

KATI ATIK VE ÇEVRE

...

Sayı 68, Ekim 2007



KATI ATIK TÜRK MİLLİ KOMİTESİ



KATI ATIK ve ÇEVRE

Sayı 68, Ekim 2007

İÇİNDEKİLER

Okurlarımıza.....	2
Düzensiz Katı Atık Depolama Sahalarından Kaynaklanan Organik Kirleticilerin Sağlık Etkileri M.BANAR,A.Özkan.....	3
Güney Afrika'daki Şehirlerde Sıfır Atık Stratejileri C. Trois, N. Matete, O. Stotko ve J.A.S.Douglas.....	17
Ağır Metallerle Kirlenmiş Topraklar İçin Arıtım Yöntemleri E.D.Güven.....	28
Yazım Kuralları.....	40

KATI ATIK KİRLENMESİ ARAŞTIRMA ve DENETİMİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ

Kurucusu	Prof. Dr. Kriton CURI
Sahibi	Prof. Dr. Günay KOCASOY
Editörler	Prof. Dr. Günay KOCASOY Prof. Dr. Bülent TOPKAYA
Yazı Kurulu	Prof. Dr. Necdet ALPARSLAN Prof. Dr. Günay KOCASOY Prof. Dr. Bülent TOPKAYA Doç. Dr. Selmin BURAK Yrd. Doç. Dr. Müfide BANAR
Hazırlayan	Arş. Gör. İpek YILMAZ

Üç ayda bir yayınlanır (Yerel süreli yayın)

Yazışma Adresi

Katı Atık Türk Milli Komitesi
Boğaziçi Üniversitesi, 34342 Bebek-İstanbul
kocasoy@boun.edu.tr, 0212-2652187

Çevreyi korumak için bu dergi geri kazanılmış kağıda basılmıştır.

OKURLARIMIZA

Ülkemizde 2006 yılında üretilmiş olan 25 milyon ton kentsel katı atığın sadece %28'i düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilirken kalan 15 milyon ton katı atık düzensiz depolama alanlarına atılmıştır. Bu depolama alanlarından kaynaklanan sağlık sorunlarına değinen bir makale bu sayımızda yer almaktadır. Bu sayıda ayrıca günümüzde önem kazanan sıfır atık uygulamalarına örnek olmak üzere Güney Afrika şehirlerinde yapılmış olan uygulamalar ile ağır metaller ile kirlenmiş olan topraklar için arıtım yöntemlerine yer verilmiştir.

Saygılarımızla,

Yazı Kurulu

DÜZENSİZ KATI ATIK DEPOLAMA SAHALARINDAN KAYNAKLANAN ORGANİK KİRLETİCİLERİN SAĞLIK ETKİLERİ

Müfide BANAR, Aysun ÖZKAN

Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Çevre Mühendisliği Bölümü İki Eylül Kampüsü 26555 Eskişehir

ÖZET: Bu çalışmada, Eskişehir vahşi çöp depolama sahasındaki uçucu organik bileşiklerin tanımlanması ve sağlık etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, saha ve çevresinden su ve toprak örnekleri alınmış ve Katı Faz Mikro Ekstraksiyon (SPME) tekniği kullanılarak hazırlanan örnekler, Gaz Kromatografisi/Kütle Spektrometresi (GC/MS) sisteminde analiz edilmiştir. Çalışmada, sızıntı suyunda yapılan SPME analizlerinde, 100µm film kalınlığına sahip PDMS elyaf, toprakta yapılan analizlerde ise 65 µm film kalınlığına sahip PDMS/DVB elyaf kullanılmıştır. SPME-GC/MS sistemiyle yapılan çalışmalarda, sızıntı suyunda toplam 35, toprakta ise 86 organik bileşik tanımlanmıştır. Daha sonra bu bileşiklerin olası sağlık etkileri araştırılmış ve bazı bileşiklerin kanserojen etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Katı Atık, Vahşi Depolama, Katı Faz Mikro Ekstraksiyonu, Gaz Kromatografisi/Kütle Spektrometresi

HEALTH EFFECTS OF ORGANIC POLLUTANTS IN UNREGULATED DUMPING SITE

ABSTRACT: The aim of this study is to identify of volatile organic compounds and to determine of its health effects in unregulated dumping site in Eskişehir/Turkey. For this purpose, leachate and soil samples around the site was collected and these samples was extracted by Solid Phase Microextraction (SPME) technique and then analyzed in GC-MS. In this study, 100 µm polydimethylsiloxane coated fiber (PDMS) for leachate analysis and polydimethylsiloxane/divinylbenzene (PDMS/DVB) fiber having a film thickness of 65µm for soil analysis were used. Thirty three organic compounds in leachate and eighty six compounds in soil were identified by SPME-GC/MS. Then, health effects of these compounds were examined and it was seen that some compounds have carcinogenic effects.

Keywords: Solid Waste, Unregulated Dumping Site, Solid Phase Micro Extraction, Gas Chromatography / Mass Spectrometry.

1. GİRİŞ

Türkiye'nin hızla artan kentleşme oranı ve gelişen endüstrisi ile birlikte çevre kirlenmesi konuları arasında evsel ve endüstriyel atıklar daha fazla yer

tutmaya başlamıştır. Literatürde yer alan en az 22 insan hastalığının çöp sahalarından kaynaklandığı gerçeği bilinmekte ve özellikle büyük şehirlerde

evsel ve endüstriyel atıkların insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde kontrol edilmelerine yönelik çalışmalar yürütülmektedir.

Katı atıklar, tekniğine uygun bir şekilde bertaraf edilmediği takdirde halk sağlığı ve çevresel etkiler ile ilgili sorunların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Bunlar:

- Depolama gazının çevreye yayılması durumunda koku sorunu, yanma, patlama, sera etkisi ve hava kirliliğinin artması,
- Düzenli depolama alanı tabanından yeraltı suyuna sızma halinde yeraltı sularının kirlenmesi,
- Tehlikeli atıkların depolanmasında eser miktarda da olsa açığa çıkan, insan ve canlı hayatına zarar veren uçucu organik bileşiklerin çevreye yayılması,
- Toprak kirliliği,
- Gürültü kirliliği ve
- Taşıyıcı haşere üremesi (Şahin 2002).

şeklinde özetlenebilir.

