

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KEÇİBORLU KÜKÜRT FABRİKASI FLOTASYON ATIKLARININ KİREÇLİ
TOPRAK VE AHIR GÜBRESİ KULLANILARAK FİTOREMEDİASYON
TEKNİĞİ İLE ISLAH EDİLMESİ**

Hüseyin KALKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK ANABİLİM DALI

2009

**KEÇİBORLU KÜKÜRT FABRİKASI FLOTASYON ATIKLARININ KİREÇLİ
TOPRAK VE AHIR GÜBRESİ KULLANILARAK FİTOREMEDİASYON
TEKNİĞİ İLE ISLAH EDİLMESİ**

Hüseyin KALKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK ANABİLİM DALI

Bu Tez **2008.02.0121.022** no'lu Proje Olarak Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KEÇİBORLU KÜKÜRT FABRİKASI FLOTASYON ATIKLARININ KİREÇLİ
TOPRAK VE AHIR GÜBRESİ KULLANILARAK FİTOREMEDİASYON
TEKNİĞİ İLE ISLAH EDİLMESİ**

Hüseyin KALKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK ANABİLİM DALI

Bu tez 18 / 05 / 2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından (95) not takdir edilerek oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mustafa KAPLAN (Danışman)	
Prof. Dr. Sadık ÇAKMAKÇI	
Yrd. Doç. Dr. Şule ORMAN	

ÖZET

KEÇİBORLU KÜKÜRT FABRİKASI FLOTASYON ATIKLARININ KİREÇLİ TOPRAK VE AHIR GÜBRESİ KULLANILARAK FİTOREMEDİASYON TEKNİĞİ İLE ISLAH EDİLMESİ

Hüseyin KALKAN

Yüksek Lisans Tezi, Toprak Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa KAPLAN

Mayıs 2009, 106 sayfa

Bu çalışmada; Keçiborlu kükürt fabrikası etrafında terk edilmiş durumda bulunan flotasyon atık alanlarının iyileştirici materyaller kullanılarak yeniden bitkilendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla flotasyon atığına ıslah amaçlı kireçli toprak (% 10-20-30-40) ve ahır gübresi (% 4-8) uygulandıktan sonra yüksek otlak ayrığı (*Agropyron elongatum*) ve kamışsı yumak (*Festuca arundinacea*) çim çeşitleri yetiştirilmiştir. Saksı denemesi tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. 3 aylık deneme süresi sonunda alınan bitki ve ortam örneklerinde azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, sodyum, demir, çinko, mangan, bakır, kobalt, nikel, krom, kurşun ve kadmiyum analizleri yapılmıştır.

Araştırma sonucunda; flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulanarak oluşturulan yetiştirme ortamlarının ve çim bitkilerinin azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, sodyum, demir, çinko, mangan, bakır, kobalt, nikel, krom, kurşun ve kadmiyum içeriği üzerine uygulamaların etkilerinin istatistiksel olarak önemli düzeylerde ($P<0.001$) olduğu tespit edilmiştir.

Deneme sonunda yapılan ortam analizlerine göre kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamaları flotasyon atığının pH'sını artırmış, EC'sini ise düşürmüştür. Ahır gübrelili uygulamalarda ahır gübresi ilave edilmeyenlere göre daha yüksek N, P, K, Mg ve Mn içerikleri tespit edilmiştir. En yüksek kireçli toprak uygulaması (% 40) sonucunda ise ortamların Ca içeriği en yüksek değerlere ulaşmıştır. Uygulamalar sonunda ortamların Zn, Cu, Ni, Cr, Pb ve Cd içerikleri izin verilen sınır değerleri arasında olduğu için

herhangi bir toksisite riski içermemektedir. Flotasyon atığına özellikle kireçli toprak ilavesi sonrasında Fe içeriği önemli düşüşler göstermiştir.

Flotasyon atığına artan oranlarda kireçli toprak ve ahır gübresi ilaveleri, yetiştirilen çim bitkilerinin kuru madde verimini artırmıştır. Bitki analiz sonuçlarına göre; her iki çim bitkisinin N, P, K, Ca, Mg, Mn ve Fe içeriklerinin yeterli ve yüksek; Ni, Cr, ve Cd içeriklerinin ise ortamda az miktarda bulunmalarına rağmen bitki bünyesinde toksisite yapacak düzeylerde olduğu belirlenmiştir. Kireçli toprak ve ahır gübresi ilaveleri oranı yüksek tutulunca bitkilerin Pb ve Ni içeriklerinin azaldığı tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Flotasyon atığı, kireçli toprak, ahır gübresi, yüksek otlak ayrığı (*Agropyron elongatum*), kamışsı yumak (*Festuca arundinacea*), fitoremediasyon, ağır metal, maden atıkları

JÜRİ:

Prof. Dr. Mustafa KAPLAN	
Prof. Dr. Sadık ÇAKMAKÇI	
Yrd. Doç. Dr. Şule ORMAN	

ABSTRACT

AMENDMENT WITH PHYTOREMEDIATION OF THE FLOTATION WASTES FROM KEÇİBORLU SULPHUR FACTORY USING CALCAREOUS SOIL AND FARMYARD MANURE

Hüseyin KALKAN

M.Sc Thesis in Soil Science

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa KAPLAN

May 2009, 106 pages

In this study, calcareous soil (10-20-30-40%) and farmyard manure (4-8%) as improve materials were applied to flotation waste for revegetation of abandoned tailings pools in around Keçiborlu sulphur factory. In this purpose; Pot experiment carried out according to the completely randomized design factorial with 4 replicates. As the experimental plants *Agropyron elongatum* and *Festuca arundinacea* were grown. After experimental set up for 3 months, the samples of media and plant were taken for analysis and nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, iron, zinc, manganese, copper, cobalt, nickel, chrome, lead, cadmium were analysed.

The result of changing rates of calcareous soil and farmyard manure applied to flotation waste, effect of the treatments were at statistically important levels for nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, iron, zinc, manganese, copper, cobalt, nickel, chrome, lead, cadmium content of media and plants samples ($P<0.001$).

According to the media analysis at the end of the experiment, calcareous soil and farmyard manure were increased pH and decreased EC of flotation waste. N, P, K, Mg and Mn contents were determined that applications of farmyard manure higher than without. The highest Ca contents of the media were obtained at the application of the highest calcareous soil (40%). According to applications results, there is no risk of

toxicity exists because of Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, and Cd contents of the medias being between allowable limit values. Fe contents were shown significant drops especially after the addition of calcareous soil to the flotation waste.

Increasing ratios of calcareous soil and farmyard manure into flotation waste were raised the dry material weight in both of the frown grass plants. According to plant analysis results; N, P, K, Ca, Mg, Mn and Fe contents of both of grass plants tended to be adequate and at high levels. Despite their low concentration in the medias, the Ni, Cr, and Cd contents tended to reach values that can cause toxicity in the plant structure. When the calcareous soil and farmyard manure at the high rates were applied, the Pb and Ni contents of the grass plants decreased.

KEYWORDS: Flotation waste, calcareous soil, farmyard manure, *Agropyron elongatum*, *Festuca arundinacea*, heavy metal, mine waste

COMMITTEE:

Prof. Dr. Mustafa KAPLAN (Adviser)	
Prof. Dr. Sadık ÇAKMAKÇI	
Assit. Prof. Dr. Şule ORMAN	

ÖNSÖZ

Canlılar doğada yaşamlarını hava, su ve topraktan oluşan bir ekosistem içerisinde sürdürürler. Bu ekolojik denge o kadar düzenlidir ki bu sayede doğa kendini yenileme ve canlı atıklarını sentezleme özelliğine sahiptir. Ancak günümüz toplumunda tüketim ve hayat alışkanlıklarına, evsel ve endüstriyel atıklara, tarımsal ve endüstriyel üretim ve yetiştirme tekniklerine bağlı olarak ortaya çıkan organik ve inorganik zararlı maddeler ekosferin madde miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle doğanın yapısına ters düşen kirleticilerin toprak, su ve atmosferdeki miktarları gün geçtikçe artmaktadır. Kirlenme nedenlerinin başında maden alanları işletimi, fosil yakıtların kullanımı ve endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atıkların kontrolsüzce çevreye bırakılması gelir. Atıklarla suya buradan da toprağa geçen metaller; bitki, hayvan ve dolayısıyla insanlar tarafından alınabilmekte ve bu yolla tüm canlıları olumsuz yönde etkilemektedirler. Kentsel ve sanayi atıkları yanında tarımsal amaçlı kullanılan pestisid ve gübreler de biyolojik süreçler içerisinde ayrışamayan ve yeniden değerlendirilemeyen metal-ağır metal tuzları içermektedir.

Tüm endüstriyel faaliyetlerde olduğu gibi madenlerin işletilmesi sonucunda da atık meydana gelmektedir. Bu maden atıkları uygun olmayan bir şekilde çevreye bırakıldıklarında çevre ve insan sağlığı için tehdit oluşturmaktadır. Ülkemizde ve Avrupa’da oldukça büyük miktarlarda maden atık oluşumu söz konusudur. Örneğin, Avrupa Birliğinde (AB) madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atık miktarı, Avrupa’da oluşan yıllık atık miktarının % 29’unu oluşturmaktadır. Diğer bir ifadeyle meydana gelen maden atıkları yıllık 400 milyon tonu aşmaktadır (Commission of the European Communities, 2003).

Bu çalışma ile söz konusu Keçiözümlü Kükürt Fabrikası flotasyon atığının kireçli toprak ve ahır gübresi kullanmak suretiyle fitoremediasyon tekniğiyle ıslah edilmesi araştırılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarının daha sonraki araştırmalara yol göstererek daha farklı etkilerin araştırılmasına zemin hazırladığı düşünülmektedir.

Araştırma süresince bu konuda çalışmamı sağlayan ve bana yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen başta saygıdeğer hocam ve danışmanım Prof. Dr. Mustafa KAPLAN (Akd. Üniv. Z. F.) olmak üzere yine bölümümüz değerli hocalarından Yrd. Doç. Dr. Şule ORMAN'a, çalışmalarımın her aşamasında kendi işlerinin yoğunluğuna ve zamanının darlığına rağmen yardımlarını ve güler yüzünü esirgemeyen çok değerli hocam Öğr. Gör. İlker SÖNMEZ'e, diğer bölüm hocalarına ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Çalışmalarımın her aşamasında yardımını ve desteğini gördüğüm sevgili arkadaşım Zir. Yük. Müh. Ahmet Erdem TUNÇ'a çok teşekkür ederim.

Ayrıca arazi deneme alanının hazırlanmasında, denemenin her aşamasında maddi ve manevi yardımlarını her daim gördüğüm sevgili kardeşim Tekniker Birkan KALKAN'a, babam Hasan KALKAN'a, en önemlisi de her türlü desteği gösteren ve beni motive etme konusunda sınır tanımayan enerji kaynağım sevgili annem Elif KALKAN'a sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI.....	4
2.1. Çevre ve Kirleticiler.....	4
2.1.1. Endüstriyel kirlilik.....	5
2.1.2. Su kirliliği.....	6
2.1.3. Toprak kirliliği ve ağır metaller.....	7
2.2. Fitoremediasyon Tekniği.....	12
2.2.1. Fitoremediasyonla ağır metal giderimi.....	12
3. MATERYAL VE METOT.....	23
3.1. Materyal.....	23
3.1.1. Flotasyon atığı.....	23
3.1.2. Kireçli toprak.....	24
3.1.3. Ahır gübresi.....	25
3.1.4. Bitki materyali.....	25
3.1.5. Deneme alanının tanıtılması.....	27
3.1.5.1. Deneme alanının iklim özellikleri.....	28
3.2. Metot.....	29
3.3. Analiz Yöntemleri.....	34
3.3.1. Toprak analiz yöntemleri.....	34
3.3.2. Bitki analiz yöntemleri.....	35
3.3.3. İstatistiksel analiz yöntemleri.....	35

4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	36
4.1. Yetiştirme Ortamlarının Analiz Sonuçları ve Tartışması.....	36
4.1.1. Yetiştirme ortamlarının pH analiz sonuçları.....	36
4.1.2. Yetiştirme ortamlarının EC analiz sonuçları.....	39
4.1.3. Yetiştirme ortamlarının toplam azot içeriği.....	41
4.1.4. Yetiştirme ortamlarının alınabilir fosfor içeriği.....	42
4.1.5. Yetiştirme ortamlarının değişebilir potasyum içeriği.....	44
4.1.6. Yetiştirme ortamlarının değişebilir kalsiyum içeriği.....	45
4.1.7. Yetiştirme ortamlarının değişebilir magnezyum içeriği.....	47
4.1.8. Yetiştirme ortamlarının değişebilir sodyum içeriği.....	48
4.1.9. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir demir içeriği..	50
4.1.10. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir çinko içeriği	52
4.1.11. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir mangan içeriği.....	54
4.1.12. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir bakır içeriği.	56
4.1.13. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir kobalt içeriği.....	58
4.1.14. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir nikel içeriği	60
4.1.15. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir krom içeriği	61
4.1.16. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir kurşun içeriği.....	63
4.1.17. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir kadmiyum içeriği.....	65
4.2. Bitkilerin Analiz Sonuçları ve Tartışması.....	67
4.2.1. Bitki örneklerinin kuru madde verimleri.....	67
4.2.2. Bitki örneklerinin azot içeriği.....	69
4.2.3. Bitki örneklerinin fosfor içeriği	71
4.2.4. Bitki örneklerinin potasyum içeriği.....	72
4.2.5. Bitki örneklerinin kalsiyum içeriği.....	74
4.2.6. Bitki örneklerinin magnezyum içeriği.....	75
4.2.7. Bitki örneklerinin sodyum içeriği.....	77

4.2.8. Bitki örneklerinin demir içeriği.....	79
4.2.9. Bitki örneklerinin çinko içeriği.....	80
4.2.10. Bitki örneklerinin mangan içeriği.....	82
4.2.11. Bitki örneklerinin bakır içeriği.....	84
4.2.12. Bitki örneklerinin kobalt içeriği.....	85
4.2.13. Bitki örneklerinin nikel içeriği.....	87
4.2.14. Bitki örneklerinin krom içeriği.....	88
4.2.15. Bitki örneklerinin kurşun içeriği.....	90
4.2.16. Bitki örneklerinin kadmiyum içeriği.....	91
5. SONUÇ	93
6. KAYNAKLAR.....	98
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

N	: Azot
P	: Fosfor
K	: Potasyum
Ca	: Kalsiyum
Mg	: Magnezyum
Na	: Sodyum
Fe	: Demir
Zn	: Çinko
Mn	: Mangan
Cu	: Bakır
Co	: Kobalt
Ni	: Nikel
Cr	: Krom
Pb	: Kurşun
Cd	: Kadmiyum
F	: Flor
B	: Bor
Ag	: Gümüş
Hg	: Civa
Mo	: Molibden
As	: Arsenik
Se	: Selenyum
Sr	: Stronsiyum
Cs	: Sezyum
Pu	: Plutonyum
U	: Uranyum
g	: Gram
kg	: Kilogram

da	: Dekar
dS	: Desi simens
mm	: Milimetre
m ²	: Metrekare
%	: Yüzde

Kısaltmalar

SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
EPA	: Doğal Kaynakları Koruma Servisi
FA	: Flotasyon Atığı
KT	: Kireçli Toprak
AG	: Ahır Gübresi
SO ₂	: Kükürtdioksit
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
DTPA	: Dietilentriamin pentaasetik asit
EC	: Elektriksel Kondaktivite (Tuzluluk)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kirleticilerin bitki bünyesinde uğradığı değişiklikler.....	16
Şekil 2.2. Fitoremediasyon prosesi ile metal gideriminde ana mekanizmalar.....	18
Şekil 3.1. Saksı denemesinin kurulum aşamasından genel görünüm (7 Haziran 2007).....	30
Şekil 3.2. Saksı denemesinden genel görünüm (12 Temmuz 2007).....	30
Şekil 3.3. Saksı denemesinden genel görünüm (20 Ağustos 2007).....	30
Şekil 3.4. Saksı denemesinden yüksek otlak ayrığı (<i>Agropyron elongatum</i>) çeşidine ait örnek saksılar (12 Temmuz 2007).....	31
Şekil 3.5. Saksı denemesinden kamışsı uzun yumak (<i>Festuca arundinacea</i>) çeşidine ait örnek saksılar (12 Temmuz 2007).....	31
Şekil 3.6. Saksı denemesinden yüksek otlak ayrığı (<i>Agropyron elongatum</i>) çeşidine ait örnek saksılar (20 Ağustos 2007).....	32
Şekil 3.7. Saksı denemesinden kamışsı uzun yumak (<i>Festuca arundinacea</i>) çeşidine ait örnek saksılar (20 Ağustos 2007).....	32
Şekil 3.8. Saksı denemesinden yüksek otlak ayrığı (<i>Agropyron elongatum</i>) çeşidine ait örnek saksılar (6 Eylül 2007).....	33
Şekil 3.9. Saksı denemesinden kamışsı uzun yumak (<i>Festuca arundinacea</i>) çeşidine ait örnek saksılar (6 Eylül 2007).....	33

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kimyasal gübrelerin ağır metal içerikleri.....	9
Çizelge 2.2. Ağır metalleri biriktirme özelliğine sahip bazı bitkiler.....	17
Çizelge 2.3. Farklı ortamlar ve kirleticiler için kullanılan fitoremediasyon tekniklerini.....	21
Çizelge 2.4. Farklı fitoremediasyon tekniklerinde artık bitkisel malzemenin nihai giderim yolları.....	22
Çizelge 3.1. Denemede kullanılan materyallere ait bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.....	26
Çizelge 3.2. Antalya meteoroloji istasyonunun denemenin yürütüldüğü 2007 yılına ait bazı meteorolojik veriler.....	28
Çizelge 3.3. Deneme saksılarında yetiştirme ortamlarını hazırlamak için kullanılan materyallerin karışım oranları.....	29
Çizelge 4.1. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların pH'sı üzerine etkisi	38
Çizelge 4.2. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların EC'si üzerine etkisi	40
Çizelge 4.3. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların toplam N içeriği üzerine etkisi.....	42
Çizelge 4.4. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların alınabilir P içeriği üzerine etkisi.....	43
Çizelge 4.5. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların değişebilir K içeriği üzerine etkisi.....	45
Çizelge 4.6. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların değişebilir Ca içeriği üzerine etkisi	46

Çizelge 4.7. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların değişebilir Mg içeriği üzerine etkisi.....	48
Çizelge 4.8. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların değişebilir Na içeriği üzerine etkisi.....	49
Çizelge 4.9. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Fe içeriği üzerine etkisi.....	51
Çizelge 4.10. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Zn içeriği üzerine etkisi.....	53
Çizelge 4.11. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Mn içeriği üzerine etkisi.....	55
Çizelge 4.12. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Cu içeriği üzerine etkisi.....	57
Çizelge 4.13. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Co içeriği üzerine etkisi.....	59
Çizelge 4.14. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Ni içeriği üzerine etkisi.....	61
Çizelge 4.15. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Cr içeriği üzerine etkisi.....	62
Çizelge 4.16. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Pb içeriği üzerine etkisi.....	64

Çizelge 4.17. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir Cd içeriği üzerine etkisi.....	66
Çizelge 4.18. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin kuru madde verimi üzerine etkisi.....	68
Çizelge 4.19. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin N içeriği üzerine etkisi.....	70
Çizelge 4.20. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin P içeriği üzerine etkisi.....	72
Çizelge 4.21. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin K içeriği üzerine etkisi.....	73
Çizelge 4.22. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Ca içeriği üzerine etkisi.....	75
Çizelge 4.23. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Mg içeriği üzerine etkisi.....	77
Çizelge 4.24. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Na içeriği üzerine etkisi.....	78
Çizelge 4.25. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Fe içeriği üzerine etkisi.....	80
Çizelge 4.26. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Zn içeriği üzerine etkisi.....	81

Çizelge 4.27. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Mn içeriği üzerine etkisi.....	83
Çizelge 4.28. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Cu içeriği üzerine etkisi.....	85
Çizelge 4.29. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Co içeriği üzerine etkisi.....	86
Çizelge 4.30. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Ni içeriği üzerine etkisi.....	87
Çizelge 4.31. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Cr içeriği üzerine etkisi.....	89
Çizelge 4.32. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Pb içeriği üzerine etkisi.....	90
Çizelge 4.33. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Cd içeriği üzerine etkisi.....	92

1. GİRİŞ

Günümüzde çok sık kullandığımız sanayileşme, ekonomik büyüme, sürdürülebilir kalkınma ve yaşam standartlarını yükseltme gibi değişik terimlerin ortak amacı olan, gelişmenin sağlanabilmesi için canlı doğal kaynakların ve çevredeki diğer yapı taşlarının korunması gerekmektedir. Sözü edilen bu canlı doğal kaynakların yaşayabildiği ortam olan çevre ise günümüzde daha çok insanların yaşadığı doğa parçası olarak değerlendirilmektedir. Hızla artan dünya nüfusu, sağlıksız kentleşme, plansız endüstrileşme ve bilinçsizce yapılan ekolojik düzenlemeler, birim alana düşen verimi arttırmak için kullanılan tarım ilaçları, yapay gübreler ve deterjan gibi kolay ve rahat yaşamı sağlayan kimyasal maddeler giderek çevreyi kirletmeye başlamaktadır. Sonuçta kirlenen hava, su ve toprak, canlılar için zararlı boyutlara ulaşırken öte yandan yaşamı etkileyen ve çeşitli hastalıklara neden olan belli başlı tehlike kaynakları durumuna gelmektedir.

Canlı sağlığını doğrudan etkileyecek seviyeye ulaşan çevre kirliliği; hava su ve en önemlisi olarak da sayabileceğimiz toprak kirliliğidir. Hava ve su kirliliğinin tesiri hemen ortaya çıktığı halde toprak kirliliğinin tesiri uzun yıllar sonra anlaşılabilmektedir. Yine aynı şekilde hava ve su kirliliği çok kısa sürede temizlense de toprak kirliliğinde durum daha yavaş ve pahalı işlemektedir (Kul vd 2007).

Toprak sistemi ilişkili olduğu su ve hava sistemlerinin içerdiği kirletici unsurlar için son depolama noktasıdır. Diğer taraftan toprak, karasal ekosistemin taşıyıcı unsurudur ve toprak kalitesindeki değişim, gerek doğal gerekse de tarım ekosisteminin verimliliğini etkilemektedir. Topraklar kirli hava ve suyun taşımış oldukları unsurlar tarafından kirlendiği gibi, tarımsal uygulamalar ve endüstriyel aktivitelerle de yaygın veya yerel ölçeklerde nitelik değiştirmektedir. Fakat global ölçekte topraklardaki bu sözü edilen kirlenmenin en önemli sebeplerinden bir tanesi de ağır metallerdir.

Ağır metallerin toprakta birikmesinin sadece toprak verimliliği ve ekosistem fonksiyonları üzerinde değil aynı zamanda besin zinciri yoluyla hayvan ve insan sağlığı üzerinde de önemli etkileri vardır. Bitki bünyesine ulaşan ağır metaller bitkilerin

fizyolojik aktivitelerini engellemekte, verimliliklerini azaltmakta hatta gerekli önlemlerin alınmaması durumunda bitkilerin ölümüne neden olmaktadır. Dolayısıyla bu durum ürün miktarının azalmasına, kalite ve kantitesinin bozulmasına yol açmaktadır. Çünkü ağır metaller yerkabuğunda doğal olarak bulunan bileşiklerdir, yarılanma ömürleri çok uzun olduğu için bozulmaları ve yok edilmeleri uzun yıllar sürmektedir. Bu ağır metallerin de vücudumuza gıdalar, içme suyu ve hava yolu ile çok az miktarda girişi söz konusudur. İz elementler gibi bazı ağır metaller ise (bakır, selenyum, çinko vb) insan vücudunun metabolizmasını sürdürmesi için çok önemlidir, ancak yüksek konsantrasyonlarda toksik etkileri mevcuttur.

Bitkilerin ağır metal toksisitesine karşı toleransları bitki türüne, element türüne, strese maruz kalma süresine ve strese maruz kalan doku veya organın yapısına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle ağır metalin tür ve miktarı, yarayışlılığı, zararın şiddeti ve türü ayrıca zarar oluşum sürecinin bilinmesi bitkilerin gelişimi ve canlılığı açısından oldukça önemlidir. Ayrıca binlerce yıllık hayatta kalma çabaları sonucu bazı bitkilerin geliştirdikleri yüksek düzeylerdeki metallere olan toleranslarının giderek artması sonucu yeşil temizleme makineleri (Green Cleaning Machines) olarak adlandırılan hiperakümülatör bitkilerin diğer bitkilerden yüzlerce kat daha fazla metal biriktirdiği gözlemlenmiştir (Hakkı vd 2006). Hulina ve Dumija'nın (1999) yaptıkları çalışmada da Zn ve Cd remediasyonunda etkili olan bitkinin *Reynoutria japonica* Houtt. (Polygonaceae) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan bir diğer çalışmada ise *Prunus* çeşitlerinin de bor ve tuzluluğa karşı toleranslarının çok farklı olabildiği bildirilmiştir (Motaium vd 1994).

Madencilik ve endüstriyel faaliyetlerin, ekolojik denge ve özellikle de flora ve fauna üzerinde oluşturduğu değişiklikler, insanı ve çevresini olumsuz etkilemektedir. Bu durum için örnek teşkil edecek olan Isparta Keçiborlu Kükürt fabrikasının üretime başladığı 1940 yılından, işletmenin tamamen kapatıldığı 1995 yılına kadar atık havuzlarında biriktirilen flotasyon atığının 1 milyon tona yaklaştığı tahmin edilmektedir. Fabrika çevresinde büyük sorun teşkil eden atık maddenin bölgedeki toprakların, yer altı ve yerüstü sularının ve orada yaşayan bölge halkının sağlığını ciddi boyutlarda tehdit ettiği düşünülmektedir.

Bu alışma ile Keçiborlu Kükürt Fabrikası flotasyon atıklarının kireçli toprak ve ahır gübresi kullanılarak, günümüz dünyasında çok önemli bir problem haline gelen ağır metal kirliliğini, ucuz ve uygulanabilir bir yöntem olarak bilinen Fitoremediasyon tekniğı ile ıslah edilip edilemeyeceğinin araştırılması amaçlanmaktadır. Bu araştırmadan olumlu sonuçların alınması ise fitoremediasyon yönteminin diğerk ıslah yöntemlerine göre daha ekonomik, uygulanabilir ve yerinde ıslah etme olanağını tanıyarak olumlu sonuca götüren bir teknik olduğunun kanıtlanmasını sağlayacaktır.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

2.1. Çevre ve Kirleticiler

İnsanların ve diğer canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde bulundukları fiziki, sosyal, ekonomik ve kültürel ortam çevre olarak adlandırılmaktadır. Başka bir deyişle; hava, su, toprak, bitki örtüsü, hayvanlar ve yaşadığımız gezegen üzerinde ve dışında olan, insanları etkileyen her türlü nesne çevre kavramına dâhildir.

