yönünden olumsuz etkilemiştir. Yaklaşık 3500 dönüm olan Sofulu serbest çöp dökme alanı büyük ölçüde (%95) dolmuştur. Alanın olumsuz etkilerinin giderilmesi ve ileriki tarihlerde oluşan çöplerin depolanabilmesi için alanda rehabilitasyon çalışmalarının yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Çevre Bakanlığı, Dünya Bankası, Akdeniz Çevre Teknik Yardım Programı ve Türkiye Hükümeti'nin destekleri doğrultusunda, 1996 yılında ülkenin Katı Atık Yönetiminin geliştirilmesinin amaçlandığı ve 7 pilot projeden

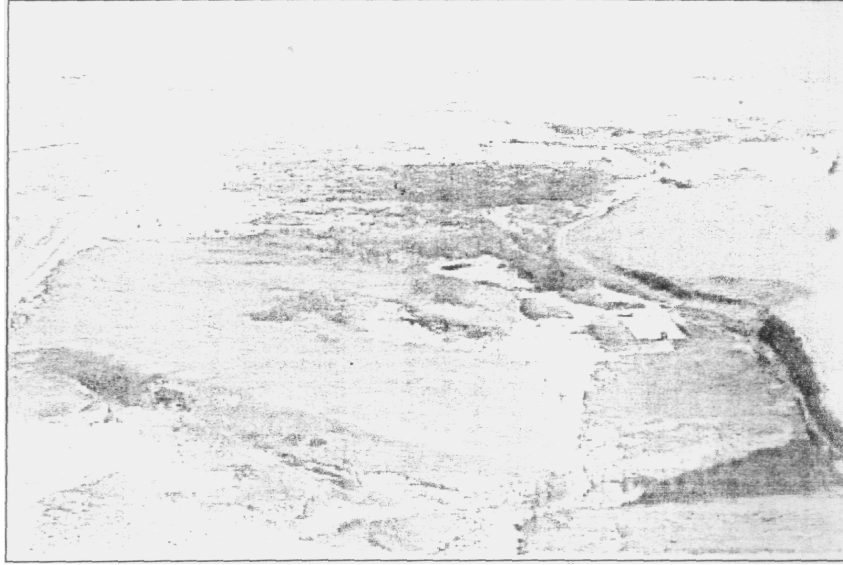
oluşan önlemler paketinden bir tanesi olan Bölgesel Katı Atık Yönetimi çerçevesinde her ikisi de Çukurova’da yer alan Adana ve Mersin illerini kapsayan bir Bölgesel Katı Atık Yönetimi için harekete geçilmiştir. Ancak mali kaynakların ve teknik personelin yetersizliği nedeniyle Türkiye Hükümeti, Adana-Mersin Bölgesel Katı Atık Yönetimi Araştırma Uygulaması için Japonya Hükümeti’nden yardım talep etmiştir. Bu kapsamda Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) Kokusai Kogyo Co. Ltd. tarafından araştırma müşaviri olarak atanmıştır.

Çizelge 3. 1 Adana Sofulu Çöp Dökme Alanı Katı Atık Bileşimi (Öksüz, 2001).

Fiziksel Bileşim	Adana Sofulu Çöp Depolama Alanı (%)
Mutfak Atığı	73,51
Kağıt	11,09
Tekstil	2,69
Tahta ve Ağaç	2,19
Plastik	6,48
Deri ve Lastik	0,28
Metal	0,62
Şişe ve Cam	0,22
Seramik ve Taş	0,91
Çeşitli Atıklar	0,06

Çizelge 3. 2 Adana’da Atık Oluşum Miktarı (Çevre Araş. Mer. ve UCA. 1998)

Oluşum Kaynağı	Birim	Birim Sayısı	Oluşum Oranı	Günlük Oluşum Miktarı (ton/gün)
Evsel Atık	g/kişi/gün	1.211.222	461	558
Ticari A.(Lokanta)	g/masa/gün	77.790	1.110	86
Ticari Atık (Diğer)	g/dük /gün	70.000	1.033	72
Pazar Atıkları	g/stant/gün	2.407	6.300	15
Kurumsal Atık	g/kişi/gün	53.813	129	7
Cadde Atığı	g/km/gün	718	72.063	52
Park Atığı	g/m ² /gün	600.000	3	2
Toplam Günlük Atık Oluşumu		2.051.950	81.099	793



Şekil 3. 3 Adana Sofulu Çöp Depolama Alanı ve Çevresi (Öksüz, 2001)

3.1.3.2.Kullanılan Sızıntı Suyunun Özellikleri

Kullanılan sızıntı suyunun karakterizasyonu Çizlge 3.3’de verilmektedir.

Çizelge 3. 3. Sofulu Deponi Sahası Sızıntı Suyu Karakteristiği

PARAMETRE	KONSANTRASYONU
COD (mg/l)	2355
BOD (mg/l)	1254
AKM(mg/l)	310
Ph	7.77
NH ₃ -N (ppm)	16.03
NO ₂ -N (ppm)	2.13
PO ₄ -P (ppm)	10.36
Cr (ppm)	1.50
Cu (ppm)	0.23

3.1.4.Arıtma Çamuru

Çalışmada bitkilerin yetiştirilmesi için ortam olarak kullanılan arıtma çamuru Batı Adana Atıksu Arıtma Tesisinden elde edilmiştir.

3.1.4.1. Adana Atıksu Arıtma Tesisi Özellikleri

Adana Seyhan Bölgesine ait Atıksular Akdeniz'e, Yüreğir Bölgesine ait atıksular ise önce Seyhan nehrine buradan da Akdeniz'e dökülerek, Akdeniz'in kirlenmesine sebep olmaktaydı. Bu kirliliği önlemek amacıyla inşa edilen Adana Batı Atıksu Arıtma Tesisi (Seyhan Bölgesi) ve Adana Doğu Atıksu Arıtma Tesisi (Yüreğir Bölgesi) Akdenizin kirlenmesini büyük ölçüde engellemiştir (ASKİ, 1999).



Şekil 3. 4 Adana Batı Atıksu Arıtma Tesisinin Görünüşü (ASKİ, 1999)

Adana batı arıtma tesisi konum olarak drenaj kanalı TD8'e boşalan ana atıksu kolektörlerinin çıkışında bulunmaktadır. Burada Seyhan Nehri ve drenaj kanallarına arıtılmadan deşarj edilen evsel ve ön arıtmadan geçirilen endüstriyel atıksular arıtılmaktadır (ASKİ, 1999).

Batı Adana Atıksu Arıtma Tesisi Yapıları

- **Mevcut kanalizasyon sistemine bağlantı, Sifon ve Acil taşkın yapıları:** Batı Adana Atıksuyu Ø3000 ve Ø2000'lik 2 ana kolektörden kanala dökülmekte iken 1 adet Ø3000'lik kolektör için ve 1 adet'de Ø2000'lik kolektör için olmak üzere 2 adet taşkın yapısı inşa edilmiştir. Her iki taşkın yapısı Ø1400'lük 2 adet sifon borusu ile

birbirine bağlıdır. Taşkın yapısı 2'den alınan atıksu Ø2600'lük boru ile giriş pompa istasyonuna bağlanmıştır.

- **Giriş pompa istasyonu:** Pompa istasyonu beş adet yarı-aksiyal pervaneli dalgıç tipi santrifüj pompa vardır. Pompa istasyonunun önüne, ızgara aralığı 50 mm olan 2 otomatik kaba ızgara (genişlik = 2,5m) monte edilmiştir. Her bir ızgara, bir sıyrıcı ünitesiyle donatılmıştır. Bir kayışlı konveyör, sıyrılan atığı, bir kamyonla dökme yerine taşınan bir konteynere aktarmaktadır.

- **Fosseptik Boşaltma İstasyonu:** Giriş pompa istasyonunun giriş bölmesinin her iki yanına, fosseptik tankerlerinden fosseptiğin alınması için 4 terminalden oluşan bir fosseptik boşaltma istasyonu monte edilmiştir.