1.1. Atık Depolama Sahalarından Kaynaklanan Sağlık Problemleri

Atık depolama sahalarının sağlık üzerine etkileri özellikle tehlikeli atıkların bu alanlara atılmasının artmasıyla birlikte gittikçe tartışılan bir konu haline gelmiştir. Bu konu ile ilgili çalışmalar özellikle Kuzey Amerika'da yapılmaktadır (Upton, 1989; National Research Council, 1991). Bu çalışmalarda aşağıdaki hastalıkların atık depolama sahalarından kaynaklanabileceği belirtilmektedir:

- Lösemi (Martine, 2000; Greiser ve ark., 1991; Goldberg ve ark., 1995; Goldberg ve ark., 1999)
- Akciğer kanseri (Martine, 2000; Goldberg ve ark., 1995; Goldberg ve ark., 1999)

- Mesane kanseri (Martine, 2000; Goldberg ve ark., 1995; Goldberg ve ark., 1999)
- Non-Hodgkin lenfoma (Goldberg ve ark., 1995; Goldberg ve ark., 1999)
- Rahim kanseri (Goldberg ve ark., 1995; Goldberg ve ark., 1999)
- Mide kanseri (Goldberg ve ark., 1995; Goldberg ve ark., 1999)
- Akciğer rahatsızlıkları (astım, kronik akciğer hastalıkları) (ATSDR, 1999)
- Doğum anomalileri (nöral-tüp defektleri, kardiyak septa malformasyonları, saç ve tırnak anomalileri) (Dolk ve ark., 1998; Geshwind, 1992)
- Düşük doğum ağırlığı ve düşükler (Goldberg ve ark., 1995b)
- Kromozomal değişiklikler (Lakhanisky ve ark., 1993; Klemans ve ark., 1995)

Bu hastalıkların ortaya çıkışında atık depolama alanları tek sebep olmamakla birlikte, düzensiz atık depolama sahaları etiyolojilerinde büyük bir olasılıkla yer almaktadırlar. Özellikle çoğu kimyasala maruziyetin toksikolojik ve epidemiyolojik açıdan verileri arttıkça, atık depolama sahalarındaki bu maddelerin insan sağlığına olan olumsuz etkileri daha iyi anlaşılmış olacaktır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Eskişehir çöp depolama sahası şehrin güneydoğusunda, Eskişehir Seyitgazi yolu üzerinde yolun solunda, şehir merkezine 10 km, Yenikent Toplu Konut Alanı' na 5 km mesafede ve Kırtık-Şahindere mevkiinde yer almaktadır. 1986 yılından beri çöplerin düzensiz olarak döküldüğü bu sahaya, günde yaklaşık 750 ton evsel katı atık gelmektedir. Gelecekte Düzenli Atık Depolama Sahası olarak projelen-

dirilmesi düşünölen alan 164 hektar olup, yaklaşık olarak 8 hektarlık bir alan řu anda kullanılmaktadır. Yaklaşık 2,5 milyon m³ hacme sahip atık kütlesi ile kaplı olan mevcut saha, 50 m derinliğindeki bir vadinin yamacında yer alır. Sahaya, iki alt belediyenin ve onlara bağılı olarak çalışan iki ayrı taşeron firmanın araçları ile şehirden toplanan evsel nitelikli atıkların dışında, sağıık kuruluşlarının tıbbi atıkları ve sanayi kuruluşlarının endüstriyel nitelikli atıkları da gelmekte, dolayısıyla, evsel atıklar yanında, tehlikeli, toksik ve enfekte atıklar bir arada bulunmaktadır.

Atıklar şehirden sahaya, asfalt kaplı Eskişehir-Seyitgazi karayolu ile ulaşmakta, sahaya girişte toprak yol başlamaktadır. Sahanın girişinde kantar ve kontrol işleri için bir bina bulunmakta ve bu binada 1 kişi sürekli olarak kontrol ve tartım işlerini yapmaktadır. 24 saat çöp dökümüne açık olan sahada, tamamıyla sağııksız koşullar altında, çeşitli kişiler tarafından geri kazanım işlemi yapılmaktadır. Sahaya çöpler dököldükten sonra sözü edilen kişiler tarafından geri kazanılabilir nitelikteki atıklar ayrılarak bir kepçe yardımıyla vadiye boşaltılmaktadır.

Sahanın çevresinde birkaç küçük kuyu, az debili memba ve çöplerin zamanla su akışını kesmesiyle oluşmuş bir gölet mevcuttur. Bu göletin yüzeyi gerek rüzgar, gerekse çöp dökümü etkisiyle çöp ile kaplanmışır. En derin yerinin 1,5-2 m olduğu bilinmektedir. Sahanın çevresi henüz çit veya benzer bir fiziksel engel ile çevrilmediğı için, sahaya insan, küçük ve büyükbaş hayvan girişi kaçınılmazdır. Sahanın yakın çevresinde herhangi bir yapılaşma olmayıp, az sayıda ve ekim yapılmamış tarım arazileri bulunmaktadır. Yaklaşık 500 m' lik bir mesafede Asri Mezarlık bulunan

sahanın bir kısmı şahıs arazisi olup, diğer kısımları hazineye ait orman arazisi (çalı kaplı) olarak görünmektedir. Sahada kendiliğinden oluşun küçük çöp yangınları gözlenmekle birlikte, koku ve sinek problemi muhtemelen rüzgar nedeniyle şimdilik çok azdır.

2.2. Yöntem

Bu çalışmada, Eskişehir katı atık depolama sahasının yarattığı kirliliğın boyutlarını belirlemek amacıyla farklı tarihlerde ilkbahar, sonbahar ve yaz dönemlerinde sızıntı suyu ve toprak örnekleri alınmıştır. Örneklemler;

- Sızıntı suyu analizlerinde, saha ve çevresinde 2 tanesi sondaj olmak üzere 4 noktadan,
- Toprak analizlerinde, saha ve çevresinde 5 farklı noktadan,

yapılmışır (Şahin, 2002; Vardar, 2004). Sızıntı suyu ve topraktaki olası organik kirleticiler, katı faz mikroekstraksiyonu (SPME) tekniğıyle yapılan ekstraksiyon sonucu elde edilen ekstraktların GC/MS'de analiz edilmesiyle belirlenmiştir.

2.2.1. Katı Faz Mikroekstraksiyonu ile yapılan çalışmalar

Sızıntı suyu, atığın bünyesinde mevcut olan kirletici bileşenler yanında depolama alanında gerçekleşen tepkimeler sonucunda oluşun dönüşüm ürünlerini de içerir. Dönüşüm ürünleri, genellikle ilk ürünlerden daha polar bir yapıya sahiptir. Bu bileşiklerin tanımlanması ve miktarlarının belirlenmesinde, uçuculukları ve polariteleri bazında kimyasal özelliklerindeki farklılık ve çeşitli bileşik sınıflarına ait olan geniş dağılımları nedeniyle tek bir analitik yöntemden daha fazlasına ihtiyaç vardır.