Hızlı nüfus artışı, plansız kentleşme ve endüstrileşme, nükleer denemeler, bölgesel savaşlar, tarım ilaçları, yapay gübreler ve deterjanlar gibi çeşitli kimyasal maddeler giderek çevreyi kirletmeye başlamış ve bu kirlenme çevreyi oluşturan unsurlar ve canlılar üzerinde doğrudan ya da dolaylı olarak olumsuz etkilere neden olmuştur. 21. yüzyıla gelindiğinde yaşanan bu sorunlar, dünyada ve ülkemizde bir çevre duyarlılığının oluşmasını sağlamıştır.

Ülkemizde devlet-halk iş birliğiyle çevrenin ve doğanın korunması amacıyla pek çok adımlar atılmıştır. Bunun için çevre kanunları yapılmış, çeşitli yönetmelikler hazırlanmış ve bu alandaki çalışmaları sürdürme ve denetleme amacıyla Çevre ve Orman Bakanlığı kurulmuştur. 1982 Türkiye Cumhuriyeti Anayasası'nın birçok maddesinde çevre konusunda çeşitli düzenlemelere yer verilmiş olup, 56. maddede "Herkes, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek devletin ve vatandaşın ödevidir." denilmiştir.

Bu bakımdan çevre ve doğal kaynakların kirlenmeye karşı korunması, çevre kirliliğinin önlenmesi açısından son derece önemli olmakla birlikte, kirlenmiş alanların temizlenmesi de mevcut çevre kirliliklerinin çözümünde büyük önem arz etmektedir. Toprak kirliliği açısından bakıldığında, ağır metallerin en önemli kirletici kaynaklar arasında olduğu görülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'nın

(EPA) hazırladığı 129 tane öncelikli çevre kirleticiler arasında yer alan ağır metaller, en önemli çevre kirletici gruplardan birini oluşturmaktadır (Kocaer ve Başkaya 2003).

2. 1. 1. Endüstriyel kirlilik

Endüstriyel kirlilik, çevremizdeki sanayi kuruluşlarının atıklarını nehirlere, göllere, denizlere, toprağa ve atmosfere bırakması ile meydana gelen kirlilik türüdür. Bu atıkların kimyasal olması ise, kirliliği tehlikeli boyutlara getirir.

Türkiye'de günde yaklaşık 65 bin ton çöp, 20 milyon tonun üzerinde de atık üretiliyor. 20 milyon tonluk atığın 2-3.5 milyon tonunu endüstriyel atıklar oluşturuyor (Anonim 2006).

Endüstri faaliyetlerinin sebep olduğu hava ve su kirliliğinin dolaylı olarak tarım arazilerinde meydana getirdiği kirlenme ve bozulmalar toprakların fiziko-kimyasal ve biyolojik niteliklerini etkilerler. Bunun sonucunda tarım topraklarında verim düşüklükleri veya bazı toksik maddelerin tarım ürünlerinde birikmesi ile gıda zincirindeki kirlenme ve sağlık üzerine etkileri önemli sorunlar ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Şehir ve endüstri atıkları, özellikle nehir ve göl sularını kirletip daha sonra da kirlenen bu suların tarımsal amaçlı kullanım sırasında toprakları etkilemesi yoluyla olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Kirli suların içinde bulunan ve derişimi artmış bulunan mikro elementler toprakta birikip, zamanla toksik hale gelerek toprağın iyon dengesini bozmakta, böylelikle yetiştirilen tarımsal ürünlerde kalite ve verim düşüklüğüne sebep olmaktadır. Özellikle Türkiye'nin bazı yörelerinde belirlenen bor kirliliği, atık suların sulamada yaygın şekilde kullanılması sonucu önem arz eden endüstriyel bir kirlenme örneğidir (Hakkı vd 2006).

Türkiye'nin çeşitli yörelerinde bulunan farklı endüstriyel kuruluşlar tarafından atmosfere verilen SO₂ ve F emisyonlarının gerek tarım arazilerinde gerekse orman alanlarında asit yağışları oluşturarak, büyük çapta zararlara sebep olduğu yapılan

araştırmalar sonucu belirlenmiştir (Anonim 1999). Ye vd (1999) yaptıkları bir çalışmada güney in’de Guangdong eyaletinin kuzeyinde yer alan Leachang kurşun/çinko madeninin ekstraksiyonundan ortaya çıkan atıkların sürekli bir şekilde depolandığı atık havuzlarından evre üzerine olan etkisini azaltmak için yeniden bitkilendirilmesi amacıyla kurşun/çinko maden atıklarının yüksek otlak ayrığı (*Apopyron elongatum*) ve yonca (*Trifolium repens*) kullanılarak yeniden bitkilendirilmesi üzerine kireç ve domuz gübresi’nin etkilerini değerlendirmek için bir sera denemesi yürütmüşlerdir. Sonuçlar göstermiştir ki; kireç ve domuz gübresi uygulamaları atıklardaki pH’yı arttırmış, elektriksel iletkenliği (EC) ve DTPA’da ekstrakte edilebilir Zn, Pb ve Cd konsantrasyonlarını azaltmıştır.

2. 1. 2. Su kirliliği

Günümüzde evre kirliliği denilince öncelikle akla hava kirliliği ve su kirliliği gelmektedir. Hava kirliliği çeşitli zararlı maddelerin hava yoluyla canlı vücuduna girmesine neden olurken, su kirliliği ise bu zararlı maddelerin suda erimiş şekilde vcudaya girmesine neden olmaktadır. Bu zararlı maddeler başta kanser olmak üzere pek çok hastalığa dolaylı veya doğrudan davetiye çıkartmaktadır. Kirlenen evre, yerüstü ve yeraltı sularının da aynı paralelde kirlenmesine neden olmaktadır. Gl ve akarsular fabrika ve kanalizasyon atıklarının boşaltılmasıyla kirletilirken, yeraltı suları da yine bu tür atıkların ve çeşitli katı atıkların yağmur sularıyla süzülerek bu kaynakların kirlenmesine neden olmaktadır (zdemir vd 2007).

Su kirliliğinin önüne geçmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)’nin birinci maddesinde bu yönetmeliğin amacı; “lkenin yeraltı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin korunması ve en iyi bir biçimde kullanımının sağlanması için, su kirlenmesinin önlenmesini sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere gerekli olan hukuki ve teknik esasları belirlemektir.” şeklinde özetlenir. Troung vd (2001) yaptıkları bir çalışmada kirli suların kalitesini artırmanın iki yolu olduğunu belirtmişlerdir. Birincisi suya giren kirlilik etmenlerinin kontrolü, ikincisi ise suyu kirleten etmenlerin su içinden ayrılmasıdır.

Yönetmeliğe göre suların korunması gereken kirleticiler;

- Fekal atıklar
- Organik atıklar
- Kimyasal atıklar
- Radyoaktif atıklar
- Deniz dibinden taranan malzeme
- Gemi ve diğer deniz araçlarından kaynaklanan petrol türevli katı ve sıvı atıklar şeklinde sıralanabilir.

Yüzeysel sularda kirletici etki yapabilecek unsurlar; bakteriler, virüsler ve diğer hastalık yapıcı canlılar, organik madde kaynaklı kirleticiler, endüstri atıkları, yağlar ve benzeri kirleticiler, sentetik deterjanlar, radyoaktivite, zirai mücadele ilaçları, yapay organik kimyasal maddeler, inorganik tuzlar, yapay ve doğal tarımsal gübreler olarak sıralanabilir. Yukarıda bahsedilen kirleticiler akarsu, göl, deniz gibi yüzeysel sularda kirletici faktörler oldukları gibi dolaylı olarak yer altı su kaynakları için de kirleticidirler.

Bu kirleticiler, suya bağlı besin zehirlenmelerine neden olmaktadır. Suyu bağlı besin zehirlenmelerinden en önemlisi civa zehirlenmeleridir. Civa zehirlenmelerinin en zararlısı, 1953 yılında Japonya’ da yaşanmıştır. “Minamata trajedisi “ adı verilen bu olayda birçok insan zarar görmüştür. 1951 yıllarında Minamata Körfezi yakınlarına plastik fabrikası kurulmuştur. Bu fabrika, artıklarını körfeze bırakmaya başlamıştır. Fabrikanın kuruluşundan 2 yıl sonra, Minamata’ da yaşayan 1000 kadar insan ciddi hastalıklara yakalanmıştır. Kısmi felç, şuuru kaybetme, körlük gibi ciddi rahatsızlıklar ve ölüm gibi istenmeyen sonuçlar görülmüştür (Clarkson vd 1976).

2. 1. 3. Toprak kirliliği ve ağır metaller

Toprak; yeryüzünün dışını kaplayan, kayaların ve organik maddelerin, tarla ayrışma ürünlerinin karışımından meydana gelen, içerisinde ve üzerinde geniş canlılar âlemini barındıran, bitkilere durak yeri olan ve onlara belirli miktarlarda besin elementlerini sunabilen ve belirli oranlarda su ve hava içeren canlı bir varlıktır (Morgan 1986).

Nüfusu belli bir hızla artmasına karşın tarım toprakları giderek azalan ülkemizde, amaç dışı toprak kullanımı ve sanayi kuruluşlarının yarattığı çevre kirliliği orman, toprak ve su kaynaklarımızın hızla azalmasına neden olmaktadır.

Ülkemizin bir tarım ülkesi olması ve tarıma dayalı sanayinin hammaddelerini üreterek ihracat gelirlerimizde önemli bir yer tutması orman, toprak ve su kaynaklarımızın korunması gerekliliğini daha fazla arttırmaktadır. Günümüzde son sınırına ulaşılan verimli tarım topraklarımız her yıl erozyon, tuzlulaşma ve alkalileşme gibi doğal etmenlerin yanı sıra sanayi kuruluşları, kentsel yerleşim, turizm yapılaşmaları, kum ve tuğla ocakları işgali sonucu amaç dışı kullanım ile hızla azalmaktadır.

Fosil yakıtların çıkarılması ve yakılması ile birçok şekilde toprak kirliliği oluşmaktadır. Kömür madeni yatakları açık işletmeler olarak çalıştırıldığında yüzeydeki tabaka kaldırıldığı için toprak tahribatı meydana gelmektedir. Kömürün yanması sonucunda oluşan külün atılmasıyla da büyük miktarda kirlilik oluşmaktadır. Termik santrallerin uçucu küllerinin depolanması için çok büyük barajlar inşa edilmektedir. Bu tozların ve diğer gazların bacadan atılmasıyla da topraklar verimsizleşmektedir. Asit yağışlarına bağlı çoraklaşma da buna eklendiğinde toprak tamamen verimsiz hale gelmektedir. Öte yandan tarımdaki girdiler içerisinde önemli bir paya sahip olan kimyasal gübreler de verim artışına katkıda bulunurken aynı zamanda toprakları ağır metal kirliliğine maruz bırakmaktadır. Çizelge 2.1’de bazı kimyasal gübrelerin ağır metal içeriğine ait analiz sonuçlarını görmekteyiz.

Çizelge 2.1. Kimyasal gübrelerin ağır metal içerikleri (mg.kg^{-1}) (Feedman ve Hutchinson 1981)

GÜBRELER	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
Monoamonyum fosfat (25-50-0)	5.7	4.0	66	2.9	11800	39	3.0	69
Diamonyum fosfat (18-46-0)	5.6	4.0	68	2.6	11200	37	3.0	71
Süper fosfat (0-20-0)	2.1	4.0	39	2.4	5700	23	3.0	42
Triple süper fosfat (0-43-0)	9.3	5.0	92	3.1	10800	36	3.0	108
Üre (46-0-0)	0.1	1.0	3.0	0.4	3.0	1.0	3.0	1.0
Amonyum nitrat (33-0-0)	0.2	1.0	5.0	0.3	180	7.0	3.0	3.0
Potas (0-0-60)	0.1	2.0	3.0	0.6	360	4.0	3.0	1.0
Potasyum sülfat (0-0-50)	0.2	1.0	3.0	0.5	540	5.0	3.0	3.0

Canlılığın kaynağı sayılabilecek toprağın yapısına katılan ve doğal olmayan maddeler toprak kirliliğine neden olur. Böyle topraklarda bitkiler yetişemez ve toprağı havalandırarak yarar sağlayan solucan vb canlılar yaşayamaz duruma gelir. Toprakтан bitkilere geçen kirletici maddeler de besin zinciri yoluyla insana kadar ulaşır.

Toprak kirliliğine sebep olan faktörler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Yerleşim alanlarından çıkan atıklar, egzoz gazları, endüstri atıkları, tarımsal mücadele ilaçları ve kimyasal gübreler toprak kirliliğine sebep olan en önemli etkenlerdir.
- Yerleşim alanlarından çıkan çöplerin boşaltıldığı alanlar ile kanalizasyon şebekelerinin arıtılmaksızın doğrudan toprağa verildiği alanlarda toprak kirliliği meydana gelmektedir.
- Egzoz gazları, ozon, karbon monoksit, kükürt dioksit, kurşun ve kadmiyum vb. gibi zehirli maddeler havaya yayılmakta ve solunum yolu ile büyük bir kısmı canlılar tarafından alınmaktadır. Geriye kalanı ise, rüzgârlar ile uzak mesafelere taşınmakta ve yağışlarla yere inerek, toprak ve suları kirletmektedir.

- Toprak kirliliğine sebep olan diğer bir faktör de tarımsal mücadele ilaçları ve suni gübrelerdir. Tarımsal mücadele ilaçlarının bilinçsiz ve aşırı kullanımı sonucu, toksik maddelerin toprakta birikimi artmakta ve doğal ortamın kirlenmesine sebep olmaktadır.
- Sodyum, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, demir, çinko, bakır, mangan, bor gibi besin maddelerini içeren suni gübreler de aşırı ve bilinçsiz kullanım sonucu toprağın yapısını bozmakta ve toprak kirliliğine yol açmaktadır.
- Radyoaktif atıklar da toprakları kirletmektedir.
- Suların kirlenmesi toprak kirliliğine neden olurken, toprak kirliliği de özellikle yeraltı sularının kirlenmesine neden olmaktadır.
- Hava kirliliği sonucu oluşan asit yağmurları topraklarda kirliliğe yol açmaktadır.
- Endüstri tesislerinden çıkan ve arıtılmaksızın hava, su ve toprağa verilen atıklar çevreyi kirletmektedir.

Topraklara karışan ve buralarda birikme yapan ağır metaller, mikrobiyal aktiviteye, toprak verimliliğine, biyolojik çeşitlilik ve ürünlerdeki verim kayıplarına, hatta besin zinciri yoluyla sıcakkanlılarda zehirlenmelere kadar birçok çevre ve insan sağlığı problemlerinin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ağır metaller zehir etkisi göstermesi nedeniyle çevredeki en tehlikeli maddelerden biri olarak kabul edilmektedir (Vanlı ve Yazgan 2006).

Ağır metallerin çevreye yayılmasına neden olan etmenlerin başında endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzozları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar ile kentsel atıklar gelmektedir (Stresty ve Madhava Rao 1999). Toprakların ağır metallerle kirlenmesi, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucu olabildiği gibi, ağır metal içeren kayaçların çeşitli nedenlerle çözünerek su ve toprak ortamına taşınması ile de ortaya çıkabilmektedir. Atom

ağırlıkları 63 ile 200 arasında olan kurşun, kadmiyum, civa, arsenik ve krom gibi ağır metallerin çevreye yayılmaları başlıca aşağıdaki şekillerde olmaktadır:

- Egzoz gazı kaynaklı yayılımlar (Kurşun),
- Madencilik kaynaklı yayılımlar (Krom, Bor),
- Endüstriyel kaynaklı yayılımlar;
 - o Pil üretimi, kullanımı (Civa, Kadmiyum)
 - o Demir Çelik sanayi ve atıkları (Krom)
 - o Petrol rafinerisi (Kurşun)
 - o Boyalar (Kurşun, Kadmiyum)
 - o Elektronik sanayi ve ölçü aletleri (Civa)
- Tıbbi kaynaklı yayılımlar (Civa)
- Doğal kaynaklı yayılımlar (Kurşun, Civa, Krom, Kadmiyum, Bor)
- Termik santral kaynaklı yayılımlar (Kurşun, Civa, Krom, Kadmiyum)
- Tarımsal kaynaklı yayılımlar (Kadmiyum)

Toprakların ağır metallerle kirlenmesinin önlenmesi amacıyla günümüzde birçok kontrol yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlardan en yaygın olarak kullanılanları;

1. Kirleticide müdahalede bulunmayarak, kirlenmiş alanın kullanımını yasaklamak,
2. Kirleticide bölge içerisinde immobilize etmek ve bölgeyi kontrol altına almak,
3. Kirlenmiş toprağı nihai bertaraf sahasına taşıyarak depolamak,
4. Toprağı yerinde (in-situ) veya bölge dışında (ex-situ) arıtmak şeklindedir (Cunningham vd 1996).

Kirlenmiş toprakların arıtımı amacıyla kullanılan fiziksel, kimyasal, termal ve biyolojik süreçleri içeren birçok metot bulunmaktadır. Bu metotlar;

- İzolasyon ve immobilizasyon teknolojileri,
- Mekanik ayırma teknolojileri,
- Pirometalurjik teknolojiler,
- Elektro-kinetik teknolojiler,

- Biyokimyasal teknolojiler,
- Toprağı su / sıvı ile yerinde(in-situ) temizleme teknolojileri,
- Toprak yıkama (kimyasal sızma) teknolojileri,
- Fitoremediasyon teknolojileri

2.2. Fitoremediasyon Tekniğı

Hava, su ve toprak kalitesinin arttırılmasında alternatif bir yöntem olarak kabul edilen fitoremediasyon; kirleticilerin bitkiler kullanılarak giderilmesi teknolojisine genel olarak verilen bir isimdir. (Cunningham vd 1995, EPA 2000). Bu isim altında birçok farklı teknoloji yer almaktadır. Bu teknolojiler; fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon, fitodegradasyon, fitovolatilizasyon, rizodegradasyon, rizofiltrasyon, hidrolik kontrol, vejetatif örtü sistemleri ve riparian tampon şeritleri olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu teknolojilerin her biri farklı ortamlarda ve farklı amaçlar için kullanılabilmektedir (EPA 2000).

Toprak kirliliğinin kontrolünde kullanılan fiziksel ve kimyasal arıtma yöntemleri, uygulama kolaylığı ve uygulama süresinin kısalığı gibi bazı avantajlara sahip olmasına rağmen, gerek arıtma masrafının yüksek olması gerekse arıtma sonucunda ortaya çıkan diğer kirletici formlarının nihai gideriminin zorlukları nedeniyle çevresel açıdan fazla tercih edilmemektedir. Kimyasal arıtmaya alternatif olarak bitkiler kullanılarak topraktan yerinde (in-situ) organik ve metal kirleticilerin giderimi olarak tarif edilen fitoremediasyon yöntemi son yıllarda yeni ortaya konmuş bir tekniktir. Ekonomik ve ekolojik olması ile özel donanım gerektirmemesi, uygulanan bölgenin yeniden kullanılabilesine imkan vermesi gibi avantajlara sahip olması nedeniyle günümüzde tercih edilen bir yöntem haline gelmektedir.

2.2.1. Fitoremediasyonla ağır metal giderimi

Bitkiler tarafından topraklardan alınma potansiyeline sahip kirleticiler, metaller (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn), metalloidler (As, Se), radionükleidler (90Sr, 137Cs, 239Pu, 238U, 234U), ametaller (B) ve diğer organik bileşikler (pestisitler vb)

olmak üzere birçok maddeyi kapsamaktadır (EPA 2000). Ancak bitkilerce bir kirleticinin topraktan alınabilmesi için, öncelikle toprak şartlarının bitkinin isteklerine uygun olması gerekmektedir. Toprak pH'sı bu konuda en önemli parametrelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte toprağın toplam ağır metal içeriğine bağlı olmasının yanısıra ağır metallerin bitkiye yarıyışlılığı ve değişik toprak bileşenleri ile oluşturduğu farklı çözünebilir kimyasal formlara bağlıdır (Sposito vd 1982).

Fitoremediasyon teknolojilerini fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon ve rizofiltrasyon olmak üzere üç sınıfta incelemek mümkündür. Fitoekstraksiyon teknolojilerinde, topraktaki metalleri köklerine ve hasat edilebilen kısımlara nakledebilen hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır. Topraktaki metal konsantrasyonundan bağımsız olarak, yapraklarında kuru ağırlık bazında %0.1'den fazla Ni, Co, Cu, Cr veya %1 Zn ve Mn içeren bitkiler hiperakümülatör olarak isimlendirilmektedir (Raskin vd 1994).

Birçok asit oluşturan maden atıklarının asit koşullarının bertarafı için ıslah materyali olarak yaygın bir biçimde kireç kullanılmaktadır. Asitliğin düzeltilmesi sadece bitkilerin geniş bir alanda yayılmasını olanaklı kılmaz, aynı zamanda metal toksisitesini hafifletir ve bitki besin elementlerinin yarıyışlılığını artırır (Johnson vd 1994). Çiftlik gübresi ve domuz gübresi yaygın bir şekilde atık ıslah edici olarak kullanılmaktadır. Çünkü organik madde ilavesi maden atıklarının besin elementi durumlarını ve fiziksel özelliklerini önemli bir şekilde iyileştirebilir. İlave olarak kimyasal gübreler, maden atıklarının başarılı bir şekilde ıslah edilmesinde temel parçadır (Bradshaw ve Chadwick 1980).

Bleeker vd (2002), "Jales madeni atıklarının kirlettiği asidik alanların yeniden bitkilendirilmesinde ıslah edici tavsiyeler ve toleranslı çimler" konulu çalışmalarında, bünyesine metal alabilen bitkiler ve metallere toleransı olan bitkiler kullanılarak Jales madeni atıklarının yer aldığı kirlenmiş asidik alanların çevresel etkilerinin azaltılabileceğinden söz etmektedirler. Değiştirilmiş aluminosilikat, çelik parçaları ve organik maddeler eklenerek arsenik konsantrasyonu ve pH'sı değiştirilmiş atıklar ıslah edilerek bitki gelişimi sağlanmıştır. Değiştirilmiş aluminasilikat (Beringite) uygulaması

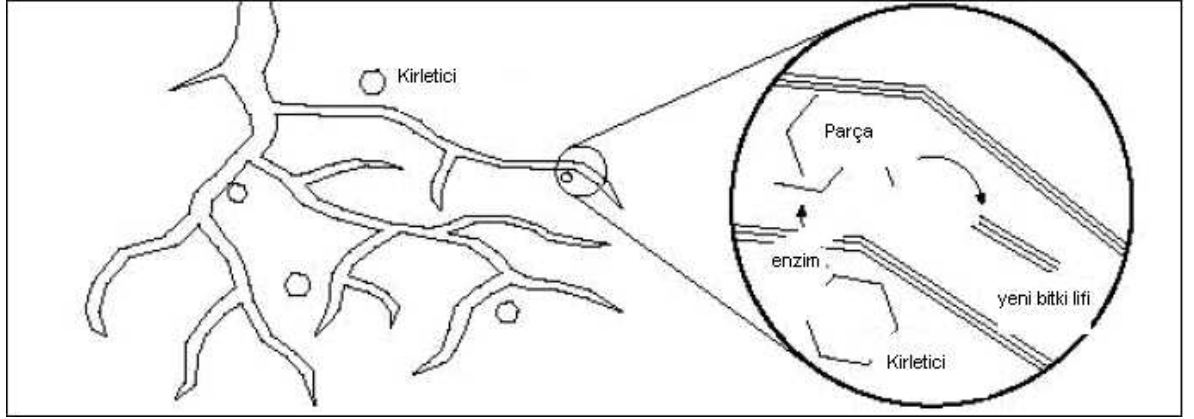
pH'yı artırmıştır. Dört yıllık atık analizleri yapılmasına rağmen iki yıldan sonra deneylerde etkinliğin artmadığı görülmüştür. Metal toleranslı bitkilerin kullanımı ve atıkların ıslahı ile kirlenmiş Jales maden alanının etkili ve hızlı bir şekilde bitkilendirilebileceği sonucuna varmıştır. *Agrostis castellana* ve *Holcus lanatus* kombinasyonu her üç maddenin ilavesiyle de başarılı sonuç vermiştir.

Fitoremediasyon'un başarılı olarak yürütülebilmesi için bulaşmanın olduğu alanlarda biyokütle oluştururken önemli miktarda metal biriktiren hiperakümülatör bitki türlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu bitkilerin topraktan ağır metal alımına karşı yüksek oranda etkili olduğu ve ağır metal zehirliliğine karşı toleranslı olduğu belirlenmiştir (Cunningham vd 1996). En bilinen hiperakümülatör bitki türleri olarak ise *Brassicaceae*, *Euphorbiaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae* ve *Scrophulariaceae* gibi bitki familyaları sayılabilir (Baker 1995). Özellikle hiperakümülatör bitkilerinin ağır metal içerikleri ve gereksinimleri, biriktirici olmayan türlere göre daha fazladır. Bu bitkiler, 10 ppm'den daha fazla Hg, 100 ppm Cd, 1000 ppm Co, Cr, Cu ve Pb, ve 10000 ppm Ni ve Zn içerirler. Bugün bilinen 400 ağır metal biriktirici bitki bulunmaktadır (Reeves ve Baker 1999). En bilinen bitki *Thlaspi caerulescens* (alpine pennycress)'dir. Diğer taraftan topraktan ağır metal alma performansı yüksek olan bitkilerin, genel olarak özel coğrafik alanlarda yetiştikleri ve buna bağlı olarak özel gelişme şartları gerektirdikleri belirlenmiştir. Ancak çok yaygın alanlarda gelişebilen ve fitoremediasyon amacıyla başarılı bir şekilde kullanılan bitkilere de rastlanılmaktadır (Pence vd 2000, Cao vd 2002), "Montevecchio, Sardinia'dan alınan ağır metallerle kirlenmiş topraklardan bazı bitki türlerinin ağır metalleri alma performansları" konulu araştırmaları için yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda *Festuca arundinacea*'nin Montvecchio topraklarına karşı toleranslı olduğu ve sürgünleri ile yüksek miktarda çinko (Zn) alabildiği, *Helichrysum italicum*'un ise çinko ve kurşun (Pb) alım performansında artış gösterdiğini belirlemişlerdir.