- **Izgara İstasyonu:** İnce iki ızgarası olan, iki adet, İnce ızgara istasyonlarının her biri, bir kanalla giriş pompa istasyonu ile bağlantılıdır. İnce Izgaraların açıklığı 10 mm'dir. Herbir ızgara, tırmık (rake) ünitesi ile teçhiz edilmiştir.

- **Kum ve Yağ ayırma Tankları, Kum tasnifleyici:** İki adet, kum ve yağ ayırıcı ünitenin her biri iki adet havalandırılmalı kum tutucu ve buna paralel yağ tutucudan oluşmaktadır. Kum tutucular, mekanik iki parçalı, kum kutucu temizleme köprüleri ile teçhiz edilmişlerdir.

- **Ön Çökeltme öncesi akım dağılımı:** Kum tutucuların mansabında bir dağıtım kanalı vardır. Kum tutucuların çıkışı venturi kanalına bağlanmıştır. Ön çökeltme tanklarına dağıtım venturi kanallarından yapılmaktadır. Su seviyesi bu kanallar önündeki 3 adet ultrasonik seviye metre ile ölçülerek debi otomatik olarak hesaplanır.

- **Ön çökeltme Tankları:** Ön çökeltme tankları, her biri ikiz bir tanktan ibaret paralel 6 ünitelerden oluşmaktadır. Herbir tankın uzunluğu 50 m genişliği ise 12 m dir. Her bir ön çökeltme ünitesi, mekanik çift parçalı tank temizleyici köprüyle birlikte teçhiz edilmiştir. Köprünün alt temizleyici küreği tankın alt yüzeyindeki çökelen atıkları tankın çamur toplama kısmına ,üst küreklede köpükleri köpük bölmesine taşır. Ön çökeltme tanklarındaki atık su, ara pompa istasyonuna çamurda ön yoğunlaştırıcılara geçirilir.

- **Ara Pompa İstasyonu:** Pompa istasyonunda beş adet santrifuj tipi dalgıç pompa vardır. Birinci aşamada 4 pompa çalışır, 1 pompa yedek olacak şekilde teçhiz edilmiştir. Pompa istasyonu, bir köprü vinciyle teçhiz edilmiştir. Bir adet dalgıç pompanın pompalama kapasitesi 1.300 l/s'dir.

- **Havalandırma Tankları İçin Dağıtım Yapısı:** Ön arıtmadan geçen atık su, ara pompa istasyonu aracılığıyla terfi ettirilir ve havalandırma tanklarının önündeki iki dağıtım merkezine doğru pompalanır. Atıksu, bir hat üzerinden akar ve aynı hattın geri dönüşü bir ortak dağılım ünitesine girer. Bu yapı içerisinde ,atık su üç aşağı akış bölümünde sabit savaklar vasıtası ile dağılır.

- **Havalandırma Tankları:** Toplam 6 adet halandırma tankı vardır. Bir adet havalandırma tankının hacmi 4.417 m³ 'dür. Havalandırma tankının uzunluğu (iç) 59,55 m, genişliği 13,7 m, su derinliği 5,55 m'dir. Havalandırma tanklarında yüksek etkili membran düfüzörler ile santrafüjlü havalandırma sistemi seçilmiştir.

- **Son çökeltme tankları dağıtım yapısı:** Her havalandırma tank hattının çıkışı ayrı ayrı toplanır ve son çökeltme tanklarının karşılık gelen grubu arasına yerleştirilmiş dağıtım yapılarına aktarılır. Her biri bir arıtma hattı için olmak üzere birinci aşama için 2 dağıtım yapısı kullanılır.Aktif çamur her bir dağıtım yapısından 4 son çökeltme tankına eşit dağılır.

- **Son çökeltme tankları:** Aktif çamur arıtma hatlarının birinci aşaması için 8 son çökeltme tankı kullanılır. Bunların her bir dördü 2 arıtma hattına gruplanır. Her bir tankın çapı 50 m'dir. Her tank çelik konstruksiyon sıyrıcı köprü ile donatılmıştır.Köprü dipten çamuru üstten köpüğü sıyran sıyrıcı bıçaklarla donatılmıştır.

- **Tesis Atıksu Çıkışı:** TD8 boşaltma kanalına her bir arıtma hattı için olmak üzere iki çıkış borusu ve bu borular üzerine otomatik debi ölçerler konulmuştur.Her iki arıtma hattının akışına oranlı karıştırılmış örnekleri bir karıştırma ünitesinden alınarak, pH, iletkenlik ve sıcaklık ölçüm değerleri otomatik olarak alınır.

- **Çamur Dönüş ve Fazla Çamur Pompa İstasyonları:** Birinci aşama her arıtma hattı için bir olmak üzere 2 adet çamur dönüş pompa istasyonu kurulmuştur. Her

pompa istasyonu birinci ve ikinci aşamanın ihtiyacını karşılayan 3 çarklı dalgıç tipi pompa ile (2'si işletmede, 1'i beklemede) donatılmıştır. Pompa istasyonu bir köprü vinçle donatılmıştır. Bir dalgıç pompanın pompalama kapasitesi 4.400 m³/s'dir.

- **Ham çamur pompa istasyonu:** Ham çamur pompa istasyonu ön çökeltme tankları ve çamur arıtma arasında olacak şekilde inşaa edilmiş ve 3 ıslak tip santrifüjlü pompayla donatılmıştır. Biri beklemede diğer 2 pompa işletmede olacaktır. Her bir pompanın kapasitesi 75 m³/sa'dir. Bu pompalar çamuru ön yoğunlaştırıcılara aktarmaktadır.

- **Çamur ön ve son yoğunlaştırıcılar:** Karışmış çamurun yoğunlaşması için toplam 3 adet çamur ön yoğunlaştırıcı tankı inşaa edilmiştir. Her bir tankın çapı 18 m'dir. Birinci kademedeki çürütme işleminden sonra çıkan çürütülmüş çamur için 1 adet çamur son yoğunlaştırıcı tankı inşaa edilmiştir. Tank çapı 18 m'dir.

- **Çürütücü besleme pompa istasyonu:** Çürütücü besleme pompaları çamur yoğunlaştırıcı arasında bir kollektör odasında yerleştirilmiştir. Üçü çalışır ve biri destek olmak üzere 4 eksantrik vida tipi çamur besleme pompası 6 çürütücü için öngörülmektedir. Pompaların kapasitesi 50 m³/sa'dir. Çamur ön yoğunlaştırıcılardan çürütücü besleme pompaları ile çürütücülere pompalanmaktadır.

- **Çürütücü tankları:** Her biri 9.000 m³ hacime sahip 6 çamur çürütücü tankı vardır. Her bir çamur çürütücü'nün çapı 20 m, toplam yüksekliği ise 39,4 m'dir.

- **Çürütücü sirkülasyon pompaları:** Çamuru ısıtmak ve karıştırıcıların ve boruların ısı kayıplarını telafi etmek için karıştırıcıların çamurunu sirkülasyon yaptırması ve bu suretle karıştırıcıların içinde yaklaşık 35 C ° lik sabit bir sıcaklığı sağlamaları için sirkülasyon pompaları öngörülmüştür. Herbir pompanın kapasitesi 110 m³/sa'dir.

- **Isı değiştiriciler ve boylerler:** Çürütücülerin içinde yaklaşık 35 C ° lik sabit bir işleme sıcaklığını elde etmek ve korumak amacıyla her bir çamur hattı için 1 adet olmak üzere toplam 6 adet ısı eşanjörleri temin edilmiştir. Gereken termal enerji biogaz ve yakıt gibi iki farklı enerji kaynağı ile çalışabilen iki adet sıcak su kazanı ile sağlanır. Sıcak su sirkülasyonu 3 adet sıcak su pompası ile sağlanır.