Bunun yanında, geleneksel özütleme yöntemleri, verimli ve doğru sonuçlar

vermekle beraber, uzun zamanda gerçekleştirilmeleri, kullanılan organik çözücülerin insan sağlığı için tehlikeli olması ve pahalı olmaları nedeniyle bu tarz analizlerde tercih edilmemektedir. Dolayısıyla, son zamanlarda, daha kısa sürede ve daha ekonomik biçimde sonuca götüren SPME (Solid Phase MicroExtraction SPME) tekniği kullanılmaya başlanmıştır. Kaplama materyalinin çeşitliliğinden dolayı uygulama alanı çok geniştir. Sonuçlar, klasik özütleme yöntemleriyle alınan sonuçlara paralellik göstermektedir. SPME elyafı uygun şekilde kullanıldığında tekrar tekrar kullanılabilir özelliğine sahiptir (50-100 kez). Elyaf, ısı desorpsiyon ya da uygun organik çözücülerle kolayca temizlenebilir. Bu nedenle oldukça ekonomiktir. Elektron tutucu dedektör (ECD) ile trilyonda bir kısım (ppt) tespit sınırına ulaşılabilir. Bileşiklerin sınırları dinamik bir sırayla hatasız tespit edilir. Bu nedenlerden dolayı SPME tek başına geleneksel örnek hazırlama tekniklerinin yerini alabilecek, yüksek verimli, basit bir örnek hazırlama tekniğidir ve diğer tekniklere alternatif olarak geliştirilmiştir.

SPME ile başarılı bir analiz gerçekleştirebilmek için dikkat edilmesi gereken en önemli husus adsorbe edilecek bileşiğin yapısına uygun elyafın seçilmesidir. Elyafın tipini belirleyebilmek için de analiz edilecek maddenin polaritesini ve molekül ağırlığını bilmek gerekir.

Düşük molekül ağırlıklı veya uçucu bileşiklerin analizinde genellikle 100 µm'lik PDMS'le kaplanmış elyafa ihtiyaç duyulur. Daha büyük molekül ağırlıklı veya yarı uçucu bileşikler 7 µm PDMS kaplı elyafı daha etkili bir biçimde adsorbe olurlar. Yüksek molekül ağırlıklı yarı uçucu bileşikler 30 µm'lik PDMS elyafını GC/MS vb. kolonuna enjeksiyon sırasında 100

µm'lik PDMS elyafından daha çabuk terk ederler. Yüksek tutunma özelliğine sahip polar olmayan yarı uçucular için 7 µm'lik PDMS kaplı elyaflar tavsiye edilir. Polar uçucu bileşiklerde, polar örnekleri ekstre edebilmek için 65 µm'lik PDMS/DVB kaplı elyaf kullanılır.

SPME'nin iki farklı uygulama şekli vardır; daldırmalı-katı faz mikroekstraksiyon (D-SPME) (Immersion-Solid Phase Micro Extraction-Im-SPME) ve tepeboşluğu-katı faz mikroekstraksiyon (TB-SPME) (Headspace-Solid Phase Micro Extraction-HS-SPME).

Daldırmalı Katı Faz Mikroekstraksiyon (D-SPME)(Immersion-Solid Phase Micro Extraction-Im-SPME):

Bu uygulamada, adsorbe edilecek bileşiğin yapısına uygun bir kaplama materyali ile kaplanmış SPME silika elyafı, enjektör yardımıyla örnek şişesinin lastik kapağı enjektörün sivri ucu yardımıyla delindikten sonra, analiz edilecek örneğin içerisine daldırılır. Örnek içindeki organik bileşikler elyaftaki sabit faza (kaplama materyaline) adsorbe olur. Lifin örneğe daldırılma derinliği ve örnek hacmi, hassas ve tutarlı sonuçların elde edilmesinde önemlidir. Organik bileşikler adsorpsiyon dengesi oluşuncaya kadar sabit faz içine ayrılır. Enjektör örnek çözeltisinden uzaklaştırılmadan önce elyaf, paslanmaz çelik ucun içerisine çekilmelidir.

Tepeboşluğu Katı Faz Mikroekstraksiyon (TB-SPME)(Headspace-Solid Phase Micro Extraction-HS-SPME):

Örneğin bulunduğu şişenin lastik kapağı enjektörün sivri ucu yardımıyla delindikten sonra, bu uç içindeki elyaf,

örneğe değmeyecek şekilde çıkarılır. Bundan sonraki işlem basamakları daldırmalı SPME'deki gibi uygulanır. Böylece sıvı ya da katı örnek üzerindeki gaz fazından uçucu bileşikler SPME elyafına adsorblanmış olur.

Çalışmada daha önce yapılan araştırmalar baz alınarak sızıntı suyunda yapılan SPME analizlerinde, Supelco'dan temin edilen 100µm film kalınlığına sahip PDMS elyaf, toprakta yapılan analizlerde ise 65 µm film kalınlığına sahip PDMS/DVB elyaf kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan sistem Şekil 2.1'de verilmiştir.

Sızıntı suyu analizi:

10 ml hacmindeki küçük şişelere 7 ml sızıntı suyu alınmış ve özütleme süresince örnekler, manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Optimize edilen özütleme koşulları;

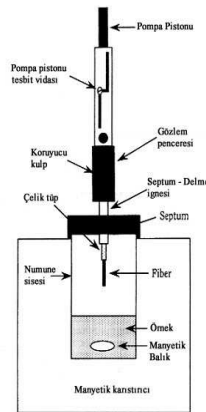
- Tepeboşluğu ve daldırmalı SPME için oda sıcaklığında 10 dakika SPME süresi,
- Isıtmalı tepeboşluğu ve ısıtmalı daldırmalı SPME için 15 dakika 50°C'de ısıtmadan sonra 10 dakika SPME süresidir.

Özütlemekten sonra elyaf, GC/MS'e injekte edilmiştir. Çalışmada, taşıyıcı gaz olarak helyumun kullanıldığı CP-Sil 5CB kolonlu (25m×0.25mm Ø) Shimadzu GCMS-QP5050A sistemi kullanılmıştır. GC fırın sıcaklığı 60°C'da tutulmuştur ve 5°C/dak.'lık bir hızla 260°C'ye çıkarılmak üzere programlanmıştır ve 260°C'de 40 dakika sabit tutulmuştur. Split akışı 50 mL/dak'ya, injektör sıcaklığı ise 250°C'ye ayarlanmıştır. MS 70 eV alır. Kütle aralığı (mass range) m/z 30-425 arasındadır. Kaynak taramaları Wiley GC/MS Library TBAM (Tıbbi ve Aromatik Bitki ve İlaç Hammaddeleri

Araştırma Merkezi) Kütüphanesinde yapılmıştır.