Arienzo vd (2004), tarafından "Metalurji Tesislerinden Dolayı Kirlenmiş Toprakların *Lolium perene* ile Yeniden Bitkilendirme Olanakları" araştırılmıştır. Bu çalışmada Güney İtalya, Naples'teki metalurji tesislerinin atıklarından kaynaklanan İtalyan sınır değerlerinin üzerinde oluşmuş bakır (Cu), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) ile kirlenmiş

alanları *Lolium perene* ile yeniden bitkilendirme olanakları sera koşullarında denenmiştir. Metalurji tesislerinde iki farklı yerden (RM1 ve RM2) yüzey toprağı (0-40 cm) alınmış, alan yakınından kontrol amaçlı da kullanılacak olan kirlenmemiş kültür toprağı C sağlanmış ve bunların 1/3 oranında karıştırılmasıyla (RM1+C ve RM2+C) yetiştirme ortamları hazırlanmıştır. Çimlenmenin 90. gününde sürgün uzunluğu, klorofil içeriğı, biomas verimi, bitki metal alımı, organik karbon içeriğı değışimleri ve topraktaki metal dağılımı gibi özellikleri belirlenmiştir. Cu, Pb ve Zn içerikleri hazırlanan karışım topraklarda (RM1+C ve RM2+C) İtalyan sınır değıerlerinin iki ve üç katı daha fazla bulunmuştur. Araştırmada kullanılan bitkiler bu ortamlarda %100 canlı kalmış ve gözle görülür hiçbir metal toksisite belirtisi göstermemişlerdir. Araştırmacılara göre, metallere ulaşılabilirliğı sınırlayan en önemli parametrelerden birinin yüksek pH olduğunu söylemek mümkündür. RM1, RM2 ve karışım ortamlarından alınan bitkilerin sürgün uzunluğu, biomas verimi ve toplam klorofil içeriğı kontrol toprağından alınan bitkilerle karşılaştırıldığında hiçbir toksik belirti görülmeksizin daha yüksek bulunmuştur. Kirlenmiş topraklarda yetişen bitkilerin Cu, Pb ve Zn içerikleri kontrol toprağında yetişenlere göre çok daha fazla olsa bile; sonuç olarak *Lolium perenne* türünün kirlenmiş toprakların bitkilendirilmesinde sağlıklı alan kaplama özelliğine sahip olduğı ve alandaki metal kalıntılarını durağan hale getirebileceğı vurgulanmıştır.

Ağır metallerin bitki tarafından alınabilirliğini etkileyen en önemli faktörlerden biri toprak faktörleridir. Bu konuda yapılan araştırmalar göstermiştir ki bitkiye ağır metallerin yarıyışlılığı toprakta metallerin hareketliliğı ve bağlanma etkisi gibi bazı toprak özelliklerine bağlıdır. Bunlar toprak pH'sı, iyon değışimi özellikleri, drenaj durumunun yanısıra kil ve organik madde içeriğıdir (Bernow ve Burridge 1991, Sauerbeck ve Lübben 1991). Bitkiler tarafından alınan bir kısım metaller, bitki bünyesindeki enzimler aracılığıyla bozunmakta ve kimyasal formları değışikliğe uğramaktadır. Çoğı metaller ise herhangi bir bozunmaya uğramadan bitkinin yaprak ve saplarında birikerek, bitkinin hasadıyla ortamdan uzaklaşmaktadırlar (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Kirlenicilerin bitki bünyesinde uğradığı değişiklikler

Topraktaki ağır metallerin bitki kökleri tarafından alınabilecek forma gelmesi, fitoremediasyon tekniğini etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Bu amaçla kullanılan kompleks yapıcı şelatların, bitkilerde metallerin alınabilirliğini artırdığı tespit edilmiştir.

Hiperakümülatör bitkilerin tolerans mekanizmaları özetlenecek olursa,

- Hücre duvarlarına metal bağlanması: Pb-karbonat olarak tutulur.
- Hücre membranlarına doğru taşınımın azalması: Ağır metallerin bitki köklerinde tutulup, gövde ve sürgünlere taşınmasının engellenmesi ile taşıma azaltılmaktadır.
- Vakuollerde depolama: Zn elementi Zn fitat, malat ve oksalat gibi düşük molekül ağırlıklı organik bileşikler halinde, Cd tiol gruplarına ve Ni histidin ile bağlanması sonucunda vakuollerde depolanır.
- Şelatlama: Cd'un, tiol gruplarına, Pb glutathione ve aminoasitlere bağlanarak fitoşelatlar oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra organik asitlerden sitrat, malat ve malonate ile birleşerek fitoşelatları oluşturmaktadırlar. Metallothioneinler birçok hayvan ve bitkide bulunan proteinlerdir. Ağır metaller ile bağlanarak protein bileşikleri oluştururlar (Aksu ve Yıldız 2004).

Çizelge 2.2'de fitoremediasyon amaçlı olarak çeşitli ağır metalleri biriktirme özelliğine sahip uygun bazı bitki türleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Ağır metalleri biriktirme özelliğine sahip bazı bitkiler (Herrchen ve Kördel 2001)

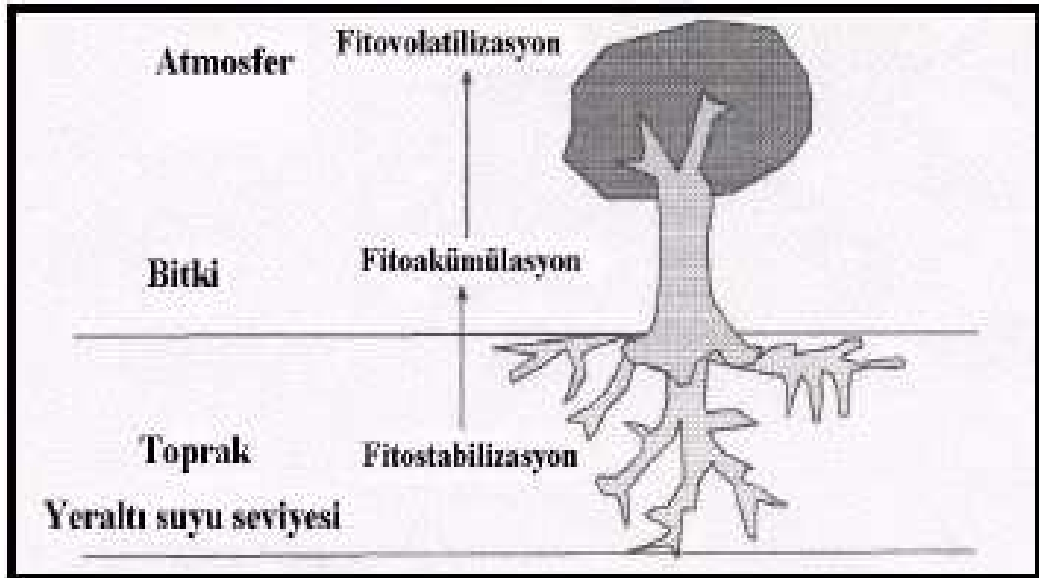
Ağır Metal	Bitkiler
Arsenik	<i>Reynoutria sachaliensis</i> , <i>Clamydomonas sp.</i>
Kurşun	<i>Alyssum murale</i> , <i>Clamydomonas sp.</i> , <i>Salix viminalis</i> , <i>Thlapsi caerulescens</i>
Kadmiyum	<i>Nicotiana tabacum</i> (tütün)
Kobalt ve Bakır	<i>Lamiacea</i> , <i>Scrophulariaceae</i>
Nikel	<i>Brassicaceae</i> (<i>Alyssum</i> , <i>Thlapsi</i>), <i>Euphorbiacae</i> (<i>Phyllanthus</i> , <i>Leucocroton</i>), <i>Asteraceae</i> (<i>Senecio</i> , <i>Pentacalia</i>)
Selenyum	<i>Leguminoseae</i> (baklagiller)
Çinko	<i>Thlapsi caerulescens</i> , <i>Alyssum murale</i> , <i>Salix viminalis</i> , <i>Clamydomonas sp.</i>

Del Rio vd (2002) “Aznaıcollar madeni zehirli atıklarından sonra guadiamar nehri yakınlarında yabani bitkiler tarafından ağır metal ve arsenik Alımı’nı inceledikleri araştırmada, Güney İspanya’da Aznaıcollar madeninden dolayı Guadiamar nehri ve yakın çevresindeki Avrupa’nın en geniş sulak alanı olarak bilinen, ağır metaller ve arsenikle kirlenmiş Donana Milli Parkı’nda bazı bitki türlerini araştırmışlardır. Araştırmanın amacı; kirlilikten etkilenen çevrede yetişen bitkilerin kök analizleri sonucu kirli topraklarda yetişebilecek ve kökleri ile ağır metal ve arsenik toplayabilecek bitkileri tespit edebilmektir. Bu amaçla çalışmada 99 farklı bitki türünde yapılan analizler sonucunda *Cynodon dactylon*, *Lavatera cretica*, *Malva nicaensis*, *Slybum marianum* ve *Amaranthus blitoides*’in içinde bulunduğu 10 bitki türünün ağır metallerle kirlenmiş alanların ıslahında kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Duncan (2002), “Nova Scotia, Springhill’deki (Kanada) Duff Bank Kömür Madeni Atıklarının Yeniden Bitkilendirme Potansiyeli” konulu çalışmasını 75 hektarlık ve 150 yıldan daha fazla kömür madeni atıklarının biriktirildiğı bir atık depo alanında gerçekleştirmiştir. 1958 yılından beri kapalı olan ve 1992’de ağır iş makineleri ile sıkıştırma dışında hiçbir şey yapılmamış olan alanda, yeniden oluşan mevcut vejetasyon belirlenmiş ve ıslahı hızlandırmak için yapılabilecek bazı uygulamaların

kullanılabilirlikleri değerlendirilmiştir. Araştırmada vejetasyon denemelerinde grid sistemi kullanılmış mevcut bitki topluluklarının, tohum bankasının ve toprağın kimyasal yapısının değerlendirilebilmesi için toprak örnekleri ve toprak kesitleri analiz edilmiştir. Islah potansiyeli için beş çim bitkisinin karışımı, kireç ve kompost kombinasyonları denenmiştir. Denemeler sonunda, beş türün de çimlenebildiği ve kompostun en iyi yetişme ortamı olduğu görülmüştür. Bu sonuçlardan anlaşılmaktadır ki Duff Bank kömür madeni atıkları, doğal bitkileri içeren ıslah edici bitkilerle başarılı bir şekilde yeniden bitkilendirilebilir.

Thlaspi, *Urtica*, *Chenopodium*, *Polygonum sachalase* ve *Allyssim* gibi bazı bitkilerin Cd, Cu, Pb, Ni ve Zn'yi bünyelerinde biriktirme yetenekleri vardır. Bu nedenle, söz konusu bitkilerin yetiştirilmesi kirlenmiş toprakların arıtılmasında dolaylı bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Mulligan vd 2001). Örneğin, çoğu bitkiler yaklaşık 100 ppm'lik bir Zn birikiminde toksisite semptomları gösterirken, en yaygın metal hiperakümülatörü olarak bilinen *Thlaspi caeruledcens*'in 26000 ppm'in üzerinde bir birikimi sağlayabildiği bildirilmektedir (Lasat vd 2000). Şekil 2.2'de fitoremediasyon prosesinin mekanizmasını gösteren şematik diagram verilmiştir.



Şekil 2.2. Fitoremediasyon prosesi ile metal gideriminde ana mekanizmalar

Fitostabilizasyon ise, topraktaki metallerin mobilitelerini ve yarayışlılıklarını sınırlayan bitkilerin kullanımını kapsamaktadır. Fitostabilizasyon bitkileri, yüksek metal seviyelerini tolere edebilen ve metalleri sorpsiyon, çöktürme, kompleksleşme veya metal valanslarının indirgenmesiyle toprakta immobilize edebilen bitkilerdir. Aynı zamanda gövdelerinde düşük seviyede bir birikim gösterdikleri için, hasattan sonra kalıntıların tehlikeli atık haline gelmesi elimine edilmiş olmaktadır. Toprakta bulunan metalleri stabilize etmesinin yanı sıra bu bitkiler aynı zamanda, toprak matriksindeki erozyonu ve sedimentin migrasyonunu da stabilize eder.

Fitoremediasyonun diğer bir çeşidi olan rizofiltrasyon ise, metalleri sorpsiyon yoluyla uzaklaştıran bitkilerin kullanımını içermektedir. Daha çok atık sudaki metallerin bitki kökleriyle absorblanmasını, konsantre edilmesini ve presipitasyonunu içeren yöntem, toprak sızıntı suları için de uygulanabilmektedir.

Fitoremediasyon teknolojisi, kirlenmiş toprakların temizlenmesinde biyolojik bazlı ve düşük maliyetli bir alternatif olarak kabul edilmektedir. Toprak arıtımı için kullanılan fizikokimyasal teknolojilerin çoğu topraktaki biyolojik aktiviteyi tamamen yok etmekte ve toprağı bitki büyümesi için uygun olmayan bir ortam şekline dönüştürmekteyken, fitoremediasyon toprağın biyolojik özelliklerini ve fiziksel yapısını korumaktadır. Ancak, teknolojinin ileride arazi ölçeğinde verimli olarak kullanılabilmesi için, ağır metallerin bitki bünyesinde birikimini karakterize eden moleküler, biyokimyasal ve fizyolojik proseslerin iyi anlaşılması gerekmektedir (Khan vd 2000).

Farklı ortamlar ve kirleticiler için kullanılan fitoremediasyon teknikleri Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Fitoremediasyon yönteminin kullanımında iklim şartları ve metallerin yarayışlılık durumları göz önünde bulundurulmalıdır. Yöntemin uygulanmasından sonra yüksek metal içeriğine sahip bitkiler kurutma, yakma, gaz çıkışı, piroliz, asit ekstraksiyonları, anaerobik çürütme gibi yöntemlerle uzaklaştırılmalıdır. Fitoremediasyon teknolojisi yeni bir teknoloji olup, henüz gelişim safhasının başlarındadır. Bu nedenle, performansı ve maliyetiyle ilgili veriler oldukça sınırlıdır. Kirleticilerin yüzeye yakın yerde

bulunduğu bölgeler için uygun bir teknoloji olarak geliştirilebileceği düşünölmektedir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise, diğer metotlarla karşılaştırıldığında prosesin çok daha uzun sürmesidir. Ayrıca, bitki tarafından ekstrakte edilebilen metal miktarlarını arttırmak üzere genetik tür çalışmalarının yapılması gerekmektedir (Mulligan vd 2001).

Fitoremediasyon amacıyla kullanılan bitkilerin ortamdaki uzaklaştırılması ve nihai giderimi de önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Çizelge 2.4’de farklı fitoremediasyon tekniklerinde artık bitkisel malzemenin nihai giderim yolları verilmiştir (EPA 2000).

Bitki kullanılarak topraklardan alınan ağır metal alma işleminde amaç, toprak tarafından tutulmuş halde bulunan ağır metallerin daha kontrol edilebilir ve taşınabilir forma dönüştürölmesidir. Bu nedenle fitoremediasyon yöntemi, nihai bir uzaklaştırma veya giderme yöntemi olarak düşünölmemektedir. Nihai uzaklaştırma veya giderim, fitoremediasyon sonucunda ortaya çıkan bitkilerin yakılarak veya uygun bir depolama alanında depolanarak gerçekleştirilebilmektedir. Bitkide biriken selenyum gibi bazı metallerin hayvan beslenmesinde yararlı olması nedeniyle bu tür bitkilerin, hayvan yemi olarak değeriendirilmesi de mümkündür.

Chen vd (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, Vetiver (Kabe samanı) çiminin Cd, Cu, Pb ve Zn ile kirlenmiş bir toprakta iyi büyüdüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca bitki gövdesinde yüksek konsantrasyonlarda Cd, Cu, Pb ve Zn tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda vetiver çiminin özellikle Cd, Pb ve Zn’un topraktan uzaklaştırılmasında etkili olabileceği, ancak hasat edilen materyalin ne şekilde arıtılabileceğiyle ilgili detaylı çalışmaların yapılması gerekliliği vurgulanmıştır.

Çizelge 2.3. Farklı ortamlar ve kirleticiler için kullanılan fitoremediasyon teknikleri (EPA 2000).

Mekanizma	Proses Hedefi	Ortam	Kirleticiler	Bitkiler
Fitoekstraksiyon (Kirliliklerin bitki kökleri tarafından alınması ve bitki içerisinde taşınmasıdır.)	Kirletici Alma ve Uzaklaştırma	Toprak, Sediment ve Çamur	Metaller, Metalloidler, Radionükleidler	Hindistan Hardalı, Pennycress, Alyssum, Ayçiçeği, Hibrit Kavaklar
Rizofiltrasyon (Metallerin kök tarafından alınması yada tutulmasıdır.)	Kirletici Alma ve Uzaklaştırma	Yüzey ve Yeraltı Suyu	Metaller, Radyonükleidler	Ayçiçeği, Hindistan Hardalı, Su Sumbülü
Fitostabilizasyon (Kirleticilerin, kökler tarafından alınarak, Kökler yüzeyine yapışarak veya bitkinin kök bölgesinde hareketsizleştirilmesi ve rüzgar ile su erozyonunun bitkiler tarafından engellenmesidir.)	Kirletici Etkisizleştirme	Toprak, Sediment ve Çamur	As, Cd, Cr, Cu, Hs, Pb, Zn	Hindistan Hardalı, Hibrit Kavaklar, Çimlen
Rizodegradasyon (Organik Kirleticilerin kök bölgesinde mikroorganizmalar tarafından biyolojik parçalanmasıdır.)	Kirletici Giderme	Toprak, Sediment ve Çamur, Yeraltı suyu	Organik Bileşikler	Kırmızı Dut, Çimlen, Hibrit kavaklar, Sukamış, Çeltik
Fitodegradasyon (Bitki dokuları içerisinde kirleticilerin metabolizmaya uğramasıdır.)	Kirletici Giderme	Toprak, Sediment ve Çamur, Yeraltı suyu, Yüzey Suyu	Organik Bileşikler, Klorinat Çözücüler, Fenoller,Herbisitler	Alg, Stonewort, Hibrit Kavaklar, Siyah söğüt, Servi
Fitovolatilizasyon (Kirleticilerin kökler tarafından alındıktan sonra yapraklar aracılığıyla buharlaşmasıdır.)	Kirleticiyi buharlaştırma	Toprak, Sediment ve Çamur, Yeraltı suyu	Klorinat Çözücüler, Bazı İnorganikler (Se, Hg, As)	Kavaklar, Yonca, Siyah Locust, Hindistan Hardalı

(Devamı bir sonraki sayfada)

Çizelge 2.3.ün devamı

Hidrolik Kontrol (Suyun Bitki tarafından alınmasıyla, toprak akışının kontrolüdür.)	Kirletici Bozunma	Yüzey ve Yeraltı Suyu	Suda Çözünen Organik ve İnorganikler	Hibrit kavaklar, Söğüt
Vejetatif (Fitoremediasyon) Örtü (Suyun dikey akışının Toprak altındaki kirleticiye ulaşımının Bitki tarafından engellenmesidir.)	Erozyon Kontrolü	Toprak, Sediment ve Çamur	Organik ve İnorganik Bileşikler	Kavaklar, Çimler
(Riparian) Buffer Strips (Kirleticilerin Su ile, Dere vb. akarsulara taşınmasının engellenmesidir.)	Kirletici Giderme	Yüzey ve Yeraltı Suyu	Suda Çözünen Organik ve İnorganikler	Kavaklar

Çizelge 2.4. Farklı fitoremediasyon tekniklerinde artık bitkisel malzemenin nihai giderim yolları (EPA 2000).

Metod	Parçalanma/İmha	Çıkarma/Alma	Engelleme/sınırlandırma
Fitoekstraksiyon		*	
Fitostabilizasyon		*	
Fitovolatilizasyon,		*	
Rhizodegradasyon	*		
Fitodegradasyon	*		
Rizofiltrasyon		*	
Hidrolik Kontrol	*		
Vejetatif Örtü Sistemleri	*		*
Riparian Tampon Şeritleri	*	*	*

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde araştırmada kullanılan materyaller, arazi ve laboratuvar çalışmalarında uygulanan yöntemlerle ilgili bilgiler verilmiştir.

3.1. Materyal

Çalışmada; flotasyon atığı, kireçli toprak, organik gübre (ahır gübresi) ve iki farklı çim bitkisi deneme materyalleri olarak kullanılmıştır.

3.1.1. Flotasyon atığı

Denemede kullanılan Flotasyon atığı, Isparta'da Keçiborlu Kükürt Fabrikası atık havuzu alanlarından temin edilmiştir. Ülkemizde ki yegâne işletilebilir doğal kükürt maden yatağının bulunduğu yer olan Isparta'nın Keçiborlu ilçesi, doğusunda Isparta Merkez ilçe, batısında Afyon ilinin Dinar, Dazkırı, Başmakçı ilçeleri, kuzeyinde Uluborlu ilçesi, güneyinde Burdur ili ve Burdur Gölü ile komşudur. Yüzölçümü 565 kilometrekaredir. İlçedeki dağlar Batı Toros Dağlarının kuzey uzantılarıdır. En yüksek zirvesi 1890 metre ile Akdağ'dır. Göktepe, Gözlektepe, Kemek Tepe ilçeyi çevreler. Güney ve doğu tarafında bulunan Kılıç, Senir, Gümüşgün düzlükleri ilçenin önemli ovalarıdır. Keçiborlu ilçesi doğal bitki örtüsü yönünden zengin değildir. Kış yağışları ile oluşan ve yazın kuruyan küçük derelerden başka akarsuyu yoktur. Burdur Gölü'nün 22 kilometrelik kıyı şeridi Keçiborlu ilçesi sınırları içerisinde kalmaktadır. Kara iklimine sahip olup, yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı geçmektedir. Yağışlar kış ve bahar aylarında yoğun olup, yıllık yağış ortalaması metrekareye 615 milimetredir (Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Isparta İl Müdürlüğü 1998).

Fabrikanın 1992 yılı elementel kükürt üretimi 22.700 ton olmuş ve 100.750 ton tüvanan cevherden üretilmiştir. 1993 Nisan ayı itibariyle toplam 650.000 ton görünür tüvanan cevher rezervi kalmıştı. Yeraltı arama galerileri çalışmalarında sürpriz rezervler bulunabilmekteydi. Keçiborlu kükürt işletmesi ekonomik ömrünü doldurduğu gerekçesiyle 1995 yılında tamamen kapatılmıştır. Doğal kükürt maden yatağına sahip

olan bölgedeki Etibank Keçiborlu Kükürt İşletmesi flotasyon yöntemiyle kükürt üretimi yapmıştır (Etibank 1983).

Flotasyon, cevher hazırlama süreçleri içinde minerallerin yüzey/ara yüzey özelliklerinden yararlanılarak, değerli mineralleri değersiz (gang) minerallerinden ayırmak amacıyla yaygın olarak kullanılan zenginleştirme yöntemlerinden biridir. Bir flotasyon hücresi içinde, uygun kimyasallar kullanılarak mineral yüzeylerinin susever (hidrofilik) ve susevmez (hidrofobik) hale getirilmesiyle değerli minerallerin değersiz minerallerden ayrılması olayına flotasyon denilmektedir. Bu işlem sonucunda flotasyon atığı denilen bir atık oluşur. Flotasyon yöntemiyle üretim yapan ve 1995 yılında kapatılan Isparta/Keçiborlu kükürt fabrikası ardından yaklaşık 1 milyon ton flotasyon atığı bırakmıştır. Atık havuzları; ilçe merkezinin doğu yönünde, tepelik bir arazi üzerinde hemen hemen ilçe merkeziyle iç içe bir halde atmosfer koşullarına bırakılmış durumdadır.

Flotasyon atığı gri-siyah renkli ve mat görünümlüdür. Atık materyale ait bazı analiz sonuçları Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

3.1.2. Kireçli toprak

Deneme için kullanılan toprak Akdeniz Üniversitesi kampus alanından sağlanmış olup, Gölbaşı serisine aittir. Eski karstik araziler üzerinde bulunan küçük bir Dolin'in oluşturduğu çok sığ gölssel ortamlarda kireçli materyallerin depolanması sonucu meydana gelen ve masif traverten özellikleri taşıyan bu araziler, kampus alanının batı ve kuzey batısında lokal bir alanda yayılım göstermektedir. Depolanan jeolojik materyallerin özelliğine bağlı olarak kireç içeriği çok yüksek olan bu araziler üzerinde sığ ve çok sığ profilli topraklar gelişebilmiştir. Gölbaşı serisi topraklarında kil miktarı % 10-35 arasında, organik madde % 0.24-2.8 arasında ve kireç miktarı % 17-79 arasında değişmektedir. Etkili toprak derinliğinde kireç miktarı ortalama % 25 olan bu seri toprakları, kampus alanının en yüksek kireç içeriğine sahip topraklardır. Katyon değişim kapasitesi ise kil ve organik madde miktarına bağlı olarak ortalama 28 me/100g'dır. Buna karşılık, değişim komplekslerindeki kalsiyum ve magnezyum çok

yüksek miktardadır. Aynı zamanda bu seri topraklarının pH değerleri de çok yüksektir (Sarı vd 1993).

Denemede kullanılan toprak materyaline ait bazı analiz sonuçları Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

3.1.3. Ahır gübresi

Denemede, organik materyal olarak ahır gübresi kullanılmıştır. Ahır gübresi, Antalya'nın Serik ilçesinde yaşayan ve hayvancılık ile uğraşan bir çiftçiden sağlanmıştır. Denemede kullanılan ahır gübresine ait bazı analiz sonuçları Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

3.1.4. Bitki materyali

Araştırmada, Kamışsı Yumak (*Festuca arundinacea*) ve Yüksek Otlak Ayırığı (*Agropyron elongatum*) çim türleri deneme bitkileri olarak kullanılmıştır.

Avrupa ve Akdeniz çevresinde yabani olarak yetişen *Festuca arundinacea*, diğer çim türlerine göre uzun boylu, kaba yapılı, kalın ve sert yapraklıdır. Yumak şeklinde gelişen bitki oldukça sık yapıda bir çim örtüsü oluşturur. Son yıllarda çim bitkisi olarak önem kazanmaya başlamıştır.

Uzun ömürlü bir bitki olan bu tür, serin ve nemli bölgelerde iyi yetişir. Derin köklü olması nedeni ile sıcağa ve kurağa diğer çim türlerinden daha iyi dayanır. Kurak dönemlerde, diğer türlere göre yeşilliğini uzun süre devam ettirir. Soğuğa dayanımı çok yüksek değildir. Aşırı soğuklardan zarar görebilir. Gölgeye dayanımı orta derecede, basılmaya ve çiğnenmeye dayanımı ise yüksektir (Açıkgöz 1994).

Çizelge 3.1. Denemede kullanılan materyallere ait bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

PARAMETRE	FLOTASYON ATIĞI	AHIR GÜBRESİ	DENEME TOPRAĞI
pH	3.12	7.62	7.97
E.C. dS m ⁻¹	9.99	4.73	0.16
CaCO ₃ %	1.61	9.66	48.25
N %	0.038	2.13	0.035
P mg kg ⁻¹	0.17	3876.16	0.49
K mg kg ⁻¹	0.00	6767.84	23.87
Ca mg kg ⁻¹	1442.00	36362.10	1442.00
Mg mg kg ⁻¹	406.00	5116.83	130.00
Na mg kg ⁻¹	4.92	0.15	15.01
Fe mg kg ⁻¹	6250.00	3582.50	3.53
Zn mg kg ⁻¹	8.17	152.58	1.18
Mn mg kg ⁻¹	53.21	75.58	3.00
Cu mg kg ⁻¹	10.30	2.56	0.59
Co mg kg ⁻¹	5.82	0.27	0.04
Ni mg kg ⁻¹	64.84	28.09	0.11
Cr mg kg ⁻¹	14.86	57.56	0.02
Pb mg kg ⁻¹	0.53	5.35	0.16
Cd mg kg ⁻¹	0.13	0.56	0.01

Çok farklı toprak şartlarında yetiştirilebilir, fakat en iyi gelişimini verimli, nem tutan ve organik maddece zengin topraklarda yapar ve pH'sı 4.7 ile 8.5 arasında değişen topraklarda yetişebilir. Bununla beraber asit toprakları (pH 5.5-6.5) tercih eder. Alkali ve tuzlu topraklarda diğer çim türlerinden daha iyi gelişir. Su göllenmesine ve zayıf drenajlı topraklara dayanımı oldukça iyidir.