- **Gaz tankları:** Çürütücülerde üretilen biogaz çakıl filtrelerinden geçerek her biri 3.142 m³'lük hacme sahip toplam 2 adet kuru gaz tankına gönderilir. Tankların çapı 20 m'dir.
- **Gaz desülfürizasyon tesisi:** Gazın gaz motorlarında kullanılmadan önce hidrojen sülfürünün arıtılması için tek kule tipi desülfürizasyon tesisi yapılmıştır.
- **Birleştirilmiş güç ve ısı üretimi acil güç Jeneratörleri:** Tesisin dışından sağlanan elektrik enerjisi ile ilgili problemlerde veya genel elektrik kesintisi durumunda, enerji temini 800 Kw'lık 2 dizel jeneratör seti ve 800 kW'lık elektrik enerjisi kapasiteli gaz motoru tarafından sağlanacaktır.
- **Acil çamur depolama:** 6 adet acil durum çamur depolama tankları yapılmıştır. Acil durum çamur depolama 5.300 m³ 'lük bir depolama kapasitesi sunar.
- **Yoğunlaştırılmış çamur pompa istasyonu:** İki çalışan ve biri yedek 3 adet eksantrik helezon tipi pompa temin edilmiştir. Bir pompanın kapasitesi 51,2 m³/sa'dır. Son yoğunlaştırıcılardan çıkan çamur bu pompalarla susuzlaştırıcılara gönderilir.
- **Belt presler ile susuzlaştırma:** Çamur susuzlaştırma için belt filtre presler kullanılmıştır. Ekipman 9 çift sıkıştırma merdaneli olup son teknoloji ürünüdür. Kuşak genişliği 3 m olan 2 + 1 adet filtre pres temin edilmiş ve çamur susuzlaştırma binasındaki gerekli çevresel ekipman ile birlikte monte edilmiştir. Susuzlaştırılmış çamur %27 KK içerikle belt filtre prestan deşarj edilir.
- **Konteyner istasyonu:** Toplam tesis edilen 3 konteyner istasyonu, maksimum 60 m³/istasyon kapasiteli (10 m³ lük konteynerlere sahip), toplam 240 m³ susuzlaştırılmış çamur toplayacak kapasitededir. 24 Adet konteyner (12 işletmede, 12 beklemede) temin edilmiştir. Bir konteyner susuzlaştırılmış çamurla dolduğu zaman, ilgili besleme konveyörü otomatik olarak sonraki konteynere hareket eder.
- **Kireç ekleme:** Kireç ilave tesisi, toz filtresi, kuru besleyici ve kompresör gibi ekipmanlarla teçhiz edilmiş 60 m³ hacminde bir adet kireç depolama silosuna sahiptir. Kireç eklenmesi ile çamur KK 'sı %35 olmaktadır.

- **Süpernatant ve filtre suyu pompa istasyonu:** İki dalgıç pompa, ıslak monteli, (1'i çalışan, 1'i beklemede) kullanılmaktadır.
- **Yangın ve servis suyu pompa istasyonu:** Tesiste sulama ,arıtma birimlerinin temizlenmesi ve yangın durumunda kullanılmak üzere gerekli olan su arıtılmış atıksudan temin edilmektedir (ASKİ, 1999).

3.1.4.2.Kullanılan Sızıntı Suyunun Özellikleri

Kullanılan arıtma çamurunun karakterizasyonu Çizelge 3.4'de verilmektedir.

Çizelge 3. 4 Batı Adana Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Karakteristiği

KARAKTERİSTİK	KONSANTRASYON
Kuru madde (%)	90.8
Organik madde (Kg t ⁻¹)	538
C/N oram (% kuru madde)	8.9
Toplam N (Kg t ⁻¹)	32
Cd(mgkg ⁻¹)	2.2
Co(mgkg ⁻¹)	2.6
Cu(mgkg ⁻¹)	203.4
Fe(mgkg ⁻¹)	8.6
Mn(mg kg ⁻¹)	216.8
Ni(mgkg ⁻¹)	4.9
P (mgkg ⁻¹)	14.1
Zn (mgkg ⁻¹)	401.9

3.2. Metod

3.2.1.Deney Düzeneğinin Kurulması

03.03.2005 tarihi itibariyle deneysel çalışmalara başlanmıştır. Çalışmada çapları 25 cm olan saksılar kullanılmıştır. Deney düzeneğinin kuruluşunda, yetiştirme ortamı olarak arıtma çamuru, sulama suyu olarak çeşme suyu ve sızıntı suyu kullanılmıştır. İki konu 4 tekkerrürden oluşmak üzere düzenek oluşturulmuştur.

Saksıların tamamında Adana batı atıksu arıtma tesisinden getirilen arıtma çamuru 1\1 oranında çakıl ile karıştırılarak kullanılmıştır. Saksıların her birine bir tane olmak üzere *Juncus acutus* bitkisi ekilmiştir. (Şekil 3.5). Sulamaya başlanmadan önce bitkilerin boy ve çapları ölçülmüştür.



Şekil 3. 5 *Juncus acutus* Bitkisinin Saksılara Ekildikten Sonraki Görüntüsü

Bitkilerin kendini toparlaması ve yeni ortamına adapte olması amacıyla 2 gün boyunca günde 200 mL 1. sınıf sulama suyu (can suyu) verilmiştir (Türkman, 1991). İkinci günden sonra ilk set (A grubu- 4 tekkerrür) çalışma grubu saksıları çeşme suyu ile sulanmış ikinci set (B grubu- 4 tekkerrür) ise sızıntı suyu ile düzenli olarak güneşli sulanmıştır. Arıtma çamurunun su tutma kapasitesinin fazla olmasından dolayı bitkilerin su ihtiyaçları zamanla farklılık göstermiştir. Buna göre 45 günlük çalışma boyunca değişen sulama miktarları aşağıdaki çizelgede verilmektedir. Çalışmalar sırasında düzenli olarak sıcaklık ve nem ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.6).

Çizelge 3. 5 Bitkilerin sulama miktarları

Ortam	Günler	Sulama Oranları
	2 gün	Can suyu verilmesi (200 ml)
Lab. Koşulları	15 gün (günaşırı)	20 ml (<i>A</i> → <i>çeşme suyu</i> , <i>B</i> → <i>sızıntı suyu</i>)
	7 gün	sulama yapılmamış
Açık Hava	14 gün (günaşırı)	100 ml (<i>A</i> → <i>çeşme suyu</i> , <i>B</i> → <i>sızıntı suyu</i>)
	7 gün (günaşırı)	200 ml (<i>A</i> → <i>çeşme suyu</i> , <i>B</i> → <i>sızıntı suyu</i>)

İlk 15 günlük sulama boyunca verilen suyun bitkilerin su tutma kapasitesinden daha fazla geldiği ve suyun saksılarda biriktiği görülmüştür. Bu durum karşısında sulamaya 1 hafta ara verilmiştir.

Yapılan gözlemlerde atıksu arıtma tesisinden alınan arıtma çamurlarında yetişen bitkilerin çok sayıda çiçek açması sonrasında ise gövde ve yapraklarının sarardığı ve bazı yapraklarını döktükleri görülmüştür.

**Şekil 3. 6** Sıcaklık ve Nem Ölçüm Cihazı

Laboratuvar ortamında, yetiştirilmeye çalışılan bitkilerin yeterli güneş alamaması nedeniyle açık havada yetiştirilmesinin daha uygun olduğu düşünülerek saksılar açık alana çıkartılmıştır (Şekil 3.7). Ancak bu sefer de verilen suyun miktarının sıcaklığın çok fazla olması nedeniyle buharlaşmayla kaybolduğu ve bitkilerin ihtiyaçları kadar suyu alamadıkları gözlenmiştir. Bu yüzden 20 ml olan

sulama miktarı 100 ml'ye çıkarılmıştır. 100 ml lik miktarlarda yapılan sulama 2 hafta boyunca sürdürülmüştür.

Açık havada buharlaşma artması nedeniyle verilen sulama suyu miktarı tekrar artırılarak 1 hafta boyunca gün aşırı 200 mL sulama yapılmıştır.



Şekil 3. 7 Bitkilerin Açık Havaya Çıkarıldıktan Sonraki Görüntüsü

45 günlük sulama süresi sonrasında bitkilerin yaşam periyotlarının sona ermesi sonucu sulamaya son verilmiştir. Çalışmanın sonunda bitkilerin boy ve en ölçümü yapılmıştır.