Toprak analizi:

10 ml hacmindeki küçük şişelere 1 gram toprak örneği tartılmış ve üzerlerine 1 gram NaCl ve 1 ml saf su ilave edilmiştir. Daha sonra örnekler, özütleme süresince manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Isıtmalı tepeboşluğu SPME için optimize edilen özütleme koşulu 15 dakika 50°C'de ısıtma işleminden sonra 30 dakika SPME süresidir. Özütlemekten sonra elyaf, GC/MS'e enjekte edilmiştir. Çalışmada, taşıyıcı gaz olarak helyumun (0.7 ml/dak) kullanıldığı HP-Innowax Silika Kapiler kolonlu (60 m x 0.25 mm iç çap, 0.25 µm film kalınlığı) Hewlett Packard G 1800A GCD Sistemi kullanılmıştır. GK fırın sıcaklığı 60°C'de 10 dakika tutulmuştur ve 4°C/dak'lık bir hızla 220°C'ye çıkarılmak üzere programlanmıştır ve 220°C'de 10 dakika sabit tutulmuştur. Split akışı 50 mL/dak'ya (split oranı 50:1), injektör sıcaklığı ise 250°C'ye ayarlanmıştır. MS, 70 eV alır. Kütle aralığı (mass range) m/z 35-425 arasındadır. Kaynak taramaları Wiley GC/MS Library ve BASER Library of Essential Oil Constituents Kütüphanesinde yapılmıştır.



Şekil 2.1 Çalışmada kullanılan SPME sistemi

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

SPME-GC/MS sistemiyle yapılan çalışmalarda, sızıntı suyunda toplam 35 adet organik bileşik, toprakta 86 bileşik tanımlanmıştır. Ayrıca, tanımlanan bu organik bileşikler Çizelge 3.1'de, özellikleri ve olası etkileri ise Çizelge 3.2'de verilmiştir. Uçucu bileşiklerin bulunması amacıyla

yapılan katı faz mikroekstraksiyonu tekniği sonuçlarına bakıldığında da, beklenildiği gibi yaz aylarında saptanan bileşen sayısında ciddi bir artış olduğu görülmüştür. Bu bileşen sayıları Mayıs'ta 12, Haziran'da 47, Temmuz'da 60, Ağustos'ta 44, Eylül'de 26 ve Ekim'de 21'dir. Uygulanan TB-SPME tekniği sonucunda toplam 86 bileşen tanımlanmıştır

Çizelge 3.1. Sızıntı suyu ve toprak örneklerinin SPME sonuçları

Bileşik	Sızıntı suyu	Toprak	Referanslar
Asetofenon		*	
(E)-2-dekenal		*	
(E)-2-heksen-1-ol		*	
(E)-2-heksenal		*	
(E)-2-heptanal		*	
(E)-2-nonenal		*	
(E)-2-oktenal		*	
(E)-2-undekenal		*	
(E, E)-2,4-dekadienal		*	
(E, E)-2,4-nonadienal		*	
1, 1'-bifenil		*	Eriksson ve ark. 2001
1,2,4- trimetil benzen		*	Hook ve ark. 2002
1,8-sineol		*	Bicchi ve ark. 2000
1-dekanol		*	
1-hekzanol		*	
1-heptanol		*	Flamini ve ark. 2003
1-nonanol		*	
1-oktanol		*	
1-okten-3-ol		*	
1-pentanol		*	
2-dekanon		*	
2-dodekanon		*	
2-etil hekzanol		*	Ezquerro ve ark. 2003

Çizelge 3.1. (devam) Sızıntı suyu ve toprak örneklerinin SPME sonuçları

2-heptanon		*	Ezquerro ve ark. 2003
2-nonanon		*	
2-oktanon		*	
2-okten-1-ol		*	
2-pentil furan		*	
2-propanol		*	
2-tridekanon		*	
2-undekanon		*	
2,3-dihidro-3,5-dihidroksi- 6 metil-4H-Piran-4-on	*		
3-okten-2-on		*	
5-hidroksi metil furfural	*		
5-metil-3-heptanon		*	
6-metil-2-heptanon		*	
6-metil-5-hepten-2-on		*	Flamini ve ark. 2003
Amil ftalat	*		
Asetik asit	*		
asetofenon		*	
benzaldehit		*	
benzil alkol		*	
Beta İonon epoksit	*		
Bütil ftalat	*		
n-butil izo bütil ftalat	*		
Bütrolakton [= dihidro2(3H)-Furanon]	*		
dechyl butirat		*	
dekanal		*	Ezquerro ve ark. 2003, Flamini ve ark. 2003
dekanol		*	
N-[(dibütülamino)metil]-N- metyl-formamid	*		
dihidro myrcenol		*	
Dihidroterpinolen	*		
dimetil oktanil asetat		*	
dimetil oktanol		*	
dodekan		*	Ezquerro ve ark. 2003
Dokosan	*		
Eikosan	*		

Çizelge 3.1. (devam) Sızıntı suyu ve toprak örneklerinin SPME sonuçları

endofenkol		*	
etanol		*	
etil benzen		*	Llompart ve ark. 1999, Penalver ve ark. 1999
etil dimetil benzen		*	
fenil alkol		*	
feniletil alkol		*	Flamini ve ark. 2003
fenol		*	Baciocchi ve ark. 2001
hegzadekan	*	*	Flamini ve ark. 2003
Hegzadekanoik asit	*		
Hegzakosan	*		
hegzanal		*	Ezquerro ve ark. 2003
Heneikosan	*		
heptadekan	*	*	Flamini ve ark. 2003
Heptakosan	*		
heptanal		*	Ezquerro ve ark. 2003
ionol		*	
Izobütil ftalat	*		
İzooktil ftalat	*		
izopropil myristate		*	
kamfor		*	Bicchi ve ark. 2000
kloroform		*	
Limonen	*		Ardrey, 1983
metil benzoat		*	
metil butirat		*	
metil chavicol		*	
metil dekanat		*	
metil hekzonat		*	
metil heptanoat		*	
metil indanol		*	
metil nonanoat		*	
metil oktanoat		*	
naftalen	*	*	Eriksson ve ark. 2001, Hook ve ark. 2002, Benfenati, 1999, Hites, 2000, Öman, 1993, Yasuhara, 1999
Nonadekan	*		
g-nonalakton		*	
nonanal		*	Ezquerro ve ark. 2003, Flamini ve ark. 2003