Biçim yüksekliği 4-6 cm kadar olmalıdır, daha kısa biçimlerden zarar görür. Bu nedenle ince ve kaliteli çim istenilen alanlara uygun değildir. Büyüme döneminde aylık 3-5 g/m² N verilmesi uygundur. Soğuk bölgelerde aşırı N gübrelemesi kış zararını artırabilir. Sulama isteği *Lolium*, *Poa* ve bazı *Festuca* türlerinden azdır. Ancak kurak dönemlerde, renk değişmesi nedeniyle çim kalitesi düşer.

Son yıllarda ince yapraklı, yavaş gelişen ve çim alanlara uygun Kamışsı yumak çeşitleri geliştirilmiştir. Bu çeşitler yazları sıcak ve kurak geçen kara ikliminin veya

Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü alanlarda başarı ile kullanılmaya başlanılmıştır. Basılmaya dayanımın yüksek olması nedeni ile spor alanları, park ve bahçelerde kullanımı giderek artmaktadır. Tohumları oldukça iri olması nedeniyle ekimi kolaydır. Çıkıştan sonra bitkiler hızla gelişerek toprağı kaplarlar.

Yüksek otlak ayrığı (*Agropyron elongatum*) ise uzun boylu, geç olgunlaşan, sapları ve yaprakları kaba ve sert olan bir ayrık türüdür. Olgun bitkiler 1.5-2 m'ye kadar boylanabilir. Soğuğa dayanımı iyi, kurağa dayanımı ise zayıftır. Nemli, yaş alanlarda çok bol ot ürünü verir. Ancak otu çok kalitesizdir. Erken ilkbaharda yüksek otlak ayrığını otlayan hayvanlar, daha sonra hızla kabalaşan bitkileri fazla severek yemezler. Bu devrelerde hayvanlar yüksek otlak ayrığını ancak çevrede başka hiçbir bitki olmaması halinde otlarlar (Kernick 1978).

Yüksek otlak ayrığının en önemli özelliğı, tuzluluğa çok dayanıklı olmasıdır. Özellikle yaş alanlarda, tuzluluğa çok iyi dayanır (Açıkgöz 1994). Bu nedenle yüksek otlak ayrığı, ancak tuzlu alanlarda kullanılmalıdır. Kurak bölgelerde tuzlu alanların yeşillendirilmesinde önde gelen bitkilerden birisidir. Ekimde 1.5-2 kg/da tohum kullanılır. Yetiştirilmesi çok kolaydır. Tohumları iri, fideleri çok kuvvetlidir. Ekimden sonra hızla gelişir. Otlatmak amacı ile hafif tuzlu alanlarda yonca ve korunga ile karışım halinde ekilebilir. *Agropyron elongatum* (yüksek otlak ayrığı) meraları biraz ağır otlatılarak kabalaşma önlenmelidir. Ot için ise bitkileri başaklanma öncesinde biçilmelidir. Verimi oldukça yüksektir. Dekardan 300-500 kg kuru ot alınabilir. Tohum verimi 20-50 kg/da arasında değişir.

3.1.5. Deneme alanının tanıtılması

Araştırma Akdeniz Üniversitesi Kampus alanı içerisinde deneme için belirlenen saksı sayısını bünyesinde barındırabilecek, üzeri %95'lik gölge tülü ile kapatılmış yüksek tünelde yürütülmüştür.

3.1.5.1. Deneme alanının iklim özellikleri

Deneme alanı, Antalya havzasının sahil kesimindeki tipik Akdeniz iklim kuşağında yer almaktadır. Antalya havzası kuzeyde yüksek dağlarla çevrili olduğundan bulunduğu enlem derecesine göre olması gerekenden daha sıcak iklimsel özellikler gösterir. Bu kuşakta yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı geçmektedir (Anonim 1993).

Deneme alanında ortalama yıllık yağış miktarı 568.3 mm olup yağışlar yağmur şeklinde ve çoğunlukla ilkbahar ve kış mevsimlerinde düşmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık değeri 20.1 C° olan alanda uzun yılların ortalamalarına göre en yüksek sıcaklık 29.7 C° ile Temmuz ayında ve en düşük sıcaklık ise 11.4 C° ile Ocak ayındadır (Çizelge 3.2.).

Çizelge 3.2. Antalya meteoroloji istasyonunun denemenin yürütüldüğü 2007 yılına ait bazı meteorolojik verileri (Anonim 2007)

2007 YILI VERİLERİ							
AY	ORTALAMA MAKSİMUM (° C)	ORTALAMA MİNİMUM (° C)	ORTALAMA SICAKLIK (° C)	NEM (%)	EKSTREM MAKSİMUM (° C)	EKSTREM MİNİMUM (° C)	TOPLAM YAĞIŞ (KG/M ²)
OCAK	16.2	8.3	11.4	57.3	21.1	4.3	136.8
ŞUBAT	16.0	9.0	12.1	67.1	20.7	2.4	182.6
MART	18.7	11.1	14.6	59.9	22.3	8.4	10.2
NİSAN	22.2	13.8	17.4	50.8	27.3	10.5	1.6
MAYIS	25.6	18.9	21.7	69.4	35.0	14.0	5.2
HAZİRAN*	31.7	23.8	27.2	55.7	43.5	17.8	1.4
TEMMUZ*	34.8	26.3	29.7	54.2	43.8	22.8	0.2
AĞUSTOS*	32.6	25.9	29.0	68.1	40.5	23.6	1.0
EYLÜL	30.9	22.9	26.3	52.0	40.3	20.4	0.0
EKİM	27.1	19.9	22.8	55.2	35.6	14.9	16.6
KASIM	20.1	13.2	16.2	68.2	24.4	9.0	58.2
ARALIK	18.0	10.1	13.0	49.1	21.7	6.2	154.5
YILLIK	24.5	16.9	20.1	58.9	43.8	2.4	568.3

(*) Koyu renk yazılmış olan aylarda deneme yürütülmüştür.

3.2. Metot

Saksı denemesinde yetiştirme ortamı olarak kullanmak amacıyla Isparta/ Keçiborlu Kükürt Fabrikası atık havuzu alanlarından temin edilen flotasyon atığı ve Akdeniz üniversitesi kampus alanı Gölbaşı serisine ait kireçli toprak örnekleri alındıktan sonra toprak hava kurusu hale getirilip ardından 4 mm'lik elekten elenmiştir. Kullanılan materyaller toplam ağırlığı her bir saksıda 6.0 kg olacak şekilde, Çizelge 3.3 'de verilen oranlarda homojen bir karışım elde edilerek ahır gübrelili ve ahır gübresiz olarak 510x165x125 mm ebatlarındaki saksılara doldurulmuştur. Ayrıca denemeye başlamadan başlangıç aşamasında her saksıya 150 kg/da olacak şekilde 15.15.15 kimyasal gübresinden uygulanmıştır. 1 m² alana 100 g tohum esasına göre her saksının 0-2 cm derinliğine ekim işlemi yapıldıktan sonra çimlenmenin etkili bir şekilde olması amacıyla tohumların üzeri torf ile ince bir tabaka halinde örtülerek ekim işlemi tamamlanmıştır.

Çizelge 3.3. Deneme saksılarında yetiştirme ortamlarını hazırlamak için kullanılan materyallerin karışım oranları

Uyg. No	Karışım Oranları
1	% 90 FA + % 10 KT
2	% 80 FA + % 20 KT
3	% 70 FA + % 30 KT
4	% 60 FA + % 40 KT
5	% 86 FA + % 10 KT + % 4 AG
6	% 82 FA + % 10 KT + % 8 AG
7	% 76 FA + % 20 KT + % 4 AG
8	% 72 FA + % 20 KT + % 8 AG
9	% 66 FA + % 30 KT + % 4 AG
10	% 62 FA + % 30 KT + % 8 AG

FA : Flotasyon Atığı
KT : Kireçli Toprak
AG : Ahır Gübresi

Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da saksı denemesinin değişik zamanlarda çekilen resimlerine yer verilmiştir.



Şekil 3.1. Saksı denemesinin kurulum aşamasından genel görünüm (7 Haziran 2007)



Şekil 3.2. Saksı denemesinden genel görünüm (12 Temmuz 2007)



Şekil 3.3. Saksı denemesinden genel görünüm (20 Ağustos 2007)



(% 90 FA + % 10 KT)

(%62FA+% 30 KT+%8AG)

Şekil 3.4. Saksı denemesinden yüksek otlak ayrığı (*Agropyron elongatum*) çeşidine ait örnek saksılar (12 Temmuz 2007)



(%90FA+%10KT)

(%62FA+% 30 KT+%8AG)

Şekil 3.5. Saksı denemesinden kamışsı yumak (*Festuca arundinacea*) çeşidine ait örnek saksılar (12 Temmuz 2007)



(% 90 FA + % 10 KT)

(% 62FA+%30KT+%8AG

Şekil 3.6. Saksı denemesinden yüksek otlak ayrığı (*Agropyron elongatum*) çeşidine ait örnek saksılar (20 Ağustos 2007)



(% 90 FA + % 10 KT)

(% 62FA+%30KT+%8AG)

Şekil 3.7. Saksı denemesinden kamyşsı yumak (*Festuca arundinacea*) çeşidine ait örnek saksılar (20 Ağustos 2007)



(%90FA + %10KT)

(%62FA+%30KT+%8AG)

Şekil 3.8. Saksı denemesinden yüksek otlak ayrığı (*Agropyron elongatum*) çeşidine ait örnek saksılar (6 Eylül 2007)



(%90FA + %10KT)

(%62FA+%30KT+%8AG)

Şekil 3.9. Saksı denemesinden kamyşsı yumak (*Festuca arundinacea*) çeşidine ait örnek saksılar (6 Eylül 2007)

Belirlenen 10 uygulama 4 tekerrürlü olarak tesadüf blokları deneme desenine göre (10 Uygulama x 2 Bitki Çeşidi x 4 tekerrür = 80) yapılmıştır. Deneme süresi 12 hafta olarak planlanmış ve Haziran 2007 tarihinde başlayıp, Eylül 2007 tarihinde sonlandırılmıştır. Bütün uygulamaların sulamaları eşit şekilde yapılmıştır.

Deneme süresince her saksıda bulunan çim bitkileri 5 kez biçilmiş ve yapılacak olan analizlerde kullanmak üzere yeterli örnek sağlamak amacıyla, tüm biçimlerden elde edilen örnekler tek bir örnek haline getirilmiştir.

Deneme sonunda, bitkilerin yetiştiği her saksıdan ortam örnekleri alınmıştır. Alınan bitki ve ortam örneklerinde ağır metal ve bitki besin elementi analizleri yapılarak meydana gelen değişim incelenmiştir.

3.3. Analiz Yöntemleri

3.3.1. Toprak analiz yöntemleri

A. Toprak Reaksiyonu: Toprak örneklerinin pH'ları 1:2.5 oranında toprak-su karışımında ölçülmüştür (Jackson 1967).

B. Elektriksel İletkenlik: Toprak örneklerinin EC'leri 1:2.5 oranında toprak-su karışımında ölçülmüştür.

C. Kireç (CaCO_3): Toprak örneklerinin CaCO_3 içerikleri Scheibler Kalsimetresi ile ölçülerek; sonuçlar % CaCO_3 olarak hesaplanmıştır (Çağlar 1949).

D. Toplam Azot: Modifiye Kjeldahl Metoduna göre tayin edilerek (Kacar 1995); sonuçlar % olarak verilmiştir.

E. Alınabilir Fosfor: Toprakların fosfor miktarları Olsen metoduna göre belirlenmiş, sonuçlar mg kg^{-1} olarak verilmiştir (Olsen ve Sommers 1982).

F. Değişebilir Potasyum, Sodyum, Kalsiyum, Magnezyum: Toprakların ekstraksiyonunda 1 N amonyum asetat (pH=7) metodu Kacar (1995) tarafından bildirildiği şekilde uygulanmıştır. Ekstraksiyondaki potasyum, sodyum, kalsiyum ve magnezyum ICP-OES cihazı ile belirlenmiş ve sonuçlar mg kg⁻¹ olarak verilmiştir.

G. Alınabilir Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Ni, Cr, Cd ve Pb: 0.005 M DTPA ile muamele sonucu elde edilen süzükte (Lindsay ve Norwell 1978) ICP-OES cihazı kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar mg kg⁻¹ olarak verilmiştir.

3.3.2. Bitki analiz yöntemleri

A. Azot: Modifiye Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiş (Kacar ve İnal 2008) ve sonuçlar % olarak verilmiştir.

B. P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Cu, Mn, Cu, Co, Ni, Cr, Pb ve Cd: Kacar ve İnal (2008)'ın bildirdiği şekilde nitrik-perklorik asit karışımı ile yaş yakma sonucu elde edilen süzükte ICP-OES cihazı kullanılarak belirlenmiş ve değerler P, K, Ca, Mg, Na için % olarak, Fe, Zn, Cu, Mn, Cu, Co, Ni, Cr, Pb ve Cd için ise mg kg⁻¹ olarak verilmiştir.

E. Kuru madde verimi: Yetiştirme periyodu süresince saksı denemesinde her saksıdan 5 kez biçim sonucunda elde edilen toplam çim bitkilerinin ağırlığının 65°C'de sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutulması sonucu belirlenmiştir.

3.3.3. İstatistiksel analiz yöntemleri

Deneme uygulama konularının etkilerini belirlemek için, her bir konuya ait değerler bilgisayar ortamında MSTAT-C istatistik analiz programı (Freed vd 1989) kullanılarak değerlendirilmiştir. Veriler bilgisayara girildikten sonra varyans analizi ve Duncan testine tabi tutulmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, yürütülen saksı denemesinden elde edilen Kamışsı Yumak (*Festuca arundinacea*) ve Yüksek Otlak Ayrığı (*Agropyron elongatum*) çim türleri ile ortam diye nitelendirdiğimiz flotasyon atığı, kireçli toprak ve ahır gübresinden oluşan karışımlardan alınan örnekler üzerinde yapılan pH, EC, kuru madde verimi, N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Ni, Cr, Pb ve Cd elementlerinin analiz sonuçlarına yer verilmiş ve bu analiz sonuçları tartışılmıştır.

4.1. Yetiştirme Ortamlarının Analiz Sonuçları ve Tartışması

Saksı denemesi kurulmadan önce denemede kullanılan flotasyon atığı, kireçli toprak ve ahır gübresinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla analizler yapılmış ve Çizelge 3.1’de ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Denemenin başlangıç aşamasında her saksıya 150 kg da⁻¹ olacak şekilde 15.15.15 kimyasal gübresinden uygulanmıştır. 1 m² alana 100 g tohum esasına göre her saksının 0-2 cm derinliğine ekim işlemi yapıldıktan sonra çimlenmenin etkili bir şekilde olması amacıyla tohumların üzeri torf ile ince bir tabaka halinde örtülerek ekim işlemi tamamlanmıştır. Deneme sonlandırıldıktan sonra ise her saksıdan ortam örnekleri alınmış, analizlerde kullanılmak üzere hazır hale getirildikten sonra her saksının pH, EC, toplam N, alınabilir P, değişebilir K, Ca, Mg, Na, DTPA-ekstrakte edilebilir Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Ni, Cr, Pb ve Cd miktarını belirlemek amacıyla analizler yapılmıştır.

4.1.1. Yetiştirme ortamlarının pH analiz sonuçları

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların pH’ı üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1’de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların pH’ı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. *Agropyron*

elongatum'un ve *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek pH değeri, kullanılan kireçli toprak oranının en yüksek olduğu %60 FA + %40 KT uygulamasından 6.58 olarak elde edilmiştir. Bu duruma neden olarak tüm uygulamalar içerisinde kireçli toprak oranının en fazla bu uygulamada olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

En düşük pH değerlerinde ise durum yine her iki çim bitkisi için aynı yönde bir değişim göstermiş ve kireçli toprak oranının en düşük olduğu uygulamalarda belirlenmiştir. % 90 FA + % 10 KT ve % 86 FA + % 10 KT + % 4 AG uygulamalarında pH değerleri; Çizelge 3.1'de görüleceği gibi flotasyon atığının pH değeri 3.12 değerindeyken uygulamalar sonrasında 3.50 ile 6.58 arasında ölçülmüştür (Çizelge 4.1).

Genel olarak değerlendirildiğinde flotasyon atığına %10 kireçli toprak ve %4 ahır gübresi uygulamalarında pH en düşük değeri vermektedir. Flotasyon atığına %10'luk kireçli toprak ve %4'lük ahır gübresi ilavesi pH üzerinde önemli bir değişime neden olmazken, %8'lik ahır gübresi konulduğunda pH değişik düzeylerde artış göstermiştir.

Sonuç olarak uygulamalarda artan oranlarda kullanılan kireçli toprak ve ahır gübresinin, ortamın pH'sını artırıcı yönde etki ettiği Çizelge 4.1'den açıkça görülmektedir.

Orman ve Kaplan (2007) düşük pH, yüksek EC ve ağır metal içeriğine sahip kükürt madeni atıklarını kullanarak uyguladığı sera denemesinde kireçli toprak ve ahır gübresinin iyileştirici etkisini incelemişlerdir. Deneme sonuçlarına göre pH değerlerinin arttığını belirtmişlerdir.

Çizelge 4.1. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların pH'sı üzerine etkisi¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> 'un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> 'nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	3.53 h ²	3.51 ı
%80 FA + %20 KT	5.23 e	5.10 e
%70 FA + %30 KT	6.52 b	6.24 b
%60 FA + %40 KT	6.58 a	6.58 a
%86 FA + %10 KT + %4 AG	3.50 ı	3.54 ı
%82 FA + %10 KT + %8 AG	3.57 h	3.64 h
%76 FA + %20 KT + %4 AG	4.22 g	4.51 f
%72 FA + %20 KT + %8 AG	4.40 f	4.36 g
%66 FA + %30 KT + %4 AG	5.43 d	5.78 d
%62 FA + %30 KT + %8 AG	6.30 c	6.06 c
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Marschner (1983), yaptığı çalışmada, ağır metallerin toprakta oldukça fazla birikebildiğini, ağır metallerin alımında pH, organik madde ve killerin yanı sıra, rizosferdeki pH'nın bitkilerin ağır metal alımları üzerinde etkili bir rol oynadığını belirtmiştir.

Auburn (2000), yaptığı çalışmada, düşük pH değerlerinde katyonik metallerin çözünürlüğünün daha yüksek olduğunu, anyonik elementlerde ise yükselen pH'nın zıt bir etkisi olduğunu vurgulamıştır.

Bleeker vd (2002), “Jales madeni atıklarının kirlettiği asidik alanların yeniden bitkilendirilmesinde ıslah edici tavsiyeler ve toleranslı çimler” konulu çalışmalarında bünyesinde metal biriktirebilen ve metallere toleransı olan bitkiler kullanılarak Jales madeni atıklarının yer aldığı kirlenmiş asidik alanların çevresel etkilerinin

azaltılabileceğinden söz etmektedirler. Organik madde ilave edilerek pH artan yönde değiştirilmiş ve atıklar ıslah edilerek bitki gelişimi sağlanmıştır. 4 yıllık atık analizleri yapılmasına rağmen iki yıldan sonra deneylerde etkinliğin artmadığı görülmüştür. Metal toleranslı bitkilerin kullanımı ve atıkların ıslahı ile kirlenmiş Jales maden alanının etkili ve hızlı bir şekilde bitkilendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Lin vd (2004) sülfat madeni kirliliği bulunan alanların kullanılması için uygun toprak karışımlarını belirlemek ve çeşitli toprak uygulamalarının vetiver çimi (*Vetivera zizanioides*) yetiştiriciliği üzerine olan etkisini araştırmak amacı ile bir saksı denemesi yürütmüşlerdir. Asidik maden alanında bulunan asidik sülfat toprağı (pH 2.8) farklı toprak düzenleyici madde formülasyonlarını kapsayan; hidrate kireç, kırmızı çamur ve kompoze gübreler ile muamele edilmiştir. Toprak iyileştiricileri kırmızı çamur ve hidrate kireç ile birlikte toprak pH'sını düzenlemiş ve metal toksitesini azaltarak veya yok ederek vetiver çiminin gelişimi için uygun hale getirmiştir.

Ye vd (1998) Pb/Zn maden atıklarının *Agropyron elongatum* (uzun buğday çimi) ve *Trifolium repens* (yonca) kullanarak yeniden bitkilendirilmesi üzerine kireç ve domuz gübresinin etkilerini değerlendirmek için sera denemesi yürütmüşlerdir. Deneme sonuçlarına göre kireç ve domuz gübresi uygulamaları atığın pH'sını artırmıştır.

4.1.2. Yetiştirme ortamlarının EC analiz sonuçları

Flotasyon Atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların EC'si üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2'de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların EC'si üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. *Agropyron elongatum*'un yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek EC değeri % 72 FA + % 20 KT + % 8 AG ve % 62 FA + % 30 KT + % 8 AG uygulamalarından elde edilirken *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında ise en yüksek EC değeri % 72 FA + % 20 KT + % 8 AG uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.2’den görüleceği üzere EC’si 9,99 dS m⁻¹ olan flotasyon atığına kireçli toprak ilavesi ile EC’nin önemli düzeylerde azalarak 2.39 dS m⁻¹ ve 2.43 dS m⁻¹ değerlerine düştüğü, daha sonra kireçli toprak ile birlikte ahır gübresi ilaveleri ile EC değerlerinin yükseldiği açıkça görülmektedir. Buradan hareketle kireçli toprak tek başına olduğu uygulamalarda azalan yönde etki ederken, ahır gübresi ile birlikte olduğu uygulamalarda artan yönde değişime neden olmaktadır.

Çizelge 4.2. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların EC’si üzerine etkisi (dS m⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> ’un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> ’nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	2.83 b ²	2.71 d
%80 FA + %20 KT	2.57 d	2.50 e
%70 FA + %30 KT	2.39 f	2.43 f
%60 FA + %40 KT	2.46 e	2.52 e
%86 FA + %10 KT + %4 AG	2.70 c	3.03 c
%82 FA + %10 KT + %8 AG	2.56 d	2.32 g
%76 FA + %20 KT + %4 AG	2.20 g	2.70 d
%72 FA + %20 KT + %8 AG	3.14 a	3.20 a
%66 FA + %30 KT + %4 AG	2.70 c	2.70 d
%62 FA + %30 KT + %8 AG	3.13 a	3.15 b
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Ye vd (2000) kirecin etkilerini değerlendirmek için sera çalışması yürütmüş ve Pb/Zn atıklarının ıslahı için olgunlaşmış gübre uygulayarak *Cynodon dactylon* (bermuda çimi) ve *Agropyron elongatum* (yüksek otlak ayrığı) yetiştirmişlerdir. Araştırmacılar deneme sonuçlarına göre olgunlaşmış gübre ve kireç kombinasyonlarının pH’yı artırdığını, Pb/Zn atıklarının konsantrasyonlarının ekstrakte edilebilir DTPA ve EC’yi azalttığını bildirmişlerdir.

Ye vd (1998) Pb/Zn maden atıklarının *Agropyron elongatum* (yüksek otlak ayrığı) ve *Trifolium repens* (yonca) kullanarak yeniden bitkilendirilmesi üzerine kireç ve domuz gübresinin etkilerini değerlendirmek için sera denemesi yürütmüşlerdir. Deneme sonuçlarına göre kireç ve domuz gübresi uygulamaları atığın EC değerini azaltmıştır.

Orman ve Kaplan (2007) düşük pH, yüksek EC ve ağır metal içeriğine sahip kükürt madeni atıklarını kullanarak uyguladığı sera denemesinde kireçli toprak ve ahır gübresinin iyileştirici etkisini incelemişlerdir. Deneme sonuçlarına göre uygulamaların ortamın EC değerlerinin azalmasına neden olduğunu bildirmişlerdir.

4.1.3. Yetiştirme ortamlarının toplam azot içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların toplam azot içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3’de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların toplam N içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. *Agropyron elongatum*’un yetiştirildiği ortamlar arasında en düşük toplam N içeriği % 80 FA + % 20 KT uygulamasından elde edilirken, *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında en düşük toplam N içeriği % 90 FA + % 10 KT uygulamasından elde edilmiştir. *Agropyron elongatum*’un yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek toplam N içeriği ise %82 FA + %10 KT + %8 AG uygulamasından elde edilirken, *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek toplam N içeriği %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde flotasyon atığına kireçli toprak + ahır gübresi ilaveleri, sadece kireçli toprak ilavesine göre daha yüksek toplam N içeriğine neden olmuştur. Bu duruma ahır gübresinin içerdiği N nedeniyle ortama sağladığı azotun neden olduğunu söylemek mümkündür.

Çizelge 4.3. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların toplam N içeriği üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> 'un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> 'nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	0.110 e ²	0.035 h
%80 FA + %20 KT	0.070 h	0.053 g
%70 FA + %30 KT	0.090 g	0.070 f
%60 FA + %40 KT	0.100 f	0.070 f
%86 FA + %10 KT + %4 AG	0.115 e	0.098 e
%82 FA + %10 KT + %8 AG	0.190 a	0.160 b
%76 FA + %20 KT + %4 AG	0.115 e	0.120 d
%72 FA + %20 KT + %8 AG	0.163 c	0.150 c
%66 FA + %30 KT + %4 AG	0.130 d	0.120 d
%62 FA + %30 KT + %8 AG	0.178 b	0.170 a
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P < 0.001)

4.1.4. Yetiştirme ortamının alınabilir fosfor içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların alınabilir fosfor içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4'de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların alınabilir P içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Hem *Agropyron elongatum*'un hem de *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek alınabilir P içeriği %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir. Aynı doğrultuda hem *Agropyron elongatum*'un hem de *Festuca*

arundinacea'nın yetiştirildiği ortamlar arasında en düşük alınabilir P içeriği % 90 FA + % 10 KT uygulamasından elde edilmiştir.

Sadece toprak ilavesi yapıldığında diğer bir ifade ile yetiştirme ortamında flotasyon atığı azaldıkça ve kireçli toprak arttıkça da alınabilir P değerleri yükselmektedir. Bunda ortama katılan kireçli toprağın P içeriği etkili olabileceği gibi asıl olarak ortam pH'sının aşırı asidikten hafif asidik değerlere doğru yükselmiş olması etkili faktör olarak söylenebilir. Toprak tepkimesi bitkilerin toprağa uygulanan fosfordan yararlanmaları üzerine etki yapan en önemli etmenlerden birisidir. Topraklarda bitkiler fosfordan toprak tepkimesi pH 6.5-7.0 arasında olduğu zaman çoğunlukla en yüksek düzeyde yararlanmakta ve pH bu miktarlardan azalıp çoğaldığı zaman bitkilerin fosfordan yararlanmaları azaldığı bildirilmektedir (Kacar ve Katkat 2007).