3.2.2. Analizlere Hazırlama ve Analizlerin Yapılması

Saksıdaki bitkiler sökülerek kök, gövde ve yapraklarına ayrılmıştır. Daha sonra hassas terazide bu örneklerin yaş ağırlıkları alınmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3. 8 Parçalara Ayrılan Bitkilerin Tartım Sırasındaki Görüntüleri

Bitkinin kökünün, gövdesinin ve yaprağının tümü topraktan ise bir miktar örnek alınarak zarflara yerleştirilmiştir. Daha sonra bu zarflar kurutulmak üzere 50 °C'ye ayarlanmış etüve 5 gün boyunca bekletilmiştir. Beş gün sonunda ağırlığa ulaşmış olan bitkilerin kuru ağırlıkları ölçülmüştür (Şekil 3.9). Tartılan bitkiler öğütülmüş ve sonrasında elekten geçirilerek eş boyutta olmaları sağlanmıştır. Bu öğütülen numuneler saksı numaralarına göre isimlendirilerek özel nem geçirmez poşetlere konulmuştur.



Şekil 3. 9 Kurutulmuş Numune

Hazırlanmış bitki kısınları ve toprak numunelerinin bünyelerine bulundurduğu ağırmetal miktarlarına Alevli Atomik Spektrometre'de bakılmıştır.

En son işlem olarak hazırlanmış bitki ve toprak numuneleri içerisindeki ağır metal muhtevasına SASA laboratuvarında analiz edilmiştir. Numunelerdeki ağır metal içerikleri atomik absorpsiyon spektrometresi ile ölçülmüştür. Hazırlanmış olarak gelen numuneler, çökelek ihtiva ettiğinden dolayı laboratuvarda süzölmüş ve 5 mL alınıp 100 mL hacme seyreltilerek analizler yapılmıştır. Cihazın (VARIAN 10 BQ Atomik Adrospiyon Spektrometresi) ağır metalleri ölçtüğü dalga boyu aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Çizelge 3. 6 Ağır Metal Ölçümlerinin Yapıldığı Dalga Boyları

Elememt	Dalga Boyu mm	Alev Türü	Standart ppm
Kobalt	240,7	Hava\asetilen	3-5-7
Demir	248,3	Hava\asetilen	3-5-7
Bakır	324,8	Hava\asetilen	3-5-7
Nikel	232,0	Hava\asetilen	3-5-7

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada iki yönlü bir değerlendirme yapılmıştır. Bunlardan biri fenolojik gözlemler diğeri ise bitkilerin ağır metal giderimlerinin tesbitidir.

4.1. Fenolojik Gözlemler

Çalışmada bitkilerin büyüme periyotlarını ve arıtma çamuru içerisindeki yoğun kirletici parametreleri tolere edip edemediğini değerlendirmek amacıyla fenolojik gözlemler yapılmıştır.

Bitkilerin büyüme periyotlarının incelenmesi amacıyla bitkiler dikilmeden önce ve çalışma tamamlandığında boy ve en ölçümleri yapılmıştır.

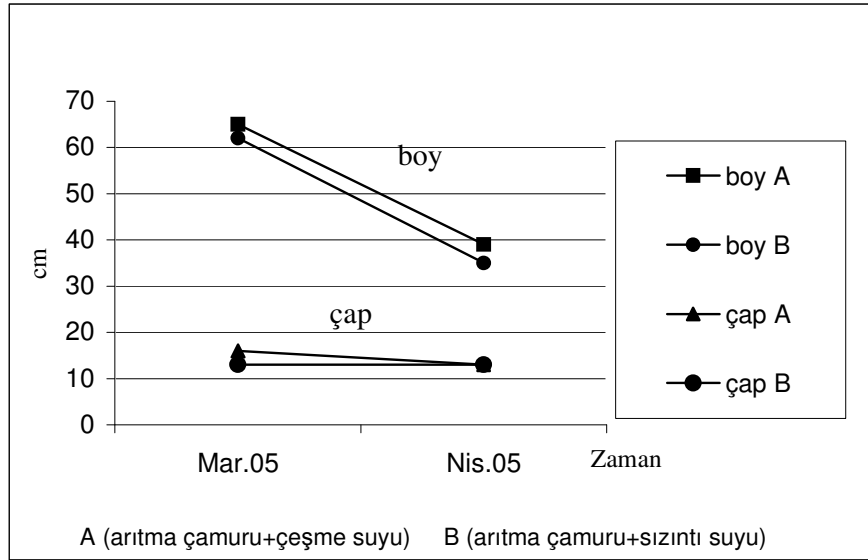
Yetiştirme ortamı olarak arıtma çamuru, sulama suyu olarakta çeşme suyu kullanılan konuda (A grubu) bitkilerin 1,5 aylık gözlem sonucunda boylarında genel anlamda bir düşüş gözlenmiştir. Aynı şekilde yetiştirme ortamı olarak arıtma çamuru sulama suyu olarakda sızıntı suyu kullanılan (B grubu) konudaki bitkilerinde boylarında azalma gözlenmiştir.

Bitkilerin yatay duruma geçerek bir güçsüzleşme gözlenmesinin bir diğer göstergeside çaplarında gerçekleşen değişimdir. Grafik 4.1’de A ve B grubu bitkilerin boy ve çaplarındaki değişimi grafiklenmiştir.

Bunun sebebi ilk ekim yapıldığında dik durumdaki bitkilerin zamanla güçlerini kaybedip ksilemlerdeki daralmasıdır. Bitkilerin boy ve çaplarındaki bu genel değişimin nedenleri bitkilerin tam anlamıyla canlılıklarını muhafaza edememeleri olarak düşünülmektedir. Bu durumun başlıca nedeni ise, bitkinin suyu sevmesine rağmen arıtma çamurunun belt filtreden çıkmadan önceki hali kullanıldığı için arıtma çamurunun içerdiği fazla su muhtevası bitkinin büyümesini kısıtlayıcı etken olduğu düşünülmektedir. Bitkilerin su tüketimi değerinden fazla olan bu su zamanla bitkilerin köklerinde çürümeye neden olmuş bu durum ise bitkilerin ayakta kalabilme gücünü zayıflatmıştır. Bitki alabileceği maksimum su miktarını bünyesine aldığı için

sulama suyu olarak kullanılan sızıntı suyu veya çeşme suyunun bitkinin canlılığının azalmasında kirliliğin çokta etken olmadığı gözlenmiştir.

Doygun su koşullarının yanında bitkilerin canlılıklarını zamanla azalmasındaki bir diğer unsur olarak ta hem arıtma çamurunun yüksek kirlilik miktarları hem de sulama suyu olarak verilen sızıntı suyunun yüksek kirlilik içeriği yüksek organik madde yükü oluşturmuştur. Bu nedenle bitkilerin yaşama güçlerinin kısıtlandığı düşünülebilir. Bitkiler yüksek organik kirlilik yükü karşısında stresle girmişler ve ekimin hemen ardından çok miktarda çiçek açıp daha sonra ani bir şekilde yapraklarından başlayarak bir miktar sararma şeklinde kendisini göstermiştir.



Şekil 4. 1 Bitkilerin Zamana Bağlı Boy ve Çap Ölçüm Sonuçları

Açık alandan söklülerek saksılara dikilen ve tamamı dikimde canlı olan bitkilerin çalışma sonundaki canlılık durumları, yetiştirme ortamı olarak arıtma çamuru kullanılan ve çeşme suyu ile sulanan “A grubu” bitkilerinin %90 gövdeleri yeşil kalmayı başarmış fakat yapraklarının kuruduğu gözlenmiştir. Yaprakları çok sayıda, fakat kurudur. Sulama suyu olarak sızıntı suyu kullanılan “B grubu” bitkilerinin gövdelerinde %35 oranında kuruma gözlenmiştir. Bunun nedeni, arıtma çamurunun ve sulama suyu olarak sızıntı suyunun birlikte kullanılmasından dolayı artan organik madde içeriğinin bitkinin alabileceğinden daha yoğun olduğu

düşünülmektedir. Bu grup bitkilerin de yaprakları çok sayıda fakat kurudur. Çalışma sonucunda bitkiler kısmen canlı kalmayı başarmıştır.