Çizelge 3.1. (devam) Sızıntı suyu ve toprak örneklerinin SPME sonuçları

oktadekan		*	Flamini ve ark. 2003
Oktakosan	*		
g-oktalakton		*	
oktanal		*	Ezquerro ve ark. 2003, Flamini ve ark. 2003
Oktasülfür	*		Hites, 2000
n-oktil ftalat	*		
Oktoil (=Bis(2- etilhekzil)ftalat)	*		
pentadekan		*	Flamini ve ark. 2003, Hook ve ark. 2002
Pentakosan	*		
pinocarvone		*	
<i>p</i> -simen	*	*	Flamini ve ark. 2003
Skualen	*		Hites, 2000
stiren		*	
α -terpineol		*	Bicchi ve ark. 2000, Flamini ve ark. 2003
terpinen-4-ol		*	Bicchi ve ark. 2000
Terpinolen	*		Ardrey, 1983
tetradekan		*	Flamini ve ark. 2003
Tetrakosan	*		
toluen		*	Ezquerro ve ark. 2003, Llompart ve ark. 1999, Penalver ve ark. 1999
tridekan		*	
Trikosan	*		
undekan		*	Ezquerro ve ark. 2003
verbenon		*	
Bilinmeyen 1*	*		
Bilinmeyen 2**	*		
*Bilinmeyen 1 m/z 243(4), 173(5), 159(5), 155(3), 143(3), 111(5), 83(3), 72(4), 71(100), 70(2), 69(5), 57(3), 56(8), 55(5), 43(42), 41(7).			
**Bilinmeyen 2 m/z 174(9), 173(100), 158(3), 155(12), 142(3), 129(5), 128(4), 127(3), 126(3), 113(8), 112(15), 111(26), 101(9), 100(9), 99(35), 98(3), 89(3), 88(3), 87(4), 86(10), 85(6), 84(29), 83(17), 82(3), 73(9), 70(12), 69(5), 68(7), 59(8), 58(5), 57(3), 56(23), 55(67), 54(6), 45(16), 44(10), 43(16), 42(21), 41(21), 39(7).			

Çizelge 3.2. Tanımlanan bileşiklerin neden olduğu sağlık sorunları

CİLT	GÖZ	SOLUNUM YOLU	SİNDİRİM YOLU	DIĞER
dekanal	benzaldehit	benzaldehit	benzaldehit	2-dekanon
benzaldehit	trans,trans-2,4-dekadienal	trans,trans-2,4-dekadienal	trans,trans-2,4-dekadienal	2-pentil furan
trans,trans-2,4-dekadienal	trans-2-heksanal	trans-2-heksanal	trans-2-heksanal	2-tridekanon
trans-2-heksanal	hekzanal	hekzanal	hekzanal	2,3-dihidro-3,5-dihidroksi-6 metil-4H-Piran-4-on
heptenal	heptenal	heptenal	heptenal	3-okten-2-on
nonanal	nonanal	nonanal	etanol	5-hidroksi metil furfurol
trans-2-trans-4-nonadienal	trans-2-trans-4-nonadienal	trans-2-trans-4-nonadienal	1-hekzenol	6-metil-2-heptanon
oktenol	oktenol	oktenol	2-etil hekzenol	Amil ftalat
trans-2-undekanal	dihidro myrcenol	dihidro myrcenol	1-heptanol	Beta İyon epoksit
dihidro myrcenol	benzilalkol	benzilalkol	1-oktanol	n-butil izo bütil ftalat
benzilalkol	etanol	1-hekzenol	1-okten-3-ol	desil butirat
etanol	1-heptanol	2-etil hekzenol	2-propanol	N-[(dibütülamino)metil]-N-metyl-formamid
1-hekzenol	metil chavacol	1-heptanol	terpinen-4-ol	Dihidroterpinolen
2-etil hekzenol	1-oktanol	1-oktanol	metil benzoat	dimetil oktanyl asetat
1-heptanol	1-okten-3-ol	1-okten-3-ol	metil butirat	dimetil oktanol
metil chavacol	2-propanol	2-propanol	2-dodekanon	endofenkol
1-oktanol	1-pentanol	izopropil myristate	2-nonanon	etil dimetil benzen
1-okten-3-ol	fenil etil alkol	metil benzoat	6-metil-5-hepten-2-on	Heneikosan*
2-propanol	terpinen-4-ol	metil butirat	p-simen	Heptakosan
1-pentanol	α -terpineol	2-heptanon	etil benzen	ionol
fenil etil alkol	metil heptanoat	2-oktanon	1,2,4-trimetilbenzen	İzobütil ftalat
terpinen-4-ol	izopropil myristate	2-dodekanon	dodekan	İzooktil ftalat
α -terpineol	metil oktanoat	2-nonanon	asetofenon	metil dekanolat
metil heptanoat	metil benzoat	6-metil-5-hepten-2-on	1,8-sienol	metil hekzonat
izopropil myristate	metil butirat	verbenon	kamfor	metil indanol
metil oktanoat	2-heptanon	etil benzen	Asetik asit	metil nonanoat
metil benzoat	2-dodekanon	1,2,4-trimetilbenzen	2-okten-1-ol	g-nonalakton*
metil butirat	2-nonanon	dodekan	5 metil 3 heptanon	Oktakosan*
2-heptanon	6-metil-5-hepten-2-on	heptadekan	Skualen	g-oktalakton
2-oktanon	2-undekanon	fenol	dekanol	Oktasülfür
2-dodekanon	verbenon	1,8-sienol	Dokosan	n-oktil ftalat
2-nonanon	p-simen	kamfor	fenil alkol	pinocarvone

Çizelge 3.2. (devam) Tanımlanan bileşiklerin neden olduğu sağlık sorunları

6-metil-5-hepten-2-on	etil benzen	Asetik asit	Trikosan	
2-undekanon	1,2,4-trimetilbenzen	2-okten-1-ol	Tetrakosan	
verbenon	hekzadekan	5 metil 3 heptanon	tetradekan	
etil benzen	heptadekan	1-nonanol	Terpinolen	
1,2,4-trimetilbenzen	tridekan	Skualen	Pentakosan	
dodekan	undekan	dekanol	pentadekan	
hekzadekan	asetofenon	dekanal	Nonadekan	
heptadekan	Asetik asit	Dokosan	Limonen	
tridekan	Bütürolakton	fenil alkol	Bütıl ftalat	
undekan	2-okten-1-ol	Trikosan	Eikosan	
asetofenon	5 metil 3 heptanon	Tetrakosan	Hegzadekanoik asit	
kamfor	Skualen	tetradekan	Hegzakosan	
Asetik asit	dekanol	Terpinolen		
Bütürolakton	dekanal	Pentakosan		
1-dekanol	Dokosan	pentadekan		
1-nonanol	fenil alkol	oktadekan		
2-okten-1-ol	Tetrakosan	Nonadekan		
5 metil 3 heptanon	tetradekan	Limonen		
Skualen	Terpinolen	Bütıl ftalat		
dekanol	Pentakosan	Eikosan		
Dokosan	pentadekan	Hegzadekanoik asit		
fenil alkol	oktadekan	Hegzakosan		
Trikosan	Nonadekan			
Tetrakosan	Limonen			
Terpinolen	Bütıl ftalat			
Pentakosan	Eikosan			
oktadekan	Hegzadekanoik asit			
Nonadekan				
Bütıl ftalat				
Eikosan				
Hegzadekanoik asit				
Hegzakosan				