Çizelge 4.4. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların alınabilir P içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> 'un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> 'nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	0.268 j ²	0.178 j
%80 FA + %20 KT	0.338 ı	0.220 ı
%70 FA + %30 KT	0.635 g	0.375 h
%60 FA + %40 KT	0.575 h	0.428 g
%86 FA + %10 KT + %4 AG	0.878 e	0.688 f
%82 FA + %10 KT + %8 AG	1.555 c	1.600 c
%76 FA + %20 KT + %4 AG	0.793 f	0.988 d
%72 FA + %20 KT + %8 AG	1.798 b	1.723 b
%66 FA + %30 KT + %4 AG	0.908 d	0.833 e
%62 FA + %30 KT + %8 AG	1.908 a	1.830 a
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P < 0.001)

Genel olarak değerlendirildiğinde flotasyon atığına kireçli toprak + ahır gübresi ilaveleri, sadece kireçli toprak ilavesine göre daha yüksek alınabilir P içeriğine neden olmuştur. Bu duruma azot elementinde de olduğu gibi ahır gübresinin fosfor içeriğinin yüksek olmasının neden olduğu düşünülmektedir.

4.1.5. Yetiştirtme ortamlarının değiştirbilir potasyum içeriği

Flotasyon atığına değiştiren düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların değiştirbilir potasyum içeriği üzerindeki etkisine iliştin istatistiksel analiz sonuçları izelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5’de görüleceği üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için de flotasyon atığına değiştiren düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların değiştirbilir K içeriği üzerine % 0.1 önemli olduğu saptanmıştır. Bu noktadan hareketle hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek değiştirbilir K içeriği l karışimlar arasında flotasyon atığının minimum, kireçli toprak ve ahır gübresinin maksimum olduğu %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir. Uygulamalardaki en düştük değiştirbilir K içeriğine baktığımızda ise her iki çim bitkisi için de flotasyon atığı içeriğinin oranının % 80’den fazla olduğu % 90 FA + % 10 KT, % 86 FA + % 10 KT + % 4 AG ve % 82 FA + % 10 KT + % 8 AG uygulamalarını görmekteyiz. Çizelge 3.1’de grldği üzere flotasyon atığının K içeriği bulunmamaktadır. Uygulamalardaki en düştük değerler ise % olarak flotasyon atığının baştat olduğu karışimlardır. Bu sebeple K içeriği en düştük bu uygulamalarda meydana gelmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde flotasyon atığına kireçli toprak ve ahır gübresi ilaveleri, sadece kireçli toprak ilavesine göre daha yüksek değiştirbilir K içeriğine neden olmuştur. Bu duruma azot ve fosfor elementlerinde de olduğu gibi ahır gübresinin bünyesinde barındırdığı potasyum miktarının fazla olmasının neden olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.5. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların değişebilir K içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> 'un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> 'nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	5.69 g ²	3.61 g
%80 FA + %20 KT	58.23 e	51.30 f
%70 FA + %30 KT	92.10 d	83.54 e
%60 FA + %40 KT	95.79 d	94.75 d
%86 FA + %10 KT + %4 AG	2.24 g	2,23 g
%82 FA + %10 KT + %8 AG	2.52 g	2,50 g
%76 FA + %20 KT + %4 AG	43.09 f	52.52 f
%72 FA + %20 KT + %8 AG	182.75 b	116.32 b
%66 FA + %30 KT + %4 AG	117.03 c	103.86 c
%62 FA + %30 KT + %8 AG	289.03 a	270.30 a
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

4.1.6. Yetiştirme ortamlarının değişebilir kalsiyum içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların değişebilir kalsiyum içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların değişebilir Ca içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> 'un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> 'nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	2868.5 f ²	2881.3 h
%80 FA + %20 KT	3164.0 d	3215.5 f
%70 FA + %30 KT	4076.5 b	3652.0 c
%60 FA + %40 KT	4256.3 a	3960.5 a
%86 FA + %10 KT + %4 AG	2829.8 f	2881.0 h
%82 FA + %10 KT + %8 AG	2804.3 f	2958.5 g
%76 FA + %20 KT + %4 AG	3022.3 e	3164.0 f
%72 FA + %20 KT + %8 AG	3099.5 de	3343.8 e
%66 FA + %30 KT + %4 AG	2804.3 f	3472.5 d
%62 FA + %30 KT + %8 AG	3793.8 c	3794.0 b
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Çizelge 4.6'da görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların değişebilir Ca içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Hem *Agropyron elongatum*'un hem de *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek değişebilir Ca içeriği %60 FA + %40 KT uygulamasından elde edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde artan düzeylerdeki uygulanan kireçli toprak miktarı değişebilir Ca miktarında bir artışa neden olmuştur. Değerler incelendiğinde en düşük değişebilir Ca içeriklerinin %10 kireçli toprak ilavesinin yapıldığı uygulamalarda belirlenmiştir.

Agropyron elongatum'un ve *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlarda var olan en yüksek değişebilir Ca içeriklerinin uygulamalar arasındaki maksimum kireçli

toprak oranı olan % 40'ın olduğu karışımda gözlemlenirken, minimum kireçli toprak oranı olan % 10'da ise en düşük değişebilir Ca değeri elde edilmiştir.

4.1.7. Yetiştirme ortamlarının değişebilir magnezyum içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların değişebilir magnezyum içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7'de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların değişebilir Mg içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. *Agropyron elongatum*'un yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek değişebilir Mg içeriği %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamasından elde edilirken, *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek değişebilir Mg içeriği %72 FA + %20 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir. Her iki çim bitkisi içinde değişebilir Mg içeriğinin en düşük olduğu değerlere baktığımızda atık oranının en fazla, kireçli toprak oranının en az olduğu % 90 FA + % 10 KT uygulaması karşımıza çıkmaktadır. Çizelge 3.1'de verildiği üzere 5116.83 mg kg⁻¹ gibi yüksek oranda değişebilir Mg miktarına sahip olan ahır gübresinin de içerisinde var olmadığı karışımların Mg değerinin düşük olması beklenen bir sonuçtur.

Genel olarak değerlendirildiğinde flotasyon atığına ahır gübresi ilaveleri, sadece kireçli toprak ilavesine göre daha yüksek değişebilir Mg içeriğine neden olmuştur. Bu duruma ahır gübresinin Mg içeriğinin yüksek olmasının neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca artan oranlarda ahır gübresi ile birlikte kireçli toprak ilaveleri sonucu magnezyum değerlerinin artış yönünde değişim gösterdiği Çizelge 4.7'de açıkça görülmektedir.

Çizelge 4.7. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların değişebilir Mg içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> 'un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> 'nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	142.25 ı ²	125.47 h
%80 FA + %20 KT	188.85 g	236.30 d
%70 FA + %30 KT	255.07 e	229.60 e
%60 FA + %40 KT	201.65 f	186.83 f
%86 FA + %10 KT + %4 AG	155.82 h	157.57 g
%82 FA + %10 KT + %8 AG	262.08 e	239.75 d
%76 FA + %20 KT + %4 AG	300.88 d	344.28 c
%72 FA + %20 KT + %8 AG	529.50 b	507.20 a
%66 FA + %30 KT + %4 AG	341.28 c	338.88 c
%62 FA + %30 KT + %8 AG	536.78 a	473.75 b
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

4.1.8. Yetiştirme ortamlarının değişebilir sodyum içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların değişebilir sodyum içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8'de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların değişebilir Na içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. *Agropyron elongatum*'un yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek değişebilir Na içeriği %62 FA + %30 KT + %8 AG ve %72 FA + %20 KT + %8 AG uygulamalarından elde edilirken *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek değişebilir Na içeriği %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir. Hem *Agropyron*

elongatum'un hem de *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamları incelediğimizde en düşük değişebilir Na içeriğinin % 90 FA + % 10 KT uygulamasından elde edildiğini görmekteyiz. Bu durum Çizelge 3.1'den de görüleceği üzere 15.01 mg kg⁻¹ Na bulunduran kireçli toprağın en az oranda bulunması şeklinde açıklanabilir.

Genel olarak değerlendirildiğinde flotasyon atığına kireçli toprak + ahır gübresi ilaveleri, sadece kireçli toprak ilavesine göre daha yüksek değişebilir Na içeriğine neden olmuştur.

Çizelge 4.8. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların değişebilir Na içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> 'un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> 'nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	15.27 e ²	21.09 f
%80 FA + %20 KT	49.18 c	43.13 d
%70 FA + %30 KT	47.39 c	44.90 d
%60 FA + %40 KT	49.83 c	45.40 d
%86 FA + %10 KT + %4 AG	30.73 d	30.26 e
%82 FA + %10 KT + %8 AG	43.82 c	45.59 d
%76 FA + %20 KT + %4 AG	93.81 b	88.84 c
%72 FA + %20 KT + %8 AG	156.95 a	134.50 b
%66 FA + %30 KT + %4 AG	98.91 b	87.77 c
%62 FA + %30 KT + %8 AG	154.93 a	143.15 a
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

4.1.9. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir demir içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir demir içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9’da görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir Fe içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Fe içeriği %72 FA + %20 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir.

Uygulamalarda belirlenen DTPA ile ekstrakte edilebilir demir miktarı genelde toprakta belirlenen değerlerden yüksektir. Bu yükseklik flotasyon atığının yüksek düzeyde demir içeren bir madde olmasıyla ilgili gözükmemektedir (Çizelge 4.9)

Agropyron elongatum’un % 70 FA + % 30 KT uygulamasında, *Festuca arundinacea*’nın ise % 60 FA + % 40 KT uygulamasında en düşük DTPA’da ekstrakte edilebilir Fe içeriği verileri elde edilmiştir. Bu durumun sözü edilen uygulamaların içerisinde ahır gübresi bulunmamasından ve düşük oranda flotasyon atığı bulunmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Flotasyon atığının azalması ve kireçli toprağın oranının artışı kirecin pH üzerine olan etkisi sonucu ekstrakte edilebilir demir miktarının azalmasına neden olduğu söylenebilir. Yüksek pH değerlerinde (pH 7-9 arası) pH’nın 1 birim yükselmesi çözeltideki Fe^{3+} iyonlarının aktivitesini 1000 kat azalttığı ve çözünürlüğün pH 7.4-8.5 arasında minimuma indiği bildirilmektedir (Kacar ve Katkat 2007).

Çizelge 4.9. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir Fe içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> ’un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> ’nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	282.73 d ²	286.20 c
%80 FA + %20 KT	221.10 f	224.97 f
%70 FA + %30 KT	100.82 ı	156.35 g
%60 FA + %40 KT	113.70 h	105.80 h
%86 FA + %10 KT + %4 AG	330.55 b	334.45 b
%82 FA + %10 KT + %8 AG	324.48 c	332.68 b
%76 FA + %20 KT + %4 AG	330.07 b	333.88 b
%72 FA + %20 KT + %8 AG	354.35 a	375.88 a
%66 FA + %30 KT + %4 AG	235.95 e	257.35 d
%62 FA + %30 KT + %8 AG	194.18 g	234.03 e
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Orman ve Kaplan (2007) düşük pH, yüksek EC ve ağır metal içeriğine sahip kükürt madeni atıklarını kullanarak uyguladığı sera denemesinde kireçli toprak ve ahır gübresinin iyileştirici etkisini incelemiştir. Deneme sonuçlarına göre artan kireçli toprak uygulaması ortamdaki DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe konsantrasyonunun azalmasına yol açmıştır.

Clemente vd (2002) organik madde ve kireç ilavesinin ağır metal ile kirlenmiş topraklardaki biyolojik uygunluk üzerine olan etkisini saptamak amacı ile 14 aylık bir tarla denemesi yürütmüşlerdir. Denemede ahır gübresi, olgun kompost ve kireç materyali *Brassica juncea*’nın (hint hardalı) iki türü kullanılarak yetiştirilmiştir. Deneme boyunca topraktaki pH değişimi, toplam ve alınabilir ağır metal içeriği (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb ve Cd), EC, çözünmüş sülfat, bitki gelişimi ve ağır metal alınımı takip

edilmiştir. Deneme sonuçlarına göre artan asitlik ağır metallerin biyolojik uygunluğunu arttırmış, kireçleme toprak asitliğini başarılı bir biçimde kontrol etmiştir.

4.1.10. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir çinko içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir çinko içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10’da görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir Zn içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. *Agropyron elongatum*’un yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Zn içeriği %82 FA + %10 KT + %8 AG ve %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamalarından elde edilirken *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Zn içeriği %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde flotasyon atığına kireçli toprak + ahır gübresi ilaveleri, sadece kireçli toprak ilavesine göre daha yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Zn içeriğine neden olmuştur. Çünkü ahır gübresinin DTPA’da ekstrakte edilebilir Zn içeriği $152.58 \text{ mg kg}^{-1}$ gibi yüksek bir değerdedir (Çizelge 3.1).

Öte yandan Çizelge 4.10’a bakacak olursak her iki çim çeşidinin de en düşük Zn içeriğine sahip uygulamanın % 80 FA + % 20 KT olduğu görülmektedir. Bu duruma $152.58 \text{ mg kg}^{-1}$ DTPA’da ekstrakte edilebilir Zn içeriğine sahip ahır gübresinin sözü edilen karışım içerisinde yer almaması sebebiyet vermektedir. Aynı zamanda devreye ahır gübresi girdiğinde DTPA’da ekstrakte edilebilir Zn miktarı üst seviyelere çıktığı görülmektedir. Çizelge 4.10’da en yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Zn miktarı ahır gübresinin en fazla olduğu % 8’lik uygulamalarda meydana gelmiştir.

Genele baktığımızda topraklar için izin verilen sınır değerler $10\text{-}80 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişirken $152.58 \text{ mg kg}^{-1}$ çinko içeren ahır gübresi uygulamalarında bile en yüksek

Çinko içeriği 3.455 mg kg⁻¹ değerine çıkabilmiştir (Kloke 1985). Bu duruma kireçli toprak ilavelerinin neden olduğu dşşnşlmektedir. Çinko elementi açısından izelge 4.10'da da grşleceği şzere herhangi bir risk unsuru bulunmamaktadır.

Çizelge 4.10. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gşbresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Zn içeriği şzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> 'un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> 'nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	1.158 de ²	0.949 e
%80 FA + %20 KT	0.581 g	0.464 g
%70 FA + %30 KT	0.696 fg	0.671 fg
%60 FA + %40 KT	0.893 ef	0.577 fg
%86 FA + %10 KT + %4 AG	1.580 bc	1.283 d
%82 FA + %10 KT + %8 AG	3.455 a	2.078 b
%76 FA + %20 KT + %4 AG	1.010 e	0.762 ef
%72 FA + %20 KT + %8 AG	1.780 b	1.618 c
%66 FA + %30 KT + %4 AG	1.360 cd	1.331 d
%62 FA + %30 KT + %8 AG	3.358 a	2.790 a
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrşr ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Clemente vd (2002) organik madde ve kireç ilavesinin ağır metal ile kirlenmiş topraklardaki biyolojik uygunluk şzerine olan etkisini saptamak amacı ile 14 aylık bir tarla denemesi yşrştmşşlerdir. Denemede ahır gşbresi, olgun kompost ve kireç materyali hint hardalı'nın (*Brassica juncea*) iki tşrş kullanılarak yetiştirilmiştir. Deneme boyunca topraktaki pH değişimi, toplam ve alınabilir ağır metal içeriği (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb ve Cd), EC, zşnmşş sşlfat, bitki gelişimi ve ağır metal alını mı takip edilmiştir. Deneme sonuçlarına göre artan asitlik ağır metallerin biyolojik uygunluğunu arttırmış, kireçleme toprak asitliğini başarılı bir biçimde kontrol etmiştir.

Ye vd (1998) Pb/Zn maden atıklarının *Agropyron elongatum* (yüksek otlak ayrığı) ve *Trifolium repens* (yonca) kullanarak yeniden bitkilendirilmesi üzerine kireç ve domuz gübresinin etkilerini değerlendirmek için sera denemesi yürütmüşlerdir. Deneme sonuçlarına göre kireç ve domuz gübresi uygulamaları atığın DTPA’da ekstrakte edilebilir Zn konsantrasyonunu azaltmıştır.

Orman ve Kaplan (2007) düşük pH, yüksek EC ve ağır metal içeriğine sahip kükürt madeni atıklarını kullanarak uyguladığı sera denemesinde kireçli toprak ve ahır gübresinin iyileştirici etkisini incelemişlerdir. Deneme sonuçlarına göre DTPA-ekstrakte edilebilir Zn konsantrasyonu azalmış, kök kuru maddesi artmıştır.

4.1.11. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir mangan içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir mangan içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11’de görüleceği üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi içinde % 0.1 önem seviyesinde, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir Mn içeriği üzerine önemli çıktığı ve oldukça yüksek ilişkilerin olduğu saptanmıştır. Bu noktadan hareketle hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Mn içeriği ahır gübresinin maksimum olduğu %72 FA + %20 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde flotasyon atığına kireçli toprak ve ahır gübresi ilaveleri, sadece kireçli toprak ilavesine göre daha yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Mn içeriğine neden olmuştur. Bu duruma ahır gübresinin bünyesinde barındırdığı mangan miktarının neden olduğu düşünülmektedir. Çünkü Çizelge 3.1’de de görüleceği üzere ahır gübresinin Mn içeriği 75.58 mg kg^{-1} ’dır.

Çizelge 4.11. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir Mn içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> ’un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> ’nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	27.130 d ²	25.930 b
%80 FA + %20 KT	22.615 ef	26.032 b
%70 FA + %30 KT	13.647 g	15.090 d
%60 FA + %40 KT	16.002 g	9.652 e
%86 FA + %10 KT + %4 AG	25.415 de	19.580 c
%82 FA + %10 KT + %8 AG	37.918 b	26.720 b
%76 FA + %20 KT + %4 AG	34.625 bc	27.770 b
%72 FA + %20 KT + %8 AG	46.587 a	40.148 a
%66 FA + %30 KT + %4 AG	20.358 f	20.110 c
%62 FA + %30 KT + %8 AG	31.208 c	27.238 b
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Her iki çim bitkisi için flotasyon atığının minimum, kireçli toprağın maksimum olduğu uygulama karışımı olan % 60 FA + % 40 KT’nin en düşük değerler verdiği Çizelge 4.11’de görülmektedir. Bu durum Mn içeriği açısından zengin olan ahır gübresinin ortamda hiç bulunmaması, flotasyon atığının ise en düşük oranda bulunuyor olması ve en düşük Mn içeriğine sahip kireçli toprağın ise maksimum oranda bulunuyor olmasıyla açıklanabilir. Ayrıca en düşük DTPA’da ekstrakte edilebilir Mn içeriği % 70 FA + % 30 KT ve % 60 FA + % 40 KT uygulamalarında gözükmemektedir.

Sonuç olarak flotasyon atığı ve ahır gübresi miktarları arttıkça ortamın Mn miktarı artarken, artan kireçli toprak uygulamaları ise ortamın Mn miktarının azalmasına neden olmuştur.

Clemente vd (2002) organik madde ve kireç ilavesinin ağır metal ile kirlenmiş topraklardaki biyolojik uygunluk üzerine olan etkisini saptamak amacı ile 14 aylık bir tarla denemesi yürütmüşlerdir. Denemede ahır gübresi, olgun kompost ve kireç materyali hint hardalı'nın (*Brassica juncea*) iki türü kullanılarak yetiştirilmiştir. Deneme boyunca topraktaki pH değişimi, toplam ve alınabilir ağır metal içeriği (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb ve Cd), EC, çözünmüş sülfat, bitki gelişimi ve ağır metal alınımı takip edilmiştir. Deneme sonuçlarına göre artan asitlik ağır metallerin biyolojik uygunluğunu arttırmış, kireçleme toprak asitliğini başarılı bir biçimde kontrol etmiştir.

Orman ve Kaplan (2007) düşük pH, yüksek EC ve ağır metal içeriğine sahip kükürt madeni atıklarını kullanarak uyguladığı sera denemesinde kireçli toprak ve ahır gübresinin iyileştirici etkisini incelemişlerdir. Deneme sonuçlarına göre ve kök bölgesi DTPA- ekstrakte edilebilir Mn konsantrasyonları azaldığını, kök kuru maddesi arttığını bildirmişlerdir.

4.1.12. Yetiştirme ortamlarının DTPA'da ekstrakte edilebilir bakır içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir bakır içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12'de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Cu içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. *Agropyron elongatum*'un yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek DTPA'da ekstrakte edilebilir Cu içeriği %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamasından elde edilirken, *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek DTPA'da ekstrakte edilebilir Cu içeriği %66 FA + %30 KT + %4 AG ve %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamalarından elde edilmiştir.

Agropyron elongatum'un yetiştirildiği ortamlar arasında en düşük DTPA'da ekstrakte edilebilir Cu içeriği % 90 FA + % 10 KT ve % 82 FA + % 10 KT + % 8 AG

uygulamalarından elde edilirken, *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek DTPA'da ekstrakte edilebilir Cu içeriği % 86 FA + % 10 KT + % 4 AG ve % 82 FA + % 10 KT + % 8 AG uygulamalarında gözlemlenmiştir.

Genele baktığımızda ise kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamaları flotasyon atığının DTPA'da ekstrakte edilebilir Cu miktarının artmasına neden olmuştur. Topraklarda Cu için izin verilebilir sınır değerler 2-40 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir (Kloke 1985). Çizelge 4.12'ye bakıldığında uygulamaların sonuçlarına baktığımızda ise en üst değer 2.908 mg kg⁻¹ olduğu görülürken, bu değer sınır değerlerin içinde olduğu ve herhangi bir risk unsuru teşkil etmediği görülmektedir.

Çizelge 4.12. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Cu içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> 'un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> 'nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	0.956 g ²	0.935 e
%80 FA + %20 KT	1.718 d	1.518 d
%70 FA + %30 KT	2.218 c	1.895 b
%60 FA + %40 KT	2.463 b	1.695 c
%86 FA + %10 KT + %4 AG	1.123 f	0.822 f
%82 FA + %10 KT + %8 AG	0.947 g	0.811 f
%76 FA + %20 KT + %4 AG	1.518 e	1.553 d
%72 FA + %20 KT + %8 AG	1.673 d	1.495 d
%66 FA + %30 KT + %4 AG	2.485 b	2.475 a
%62 FA + %30 KT + %8 AG	2.908 a	2.438 a
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Hao vd (2004) iki maden alanından Zn ve Cu atıkları ile 4 ıslah materyali uygulamasının; montmorillonit, pirinç sapı, organik gübre ve kimyasal gübrenin İngiliz

çimi (*Lolium perene* L.) ve söğüt (*Salix viminalis* L.) gelişimi üzerine olan etkilerini çalışmışlardır. Deneme sonuçlarına göre İngiliz çiminin 4 ürünü Cu toksitesine yüksek tolerans göstermiştir. Yüksek konsantrasyonda inorganik tuz içeren organik gübrenin maden çamuruna ilavesi İngiliz çimi gelişimini önemli derecede engellemiştir.

Clemente vd (2002) organik madde ve kireç ilavesinin ağır metal ile kirlenmiş topraklardaki biyolojik uygunluk üzerine olan etkisini saptamak amacı ile 14 aylık bir tarla denemesi yürütmüşlerdir. Denemede ahır gübresi, olgun kompost ve kireç materyali hint hardalı'nın (*Brassica juncea*) iki türü kullanılarak yetiştirilmiştir. Deneme boyunca topraktaki pH değişimi, toplam ve alınabilir ağır metal içeriği (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb ve Cd), EC, çözünmüş sülfat, bitki gelişimi ve ağır metal alınımı takip edilmiştir. Deneme sonuçlarına göre artan asitlik ağır metallerin biyolojik uygunluğunu arttırmış, kireçleme toprak asitliğini başarılı bir biçimde kontrol etmiş, özellikle Cu biyolojik uygunluğu olmak üzere organik madde ilavesi ağır metallerin fiksasyon ile alınamaz forma dönüşmesini teşvik ettiği bildirilmiştir.

Orman ve Kaplan (2007) düşük pH, yüksek EC ve ağır metal içeriğine sahip kükürt madeni atıklarını kullanarak uyguladığı sera denemesinde kireçli toprak ve ahır gübresinin iyileştirici etkisini incelemişlerdir. Deneme sonuçlarına göre DTPA-ekstrakte edilebilir Cu konsantrasyonu azalmış, kök kuru maddesi artmıştır.

4.1.13. Yetiştirme ortamlarının DTPA'da ekstrakte edilebilir kobalt içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Co içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.13'de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Co içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. *Agropyron elongatum*'un yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek DTPA'da ekstrakte edilebilir Co içeriği %82 FA + %10 KT + %8 AG uygulamasından elde

edilirken *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek DTPA'da ekstrakte edilebilir Co içeriği %90 FA + %10 KT ve %82 FA + %10 KT + %8 AG uygulamalarından elde edilmiştir.

Çizelge 4.13. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Co içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> 'un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> 'nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	0.605 d ²	1.168 a
%80 FA + %20 KT	0.350 g	0.390 d
%70 FA + %30 KT	0.325 gh	0.370 d
%60 FA + %40 KT	0.458 ef	0.340 d
%86 FA + %10 KT + %4 AG	1.385 b	0.685 c
%82 FA + %10 KT + %8 AG	1.765 a	1.125 a
%76 FA + %20 KT + %4 AG	0.955 c	0.375 d
%72 FA + %20 KT + %8 AG	0.488 e	0.785 b
%66 FA + %30 KT + %4 AG	0.253 h	0.243 e
%62 FA + %30 KT + %8 AG	0.370 fg	0.343 d
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Hem *Agropyron elongatum*'un hem de *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında en düşük DTPA'da ekstrakte edilebilir Co içeriği % 66 FA + % 30 KT + % 4 AG uygulamasından elde edilmiştir. Toprakların toplam Co içerikleri 1 mg.kg⁻¹ ile 70 mg kg⁻¹ arasında değiştiği ve ortalama miktarın 8 mg kg⁻¹ olduğu bildirilmektedir (Kacar ve Katkat 2007). Uygulamalar sonrası elde edilen verilere göre de sonuçların 0.24 mg.kg⁻¹ ile 1.77 mg kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Buradan yola çıkarak Co elementinin toprakta toksisite açısından herhangi bir risk faktörü oluşturmadığı düşünülmektedir. Çizelge 3.1'de görüleceği üzere flotasyon atığının Co içeriği 5.82 mg kg⁻¹ olarak bulunmuş ve flotasyon atığına kireçli toprak ve

ahır gübresi ilaveleri ortamın Co içeriğinin düşmesine neden olarak olumlu bir etkiye bulunmuştur.