Bitkilerin gövdeleri analiz için sökülüş, tartılmış ve yaş ağırlıkları alınmıştır. Daha sonra bitkiler kurutulmak üzere 50 °C'ye ayarlanmış etüve 5 gün boyunca bekletilmek suretiyle nemleri alınmış ve kuru ağırlıklarını ölçmek için tekrar tartılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmektedir.

Çizelge 4. 1 Tartım Sonuçları

	Gövde	
	Yaş Ağırlık (gr)	Kuru Ağırlık (gr)
A (Arıtma çamuru+çeşme suyu)	26,68	5,05
B (Arıtma çamuru+sızıntı suyu)	21,73	4,58

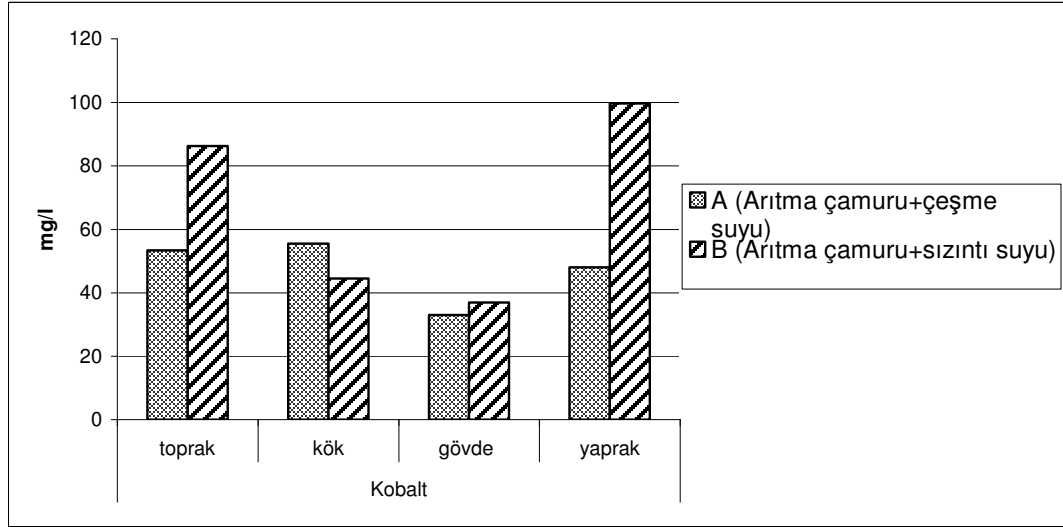
4.2. Ağır Metal Giderimleri

Çalışma tamamlandıktan sonra toprak, kök, gövde ve yaprak olarak ayrılan ve etüvde kurutulduktan sonra öğütülen bitki ve toprak numuneleri blander yardımıyla öğütülmüş ve analize hazır hale getirilmiştir. Elde edilen numunelerin ağır metal içeriklerine AAS ile bakılmıştır (Standard Methods, 1995). Bakılan 4 ağır metalin analiz sonuçları grafikler ile aşağıda verilmektedir.

4.2.1. *Juncus acutus* Bitkisinin Kobalt Giderimi

Bitkilerin içerisindeki kobalt miktarlarını gösteren Şekil 4.2 incelendiğinde; toprak örnekleri için, yetiştirme ortamı olarak arıtma çamuru sulama suyu olarak ta sızıntı suyu kullanılan B grubu deney setindeki, yetiştirme ortamı olarak arıtma çamuru sulama suyu olarak ta çeşme suyu kullanılan A grubu deney setine göre daha fazla bir kobalt birikimi ölçülmüştür. B grubu deney setindeki toprakta A grubuna göre daha fazla ağır metal birikmesinin sebebi, sulama suyu olarak sızıntı suyunun kullanılması olarak düşünülebilir. Arıtma çamurunun içerisinde mevcut bulunan kobalt miktarına ilaveten sızıntı suyu içerisinde de mevcut olduğu bilinen kobalt miktarı da eklenince B grubu deney seti içerisinde kobalt miktarının fazla olması beklenen bir sonuç olarak görülmektedir. Araştırılan konu itibari ile *Juncus acutus*

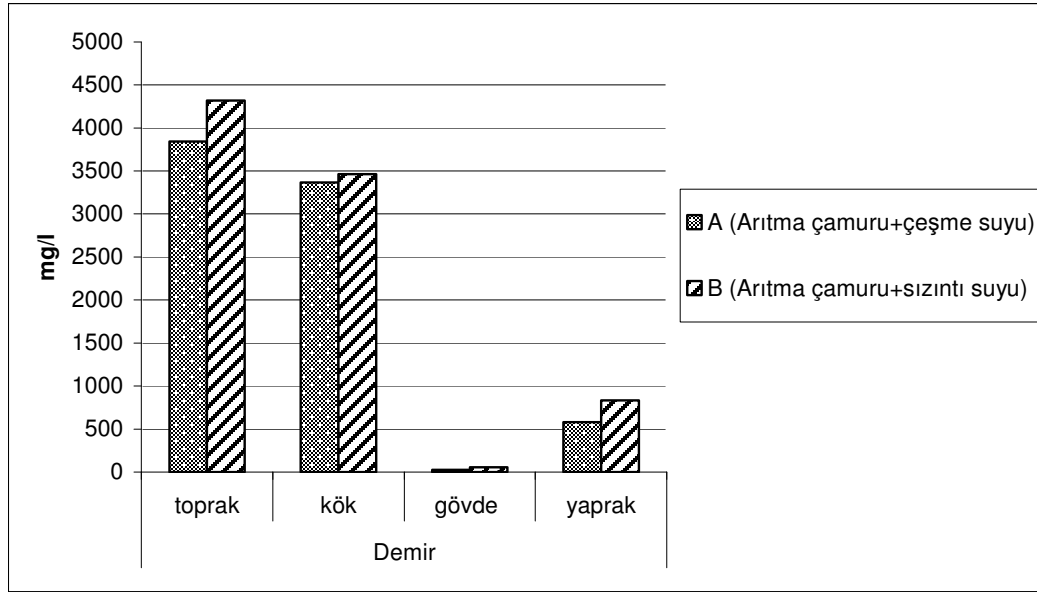
bitkisinin ağır metali bünyesine alıp almadığı ise kök gövde ve yapraklardaki ağır metalin miktarı ile gösterilebilir. Buna göre A grubu deney setindeki bitkilerde kökte bir birikim olduğu B grubu bitkilerde ise yaprakta daha fazla bir birikim olduğu belirlenmiştir. B grubu deney setinde mevcut kobalt miktarının fazla olmasından dolayı yapraklara kadar bir kobalt alımı sözkonusudur. Genel anlamda gövdede daha az birikimin olmasının sebebi olarak *Juncus acutus* bitkisinin gövdesinin ince ve tek iken çok miktara yaprağa sahip olması yaprakların gövde ile birlikte direk köke bağlı olarak büyüme göstermesi olduğu düşünülmektedir. Benzer bir çalışmada Bakkaus ve arkadaşları domates bitkisinde kobaltın en fazla köklerde sonra gövdede biriktiğini belirlemişlerdir (Bekkaus ve ark, 2005). Bir diğer çalışmada ise maden atıksuları ile sulanan alanlarda toprakta oluşan cobalt kirliliğinin giderimi giderimi bir Güney Afrika bitkisi olan *Berkheya coddii* ile denenmiş ve bitkinin CaCO_3 eklenen konularda cobalt gideriminin arttığı görülmüştür (Robinson ve ark 1997). Şekil 4.2.'de *Juncus acutus* bitkisinin toprak altı ve toprak üstü aksamlarındaki kobalt miktarı gösterilmiştir.