IARC (International Agency for Research on Cancer) Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) kanserle ilgilenen birimdir. Kimyasalların da içinde olduğu binlerce maddenin insanlara kanserojen özelliklerini belirten monog-

rafları bu konuda temeldir. Bu monograflar kullanılarak bu çalışmada elde edilen bileşiklerin kanserojenlikleri değerlendirilmiş ve bulgular Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışmada tanımlanan kanserojenik bileşikler

Bileşik adı	Referans	Grubu	Neden olduğu kanser türleri
Kloroform	IARC, 1991	WHO Grup 2B	Mesane kanseri, böbrek tümörleri, rektum ve kolon kanseri
Naftalen	IARC, 2002a	WHO Grup 2B	Akciğer kanseri
Stiren	IARC, 2002b	WHO Grup 2B	Lenf kanseri, pankreas kanseri
1,1-Bifenilin	IARC, 1974; IARC, 1987	WHO Grup 1	Mesane kanseri
4-Aminobifenil	IARC, 1987	WHO Grup 1	Mesane kanseri
Toluen	IARC, 1999; WHO, 1985	WHO Grup 3	Hayvanlar için kanserojeniktir, ancak, insanlar için henüz kanserojen olarak sınıflandırılmamıştır.
Oktoil	IARC, 1999; WHO, 1985	WHO Grup 3	Hayvanlar için kanserojeniktir, ancak, insanlar için henüz kanserojen olarak sınıflandırılmamıştır.

4. SONUÇ

Sonuç olarak, gerek daha önce yapılan çalışmalar, gerekse bu çalışma sonucunda elde edilen veriler, vahşi katı atık depolama sahalarının neden olduğu çevresel ve sağlık etkilerini ortaya koymak açısından oldukça çarpıcı sonuçlar içermektedir. Dolayısıyla katı atıkların depolama sahalarına olabildiğince az miktarda gönderilmelerinin ne denli önemli olduğu ve katı atıkların bu noktaya gelmeden çok önce giderilmeleri gerektiği bir kez daha kanıtlanmıştır.

Katı atıklar ve bunların bertarafı ile ilgili sistemler Türkiye'nin gündemine diğer çevre sorunlarından daha geç girdiğinden, Türkiye'de şu anda sadece 29 ilde düzenli depolama alanı bulunmaktadır. O nedenle, vahşi depolamanın yapıldığı illerde, depolama sahasının yarattığı kirlilik pek çok teknik ve toplumsal sorunlara

neden olmaktadır. Ancak, sağlıklı bir katı atık yönetim sisteminin kurulması ve sürdürülebilir, entegre atık yönetimi anlayışının benimsenmesi soruna daha köklü ve kalıcı bir çözüm bulacaktır.

5. KAYNAKLAR

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 1999, A Panel Study of Acute Respiratory Outcomes, Staten Island, New York, Draft Final Report for Public Comment.

Dolk H, Vrijheid M, Armstrong B, Abramsky L, Bianchi F, Garne E, 1998, Risk of congenital anomalies near hazardous waste landfill sites in Europe: The EUROHAZCON Study, Lancet, 352: 423-27.

Geshwind S.A., Stolwijk JAJ, Bracken M, Fitzgerald E, Stark A, Olsen C, Melius J., 1992, Risk of congenital malformations associated with proximity to hazardous waste sites, *Am J Epidemiol*, 135:1197-1207.

Greiser E, Lotz I, Brand H, Weber H., 1991, Increased incidence of leukemias in the vicinity of a previous industrial waste dump in North Rhine-Westfalia, West Germany, *Am J Epidemiol* 134:755.

Goldberg MS, Al-Homsi N, Goulet L, Riberdy H., 1995a, Incidence of cancer among persons living near a municipal solid waste landfill site in Montreal, Quebec, *Arch Environ Health* 50:416-424.

Goldberg MS, Goulet L, Riberdy H, Bonvalot Y., 1995b, Low birth weight and preterm births among infants born to women living near a municipal solid waste landfill site in Montreal, Quebec. *Environ Res.*,69(1): 37-50.

Goldberg MS, Seimiatyck J, DeWar R, Desy M, Riberdy H., 1999, Risks of Developing Cancer Relative to Living Near a Municipal Solid Waste Landfill in Montreal, Quebec, Canada, *Archives of Environmental Health*. 54(4): 291-296.

IARC, 1999, Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, Vol:73, s.131.

IARC, 2002a, Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans Vol:82, s.367.

IARC, 2002b, Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans Vol:81, s.437.

IARC, 1999, Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans Vol:71, s.829.

IARC, 1974, Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans Vol: 4, s.113.

IARC, 1987, Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans Vol: Supplement 7, s.91.

Klemans W, Vleminckx C, Schriewer L, Joris I, Lijssen N, Maes A, Ottogali M, Pays A, Planard C, Gigaux G, 1995, Cytogenetic biomonitoring of a population of children allegedly exposed to environmental pollutants, Phase 2: Results of a three-year longitudinal study, *Mutat Res*, 342:147-156.

Lakhanisky T, Bazzoni D, Jadot P, Joris I, Laurent C, Ottogali M, Pays A, Planard C, Ros Y, Vleminckx C., 1993, Cytogenetic monitoring of a village population potentially exposed to a low level of environmental pollutants, Phase 1: SCE analysis, *Mutat Res*, 319:317-323.

Martine V., 2000, Health Effects of Residence Near Hazardous Waste Landfill Sites: A Review of Epidemiologic Literature. *Environmental Health Perspectives Supplements*, Vol 108.

National Research Council, 1991, *Environmental Epidemiology. Vol 1: Public Health and Hazardous Wastes.* Washington, DC:National Academy Press.

Upton A.C., 1989, Public health aspects of toxic chemical disposal sites, *Annu Rev Public Health*, 10:1-25.

Şahin, A., 2002, Eskişehir Katı Atık Depolama Sahası Sızıntı Suyunun Karakterizasyonu ve Fiziksel / Kimyasal Özelliklerinin Farklı Analiz Teknikleriyle Belirlenmesi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 173s., Eskişehir.

Vardar, Ç., 2004, Eskişehir Katı Atık Depolama Sahasından Alınan Toprak ve Bitki Örneklerindeki Kirletici Bileşenlerin Belirlenmesi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 146s., Eskişehir.

WHO, 1985, Working group environmental health criteria Vol:52, s.146.