4.1.14. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir nikel içeriği

Flotasyon atığına feğışen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiğı ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir nikel içeriğı üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.14’de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değışen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir Ni içeriğı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. *Agropyron elongatum*’un yetiştirildiğı ortamlar arasında en yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Ni içeriğı %82 FA + %10 KT + %8 AG uygulamasından elde edilirken *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiğı ortamlar arasında en yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Ni içeriğı %86 FA + %10 KT + %8 AG ve %82 FA + %10 KT + %8 AG uygulamalarından elde edilmiştir.

En düşük DTPA’da ekstrakte edilebilir Ni kapsamı incelendiğinde ise *Agropyron elongatum*’un yetiştirildiğı ortamlar arasında % 70 FA + % 30 KT karışımı dikkati çekerken, *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiğı ortamlar arasında % 60 FA + % 40 KT dikkati çekmektedir.

Genel olarak değeriendirildiğinde flotasyon atığına sadece kireçli toprak uygulamalarında ortamın Ni içeriğı kireçli toprak + ahır gübresi uygulamalarına göre daha düşük olarak tespit edilmiştir. Bu duruma ahır gübresinin Ni içeriğinin 28.09 mg kg⁻¹ olmasının yanında, ahır gübresi ilavesinin organik bileşikler yoluyla DTPA ile ekstrakte edilebilir Ni miktarını artırdığı düşünülebilir (Çizelge 3.1).

Topraklarda Ni için belirlenen izin verilebilir sınır değeri 5-50 mg.kg⁻¹ arasında değıştiğini görmekteyiz (Kloke 1985). Flotasyon atığının 64.84 mg kg⁻¹ olan Ni içeriğı %82 FA + %10 KT + %8 AG uygulamasında 11.218 mg kg⁻¹ değeriine

düşmüştür. Bunda katılan %10 kireçli toprağın ortam pH'sına olan etkisinin en etkili faktör olabileceği düşünülmüştür.

Orman ve Kaplan (2007) düşük pH, yüksek EC ve ağır metal içeriğine sahip kükürt madeni atıklarını kullanarak uyguladığı sera denemesinde kireçli toprak ve ahır gübresinin iyileştirici etkisini incelemiştir. Deneme sonuçlarına göre DTPA-ekstrakte edilebilir Ni konsantrasyonu azalmış, kök kuru maddesi artmıştır.

Çizelge 4.14. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Ni içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> 'un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> 'nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	6.840 d ²	7.018 b
%80 FA + %20 KT	5.470 e	6.048 c
%70 FA + %30 KT	3.933 g	4.250 d
%60 FA + %40 KT	4.697 f	3.010 e
%86 FA + %10 KT + %4 AG	9.447 b	8.883 a
%82 FA + %10 KT + %8 AG	11.218 a	9.368 a
%76 FA + %20 KT + %4 AG	9.000 b	4.758 d
%72 FA + %20 KT + %8 AG	7.763 c	6.770 bc
%66 FA + %30 KT + %4 AG	4.898 ef	4.965 d
%62 FA + %30 KT + %8 AG	8.100 c	6.103 c
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

4.1.15. Yetiştirme ortamlarının DTPA'da ekstrakte edilebilir krom içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir krom içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.15’de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir Cr içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. *Agropyron elongatum*’un yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Cr içeriği %86 FA + %10 KT + %4 AG uygulamasından elde edilirken, *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Cr içeriği %82 FA + %10 KT + %8 uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.15. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir Cr içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> ’un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> ’nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	0.025 c ²	0.017 d
%80 FA + %20 KT	0.019 c	0.017 d
%70 FA + %30 KT	0.021 c	0.016 d
%60 FA + %40 KT	0.019 c	0.019 d
%86 FA + %10 KT + %4 AG	0.118 a	0.054 b
%82 FA + %10 KT + %8 AG	0.097 b	0.064 a
%76 FA + %20 KT + %4 AG	0.021 c	0.020 c
%72 FA + %20 KT + %8 AG	0.023 c	0.024 c
%66 FA + %30 KT + %4 AG	0.020 c	0.019 d
%62 FA + %30 KT + %8 AG	0.022 c	0.019 d
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Sonuç olarak Çizelge 3.1’de de görüldüğü gibi flotasyon atığının Cr içeriği 14.86 mg kg⁻¹’dan kireçli toprak ilavesi sonrasında 0.02 mg kg⁻¹ gibi çok düşük değerlere düşmüştür. Topraklar için izin verilebilir sınır değeri olan 5-100 mg kg⁻¹ ile kıyaslandığında ihmal edilebilecek kadar düşük olduğu açıkça görülmektedir (Kloke

1985). Uygulamalara kireçli toprak ilavesi en düşük oranda bile (%10) ahır gübresi ya da gübresiz olarak Cr riskini minimize etmektedir.

Orman ve Kaplan (2007) düşük pH, yüksek EC ve ağır metal içeriğine sahip kükürt madeni atıklarını kullanarak uyguladığı sera denemesinde kireçli toprak ve ahır gübresinin iyileştirici etkisini incelemiştir. Deneme sonuçlarına göre DTPA-ekstrakte edilebilir Cr konsantrasyonları uygulamalara bağlı olarak azalmış, kök kuru maddesi artmıştır.

4.1.16. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir kurşun içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir kurşun içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16’da görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir Pb içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. *Agropyron elongatum*’un yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Pb içeriği %60 FA + %40 KT ve %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamalarından elde edilirken *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Pb içeriği %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde flotasyon atığının Pb içeriği 0.16 mg kg^{-1} olup bu değer kireçli toprak ve ahır gübresi ilaveleri ile çok az yükselme göstermiştir. Ancak bu durumda bile elde edilen değerler topraklarda Pb için izin verilen $2-60 \text{ mg kg}^{-1}$ sınır değerlerinden daha düşük olup herhangi bir risk unsuru oluşturmamaktadır (Kloke 1985).

Sarkar vd (2008) yaptıkları araştırmada San Antonio, Texas ve Baltimore bölgesinde kurşun kirliliği sorunundan muzdarip topraklar üzerinde yaptıkları araştırma sonucunda organik madde ve pH değerlerinin kurşun alınımları üzerinde çok büyük etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.16. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir Pb içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> ’un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> ’nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	0.044 ef ²	0.040 e
%80 FA + %20 KT	0.076 d	0.062 d
%70 FA + %30 KT	0.131 b	0.091 c
%60 FA + %40 KT	0.151 a	0.115 b
%86 FA + %10 KT + %4 AG	0.040 f	0.040 e
%82 FA + %10 KT + %8 AG	0.050 ef	0.037 e
%76 FA + %20 KT + %4 AG	0.058 e	0.061 d
%72 FA + %20 KT + %8 AG	0.087 d	0.068 d
%66 FA + %30 KT + %4 AG	0.110 c	0.102 bc
%62 FA + %30 KT + %8 AG	0.150 a	0.137 a
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Clemente vd (2002) organik madde ve kireç ilavesinin ağır metal ile kirlenmiş topraklardaki biyolojik uygunluk üzerine olan etkisini saptamak amacı ile 14 aylık bir tarla denemesi yürütmüşlerdir. Denemede ahır gübresi, olgun kompost ve kireç materyali hint hardalı’nın (*Brassica juncea*) iki türü kullanılarak yetiştirilmiştir. Deneme boyunca topraktaki pH değişimi, toplam ve alınabilir ağır metal içeriği (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb ve Cd), EC, çözünmüş sülfat, bitki gelişimi ve ağır metal alınımları takip edilmiştir. Deneme sonuçlarına göre artan asitlik ağır metallerin biyolojik uygunluğunu arttırmış, kireçleme toprak asitliğini başarılı bir biçimde kontrol etmiştir.

Ye vd (1998) Pb/Zn maden atıklarının *Agropyron elongatum* (yüksek otlak ayrığı) ve *Trifolium repens* (yonca) kullanarak yeniden bitkilendirilmesi üzerine kireç ve domuz gübresinin etkilerini değerlendirmek için sera denemesi yürütmüşlerdir. Deneme sonuçlarına göre kireç ve domuz gübresi uygulamaları DTPA’da ekstrakte edilebilir Pb konsantrasyonunu azaltmıştır.

Orman ve Kaplan (2007) düşük pH, yüksek EC ve ağır metal içeriğine sahip kükürt madeni atıklarını kullanarak uyguladığı sera denemesinde kireçli toprak ve ahır gübresinin iyileştirici etkisini incelemişlerdir. Deneme sonuçlarına göre DTPA-ekstrakte edilebilir Pb konsantrasyonu azalmış, kök kuru maddesi artmıştır.

4.1.17. Yetiştirme ortamlarının DTPA’da ekstrakte edilebilir kadmiyum içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir kadmiyum içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17’de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir Cd içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Cd içeriği %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde flotasyon atığına kireçli toprak + ahır gübresi ilaveleri, sadece kireçli toprak ilavesine göre daha yüksek DTPA’da ekstrakte edilebilir Cd içeriğine neden olmuştur. Bu duruma ahır gübresinin kadmiyum içeriğinin neden olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.17. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının farklı çim bitkilerinin yetiştirildiği ortamların DTPA’da ekstrakte edilebilir Cd içeriği üzerine etkisi (mg kg^{-1})¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i> ’un Yetiştirme Ortamı	<i>Festuca arundinacea</i> ’nın Yetiştirme Ortamı
%90 FA + %10 KT	0.029 e ²	0.022 e
%80 FA + %20 KT	0.045 c	0.037 d
%70 FA + %30 KT	0.046 c	0.041 c
%60 FA + %40 KT	0.059 b	0.038 d
%86 FA + %10 KT + %4 AG	0.030 d	0.023 e
%82 FA + %10 KT + %8 AG	0.035 d	0.025 e
%76 FA + %20 KT + %4 AG	0.041 c	0.033 d
%72 FA + %20 KT + %8 AG	0.049 c	0.041 c
%66 FA + %30 KT + %4 AG	0.052 b	0.051 b
%62 FA + %30 KT + %8 AG	0.076 a	0.062 a
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir ($P < 0.001$)

Topraklarda Cd için izin verilen en üst sınır değer 0.5 mg kg^{-1} olması ve uygulamalar sonucunda ise en üst değer 0.076 mg kg^{-1} olması Cd için herhangi bir risk faktörünün bulunmadığı göstermektedir (Kloke 1985). Çünkü Çizelge 4.17’de görüleceği üzere tüm uygulama sonuçları sınır değer altında bulunmaktadır.

Clemente vd (2002) organik madde ve kireç ilavesinin ağır metal ile kirlenmiş topraklardaki biyolojik uygunluk üzerine olan etkisini saptamak amacı ile 14 aylık bir tarla denemesi yürütmüşlerdir. Denemede ahır gübresi, olgun kompost ve kireç materyali hint hardalı’nın (*Brassica juncea*) iki türü kullanılarak yetiştirilmiştir. Deneme boyunca topraktaki pH değişimi, toplam ve alınabilir ağır metal içeriği (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb ve Cd), EC, çözünmüş sülfat, bitki gelişimi ve ağır metal alınımı takip edilmiştir. Deneme sonuçlarına göre artan asitlik ağır metallerin biyolojik uygunluğunu arttırmış, kireçleme toprak asitliğini başarılı bir biçimde kontrol etmiştir.

Ye vd (1998) Pb/Zn maden atıklarının *Agropyron elongatum* (yüksek otlak ayrığı) ve *Trifolium repens* (yonca) kullanarak yeniden bitkilendirilmesi üzerine kireç ve domuz gübresinin etkilerini değerlendirmek için sera denemesi yürütmüşlerdir. Deneme sonuçlarına göre kireç ve domuz gübresi uygulamaları atığın DTPA’da ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonunu azaltmıştır.

Orman ve Kaplan (2007) düşük pH, yüksek EC ve ağır metal içeriğine sahip kükürt madeni atıklarını kullanarak uyguladığı sera denemesinde kireçli toprak ve ahır gübresinin iyileştirici etkisini incelemişlerdir. Deneme sonuçlarına göre DTPA-ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonun azaldığını, kök kuru maddesi arttığını bildirmişlerdir.

4.2. Bitkilerin Analiz Sonuçları ve Tartışması

Bu çalışmada deneme materyali olarak Kamışsı Yumak (*Festuca arundinacea*) ve Yüksek Otlak Ayrığı (*Agropyron elongatum*) çim bitkilerinin kullanılmış olmasının nedeni, seçilen çeşitlerin ağır metale olan toleransı ve yetiştirme yüzeyini örtme potansiyeline sahip olmasıdır. Bitki; yetiştirme döneminde ortamda bulunan ağır metalleri bünyesine alırken aynı zamanda yetiştirme yüzeyini de örterek rüzgâr ve su erozyonuna karşıda bölgeyi koruma görevini üstlenecektir. Saksı denemesi yürütülürken, yetiştirilen çim bitkileri 13. günde biçme yüksekliğine ulaşmış ve ilk biçim işlemi yapılmıştır. Bu aşamadan sonra çim bitkileri aralıklarla 4 kez, toplam da ise 5 kez biçilmiş olup 65 °C’de sabit bir ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuş ve biçilen her örnek birleştirilerek tek bir örnek haline getirilerek ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonra bitkilerin kuru madde verimleri belirlenmiş, birleştirilen bitki örnekleri ise analize tabi tutularak N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Ni, Cr, Pb ve Cd içerikleri tespit edilmiştir.

4.2.1. Bitki örneklerinin kuru madde verimleri

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin kuru madde verimi üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin kuru madde verimi üzerine etkisi (gr sakı⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	25.337 h ²	32.808 h
%80 FA + %20 KT	29.608 g	35.325 g
%70 FA + %30 KT	35.325 e	35.960 f
%60 FA + %40 KT	32.572 f	36.328 f
%86 FA + %10 KT + %4 AG	31.852 f	34.850 g
%82 FA + %10 KT + %8 AG	40.250 d	41.830 e
%76 FA + %20 KT + %4 AG	40.313 d	46.640 d
%72 FA + %20 KT + %8 AG	46.935 b	48.710 b
%66 FA + %30 KT + %4 AG	41.788 c	47.425 c
%62 FA + %30 KT + %8 AG	48.538 a	49.895 a
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Çizelge 4.18’de görüleceği üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi içinde % 0.1 önem seviyesinde, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin kuru madde verimi üzerine etkilerinin önemli çıktığı ve oldukça yüksek ilişkilerin olduğu saptanmıştır. Hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek kuru madde verimi % 62 FA + % 30 KT + % 8 AG uygulamasından elde edilmiştir. Buradan yola çıkarak ahır gübresinin oransal olarak en yüksek olduğu uygulamalarda kuru madde verimi sürekli fazla, flotasyon atığına ahır gübresine ilaveten artan düzeyde kireçli toprak uygulamalarında en yüksek kuru madde verimi elde edilmiştir.

% 90 FA + % 10 KT uygulamasına baktığımızda ise her iki çim bitkisi içinde kuru madde verimi en düşük değerleri vermiştir. Bu durum sözü edilen uygulama da ahır

gübresinin yer almamasına, kireçli toprağın en düşük ve flotasyon atığının en yüksek oranda bulunmasına bağlanmaktadır.

Genel olarak bakıldığında ise flotasyon atığında artan kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamaları kuru madde verimini artırıcı yönde etki ettiği açıkça görülmektedir. Ancak kireçli toprak + ahır gübresi uygulamaları, tek başına kireçli toprak uygulamasına göre daha yüksek kuru madde verimi elde edilmesini sağlamıştır.

Kaplan ve Orman (1998) elementel kükürt ve atık kullanarak yürüttükleri saksı denemesi sonucunda kuru madde veriminin artma yönünde değişim gösterdiğini bildirmişlerdir.

4.2.2. Bitki örneklerinin azot içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin azot içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19’da görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin N kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerin en yüksek N kapsamı %72 FA + %20 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde flotasyon atığına kireçli toprak + ahır gübresi ilaveleri, sadece kireçli toprak ilavesine göre bitkilerde daha yüksek N içeriğine neden olmuştur. Bu duruma ahır gübresinin azot içeriğinin neden olduğu düşünülmektedir. Artan ahır gübresi uygulamalarının bitkinin azot içeriğini artırdığı görülmektedir.

Hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerin en düşük N kapsamı % 90 FA + % 10 KT uygulamasından elde edilmiştir. Bu uygulamada her iki çeşidin de yetiştirme ortamlarında oransal olarak en üst seviyede flotasyon atığı ve en düşük seviyede kireçli toprak bulunmaktadır. Diğer

bir ifade ile flotasyon atığı azaltılır ve kireçli toprak oranı artırıldığında yetiştirilen bitkilerin azot içeriklerinde artışlar görülmektedir.

Çizelge 4.19. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin N içeriği üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	2.878 ₁ ²	1.990 _j
%80 FA + %20 KT	3.310 _h	2.353 _g
%70 FA + %30 KT	3.608 _f	2.068 _i
%60 FA + %40 KT	3.318 _h	2.228 _h
%86 FA + %10 KT + %4 AG	3.390 _g	2.483 _f
%82 FA + %10 KT + %8 AG	4.105 _c	2.885 _d
%76 FA + %20 KT + %4 AG	3.910 _e	2.878 _e
%72 FA + %20 KT + %8 AG	4.565 _a	3.770 _a
%66 FA + %30 KT + %4 AG	4.018 _d	2.983 _c
%62 FA + %30 KT + %8 AG	4.395 _b	3.710 _b
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Genel olarak bakıldığında yapılan araştırmalar sonucunda kuru madde esasına göre bitkilerde toplam N % 0.2 ile % 6.0 arasında değişim gösterdiği bildirilmektedir (Millar 1959, Johnson ve Ulrich 1959). Toksik azot düzeyi soya fasulyesinde % 5.71-7.0, çeltik bitkisinde % 3.60 ve üzeri, çavdar da ise % 5.0 ve üzeri değerlerde saptanmıştır (Jones vd 1991). Uygulamalar sonrası elde edilen % 1.99 ile % 4.57 arasında değişen N miktarı dikkate alındığında yeterli ve yüksek düzeyde kabul edilebileceği görülmektedir.

4.2.3. Bitki örneklerinin fosfor içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin fosfor içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20’de görüleceği üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi içinde % 0.1 önem seviyesinde, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin P kapsamı üzerine etkilerinin önemli çıktığı ve oldukça yüksek ilişkilerin olduğu saptanmıştır. Bu noktadan hareketle hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerin en yüksek P kapsamı ahır gübresinin maksimum olduğu %72 FA + %20 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde flotasyon atığına kireçli toprak ve ahır gübresi ilaveleri, sadece kireçli toprak ilavesine göre bitkilerde daha yüksek P içeriğine neden olmuştur. Bu duruma azot elementinde de olduğu gibi ahır gübresinin bünyesinde barındırdığı fosfor miktarı ve organik bileşiklerin fosfor yarıyışlılığı üzerine etkileri, kök gelişimine etkileri gibi pek çok faktöre bağlı olabileceği düşünülebilir. Kök gelişmesi üzerine fosforun olumlu etkilere sahip olduğu bildirilmektedir (Kacar ve Katkat 2007)

Bitkilerin fosfor içeriklerine bakıldığında kuru madde esasına göre % 0.05 ile % 0.43 arasında değiştiği bildirilmiştir (Millar 1959). Toksik fosfor düzeyi sorgumda % 0.25 ve üzeri, çeltik bitkisinde % 0.18 ve üzeri, çavdar da ise % 0.65 ve üzeri değerlerde saptanmıştır (Jones vd 1991). Uygulamalar sonrası elde edilen % 0.18 ile % 0.46 arasında değişen P miktarı dikkate alındığında yeterli ve yüksek düzeyde kabul edilebileceği görülmektedir.

Aynı doğrultuda hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en düşük P kapsamı % 90 FA + % 10 KT uygulamasından elde edilmiştir. Düşüklüğün sebebine baktığımızda ise yine azot elementinde olduğu gibi bu uygulamada da ahır gübresi ilavesinin olmamasına bağlayabiliriz.

Çizelge 4.20. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin P içeriği üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	0.217 g ²	0.180 h
%80 FA + %20 KT	0.286 f	0.234 g
%70 FA + %30 KT	0.288 f	0.234 g
%60 FA + %40 KT	0.278 f	0.267 f
%86 FA + %10 KT + %4 AG	0.282 f	0.288 e
%82 FA + %10 KT + %8 AG	0.409 d	0.333 d
%76 FA + %20 KT + %4 AG	0.426 c	0.357 c
%72 FA + %20 KT + %8 AG	0.457 a	0.414 a
%66 FA + %30 KT + %4 AG	0.436 b	0.350 c
%62 FA + %30 KT + %8 AG	0.386 e	0.386 b
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

4.2.4. Bitki örneklerinin potasyum içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin potasyum içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21’de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin K kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek K kapsamı %72 FA + %20 KT + %8 AG ve %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamalarından elde edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde flotasyon atığına kireçli toprak ve ahır gübresi ilaveleri, sadece kireçli toprak ilavesine göre bitkilerde daha yüksek K içeriğine neden olmuştur. Bu duruma azot ve fosfor elementlerinde de olduğu gibi ahır gübresinin içerdiği potasyum miktarı ile ahır

gübresinin toprağın pek çok özelliği üzerine olan doğrudan ya da dolaylı olumlu etkileri nedeniyle gerçekleşmiş olabilir. Follett vd'nin (1981) yapmış oldukları araştırma sonuçlarında kuru madde esasına göre bitkilerde % 2.0 N, % 1.0 P ve % 2.0 K içeriğinin olduğu bildirilmiştir.

Çizelge 4.21. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin K içeriği üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	2.094 e ²	1.735 f
%80 FA + %20 KT	2.329 d	2.061 e
%70 FA + %30 KT	2.314 d	2.024 e
%60 FA + %40 KT	2.502 c	2.264 d
%86 FA + %10 KT + %4 AG	2.375 d	2.482 c
%82 FA + %10 KT + %8 AG	3.504 b	3.014 b
%76 FA + %20 KT + %4 AG	3.419 b	3.013 b
%72 FA + %20 KT + %8 AG	3.672 a	3.510 a
%66 FA + %30 KT + %4 AG	3.442 b	3.078 b
%62 FA + %30 KT + %8 AG	3.647 a	3.533 a
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Bitkilerdeki en düşük K içeriğine baktığımızda ise her iki çim bitkisi için de flotasyon atığı oranının en üst seviyede olduğu % 90 FA + % 10 KT uygulamasını görmekteyiz. Çizelge 3.1'de görüldüğü üzere saf atığın K içeriği bulunmamaktadır. Bitkilerdeki en düşük K değeri ise oransal olarak flotasyon atığının başat olduğu karışımdadır. Bu sebeple K içeriği en düşük, sözü edilen uygulamada meydana gelmiştir.

Johnson ve Ulrich (1959) bitki materyallerinde potasyumun kuru madde esasına göre % 0.2 ile % 11 arasında değişiklik gösterdiğini rapor etmişlerdir. Toksik potasyum düzeyi soya fasulyesinde % 2.51-2.75, çeltik bitkisinde % 2.40 ve üzeri, çavdar da ise %

2.30 ve üzeri değerlerde saptanmıştır (Jones vd 1991). Uygulamalar sonrası bitkilerde elde edilen % 1.74 ile % 3.67 arasında değişen K miktarı dikkate alındığında yeterli ve yüksek düzeyde kabul edilebileceği görülmektedir.

4.2.5. Bitki rneklerinin kalsiyum içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin kalsiyum içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları izelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22’de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin Ca kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Ca kapsamı %86 FA + %10 KT + %4 AG uygulamasından elde edilmiştir.

Agropyron elongatum’un en düşük Ca değeri % 62 FA + % 30 KT + % 8 AG uygulamasında, *Festuca arundinacea*’nın en düşük Ca değeri % 72 FA + % 20 KT + % 8 AG ile % 62 FA + % 30 KT + % 8 AG uygulamalarında elde edilmektedir. Bu durum sözü geçen uygulamalarda potasyum miktarının en fazla miktarda olmasından dolayı, potasyumun ortamdaki kalsiyum üzerine antagonistik etkisi ve artan kuru madde nedeniyle bitkideki kalsiyumun seyrelme etkisinden dolayı azalma yönünde en fazla etkilenen elementlerden biri olması şeklinde açıklanabilir. Claassen ve Wilcox’da (1974) toprağa artan miktarlarda uygulanan potasyumun bitkide Ca alımını olumsuz şekilde etkilediğini bildirmişlerdir.

Çizelge 4.22. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Ca içeriği üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	3.040 b ²	1.746 c
%80 FA + %20 KT	3.055 b	1.751 c
%70 FA + %30 KT	2.854 c	1.658 d
%60 FA + %40 KT	1.749 e	1.823 b
%86 FA + %10 KT + %4 AG	3.235 a	2.287 a
%82 FA + %10 KT + %8 AG	1.957 d	1.454 e
%76 FA + %20 KT + %4 AG	1.561 f	1.446 e
%72 FA + %20 KT + %8 AG	0.988 h	1.272 f
%66 FA + %30 KT + %4 AG	1.165 g	1.468 e
%62 FA + %30 KT + %8 AG	0.886 ı	1.256 f
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Kacar ve Katkat (2007) bitki materyallerinde kalsiyumun kuru madde esasına göre % 0.2 ile % 3.0 arasında değişiklik gösterdiğini rapor etmişlerdir. Toksik kalsiyum düzeyi soya fasulyesinde % 2.01-3.0, çeltik bitkisinde % 0.30 ve üzeri, tütün de ise % 3.5 ve üzeri değerlerde saptanmıştır (Jones vd 1991). Uygulamalar sonrası bitkilerden elde edilen % 0.89 ile % 3.24 arasında değişen Ca miktarı dikkate alındığında yeterli ve yüksek düzeyde kabul edilebileceği görülmektedir.

4.2.6. Bitki örneklerinin magnezyum içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin magnezyum içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.23’de verilmiştir.

Çizelge 4.23’de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin Mg kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Mg kapsamı %82 FA + %10 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir. Bu durum, sözü edilen karışım içerisinde 5116.83 mg kg⁻¹ Mg bulunduran ahır gübresinin en yüksek oranda olmasıyla ilişkilendirilmektedir.

Agropyron elongatum % 62 FA + % 30 KT + % 8 AG uygulamasında, *Festuca arundinacea* ise % 66 FA + % 30 KT + % 4 AG uygulamasında Mg içeriği en düşük değerleri göstermektedir. Bu durum sözü geçen uygulamalarda ortamın potasyum içeriğinin en fazla miktarda olmasından dolayı, potasyumun ortamdaki magnezyum üzerine antagonistik etkisi ve artan kuru madde nedeniyle bitkideki magnezyumun seyrelme etkisinden dolayı azalma yönünde etkilenmiş olması şeklinde açıklanabilir. Ortamda K⁺ ve NH₄⁺’un fazla miktarlarda bulunması Mg²⁺ alımını olumsuz şekilde etkilemekte ve bitkilerin göreceli olarak daha az Mg²⁺ aldığı bildirilmektedir (Kurvits ve Kirkby 1980).