Şekil 4. 2 *Juncus acutus* Bitkisinin Kobalt Giderimi

4.2.2. *Juncus acutus* Bitkisinin Demir Giderimi

Ağır metallerden biri olarak bilinen demir genel anlamda bitkiler için oldukça yararlı bir maddedir. Temel olarak demir bitkilerde klorofilin oluşumu için önemlidir. Demir noksanlığında genç yapraklarda renk açık sarı olur. Yapraklar koyu renkli olduğu halde damarlar açık renk kalır (Anonymous 1985). Çalışmada her iki grup içinde demirin bitkinin üst aksamlarına kadar ulaşmadığı tesbit edilmiştir. Toprakta demir miktarının yoğun olarak kalmasında bunu göstermektedir. Demir kökler tarafından fazlasıyla alınmış fakat bitki kökleri ile almış olduğu bu demiri gövde ve yapraklara tam anlamıyla iletememiştir. Yapraklarda gövdeye göre fazla bir demir birikimi olmuştur. Şekil 4. 3’de deneme dönemi sonunda bitkinin bünyesinde biriktirdiği bitkinin miktarı verilmiştir. Amerika Bileşik Devletlerinde yapılan bir çalışmada benzer şekilde hyperakümülatör olan bitkilerin özellikle demir için transgenik biçimde değiştirilmesi sonucu kökleri ile daha da fazla demir alımı yapması sağlanmıştır (Rufus, 1997).

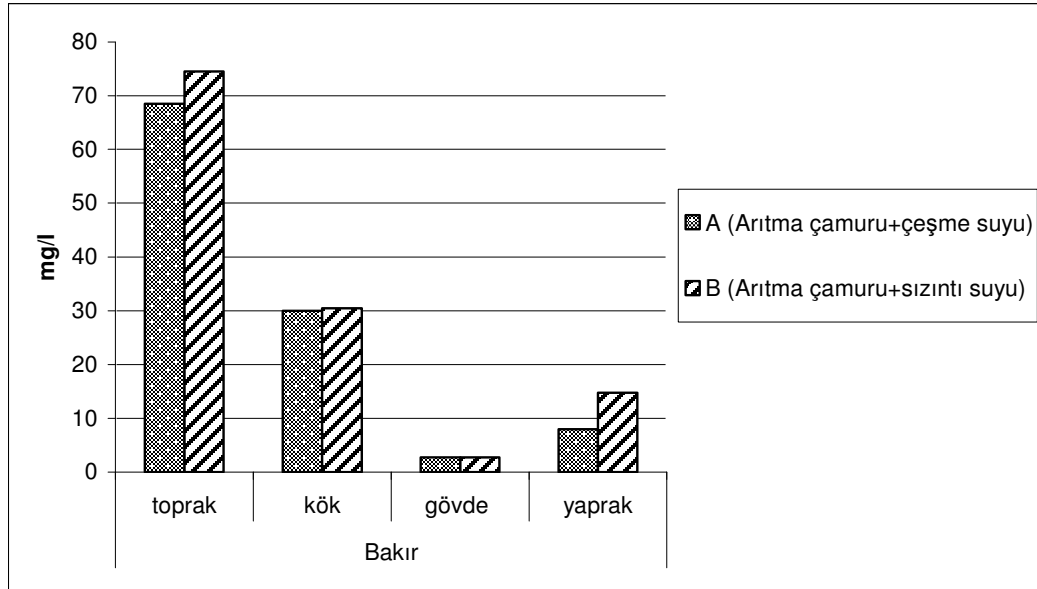


Şekil 4. 3 *Juncus* Bitkisinin Demir Giderimi

4.2.3.Juncus acutus Bitkisinin Bakır Giderimi

Bakır, bitkiler için gerekli olan iz elementlerdendir. Genel anlamda bakır bitkide klorofil teşekkülü için gereklidir. Noksanlığında büyüme yavaşlar. Bakırın fazlası ise zehir etkisi yapar (Anonymous 1985). Çalışma sonucunda bakırın toprakta çok miktarda bulunduğu görülmüştür. Demirin alımıyla paralel sonuçlar bakır içinde gözlenmiştir. Bitki kökleri ile bakırı demirden daha az bir orandada olsa almış fakat bunuda yeterince üst aksamlarına iletememiştir. B grubu deney setinde A grubu deney setine göre daha fazla bir bakır miktarı ölçülmüştür. Ortamda arıtma çamurunun yanında sızıntı suyunun olması bunun nedeni olarak gösterilebilir. Kobalt ve demirde gözlenen sonuçlara paralel olarak bakırdada birikim yapraklarda gövdeye göre daha fazladır. Bitkinin yüksek oranda üst aksamındaki canlılık durumunun azalması bitkinin köklerden üst aksamına maddeleri iletememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Kumar ve ark, 1995).

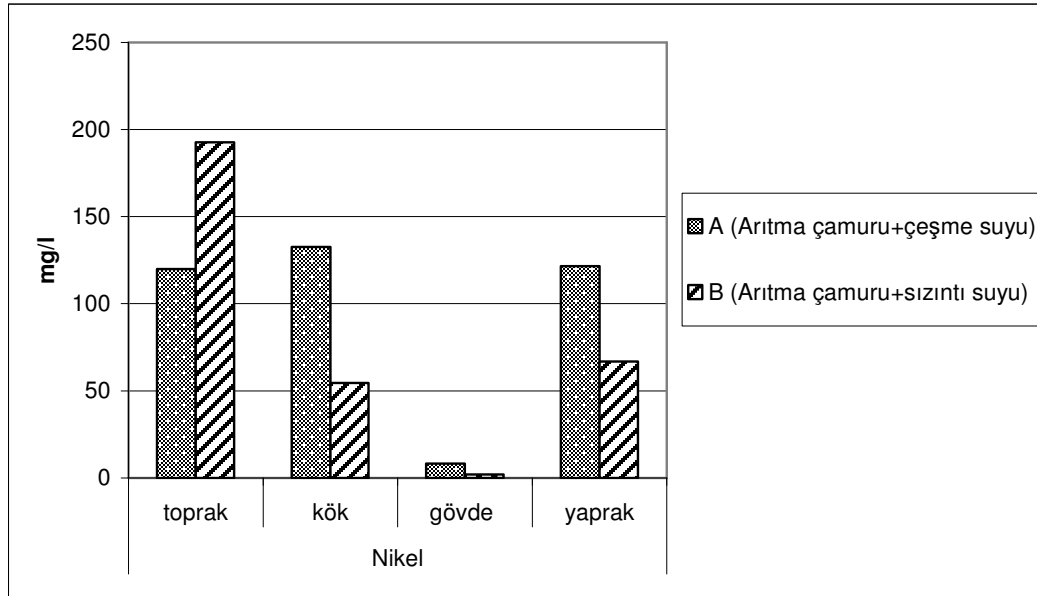
Şekil 4. 4’de bitkide deneme süresince oluşan bakır alımı görülmektedir.



Şekil 4. 4 Juncus Bitkisinin Bakır Giderimi

4.2.4. *Juncus acutus* Bitkisinin Nikel Giderimi

Şekil 4.5’de görüldüğü gibi nikel B grubu deney setinde toprakta fazla miktarda kalmış bitki bu miktarın çok az bir kısmını kök ve yapraklara iletebilmiştir. Bu durum yukarıda açıklanan demir ve bakır birikimleri ile paralel sonuçlar göstermektedir. Fakat A grubu deney setinde nisbeten daha farklı bir durum gözlenmiştir. A grubundaki saksılar içerisinde topraktaki nikel yapraklara kadar daha başarılı bir performansla iletilmiştir. Ağır metallerin bitkinin odunsu yapısına bağlanmaları durumunda yapraklara kadar iletilmesi yapılan diğer çalışmalarda da görülmektedir (Stomp ve ark., 1994).



Şekil 4. 5 *Juncus acutus* Bitkisinin Nikel Giderimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemiz şartları göz önünde bulundurulduğunda çevre yatırımlarına ayrılan payların çok düşük olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda daha ucuz teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanmaya sokulması esastır. Yeşil ıslah olarak bilinen Phytoremediation teknolojisi gelişmekte olan bir teknoloji olmakla birlikte düşük kuruluş ve işletme maliyet gereksinimi açısından Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için oldukça iyi bir yöntem olduğu düşünülmektedir. Bitkilerin toprakta bulunan mikroorganizma, mineral, azot ve fosfor gibi inorganik maddeleri bünyesine almasının yanında çevreye uzun vadede olumsuz etkileri bilinen ağır metalleri de bünyesine alarak topraktan giderme prosesine katkıda bulunduğu bilinmektedir (Newman ve ark, 1997). Bu durum ağır metallerin yüzey ve yer altı sularına karışma ve toplum sağlığını olumsuz yönde etkileme riskini azaltmaktadır.