GÜNEY AFRİKA'DAKİ ŞEHİRLERDE SIFIR ATIK STRATEJİLERİ

C. TROIS, N. MATETE, O. STOTKO AND J.A.S. DOUGLAS

CRECHE (Centre for Research in Environmental, Coastal and Hydrological Engineering), School of Civil Engineering, Construction and Surveying, University of KwaZulu-Natal, Durban 4041 South Africa

ÖZET: SIFIR ATIK yaklaşımı, ürünlerin geri dönüştürülerek doğaya veya sahaya tekrar kazandırılmasını sağlayan bir planlama prensibidir. Gerçekleştirilmiş bu çalışma kapsamında, Durban'da kırsala yakın iki bölge seçilerek, bu bölgelerde hizmet alımı, gelir düzeyi ve mevcut atık yönetim sistemlerinin elverişliliği açısından entegre SIFIR ATIK modelinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Durban Belediyesi'nde oluşan kullanım sonrası atıkların minimizasyonu için geliştirilen modelde kullanılan Durban yaklaşımı, daha sonra Johannesburg ve Cape Town şehirleri için dizayn edilmiş benzer modellerle de karşılaştırılmıştır. Bu modeller 25 yıldan uzun bir süredir, çeşitli atık yığınlarında optimum akış diyagramlarının atık yönetim sistemlerinde minimum işletme maliyetini verecek şekilde hesaplanmasında kullanılmaktadır. Çalışma sonucunda, özellikle Cape Town ve Durban örnek vakalarında, özel geri dönüşüm tesislerinin (GDT) sübvansede edilmesi ve geri dönüştürülebilir atıkların düzenli depolama alanlarına gönderilmektense, bu atıkların geri dönüşümlerinin sağlanmasının çok daha uygun olduğu ortaya çıkmıştır.

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişmekte olan ülkelerde "katı atık yönetimi" terimi ile; başarısız atık toplama uygulamaları, yetersiz hizmet olanakları, mevcut sınırlı kaynaklar, çevre koruma sistemlerinin eksikliği, atıkların uygun olmayan yerlerde gelişigüzel dökülmesi, etrafa çöplerin saçılması ve toplumun çevre ve atıklar konusundaki bilinçsizliği akla gelmektedir (Onu, 2000). Bu nedenle, Güney Afrika da çevre politikalarında atık hiyerarşisi ve sıfır atık kavramı gibi gelişmiş yöntemleri uygulayarak uluslararası standartları yakalamaya çalışan diğer gelişmekte olan ülkelerden biridir.

2001 yılında kabul edilen Atık Yönetimine İlişkin "Polokwane Bildirisi" (DEAT, 2001) ile 2012 yılına kadar atık üretiminde %50 ve atık bertarafında %25'lik bir azalma sağlanması hedeflenmiştir. 2022 yılına kadar SIFIR ATIK hedefi için gerekli

planların geliştirilmesi de aynı bildirinin amaçları arasındadır. SIFIR ATIK, atık geri dönüşüm uygulamaları arttırılırken atık miktarının azaltılmasını öngören atık miktarını sifira indirmeyi ilke edinen bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, kullanmakta olduğumuz ürünlerin tekrar kullanılabilir, geri kazanılabilir ve geri dönüştürülebilir şekilde üretilmesine de imkan sağlayan bir dizayn prensibidir. SIFIR ATIK yaklaşımının temel amacı, atığın yapısını inceleyerek geri dönüştürülebilirlik potansiyelini arttırmak ve bu şekilde atıkların kullanım sürelerini uzatarak gereksiz israfın azaltılmasını sağlamaktır.

Güney Afrika'da geri dönüşüm uygulamalarının büyük bir kısmı ambalaj endüstrisi tarafından özel girişimciler ve firmalar yolu ile gerçekleştirilmektedir (DEAT, 1999).

Bu geri dönüşüm uygulamaları dışında, depolama alanlarında ve aktarma

istasyonlarında sokak toplayıcıları yolu ile atıkların geri kazanılması ve atık teslimat ve ödeme merkezlerinin kurulması gibi diğer yöntemler ile atık kompozisyonunda sadece %1'lik bir azalma elde edilebilmiştir (des Ligneris, 2000; Ridl, 2003).

Bu çalışma kapsamında, mevcut entegre atık yönetim planının Atık Azaltılması/SIFIR ATIK stratejisi ile optimizasyonu için gerekli ön çalışmalar ve gerçekleştirilmesi gereken adımlar belirtilerek, Güney Afrika'da yer alan kentsel topluluklarda kullanım sonrası evsel atıklar için SIFIR ATIK modelinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada, Durban'da Mariannahill Depolama Alanı'nın yakınında yer alan iki topluluk örnek olarak incelenmiştir. Seçilen bu iki örnekte, Mariannahill Park topluluğu orta gelirli sınıfı, Nazareth topluluğu ise düşük gelirli sınıfı temsil etmektedir. Her iki bölgede de üretilen atıklar Mariannahill Depolama Alanı'nda gömülmekte, bu şekilde gerekli depolama alanı hacmi ve ekonomik kazanç açısından atık azaltılması ile elde edilebilecek direkt etkiler kolayca tayin edilebilmektedir.

Durban toplulukları için elde edilen bu sonuçlar daha sonra tüm şehir genelinde bir atık minimizasyonu modeli geliştirilmesinde kullanılmış ve geliştirilen model Johannesburg ve Cape Town şehirleri için geliştirilmiş benzer modeller ile de karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Mariannahill Park ve Nazareth toplulukları, Durban Merkezi Ticaret Bölgesi (CBD)'nin yaklaşık 20 km. batısında bulunan Mariannahill Genel Atık Depolama Alanı'nın hemen yanında yer almaktadır. Seçilen alan, Belediye'nin yerleşmiş olduğu bölgenin %11.2'lik bir alanını kaplayan ve toplam belediye nüfusunun %20.6'sına (631 705 kişi) sahip eThekwini Belediyesi'nin iç Batı

Bölgesi'nde önemli bir kısmı oluşturmaktadır. Seçilen iki bölgede bulunan evlerin iskanı yasal ve yasal olmayan yerleşimler olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Toplam evsel atık miktarının %95'i, nüfusun %74'lük bir bölümünün oturmakta olduğu yasal iskanlarda üretilmektedir (SKC, 2002).

2003 ve 2004 yıllarında, seçilen her iki topluluktan üretilen ve içeriğinde özellikle yüksek kaliteli kağıt ve karton atıkları, plastik (PET, HDPE ve LDPE), cam ve metal atıklara sahip atık kümelerinin geri dönüştürülebilir kısmı için yaşam döngüsü analizleri gerçekleştirilmiştir.