Genel olarak yapılan araştırmalar sonucunda kuru madde esasına göre bitkilerde Mg miktarının % 0.02 ile % 2.50 arasında değişim gösterdiği bildirilmektedir (Johnson ve Ulrich 1959). Toksik magnezyum düzeyi soya fasulyesinde % 1.01- 1.50, çeltik bitkisinde % 0.30 ve üzeri, çavdar da ise % 0.60 ve üzeri değerlerde saptanmıştır (Jones vd 1991). Uygulamalar sonrası bitkilerden elde edilen % 0.27 ile % 0.88 arasında değişen Mg miktarı dikkate alındığında yeterli ve yüksek düzeyde kabul edilebileceği görülmektedir.

Çizelge 4.23. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Mg içeriği üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	0.498 c ²	0.515 c
%80 FA + %20 KT	0.366 d	0.493 d
%70 FA + %30 KT	0.346 e	0.485 e
%60 FA + %40 KT	0.326 f	0.463 f
%86 FA + %10 KT + %4 AG	0.615 b	0.853 b
%82 FA + %10 KT + %8 AG	0.665 a	0.876 a
%76 FA + %20 KT + %4 AG	0.347 e	0.455 g
%72 FA + %20 KT + %8 AG	0.267 h	0.487 e
%66 FA + %30 KT + %4 AG	0.283 g	0.427 h
%62 FA + %30 KT + %8 AG	0.256 ı	0.455 g
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

4.2.7. Bitki örneklerinin sodyum içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin sodyum içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.24’de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin Na kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Na kapsamı %82 FA + %10 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.24. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Na içeriği üzerine etkisi (%)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	0.129 c ²	0.171 c
%80 FA + %20 KT	0.102 e	0.140 d
%70 FA + %30 KT	0.101 e	0.127 e
%60 FA + %40 KT	0.098 f	0.129 e
%86 FA + %10 KT + %4 AG	0.173 b	0.227 b
%82 FA + %10 KT + %8 AG	0.214 a	0.234 a
%76 FA + %20 KT + %4 AG	0.113 d	0.120 f
%72 FA + %20 KT + %8 AG	0.083 g	0.128 e
%66 FA + %30 KT + %4 AG	0.090 g	0.115 f
%62 FA + %30 KT + %8 AG	0.083 g	0.113 f
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Agropyron elongatum'un en düşük Na kapsamının olduğu uygulamalara baktığımızda % 72 FA + % 20 KT + % 8 AG, % 66 FA + % 30 KT + % 4 AG ve % 62 FA + % 30 KT + % 8 AG göze çarparken *Festuca arundinacea*'da ise % 76 FA + % 20 KT + % 4 AG, % 66 FA + % 30 KT + % 4 AG ve % 62 FA + % 30 KT + % 8 AG göze çarpmaktadır.

Genel olarak bakarsak artan kireçli toprak ilavesi bitki bünyesindeki sodyum üzerine azalan yönde etki etmektedir. Artan ahır gübresi ve kireçli toprak ilavesi de bitkilerin sodyum miktarında çoğunlukla azalmaya neden olmaktadır.

Bitkilerin sodyum içerikleri genelde % 0.01 ile % 10.0 arasında değişim göstermektedir (Kacar ve Katkat 2007). Toksik sodyum düzeyi buğday ve yonca da % 0.15, genç fasulye bitkisinde % 0.40, arpa da ise % 0.40 değerlerde saptanmıştır (Finck 1975). Uygulamalar sonrası bitkilerden elde edilen % 0.083 ile % 0.234 arasında

değişen Na miktarı dikkate alındığında az ve yeterli düzeyde kabul edilebileceği görülmektedir.

4.2.8. Bitki örneklerinin demir içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin demir içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.25’de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin Fe kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. *Agropyron elongatum*’un yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Fe kapsamı %82 FA + %10 KT + %8 AG uygulamasından elde edilirken, *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Fe kapsamı %72 FA + %20 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir. Bu duruma 6250 mg kg⁻¹ Fe içeriğine sahip flotasyon atığının neden olabileceği düşünülmektedir. Tüm uygulamalardan elde edilen bitki örneklerinde Fe içeriğinin yüksek olmasına, yetiştirme ortamındaki flotasyon atığının ve bazı uygulamalarda ilave edilen ahır gübresinin Fe içeriğinin zengin olarak belirlenmesinin temel neden olabileceği ifade edilebilir. Ancak burada bitki farklılığına da dikkat etmek gerekmektedir.

Bitki yapraklarında Fe miktarı kuru madde ilkesine göre 10 mg kg⁻¹ ile 1000 mg kg⁻¹ arasında değişim gösterirken yeterli Fe miktarı ise genelde 50-250 mg.kg⁻¹ arasında olduğu bildirilmiştir (Kacar ve Katkat 2007). Yapılan analizlerde de uygulamalara bağlı olarak bitkilerin Fe değerlerinin 223.63 mg kg⁻¹ ile 338.20 mg kg⁻¹ arasında yer aldığı, genel dağılımın yeterli olarak belirtilen değer olan 250 mg kg⁻¹ dolaylarında çıktığı ama bazı uygulamalarda bu değeri aşarak 338.20 mg kg⁻¹ a kadar ulaştığı görülmektedir (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.25. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Fe içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	275.80 d ²	248.85 d
%80 FA + %20 KT	256.13 e	244.88 e
%70 FA + %30 KT	239.32 gh	257.57 c
%60 FA + %40 KT	246.18 f	225.48 f
%86 FA + %10 KT + %4 AG	241.90 g	246.78 de
%82 FA + %10 KT + %8 AG	338.20 a	223.63 f
%76 FA + %20 KT + %4 AG	272.70 d	267.23 b
%72 FA + %20 KT + %8 AG	326.32 b	275.45 a
%66 FA + %30 KT + %4 AG	296.77 c	264.77 b
%62 FA + %30 KT + %8 AG	237.97 h	265.05 b
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P < 0.001)

Agropyron elongatum'un % 62 FA + % 30 KT + % 8 AG uygulamasında, *Festuca arundinacea*'nın ise % 60 FA + % 40 KT ve % 82 FA + % 10 KT + % 8 AG uygulamalarında bitkilerde en düşük Fe kapsamı verileri elde edilmiştir. Kalbasi vd (1988) Fe'in yarıyışlılığı üzerine toprak pH'nın ve toprağın redoks potansiyelinin etkili olduğunu, ortam ve rizosfer pH'sını asit yöne doğru değiştiren uygulamalar bitkilerde Fe alımının artmasına neden olurken, ortam pH'sının yükselmesi Fe'nin yarıyışlılığını azaltıcı yönde etkilediğini bildirmişlerdir.

4.2.9. Bitki örneklerinin çinko içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin çinko içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26’da görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin toplam Zn kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. *Agropyron elongatum*’un yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Zn kapsamı % 80 FA + % 20 KT ve %70 FA + %30 KT uygulamalarından elde edilirken *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında ise bitkilerde en yüksek Zn kapsamı %86 FA + %10 KT + %4 AG ve %82 FA + %10 KT + %8 AG uygulamalarından elde edilmiştir.

Çizelge 4.26. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Zn içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	60.635 f ²	67.190 bc
%80 FA + %20 KT	75.095 a	64.722 cd
%70 FA + %30 KT	76.135 a	54.487 h
%60 FA + %40 KT	71.225 bc	55.477 gh
%86 FA + %10 KT + %4 AG	66.890 d	72.047 a
%82 FA + %10 KT + %8 AG	70.058 c	72.488 a
%76 FA + %20 KT + %4 AG	69.273 cd	59.663 ef
%72 FA + %20 KT + %8 AG	73.625 ab	69.093 ab
%66 FA + %30 KT + %4 AG	62.523 ef	58.115 fg
%62 FA + %30 KT + %8 AG	64.067 e	62.248 de
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Diğer yandan *Agropyron elongatum*’un en düşük Zn içeriğine sahip olduğu uygulamanın % 90 FA + % 10 KT, *Festuca arundinacea*’nın ise en düşük Zn içeriğine sahip olduğu uygulamanın % 70 FA + % 30 KT olduğu görülmektedir. Öte yandan bitkilerde Zn için izin verilen sınır değerler 5-100 mg kg⁻¹ olarak değişim gösterirken, uygulamaların sonuçlarına baktığımızda bitkilerde en yüksek Zn değerinin 76.135 mg kg⁻¹

¹ olduğunu görmekteyiz (Kloke 1985). Uygulamalar sonucunda bitkilerden elde edilen değerler sınır değerleri arasında değişim gösterdiği için herhangi bir toksisite riski bulunmamaktadır.

4.2.10. Bitki örneklerinin mangan içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin mangan içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.27’de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin Mn kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Mn kapsamı %82 FA + %10 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde Çizelge 3.1’den de görüleceği üzere flotasyon atığının 53.21 mg kg⁻¹, ahır gübresinin ise 75.58 mg kg⁻¹ Mn içerdiği görülmektedir. Her iki çim bitkisinin de üçlü karışımlarda en üst seviyede flotasyon atığı ve ahır gübresi uygulamaları mevcut olduğunda bitkilerde en yüksek mangan değerleri belirlenmiştir.

Öte yandan bitkilerde en düşük Mn içeriklerinin belirlendiği karışımlara bakarsak hem *Agropyron elongatum* hem de *Festuca arundinacea* için % 62 FA + % 30 KT + % 8 AG yetiştirme ortamının olduğunu görmekteyiz. Üçlü karışım oranlarının elverdiği durumlar dâhilinde flotasyon atığının en az, kireçli toprak ve ahır gübresinin en fazla oranda var olduğu bu karışımda bitkilerde en düşük mangan içeriği tespit edilmiştir.

Genel durum da ise yetiştirme ortamlarına artan kireçli toprak ilavesi çim bitkilerinin mangan miktarına azalan yönde etki etmekte, flotasyon atığının yüksekliği ise mangan miktarını artırmaktadır.

Mangan içerikleri yüksek ve düşük olan bitkilerin Mn içerikleri arasında yaklaşık 50-60 kat ayrımlılık bulunmaktadır. Örneğin pH'sı 6.9-8.0 olan topraklarda yetişen bitkilerin mangan içerikleri kuru madde ilkesine göre 6 mg kg⁻¹ ile 185 mg kg⁻¹ arasında değişirken, pH'sı 4.5-5.4 olan topraklarda yetişen aynı bitkilerin mangan içeriklerinin 70 mg kg⁻¹ ile 1200 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir (Bergmann 1992). Mangan noksanlığı için değişik bitkilerde kritik düzeylere ilişkin değerler arasında büyük farkların bulunmamasına karşın toksik mangan düzeylerine ait değerler yönünden bitkiler arasındaki farklar büyüktür. Örneğin toksik mangan düzeyi fasulye bitkisinde 100 mg kg⁻¹, üçgül bitkisinde 650 mg kg⁻¹ ve taban arazide yetiştirilen çeltikte ise 5000 mg kg⁻¹ olarak saptanmıştır (Hannam ve Ohki 1988). Uygulamalar sonrası bitkilerde elde edilen 76.52 mg kg⁻¹ ile 292.48 mg kg⁻¹ arasında değişen Mn miktarı dikkate alındığında yeterli ve yüksek düzeyde kabul edilebileceği görülmektedir.

Çizelge 4.27. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Mn içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	143.89 c ²	250.56 c
%80 FA + %20 KT	127.18 d	182.89 d
%70 FA + %30 KT	106.86 f	170.18 f
%60 FA + %40 KT	103.56 f	175.18 e
%86 FA + %10 KT + %4 AG	157.85 b	287.50 b
%82 FA + %10 KT + %8 AG	196.07 a	292.48 a
%76 FA + %20 KT + %4 AG	117.72 e	157.01 g
%72 FA + %20 KT + %8 AG	82.56 h	142.04 ı
%66 FA + %30 KT + %4 AG	87.00 g	147.03 h
%62 FA + %30 KT + %8 AG	76.52 ı	119.52 j
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

4.2.11. Bitki örneklerinin bakır içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin bakır içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.28’de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin Cu kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. *Agropyron elongatum*’un yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Cu kapsamı %66 FA + %30 KT + %4 AG uygulamasından elde edilirken, *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Cu kapsamı %72 FA + %20 KT + %8 AG uygulamasından elde edilmiştir.

Agropyron elongatum için % 86 FA + % 10 KT + % 4 AG uygulamasında, *Festuca arundinacea* için ise % 90 FA + % 10 KT uygulamasında bitkilerde en düşük Cu kapsamı verileri elde edilmiştir. Bitkilerde Cu için izin verilen sınır değerleri 2-20 mg kg⁻¹ arasında değişim gösterirken (Kloke 1985); uygulamalar sonucunda çim bitkilerinde elde edilen en yüksek Cu değeri 1.735 mg kg⁻¹ gibi alt sınır değerden daha da alt bölgelerde seyrettiği için Cu açısından herhangi bir toksisite riski bulunmamaktadır. Ancak bitkilerin Cu beslenmeleri bakımından açık bir yetersizlik görülmektedir. Yetiştiricilikte bu duruma dikkat edilmesi ve gübreleme yapılması gerekir.

Çizelge 4.28. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Cu içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	1.555 c ²	0.438 g
%80 FA + %20 KT	1.603 b	0.698 f
%70 FA + %30 KT	1.348 fg	0.757 e
%60 FA + %40 KT	1.635 b	0.869 d
%86 FA + %10 KT + %4 AG	1.320 g	0.647 f
%82 FA + %10 KT + %8 AG	1.478 d	0.889 d
%76 FA + %20 KT + %4 AG	1.455 de	0.973 c
%72 FA + %20 KT + %8 AG	1.373 f	1.430 a
%66 FA + %30 KT + %4 AG	1.735 a	1.255 b
%62 FA + %30 KT + %8 AG	1.428 e	1.295 b
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

4.2.12. Bitki örneklerinin kobalt içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin kobalt içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.29’da görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin Co kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Hem *Agropyron elongatum*’un hem de *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Co kapsamı %86 FA + %10 KT + %4 AG uygulamasından elde edilmiştir. Yani üçlü karışım oranlarında flotasyon atığının ve ahır gübresinin en fazla olduğu bu karışım da en yüksek Co içeriği tespit edilmiştir.

Artan oranlarda ahır gübresi ve kireçli toprak uygulamalarına bağlı olarak çim bitkilerinin Co içerikleri gittikçe azalmakta ve belirleme sınırının (b.s.) altına düşmektedir. Bu durum kullanılan kireçli toprak miktarının artışıyla ortamdan Co elementinin bitki tarafında alımının sınırlandırılmasına bağlanabilir.

Nitekim flotasyon atığının analizi sonucunda DTPA ile ekstrakte edilebilir Co içeriği 5.82 mg kg⁻¹ iken (Çizelge 3.1) flotasyon atığı, kireçli toprak ve ahır gübresinden oluşturulan yetiştirme ortamlarının DTPA ile ekstrakte edilebilir Co içerikleri 0.243 mg kg⁻¹ ile 1.765 mg kg⁻¹ (Çizelge 4.13) değerlerine düşmüş ve bu durum yetiştirilen çim bitkilerinin Co içeriklerine de yansımıştır.

Çizelge 4.29. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Co içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	1.158 c ²	1.085 c
%80 FA + %20 KT	0.320 de	0.132 e
%70 FA + %30 KT	0.345 d	0.133 d
%60 FA + %40 KT	0.310 e	0.130 e
%86 FA + %10 KT + %4 AG	3.860 a	3.700 a
%82 FA + %10 KT + %8 AG	1.503 b	3.563 b
%76 FA + %20 KT + %4 AG	< b.s. ⁴ f	< b.s. e
%72 FA + %20 KT + %8 AG	< b.s. f	< b.s. e
%66 FA + %30 KT + %4 AG	< b.s. f	< b.s. e
%62 FA + %30 KT + %8 AG	< b.s. f	< b.s. e
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P < 0.001)

⁴ Belirleme Sınırı (b.s. < 0.1 mg kg⁻¹)

Kaplan vd (2005) elementel kükürt, kükürt ve Keçiborlu Kükürt Fabrikası flotasyon atıklarını kullanarak yürüttükleri saksı denemesinde sorgum (*Sorghum bicolor* L.)

yetiştirmişler ve sonuçta toksik düzeylerde Co birikiminin gerçekleşmediğini bildirmişlerdir.

4.2.13. Bitki örneklerinin nikel içeriğı

Flotasyon atığına değışen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin nikel içeriğı üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4.30’da görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değışen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin Ni kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.30. Flotasyon atığına değışen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Ni içeriğı üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	15.453 c ²	24.385 c
%80 FA + %20 KT	3.215 d	15.725 d
%70 FA + %30 KT	2.245 de	11.958 e
%60 FA + %40 KT	1.830 e	12.103 e
%86 FA + %10 KT + %4 AG	41.445 a	44.767 a
%82 FA + %10 KT + %8 AG	27.538 b	42.700 b
%76 FA + %20 KT + %4 AG	3.120 d	11.918 e
%72 FA + %20 KT + %8 AG	3.263 d	12.075 e
%66 FA + %30 KT + %4 AG	2.320 de	11.025 e
%62 FA + %30 KT + %8 AG	2.478 de	10.788 e
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Hem *Agropyron elongatum*'un hem de *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Ni kapsamı %86 FA + %10 KT + %4 AG uygulamasından elde edilmiştir. Kobalt sonuçlarında olduğu gibi üçlü karışım oranların da flotasyon atığı ve ahır gübresinin en fazla olduğu bu karışımda bitkilerde en yüksek Ni içeriği tespit edilmiştir. Bu durumu flotasyon atığı ve ahır gübresinin içerdiği Ni miktarına ve bunların birlikte etkilerine bağlamak mümkündür.

Bitkilerde Ni için izin verilen sınır değerler $0.1-3 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişim gösterirken (Kloke 1985); uygulamalar sonrasında çim bitkilerinde sınır değerlerin üstünde Ni tespit edilmiştir. Bu durum özellikle flotasyon atığındaki Ni içeriğinin toprakta Ni için izin verilen sınır değerlerin üzerinde olmasından dolayı bitkilerin Ni içeriklerinin artmasına neden olduğu şeklinde düşünülebilir. Ancak ortama katılan kireçli toprak DTPA ile ekstrakte edilebilir Ni içeriğini azaltmıştır. Fakat bu azalmaya rağmen bitkilerdeki yüksek Ni dikkat çekicidir. Özellikle kireçli toprak miktarının azlığı ve ahır gübresinin katkısı bitkilerin Ni içeriğini içeriği belirgin biçimde artırabilmektedir. Kireçli toprak miktarının artışı ile bitkilerin Ni değerleri düşmektedir. Özellikle % 30 ve daha fazla oranda kireçli toprak bitkilerdeki Ni miktarını 3 mg kg^{-1} düzeyinden daha aşağıya düşürebilmektedir.

4.2.14. Bitki örneklerinin krom içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin krom içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.31'de verilmiştir.

Çizelge 4.31'de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin Cr kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. *Agropyron elongatum*'un yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Cr kapsamı %72 FA + %20 KT + %8 AG ve %66 FA + %30 KT + %4 AG uygulamalarından elde edilirken, *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Cr kapsamı %80 FA + %20 KT uygulamasından elde edilmiştir.

Fakat her iki çim türünün içerdiği Cr miktarının en az olduğu uygulama olarak % 86 FA + % 10 KT + % 4 AG dikkat çekmektedir. Bitkilerde Cr için izin verilen sınır değerleri 0.1-1 mg kg⁻¹ arasında değişim gösterirken (Kloke 1985); uygulamalar sonrasında çim bitkilerinde sınır değerlerin üstünde ve 4.120 mg kg⁻¹ Cr'a ulaşan değerler tespit edilmiştir.

Flotasyon atığı 14.86 mg kg⁻¹ düzeyinde DTPA ile ekstrakte edilebilir Cr içerirken (Çizelge 3.1) oluşturulan yetiştirme ortamlarında bu değerler 0.016 mg kg⁻¹ - 0.118 mg kg⁻¹ değerlerine düşmüştür (Çizelge 4.15). Topraklarda için izin verilebilir sınır değeri olan 5-100 mg kg⁻¹ Cr olduğu dikkate alındığında topraklarda ölçülen değerlerin düşük olduğu, ancak buna rağmen bitkilerin yetiştirildikleri ortamdaki absorbe ettikleri Cr'un izin verilen değerleri aştığı belirlenmiştir. Bu durumda denemede yetiştirilen bitkilerin yetiştirildikleri ortamdaki Cr elementini güçlü bir şekilde alma yeteneklerinin bulunduğu düşünülebilir.

Çizelge 4.31. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Cr içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	1.883 d ²	3.208 e
%80 FA + %20 KT	1.468 f	4.120 a
%70 FA + %30 KT	1.748 e	3.463 c
%60 FA + %40 KT	1.775 e	3.775 b
%86 FA + %10 KT + %4 AG	1.158 g	2.345 h
%82 FA + %10 KT + %8 AG	2.018 c	2.458 g
%76 FA + %20 KT + %4 AG	1.848 d	3.350 d
%72 FA + %20 KT + %8 AG	2.545 a	2.643 f
%66 FA + %30 KT + %4 AG	2.585 a	3.225 e
%62 FA + %30 KT + %8 AG	2.290 b	2.465 g
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P < 0.001)

4.2.15. Bitki örneklerinin kurşun içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin kurşun içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.32’de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin Pb kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. *Agropyron elongatum*’un yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Pb kapsamı %70 FA + %30 KT uygulamasından elde edilirken, *Festuca arundinacea*’nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Pb kapsamı %86 FA + %10 KT + %4 AG, %82 FA + %10 KT + %8 AG, %76 FA + %20 KT + %4 AG ve %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamalarından elde edilmiştir.

Çizelge 4.32. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Pb içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	7.815 d ²	1.858 c
%80 FA + %20 KT	7.763 d	1.358 e
%70 FA + %30 KT	14.805 a	1.733 cd
%60 FA + %40 KT	10.710 c	2.095 b
%86 FA + %10 KT + %4 AG	8.512 d	2.480 a
%82 FA + %10 KT + %8 AG	12.613 b	2.490 a
%76 FA + %20 KT + %4 AG	7.992 d	2.553 a
%72 FA + %20 KT + %8 AG	5.495 e	1.753 cd
%66 FA + %30 KT + %4 AG	3.205 f	1.625 d
%62 FA + %30 KT + %8 AG	5.428 e	2.440 a
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

Agropyron elongatum'un yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en düşük Pb kapsamı % 66 FA + % 30 KT + % 4 AG uygulamasından elde edilirken, *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en düşük Pb kapsamı % 80 FA + % 20 KT elde edilmektedir. Bitkilerde Pb için izin verilen sınır değerler 0.1-6 mg kg⁻¹ arasında değişim gösterirken (Kloke 1985); uygulamalar sonrasında çim bitkilerinde sınır değerlerinin üstünde ve 14.805 mg kg⁻¹'a ulaşan Pb içeriği tespit edilmiştir. Çizelge 4.32'de görüldüğü üzere bitkilerde izin verilen sınır değerlerini göz önüne aldığımızda *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlarda bitkilerin Pb içeriklerinin herhangi bir risk unsuru teşkil etmediğini ancak *Agropyron elongatum*'un yetiştirildiği ortamlarda bitkilerin bu sınır değerlerini aştığını görmek mümkündür. Öte yandan flotasyon atığına kireçli toprak ve ahır gübresinin yüksek oranda birlikte ilave edildiği bazı yetiştirme ortamlarında çim bitkilerin Pb içeriklerinin izin verilen değerlere düştüğü belirlenmiştir.

4.2.16. Bitki örneklerinin kadmiyum içeriği

Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin kadmiyum içeriği üzerindeki etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.33'de verilmiştir.

Çizelge 4.33'de görüldüğü üzere yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının bitkilerin Cd kapsamı üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. *Agropyron elongatum*'un yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Cd kapsamı %82 FA + %10 KT + %8 AG uygulamasından elde edilirken, *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en yüksek Cd kapsamı %60 FA + %40 KT uygulamasından elde edilmiştir.

Fakat *Agropyron elongatum*'un yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en düşük Cd kapsamı % 66 FA + % 30 KT + % 4 AG uygulamasından elde edilirken, *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerde en düşük Cd kapsamı %86 FA + %10 KT + %4 AG uygulamasından elde edilmektedir. Bitkilerde Cd için izin

verilen sınır değerler 0.05-0.4 mg kg⁻¹ arasında değişim gösterirken (Kloke 1985); uygulamalar sonrasında çim bitkilerinin sınır değerlerinin üstünde ve 1.903 mg kg⁻¹'a ulaşan Cd içeriği tespit edilmiştir. Bitkiler için izin verilebilir sınır değeri olan 0.5 mg kg⁻¹ Cd olduğu dikkate alındığında yetiştirme ortamlarında ölçülen değerlerin düşük olduğu, ancak buna rağmen bitkilerin yetiştirildikleri ortamdan izin verilen değerleri aşan Cd içeriklerine ulaştıkları belirlenmiştir. Bu durumda denemede yetiştirilen bitkilerin yetiştirildikleri ortamdan Cd elementini güçlü bir şekilde alma yeteneklerinin bulunduğu düşünülebilir.

Çizelge 4.33. Flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen çim bitkilerinin Cd içeriği üzerine etkisi (mg kg⁻¹)¹

Uygulamalar	<i>Agropyron elongatum</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
%90 FA + %10 KT	0.608 f ²	0.333 f
%80 FA + %20 KT	0.665 e	0.493 b
%70 FA + %30 KT	1.045 b	0.505 b
%60 FA + %40 KT	0.860 c	0.565 a
%86 FA + %10 KT + %4 AG	0.850 c	0.290 g
%82 FA + %10 KT + %8 AG	1.903 a	0.328 fg
%76 FA + %20 KT + %4 AG	0.838 c	0.420 de
%72 FA + %20 KT + %8 AG	0.755 d	0.405 e
%66 FA + %30 KT + %4 AG	0.368 h	0.455 cd
%62 FA + %30 KT + %8 AG	0.535 g	0.473 bc
Önemlilik ³	***	***

¹ Değerler 4 tekerrür ortalamasıdır.

² Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki farklar % 5 düzeyinde önemlidir.

³ ***: % 0.1 düzeyinde önemlidir (P< 0.001)

5. SONUÇ

İnsanların ve diğer canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde bulundukları ortam olan çevre hızlı nüfus artışı, plansız kentleşme, endüstrileşme, nükleer denemeler, bölgesel savaşlar, tarım ilaçları, yapay gübreler ve deterjanlar gibi çeşitli kimyasal maddelerin kullanılmasıyla giderek kirlenmekte ve çevreyi oluşturan canlılar üzerinde doğrudan ya da dolaylı olarak olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı yürütülen bu çalışma ile Isparta/Keçiborlu yöresinde problem olarak görülen flotasyon atıklarının çevre ve bölge sakinlerine olumsuz tüm etkilerini ortadan kaldırmak için âtlı durumda bulunan kükürt fabrikasının atık biriktirme alanına yeniden bitkisel örtü materyali kazandırılması amaçlanmaktadır. Şu anki durumu itibarıyla flotasyon atığının üzerinde, içerdiği toksik maddeler ve aşırı asidik pH nedeniyle herhangi bir vejetasyon örtüsü bulunmamaktadır. Bu durumda bölgenin özellikle su ve rüzgâr erozyonundan dolayı olumsuz bir çevresel etkilenmeye maruz kaldığı tahmin edilmektedir.