Ülkemiz genelinde olduğu gibi Adana yöresinde katı atık deponi alanlarının çoğu vahşi depolama şeklindedir. Bu vahşi depolama sahalarına gelişi güzel bırakılan katı atıkların içerisindeki maddelerin bir takım biyolojik ve kimyasal reaksiyonlara girerek ayrışması ve ayrışan bu maddelerin yağmur sularında etkisi ile akışkan bir forma geçmesi sonucunda oluşan sızıntı suları yüzey ve yer altı suları için kirletici etki göstermektedir. Özellikle sızıntı sularının içerdiği yüksek konsantrasyondaki ağır metaller yüzey ve yer altı sularına karışarak besin zincirine dahil olmakta burdan insana kadar ulaşan bir kirletici unsur olmaktadır. Dolayısıyla bu kirletici unsurun azaltılması için kabul edilir bir çok teknik bulunmaktadır. Bunlar çöp alanlarına arıtma tesisi kurulması yada yakma yöntemiyle ilgili bertaraf tesisinin kurulması örnek olarak gösterilebilir. Fakat bu yöntemlerin birincisi pahalı bir yatırım olmasının yanında işletme maliyeti ve tekniği açısından belediyelerimizin ekonomik ve teknik donanımlarının yetersiz olduğu düşünülürse kısa sürede atıl tesisler durumuna gelmesi söz konusu olabilir. İkinci yöntem ise ülkemizdeki atıkların çoğunun organik olması (%65) nedeniyle efektif bir yaklaşım olduğu düşünülmemektedir. Dolayısıyla ülkemiz gerçeğine uygun ekonomik ve teknik müdahalesi en az olan düzenli depolama alanlarının yeşil ıslah tekniği ile

desteklenmesi ile oluşacak alanların yaygınlaştırılması daha az maliyetli bir yöntem olarak düşünülebilir.

Özellikle büyük yerleşim bölgeleri için büyük bir problem olarak bilinen atıksuların arıtılması belediyeler tarafından kurulan büyük arıtma tesisleri ile konvansiyonel sistemlerle çözülmeye çalışılmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde atıksu içerisindeki kirlilik yükü bir takım kimyasal ve biyolojik prosesler yardımıyla giderilmektedir. Bunun sonucu olarak büyük miktarlarda arıtma çamurlarının çıkması kaçınılmaz bir somuçtur. Arıtma çamurlarının brtarafı için uygulanan yöntemler bu çamurların susuzlaştırılarak hacminin küçültülmesi ve sonra deponi alanlarına gönderilmesi ile yapılmaktadır. Fakat bu bu durum yeni bir sorunu göndeme getirmektedir. Yeşil islah yöntemi ile bu çamurun için ayrıca bir deponi alanı kullanılmasına gerek kalmadan mevcut deponi alanlarında kullanılarak daha ekonomik olmasının yanında arazi kullanımında daha rantabil bir hale getirilebileceği düşünülmektedir.

Çalışmada esas olan, arıtma çamuru ve çöp sızıntı sularının ortak bir kullanımla insan sağlığına olabilecek olumsuz etkilerini en aza indirmektir. İki materyaldede bulunan ağır metal muhtevası bitkiler tarafından alınarak hem arıtma çamurunun hemde sızıntı sularının aynı alanda tutulması ve ağır metallerin bitki bünyesinde tutularak yüzey ve yer altı sularına karışması önlenmiş olacaktır.

Çalışmadan alınan sonuçlar doğrultusunda kullanılan *Juncus acutus* bitkisinin ağır metalleri özellikle kök bölgesinde alabildiği görülmüştür. Özellikle kobalt için yapılan analizler neticesinde bitkinin bu ağır metali yapraklara kadar taşıyarak oldukça yüksek oranda bünyesine absorbe ettiği görülmektedir. Demir içinse kök bölgesinde birikim daha fazla olmakla birlikte sonuçta bitki bünyesinde tutmuştur. Nikel ise kök ve yapraklarda birikimi oldukça yüksektir. Bakır için toprakta kalma oranları diğer üç ağır metale göre daha fazladır.

Çalışma boyuca boyunca havaların mevsim normallerin üzerinde sıcak olması nedeniyle buharlaşmanın fazla olması kullanılan *Juncus acutus* bitkisinin gelişmesine engel teşkil etmiştir. Çalışmanın devamı için önerilen peryot bu yüzden kısa tutulmuştur. Bu kısa sürede bile bitkinin ağır metalleri bünyesine alabilmesi mümkün

olmuştur. Fakat bitkiler fazla sıcaklığa dayanamayıp özellikle yapraklarda kurma eğilimi göstermişlerdir.

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;

- Mevsim faktörleri göz önünde bulundurularak (gün ışığı ve sıcaklık) bitkilere buna uygun yetiştirilme ortamlarının sağlanması
- Ağır metallerin bitki bünyesine aldığı net miktarları bulabilmek için bir kontrol grubu oluşturularak karşılaştırma yapılması
- Yeşil islah tekniğinin kullanımında karışık bitki kültürünün daha verimli olabileceği düşüncesi ile çalışmada kullanılan materyallerin başka bitkilerle de denenerek koşulları tolere edebilecek başka bitkilerin seçiminin araştırılması
- İstatistiki sonuçlara varılması ve böylece daha somut verilerin alınabilmesi için tekerrür sayısının artırılması

KAYNAKLAR

- AMBERGER A. 1988. Verringerung der Phosphatsorption durch Zusatz organischer Verbindungen zu Böden in Abhängigkeit vom pH Wert. Z Pflanzenernaehr Bodenk 151:41-46.
- ANONYMOUS 1985, Bitki Besin Elementi Eksiklikleri, Tagem.Yayınları. Ankara
- ARCEIVALA SJ 1981, Wastewater Treatment and Disposal, PollutionEngineering and Technology/15, Marcel Dekker, Inc. NY
- ARCEIVALA, 2002. Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Tata McGraw – Hill Publishing company limited.
- ASKİ, 1999 Adana Batı Ve Doğu Arıtma Tesisi Teknik Şartnamesi, Adana Belediyesi, Adana
- AZARABADİ VE MARSCHNER 1979. Iron stress response of efficient and inefficient plant species. Proc. 8th Intern. Colloqu. Plant Analysis and Fertilizer Problems, Auckland, New Zealand, pp. 319-327
- BAKKAUS, E., Gouget, B Gallien, J.-P. Khodja, H. Carrot, F. Mo J.L. Collins, R, 2005 Concentration and distribution of cobalt in higher plants: The use of micro-PIXE spectroscopy, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 231, Issues 1-4, April 2005, Pages 350-356
- BILYK, A.; DZLUBEK, A. (1992):"Management of Effluents And Sludges From Tanning Processes". Proceedings of The Ninth Turkish German Polish Environmental Engineering Symposium, 5-7 October, İstanbul, Page 483-493.
- BROOKS 1998, Geobotany and hyperaccumulators. In RR Brooks, ed, Plants That Hyperaccumulate Heavy Metals. CAB International, Wallingford, UK, pp 55-94.
- BROWN VE ARK., 1994 Brown, SL, RL Chaney, JS Angle, AJM Baker, Phytoremediation potential 6 of *Thlaspi caerulescens* and Bladder Campion

- for zinc- and cadmium-contaminated soil, Journal of Environmental Quality 23: 1151-1157.
- CAMPBELL, C. (1999). "The Nature of Wetland Processes" Constructed Wetlands in the Sustainable Landscape, Ed. Campbell, C. S. John Wiley and Sons, Inc. New York, 17-40
- ÇEVRE ARAŞTIRMA MERKEZİ VE UCA. 1998, Ç.Ü. Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi Koordinatörlüğünde Ekip Çalışması
- EPA (Environmental Protection Agency), "Introduction to Phytoremediation", EPA/600/r-99/107, Cincinnati, Ohio, U.S.A, p 72, 2000. <http://www.clu-in.org>
- EPA, (US Environmental Protection Agency) 2000, introduction to phytoremediation EPA\600r99\107
- EPA, 2000 (Environmental Protection Agency), "Introduction to Phytoremediation", EPA/600/r-99/107, Cincinnati, Ohio, U.S.A, p 72, <http://www.clu-in.org>
- FİLİBELİ, 1996 "Arıtma Çamurlarının İşlenmesi" Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:255, İzmir,
- FİLİBELİ, 2002 "Anaerobik Arıtma", " Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:280, İzmir, 2000. (Filibeli, A.; Büyükkamacı, N.; Ayol, A.
- GABOR, T. S., NORTH, A. K., ROSS, L. C. M., MURKIN, H. R., ANDERSON, J. S. VE TURNER, M. A. (2001). "Beyond The Pipe: The Importance of Wetlands and Upland Conservation Practices in Watershed Management : Function and Values for Water Quality and Quantity" Ducks Unlimited Canada. 52 p
- GARBİSU C., ALKORTA, I. J. , 1997 "Bioremediation: Principles and future". Clean Technol., Environ Toxicol., Occup. Med. 6, 351-366
- GRUBER S.. 1981 The Distribution, Ecology, and Breeding Biology of Jamaican Amazon Parrots. In: Pasquier, R.F. (ed.): Conservation of New World Parrots. Washington, DC: Smithsonian Institution Press for the International Council for Bird Preservation, Techn. Publ. 1: 103-131.

- HENRY, 2000 , An Overview of The Phytoremediation of Lead and Mercury". U.S. EPA, Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office. Report May-Aug., 51 p.
- HOSSNER LOEPPERT, R.H., NEWTON, R. J., SZANİSZLO, P. J. ve MOSES ATTREP, Jr. 1998, "Literature Review : Phytoaccumulation of Chromium, Uranium, and Plutonium in Plant Systems" Amarillo National Resource Center for Plutonium. Report: 3, USA, 51 p.
- JACOBSON L. ve OERTLI J. J., 1956 The Relation between Iron and Chlorophyll Contents in Chlorotic Sunflower Leaves, Plant Physiol, v.31(3); May 1956
- JHEE, DANDRIDGE, K. L., CHRISTY, A. M., JR. VE POLLARD, J. 1999 " Selective Herbivory on Low-Zinc Phenotypes of the Hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* (Brassicaceae)" Chemoecology, 9, 93-95.
- KARACA,A, HAKTANIR, K, 2000: Arıtma Çamurlarının Toprakta Alınabilir Kurşun ve Dehidrogenaz Enzim Aktivitesi Üzerine Etkileri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 6 (3), 13-19
- KHAN, M.A., AHMAD, S.I., "Performance Evaluation of Pilot Waste Stabilization Ponds in Subtropical Region", Wat.Sci.Tech. Vol.20, No.7-8, pp. 1717-1728, 1992
- KOVANCI, I., ÇOLAKOĞLU, H., HAKERLER, H., ve AGME, Y. 1978. Muğla Bölgesi Tarım Topraklarının Potasyum Kapsamları ve Bazı Toprak Özellikleri ile İlişkileri. Turkish Journal of Plant Science (Turkey). 5 (1): 103-115.
- KUMAR, P.B.A.N., DUSHENKOV, V., MOTTO, H., RASKIN, L., 1995. Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. Environ. Sci. Technol. 29, 1232±1238.
- MARA, D., " Sewage Treatment in Hot Climates" John Willey and Sons, 1978
- MARSCHNER 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. pp. 514-515., Academic Press London.
- MENGEL ve MAKŞİOVAS 1981, Effect of water management and nitrogen fertilization on the ratoon crop of rice. Agron. J. 73:1008-1010
- METCALF & EDDY, 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill international Editions.

- NEWMAN, L.A., Strand, S.E., Choe, N., Du•y, J., Ekuan, G., 1997. Uptake and biotransformation of trichloroethylene by hybrid poplars. Environ. Sci. Technol. 31, 1062±1067.
- OW, 1996 , Heavy Metal Tolerance Genes: Prospective Tools For Bioremediation. Resources, Conservation Recycling 18, 135-149
- ÖKSÜZ, E. 2001 Adana'da Sofulu Çöplüğünün Doğaya Kazandırılması Yöntemlerinin Belirlenmesi, Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış
- ÖZGÜVEN, A, 2003 Evsel atıksu arıtma tesisi çıkış sularının ultraviole ile dezenfeksiyonu, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi
- PİVETZ, 2001, “ Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at hazardous Waste Sites” United States Environmental Protection Agency EPA, 540/S-01/500, 36 p.
- ROBİNSON, BH, Brooks, RR Howes, AW Kirkman JH, 1997 The potential of the high-biomass nickel hyperaccumulator *Berkheya coddii* for phytoremediation and phytomining. *Journal of Geochemical Exploration* 60 (1997a), pp. 115–126
- RUFUS L Chaney, Minnie Malik, Yin M Li, Sally L Brown, Eric P Brewer, J Scott Angle and Alan JM Baker 1997, Phytoremediation of soil metals. Current Opinion in Biotechnology, Volume 8, Issue 3, June 1997, Pages 279-284
- RULKENS VE ARK., 1998 , Tichy, R., Grotenhuis, J.T.C., 1998. Remediation of Polluted Soil and Sediment: Perspectives and Failures. Water Sci. Technol. 37, 27-35.
- SADOWSKY, 1999, “Phytoremediation: Past Promises and Future Practises” Microbial Biosystems: New Frontiers, Proceedings of the 8th International Symposium on Microbial Ecology, Bell CR, Brylinsky M, Johnson-Green P (ed), Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, Canada
- SCHERER G. and MORRE, D. J., 1978. Plant Physical, 63, 933
- SÖGÜT, 1996 Su Bitkileri ve Peyzaj Mimarlığında Kullanımı

- SPINOSA L. and Vesilind P.A., 2001. Sludge into Biosolids, Processing, Disposal and Utilization, IWA Publishing, UK.
- STANDARD METHODS, 1995 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (15th edn.), APHA, NY
- STOMP, A.M., Han, K.-H., Wilbert, S., Gordon, M.P., Cunningham, S.D., 1994. Genetic strategies for enhancing phytoremediation. Ann. New York Acad. Sci. 721, 481-491.
- SUTHERSON, 1999, "Phytoremediation" "Remediation engineering: design concepts" kitabı. Sutherson, S. S. (editör). CRC Press LLC. Boca Raton.
- TATAR, Ş, 2003: Evsel atıksu arıtma çamurlarından kimyasal metotlarla ağır metal giderimi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi
- TÜRKMAN, A, ŞENGÜL, F., 1991 Su ve atıksu Analizleri. Paşahan Matbaası, İzmir, 156
- ZAIMOĞLU VE ARK., 2002, Söğüt, Z., Erdoğan Küçük, R., Doğan, S. 2002. Toprak ve Su Kirliliğinde Bitkisel Islah-Phytoremediation Yöntemlerinin Adana İli Örneğinde Uygulanabilirliği, 1. Ulusal Çevre Sorunları Sempozyumu, 828-837. Erzurum.

ÖZGEÇMİŞ

1965 yılında Adana'da doğdum. İlkokulu, 29 Ekim İlkokulu'nda okudum. Orta ve lise öğrenimimi Adana Kız Lisesinde tamamladım. 1983 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'ne girdim. Bir yıl bu bölümde eğitim gördükten sonra 1984 yılında Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Kültür Teknik Bölümü'ne (Tarımsal Yapılar ve Sulama) girdim. 1988 yılında lisans eğitimimi tamamladım. 1992 yılında Çevre Bakanlığı, Adana İl Teşkilatında kurucu mühendis olarak göreve başladım. Halen Adana İl Çevre ve Orman Müdürlüğü'nde Çevre Yönetimi Şube Müdürü olarak görevime devam etmekteyim. 2002 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümünde lisans üstü eğitimime başladım.