Keçiborlu Kükürt İşletmesi atık havuzları, kükürt cevherinin işlenmesi sırasında flotasyon aşamasında meydana gelen atıkları içerir ve işletmenin faaliyette olduğu dönem boyunca biriken üretim atığının 1 milyon tona vardığı tahmin edilmektedir. Bölgedeki bu atığın çevredeki diğer tarım topraklarını, yeraltı su kaynaklarını ve yöre halkının sağlığını ciddi boyutlarda tehdit ettiği düşünülmektedir. Bu olumsuzlukların giderilmesi için atıkların en kısa sürede ıslah edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Çalışmada; flotasyon atığı, kireçli toprak, ahır gübresi ve iki farklı çim bitkisi araştırma materyalleri olarak kullanılmıştır. Saksı denemesi tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak kurulmuş ve 10 konu uygulanmıştır. Flotasyon atığına % 10-20-30-40 oranlarında uygulanan kireçli toprak (% 48. 25 CaCO₃) Akdeniz Üniversitesi kampus alanında bulunan Gölbaşı serisinden, % 4-8 oranlarında uygulanan ahır gübresi ise Serik yöresindeki bir çiftlikten sağlanmıştır. Deneme Haziran-Eylül 2007 tarihleri arasında 12 haftalık zaman dilimi içerisinde Akdeniz Üniversitesi kampus alanında kurulan üzeri %95'lik gölge tülü ile kapatılmış yüksek tünelde yürütülmüştür.

Deneme saksılarında çim bitkisi olarak *Festuca arundinacea* (kamuşsı yumak) ve *Agropyron elongatum* (yüksek otlak ayrığı) yetiştirilmiştir. Fitoremediasyon yönteminin uygulama aşamasında kullanılacak çim bitkilerinin seçilmesinde dikkate alınan kriterler seçilen çeşidin ağır metale olan toleransı, yetiştirme yüzeyini örtme potansiyeli ve bölge iklim koşullarına uyum sağlayabilmesidir. Bitki; ortamda bulunan ağır metalleri bünyesine alırken aynı zamanda yetiştirme yüzeyini de örterek rüzgâr ve su erozyonuna karşı bölgeyi koruma görevini üstlenecektir.

Yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının ortamların EC'si, pH'sı ve bitkilerin kuru madde verimi üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. Flotasyon atığı, kireçli toprak ve ahır gübresi kullanılarak oluşturulan yetiştirme ortamlarının analizleri sonucunda flotasyon atığının 9.99 dS m^{-1} olan EC değeri 2.20 dS m^{-1} değerine düşüş, pH değeri ise 3.12'den 6.58 değerine artış göstermiştir. Kuru madde veriminde ise özellikle ahır gübresinin %8 oranında ilave edildiği uygulamalarda yüksek değerlere ulaşılmıştır. Yetiştirme ortamlarının pH'sındaki artışın özellikle P elementi üzerine etkisi olmuştur. Kireçli toprak ilavesi sonrası pH aşırı asidikten, hafif asidiğe yükselmiş ve Fe-Al fosfatlar şeklinde alınamaz formda bulunan fosforun yararlılığı artmıştır. Daha sonra ise bitki tarafından alınan fosfor etkili bir kök gelişimi üzerine olumlu etkilerde bulunmuş ve bitki bünyesine alınan P miktarını artırmıştır.

Deneme sonunda yapılan yetiştirme ortamları analizlerine göre, yetiştirilen her iki çim bitkisi için, flotasyon atığına değişen düzeylerde kireçli toprak ve ahır gübresi ilaveleri ortamların N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Ni, Cr, Pb ve Cd içerikleri üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde etkili olmuştur. *Agropyron elongatum*'un yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek Ca ve Pb içerikleri %60 FA + %40 KT; Cr içeriği %86 FA + %10 KT + %4 AG; N, Zn, Co ve Ni içerikleri %82 FA + %10 KT + %8 AG; Na, Fe ve Mn içerikleri %72 FA + %20 KT + %8 AG; P, K, Cu, Mg ve Cd içerikleri ise %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamalarından elde edilmiştir.

Festuca arundinacea'nın yetiştirildiği ortamlar arasında en yüksek Ni ve Cr içerikleri %82 FA + %10 KT + %8 AG; Ca içeriği %60 FA + %40 KT; Co içeriği %90 FA +

%10 KT; Mg, Fe ve Mn içerikleri %72 FA + %20 KT + %8 AG; Cu içeriği %66 FA + %30 KT + %4 AG; N, P, K, Na, Zn, Pb ve Cd içerikleri ise %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamalarından elde edilmiştir.

Her iki çim bitkisinin yetiştirildiği FA + KT + AG uygulamalarında ortamların N, P, K, Mg ve Mn içerikleri ahır gübresi ilave edilmeyenlere göre (FA + KT) daha yüksek çıkmıştır. En yüksek kireçli toprak karışımı olan %40'lık uygulama sonucunda ise Ca elementi en yüksek değerleri vermiştir. Uygulamalar sonunda ortamların Zn, Cu, Ni, Cr, Pb ve Cd değerleri izin verilen sınır değerleri arasında olduğu için herhangi bir toksisite riski içermemektedir. Fe elementi için ise ortam pH'sı belirleyici unsur olmuştur. Kireçli toprak ilavesi ile pH yükselmiş ve bu doğrultuda ortamların DTPA'da ekstrakte edilebilir Fe içeriği azalma yönünde değişim göstermiştir. Flotasyon atığının yüksek Fe içeriğini kireçli toprak ilavesiyle kontrol altına almak mümkün gözükmemektedir.

Flotasyon atığına artan oranlarda kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamaları yetiştirilen çim bitkilerinin kuru madde verimini artırıcı yönde etkilemiştir. Hem *Agropyron elongatum*'un hem de *Festuca arundinacea*'nın yetiştirildiği ortamlar arasında bitkilerin en yüksek kuru madde verimi % 62 FA + % 30 KT + % 8 AG uygulamasından elde edilmiştir.

Deneme sonunda yapılan bitki analizlerine göre, flotasyon atığına kireçli toprak ve ahır gübresi uygulamalarının yetiştirilen her iki çim bitkisinin N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Ni, Cr, Pb ve Cd içerikleri üzerine etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. *Agropyron elongatum* çim bitkisinde en yüksek Zn ve Pb içerikleri %70 FA + %30 KT; Ca, Co ve Ni içerikleri %86 FA + %10 KT + %4 AG; Mg, Na, Fe, Mn ve Cd içerikleri %82 FA + %10 KT + %8 AG; N, P ve K içerikleri %72 FA + %20 KT + %8 AG; Cu içeriği %66 FA + %30 KT + %4 AG; Cr içeriği ise %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamalarından elde edilmiştir.

Festuca arundinacea çim bitkisinde en yüksek Cr içeriği %80 FA + %20 KT; Cd içeriği %60 FA + %40 KT; Ca, Co ve Ni içerikleri %86 FA + %10 KT + %4 AG; Mg, Na, Zn ve Mn içerikleri %82 FA + %10 KT + %8 AG; Pb içeriği %76 FA + %20 KT +

%4 AG; N, P, Fe ve Cu içerikleri %72 FA + %20 KT + %8 AG; K içeriği ise %62 FA + %30 KT + %8 AG uygulamalarından elde edilmiştir.

Yetiştirilen çim bitkilerinin N, P, K, Ca, Mg ve Mn içeriklerinin yeterli ve yüksek düzeylerde; Ni, Cr, ve Cd içeriklerinin ise ortamda az miktarda bulunmalarına rağmen bitki bünyesinde toksisite yapacak seviyelere ulaştığı tespit edilmiştir. Flotasyon atığına kireçli toprak ve ahır gübresi ilaveleri oranı yüksek tutulunca bitkilerin Ni ve Pb içeriklerinin izin verilen sınır değerlerinin altına indiği belirlenmiştir. Özellikle % 30'un üzerinde kireçli toprak ilavesi sonrasında bitkilerin Ni içerikleri izin verilen sınır değerlerinden daha düşük düzeylere inmiştir. Her iki çim bitkisinin Ca ve Mg içerikleri ahır gübresi ilavesi olan uygulamalarda ahır gübresiz uygulamalara göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Bu durum her iki element içinde kuru madde verimindeki artışa bağlı olarak seyrelme etkisinin ortaya çıkması ile açıklanabilir. Flotasyon atığının yüksek Fe içeriğinden dolayı uygulamalar sonrasında bitki bünyesinde risk unsuru olabilecek düzeylerde Fe belirlenmiştir. Bu durum daha sonraki çalışmalarda dikkatle incelenmelidir. Ağır metallere Zn ve Cu için bitki analiz sonuçları herhangi bir toksisite riskinin olmadığını göstermiştir. Öte yandan Cr, Pb ve Cd elementleri ortamda az miktarda olmalarına rağmen bitki bünyesinde toksik denecek düzeylerde birikim olmuştur. Bu durum her iki çim bitkisinin de bu ağır metalleri yüksek miktarda alma yeteneğinde olduğu sonucunu ortaya koymuştur.

Sonuç olarak; Keçiörsü Kükürt Fabrikası flotasyon atığı doğru bir şekilde idare edilmezse çevresel kirlenme için çok büyük bir faktör durumundadır. Su erozyonuna karşı dayanıklılık ve toz kontrolü için kimyasal ve fiziksel teknikler vardır. Ancak atık alanların çeşitli iyileştirici materyallerle ıslah edilmesinin yanı sıra bitki örtüsünün kullanımı (fitoremediasyon) ile daha gerçekçi ve uzun süreli bir başarı elde edilebilir. Bu hedeflenen amaçlara ulaşmada yöntem olarak fitoremediasyonun faydalı olacağı yapılan bu çalışma ile ortaya konulmuştur.

Uygulamış olduğumuz fitoremediasyon yöntemi, ekonomik ve ekolojik olması ile özel donanım gerektirmemesi ve uygulanan bölgenin yeniden kullanılabilmesine imkan vermesi gibi avantajlara sahiptir. Yaptığımız bu araştırma ve gelecekte bu gibi

Çalışmaların artması ülkemiz koşullarında daha önceden yaygın bir şekilde kullanılmayan fitoremediasyon yönteminin sorunlu alanların ıslah edilmesinde kullanılan diğeri ıslah yöntemlerine göre tercih edilme yüzdesini de arttırabilecektir.

6. KAYNAKLAR

- AÇIKGÖZ, E. 1994. Çim Alanlar, Yapım ve Bakım Tekniği. Çevre Peyzaj Mimarlığı Yay. No. 4, Bursa, 203 s.
- AKSU, E and YILDIZ, N. 2004. Heavy Metal Stress and Tolerance of Plants. International Soil Congress on Natural Resource Management for Sustainable Development. Erzurum.
- ANONİM. 2000. T. C. Çevre Bakanlığı Toprak Kirliliği Kontrolü ve Toprak Korunması Yönetmeliği Taslağı. Ankara S:1-44.
- ANONİM. 2006. T. C. Çevre Bakanlığı Toprak Kirliliği Kontrolü ve Toprak Korunması Yönetmeliği Taslağı. Ankara S:1-38.
- ANONİM. 2007. Antalya Devlet Meteoroloji İstasyonu 2007 Yılı İklim Verileri.
- ARIENZO, M., P. ADAMO and V. COZZOLINO. 2004. the Potantial of *Lolium perenne* for Contaminated Soil from a Metalurgical Site, The Science of the Total Environment 319 (2004) p. 13-25.
- AUBURN, A.L. 2000. Heavy Metal Soil Contamination. Soil Quality – Urban Technical Note No:3.
- BAKER, A.J.M. 1995. Metal Hyperaccumulation by Plants: Our Present Knowledge of the Ecophysiological Phenomenon. Will Plants Have a Role in Bioremediation. 14th Annualsymposium on Current Topics in Plant Biochemistry, Physiology and Molecular Biology, Columbia, MO, pp. 7-8.
- BERGMANN, W. 1992. Nutritional Disorders of Plants.P. 1-741. Gustav Fisher Verlag Jena, New York.

- BERROW, M.L. and BURRIDGE, J.C. 1991. Uptake, Distribution and Effects of Metal Compounds on Plants. pp. 399-410. in: Metals and the Their Compounds in the Environment. E. Merian (ed.), VHC-Verlagsgesellschaft, Weinheim.
- BLEEKER, M. P., G. L. ASSUNÇÃO and A. C. VERKLEIJ. 2002. Revegetation of the Acidic, as Contaminated Jales Mine Spoil Tips Using a Combination of Spoil Amendments and Tolerant Grasses, the Science of the Total Environment 300 (2002) p. 1-13.
- BRADSHAW, A. D. and CHADWICK, M. J. 1980. the Restoration of Land. Blackwell scientific, Oxford.1-352.
- CAO, A., G., CAPPI and A., CARUCCI. 2002. "Reclamation of Plants for Zinc and Lead Phytoremediation. Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Technologies for Developing Countries, ISWA 2002, 4:2105-2112, İstanbul.
- CHEN, H. M., ZHENG, C. R., TU, C. and SHEN, Z. G. 2000. Chemical Methods and Phytoremediation of Soil Contaminated with Heavy Metals. Chemosphere, Volume 41, Number 1, pp. 229-234(6)
- CLAASSEN, M. E. and WILCOX, G. E. 1974. Comparative Reduction of Calcium and magnesium of Corn Tissue by $\text{NH}_4\text{-N}$ and K Fertilization. Agron. J. 66:521-522.
- CLARKSON, T.W., AMIN-ZAKI, L. and AL-TIKRITI, S. A. 1976. An Outbreak of Methylmercury Poisoning Due to Consumption of Contaminated Grain. Fed. Proc. 35(12): 2395-2399.
- CLEMENTE, R., WALKER, D. J., ROIG, A. and BERNAL, M. P. 2002. Heavy Metal Bioavailability in a Soil Affected by Mineral Sulphides Contamination Following the Mine Spillage at Aznacollar (Spain). Biodegradation 14. 199-205.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. 2003; "Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Management of Waste from the Extractive Industries", Com (2003) 319 final.

CUNNINGHAM, S.D. and OW, D.W. 1996. Promises and Prospects of Phytoremediation. *Plant Physiology* 110, 715-719.

CUNNINGHAM S.and W. R. BERTI. 1995. Remediation of Contaminated Soils with Green Plants: an Overview. in *Vitro Cell Dev. Biol.* 29, p. 207-219.

ÇAĞLAR, K.Ö. 1949. Toprak Bilgisi. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları, Sayı:10.

DEL RIO, M., R. FONT, C., ALMELA, D., VELEZ, R., MONTORO and A. BAILON. 2002. Heavy Metals and Arsenic Uptake by Wild Vegetation in the Guandamar River Area After the Toxic Spill of the Aznalcollar Mine, *Journal of Biotechnology* 98 (2002) PII:S0168-1656(02)00091-3 P.125-137.

DUNCAN, S. A. 2002. The Revegetation of the Duff Bank Coal Mine Waste in Springhill, Nova Scotia. ISBN: 0-612-61262-7 MAI 40/42, p.398.

EPA (US Environmental Protection Agency). 2000. Introduction to Phytoremediation EPA/600/r-99/107, Cincinnati, Ohio, U.S.A., p.72

ETİBANK BÜLTENİ.1983. Keçiözümlü Kükürt İşletmesi Özel Sayı-47.

FREEDMAN, B., and HUTCHINSON, T.C. 1981. Sources of Metal and Elemental Contamination of Terrestrial Environments. Pages 35-94, in: N.W. Lepp (ed.). Effect of Heavy Metal Pollution on Plants. Applied Science Publishers, New York, N.Y.

- FREED, R., EINENSMITH, S. P., GUETZ, S., REICOSKY, D., SMAIL, V. W. and WOLBERG, P. 1989. User's Guide to Mstat-C, A Analysis of Agronomic Research Experiments. Michigan State University, U. S. A.
- FOLLETT, R. H., MURPHY, L. S. and DONAHUE, R. L. 1981. Fertilizers and Soil Amendments. P. 1-557. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, USA.
- FINCK, A. 1975. Pflanzenwachstum and Salzböden: Aspekte der Physiologie und Düngung. Bewässerungsw. 10:47-61.
- HAKKI, E. E., ÜNLÜ, A., ÖZBEK, Z., GEZGİN, S. ve BABAOĞLU, M. 2006. Bor Biriktiren *Gypsophila L.* Cinsi Bitkilerin Moleküler Genetik Yöntemlerle Karakterizasyonu. Selçuk Üniversitesi, Ziraat fakültesi Dergisi. 20 (40):27-31.
- HANNAM, R. J., and OKHI, K. 1988. Detection of Manganese Deficiency and Toxicity in Plants. P. 243-259. in: Manganese in Soils and Plants. (R. D. Graham et al, eds.). Proc. Int. Symp. Adelaide, South australia. 22-26 Aug. 1988. Kluwer Academic Publ., Netherlands.
- HAO, X. Z., ZHOU, D. M. and SI, Y. B. 2004. Revegetation of Copper Mine Tailings with Ryegrass and Willow. Pedosphere 14 (3); 283-288.
- HERRCHEN, M., KÖRDEL, W., 2001. Phytoremediation-Möglichkeiten, Kenntnislücken und Forschungsbedarf im Hinblick auf einen Praxiseinsatz. Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Fachgespraches am 29./30. November 1999 im Fraunhofer-nstitut für Umweltchemie und Ökotoxikologie, Schmallenberg. Berlin: Umweltbundesamt (Hrsg.), Texte Nr. 19/01.
- HULINA, N. and DUMIJA, L. 1999. Ability of *Reynoutria japonica* Houtt (Polygonaceae) to Accumulate Heavy Metals. Periodicum biologorum. 101:233-235.

- JACKSON. M. C. 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall of India Private' Limited, New Delhi, USA.
- JOHNSON, M. S., COOKE, J. A. and STEVENSON, J. K. W. 1994. Revegetation of Metalliferous Wastes and Land After Metal Mining. in: HESTER, R. E., HARRISON, R. M. (Eds.), Mining and its Environmental Impact. Issues in Environmental Science and Technology 1. Royal Society of Chemistry London,pp.31-48.
- JOHNSON, C. M. and ULRICH, A. 1959. Analytical Methods for Use in Plant Analysis. California Agricultural Expt. Sts. Bull. 766.
- JONES, JR. J.B., WOLF and MILLS, H. A. 1991. Plant Analysis Handbook. P. 1-213. Micro-Macro Publishing,Inc. USA.
- KACAR, B. ve İNAL, A. 2008. Bitki Analizleri. Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti. Nobel Yayın No: 1241.63, ISBN 978-605-395-036-3, 1. Basım, Ocak 2008, SS 894,Ankara.
- KACAR, B. 1995. Toprak Analizleri. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri. III. Toprak Analizleri. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No: 3, ss 705, Ankara.
- KACAR, B. ve KATKAT, A.V. 2007. Bitki Besleme. 3. Baskı. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın. No:127.
- KACAR, B. ve KATKAT, A.V. 2007. Gübreler ve Gübreleme Tekniği. 2. Baskı. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın. No:34.
- KALBASI, M., FILSOOF, F. and REZA-I NEJAD, Y. 1988. Effect of Sulphur Treatments on Yield and Uptake of Fe, Zn and Mn by Corn, Sorghum and Soybeans. J. Plant Nutr. 11:1353-1360.

- KAPLAN, M. ve ORMAN, Ş. 1998. Effect of Elemental Sulphur and Sulphur Containing Waste in a Calcareous Soil in Turkey. Journal of Plant Nutrition. 21(8), 1655-1665.
- KAPLAN, M., ORMAN, Ş., KADAR, I. and KONCZ, J. 2005. Heavy Metal Accumulation in Calcerous Soil and Sorghum Plants After Addition of Sulphur Containing Waste as a Soil Amendment in Turkey. Agriculture, Ecosystem and Environment. Volume 111, Issues 1-4, Pages 41-46.
- KERNICK, M. D. 1978. Indigenous Arid and Semi-Arid Forage Plants of North Africa, The Near the Middle East. Tech. Data Vol. IV. FAO. 689 s, Rome.
- KHAN, A.G., KUEK, C.,CHAUDHRY, T. M.,KHOO, C. S. and HAYES, W. J. 2000. Role of Plants, Mycorrhizae and Phytochelators in Heavy Metal Contaminated Land Remediation. Chemosphere, Volume 41, Number 1, pp. 197-207(11)
- KLOKE, A. 1985. Forschungen Zur Raumentwicklung. 14, 13-24.
- KOCAER, F. O. ve BAŞKAYA, H. S. 2003. Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Uygulanan Teknolojiler. Uludağ Üniversitesi - Mimarlık Fakültesi Dergisi. Cilt 8, sayı 1.
- KUL, A. R., KOYUNCU, H, ÖZDEK, U., ALACABEY, İ. ve CEYLAN, H. 2007. Bazı Ağır Metallerin (Kobaltı Krom, Kadmiyum) Doğal ve Aktive Edilmiş Bentonit Üzerindeki Sorpsiyon Dengesi ve Termodinamiği. 21. Ulusal Kimya Kongresi Malatya.
- KURVITS, A. and KIRKBY, E. A. 1980. The Uptake of Nutrients by Sunflower Plants (*Helianthus annus*) Growing in a Continuous Flowing Culture System Supplied with Nitrate or Ammonium as Nitrogen Source. Z. Pflanzenernahr. Bodenk. 143: 140-149

- LASAT,M.M., PENCE,N.S., LARSEN,P.B., EBBS,S.D., LETHAM,D.L.D., GARVIN, D. F., EIDE, D. and KOCHIAN,L.V. 2000. The Molecular Physiology of Heavy Metal Transport in the Zn/Cd Hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. Proceedings of the National Academy of Science, vol. 97, Issue 9, p. 4956-4960
- LINDSAY, W. L. and NORVELL, W. A. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. Soil Sci. Amer. Jour. 42 (3): 421-428.
- LIN, C. X., LONG, X. X., XU, S. J., CHU, C. X., MAI, S. Z. and JIANG,D. 2004. Effect of Multiple Soil Conditioners on a Mine Site Acid Sulfate Soil for Vetiver Growth. Pedosphere 14 (3): 371-378.
- OLSEN, S.R. and SOMMERS, E.L. 1982. Phosphorus Availability Indices. Phosphorus Soluble in Sodium Bicarbonate Methods of Soils Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Editors: A.L. Page. R.H. Miller. D.R. Keeney, 404-430.
- MARSCHNER, H. 1983. Nutrient Mobility, Root Growth and Root induced Changes in the Rhizosphere as Factors of Nutrient Ability in Soils of Semiarid and Arid Areas. Proc. 17th Coll. Intern. Pot. Inst. Bern. 107–128.
- MORGAN, R.P.C. 1986. Soil Erosion and Conservation. Longman.U.K.
- MOTAIUM, R., HU, H. and BROWN, P. 1994. the Relative Tolerance of Six *Prunus* Rootstocks to Boron and Salinity. J. Am. Soc. Hort Sci. 119, 1169–1175
- MILLAR, C. E. 1959. Soil Fertility. John Wiley and Sons,Inc., New York.
- MULLIGAN, C. N., YONG, R. N. and GIBBS, B. F. 2001. Remediation Technologies for Metal-Contaminated Soils and Groundwater: an Evaluation. Engineering Geology, Volume 60, Number 1 , pp. 193-207(15)

- ORMAN, Ş. and KAPLAN, M. 2007. Effects of Calcareous Soil and Farmyard Manure on Revegetation of Sulphur Mine Tailings. Fresenius Environment Bulletin, Vol.16; No.10
- ÖZDEMİR, N. ve YORULMAZ, B. 2007. Su Kaynaklarında Ağır Metal Kirliliği ve Oluşturduğu Çevresel Etkileri. XIV. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu.
- PENCE, N. S., LARSEN, P. B., EBBS, S. V., LETHAN, D. L. D., LASAT, M. M., GARVIN, D. F., EIDE, D. and KOCHIAN, L. V. 2000. the Molecular Physiology of Heavy Metal Transport in the Zn/Cd Hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. Proc. Natl. Acad Sci. USA. 97: 4956-4960.
- RASKIN, I., SALT, E. D., BLAYLOCK, M., KUMAR, P. B. A. N, DUSHENKOV, V., ENSLEY, D. B. and CHET, I. 1994. Phytoremediation: A Novel Strategy for the Removal of Toxic Metals from the Environment Using Plants. Bio/Technology 13, 468 – 474.
- REEVES, R.D and BAKER, AJM. 1999. Metal-Accumulating Plants. in Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment, eds, I Raskin, BD Ensley, pp 193-229, John Wiley&Sons Inc, New York.
- SARI, M., AKSOY, T., KÖSEOĞLU, T. KAPLAN, M., KILIÇ, Ş. ve PİLANALI, N. 1993. Akdeniz Üniversitesi Yerleşim alanının Detaylı Toprak Etüdü ve İdeal Arazi Kullanım Planlaması. Akdeniz Üniv. Yayınları, Antalya, 59 ss.
- SAUERBECK, D. and LÜBBEN, S. 1991. Auswirkungen von Siedlungsabfällen auf Böden, Bodenorganismen und Pflanzen. Forschungszentrum Jülich.
- SPOSİTO, G., LUND, L.J. and CHANG, A.C. 1982. Trace Metal in Arid Zone field Soils Amended with Sewage Sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in Solid Phase. Soil. Sci. Soc. Am. J. 40, 665-672.

- STRETTY, T.V.S. and MADHAVA RAO, K.V. 1999. Ultrastructural Alterations in Response to Zinc and Nickel Stress in the Root Cell of Pigeonpea, Environ Exp Bot., 41, 3-13.
- TARIM VE KÖYİŞLERİ BAKANLIĞI ISPARTA İL MÜDÜRLÜĞÜ. 1998. Yılı Brifing Raporu, Isparta, 1999.
- TROUNG, P.and B. HART. 2001. Vetiver System for Wastewater Treatment. Pacific Rim Vetiver Network Technical Bulletin No:2001/2.
- VANLI, Ö. ve YAZGAN, M. 2006. Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Fitoremediasyon Tekniği.
<http://www.tarimsal.com/fitoremediasyon/fitoremediasyon.htm>
- YE, Z. H., CHEN, G. Z., LAN, C. Y. and LI, L. C. 1998. The Accumulation and Distribution of Heavy Metal in *Typha latifolia* from the Pb/Zn Mine Waste. Acta Pytoeco. Et Geobotanica Sinica 16, 72-79.
- YE, Z. H., WONG, J. W. C., WONG, M. H., LAN, C. Y. and BAKER, A. J. M. 1999. Lime and Pig Manure as Ameliorants for Revegetating Lead/Zinc Mine Tailings: A Greenhouse Study. Bioresource Technology 69, 35-43.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin Kalkan 1982 yılında Antalya’da doğdu. İlköğretim ve lise öğrenimini Antalya’da tamamladı. 2000 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Teknolojisi Toprak alt programından 2004 yılında Ziraat Mühendisi olarak mezun oldu. 2006 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve 2007 yılının Mayıs ayında Araştırma Görevlisi kadrosuna atandı. Halen Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Ana Bilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.