Seçilen bölgeye yakın mesafedeki Westmead Geri Dönüşüm Merkezi geri dönüştürülebilir atıklar için gerekli maliyetlerin belirlenmesinde kullanılmıştır. Atık minimizasyonuna ilişkin yürütülen ilk çalışmalardan biri olan bu araştırma ile, atık azaltıcı uygulamalar ile elde edilecek avantajlar kapsamlı bir şekilde belirtmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, katı atıklar için uygulanmakta olan mevcut konvansiyonel toplama ve bertaraf yöntemleri ve maliyetleri de incelenmiş ve önerilen minimizasyon çalışmaları ile elde edilecek ekonomik kazancı tespit etmek için fayda maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Fayda maliyet analizlerinde öncelikle ele alınan konular depolama maliyeti ve depolama alanı tasarrufu olmakla birlikte, geri dönüştürülebilir atıkların uygun alıcılara satılması durumunda sağlanacak gelir de ayrıca dikkate alınmıştır. Tablo 1'de seçilen iki topluluğa ait temel özellikler ve bu bölgelerde üretilen geri dönüştürülebilir maddelerin ağırlıkça yüzdeleri verilmektedir. Durban'da geri dönüştürülebilir maddelerin kaydedilmiş fiyatlarında son beş yıl içerisinde gözlenen değişimler ise Tablo 2'de sunulmaktadır.

Mevcut geri dönüşüm miktarları, Mariannahill Park'ta ortalama 19 ton/ay ve Nazareth'de ise ortalama 3,5 ton/ay olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu oranlara dayanarak, seçilen iki topluluk için de geçerli olacak bir atık minimizasyon planı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistem, atıkların teslimatı, satışı ve merkezi ayrıştırılması olmak üzere üç ayrı bileşenden oluşmaktadır. Bu sistem, Nemli/Kuru modeline veya kaynaktan ayrıştırmaya dayanmaktadır. Bu modelde, farklı atık türleri için değişik renkte atık torbaları sağlanmakta, örneğin tek kullanımlık çürüeyebilen maddeler ve yaş atıklar için siyah torbalar tedarik edilirken, yaş olmayan kuru atıklar gibi diğer geri kazanılabilir maddeler için ise farklı renkte torbalar sağlanmaktadır. Aynı

toplanan bu iki farklı türdeki atıkların mevcut atık toplama sisteminde olduğu gibi karıştırılmasına hiçbir şekilde izin verilmemektedir. Bu nedenle, hem Mariannahill Park hem Nazareth toplulukları için kaldırılacak farklı renkteki atık torbalarının ayrı bir şekilde toplanmasına imkan sağlayacak sistemler geliştirilmelidir. Daha sonra toplanan bu atıklar, ayrıştırma, sınıflandırma ve depolama işlemleri için mevcut Mariannahill Aktarma İstasyonu'na götürülecektir. Burada metal, cam, kağıt ve plastikler olarak ayrıştırılan geri dönüştürülebilir bu malzemeler; daha sonra sınıflarına göre ayrı ayrı seçilen geri dönüşüm firmasının bu atıkları teslim alacağı zamana kadar geçici olarak depolanacaktır.

Tablo 1. Durban şehrini temsilen seçilmiş topluluklarının temel özellikleri

ÖZELLİKLER	MARIANNHILL PARK	NAZARETH
Gelir Düzeyi (Kaynak: Dünya Bankası)	% 55'i orta-alt sınıf gelir düzeyi % 45'i yüksek sınıf gelirlidir	%70'i alt sınıf gelir düzeyi %30'u orta-alt sınıf gelir düzeyi
Konut Sayısı	3000	980 – 1000
Nüfus	13500	4410 - 4500
Atık Üretimi (SKC, 2002)	0.20 kg/kişi/gün	0.16 kg/kişi/gün
Atık Toplanması	Atıkların toplanması, belediyeye ait atık bertaraf ünitesi ile haftada bir gerçekleştirilmektedir (Durban Solid Waste-DSW).	Atıkların toplanması belediyenin görevlendirdiği yüklenici firma (DSW) tarafından haftada bir gerçekleştirilmektedir.
Hizmet Türü	Konutlara haftada bir kere 2x85 litrelik siyah poşetler verilmesi sureti ile kapıdan kapıya hizmet sağlanır.	Konutlara haftada bir kere 2x85 litrelik siyah poşetler verilmesi sureti ile kapıdan kapıya hizmet sağlanır.
GERİ DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİR ATIKLAR	(AĞIRLIKÇA %)	(AĞIRLIKÇA %)
Katı plastikler	7	6
Yumuşak plastikler	17	25
Cam	8	7
Kutu (Teneke/Alüminyum)	7	6
Karton	5	12
Diğer kağıtlar	9	13
Toplam	53	69

Tablo 2. Durban’da geri dönüştürülebilir maddeler için ortalama satış fiyatları (2001 – 2005)

Malzeme	Fiyat [US\$/ton]								
	2001	2002	2003	2004	2005	Ort.	Min.	Std. Sapma.	Co. of Variation
Karton	37	44	52	66	22	44	22	16	0.37
Dergi ve gazeteler	15	22	29	29	7	21	7	10	0.47
Bilgisayar kağıtları	88	96	96	118	15	83	15	40	0.48
Düşük yoğunluklu plastikler	74	88	96	118	118	99	74	19	0.19
Yüksek yoğunluklu plastikler	2004 yılına kadar bu plastikler için uygun bir market yoktu				74	74	74	-	-
Demir içerikli metaller	44	52	59	74	111	68	44	26	0.39
Cam	7	15	15	15	15	13	7	3	0.25

Johannesburg, Cape Town ve Durban şehirleri için yapılmış atık kompozisyonu analizlerinde, önce her bir şehir için atık akış diyagramları belirlenmiş ve her bir şehre özel farklı atık modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller atık yığınlarını temsil edecek şekilde oluşturulmuş ve bu atıkların zaman içerisindeki gelişmelerini öngörmek için tasarlanmıştır. Bu modeller, depolama alanında bertaraf edilecek her bir atık yığınının (ayrıştırılmış, direkt aktarma istasyonuna getirilmiş, vb.) işlenen tonu başına belirli bir bertaraf maliyeti olduğu hipotezine dayanmaktadır. Depolama alanında en az işletme maliyetini verecek şekilde ve gelen çok çeşitli atık yığınlarının optimum atık akışları göz önünde bulundurularak geliştirilen modeller, 2005 - 2031 yıllarını kapsayacak şekilde incelenmiştir. Johannesburg ve Cape Town şehirlerinde özel girişimciler yolu gerçekleştirilen uygulamalar ve Durban şehrinde kamusal girişimler ile geri kazanılan atıklar ile, hem gerekli depolama alanında önemli bir tasarruf sağlanmış, hem de depolama bertaraf maliyetlerinde ciddi bir azalma elde edilmiştir.

3. SONUÇLAR

3.1 Mariannahill Örnek Vakası

Durban’daki atık minimizasyonu modeli uygulamasının, 2000-2005 yılları arasında gözlenen piyasa değişim analizine dayanarak tahmin edilen sonuçları, yüksek kar senaryosu ile düşük kar durumunun karşılaştırması olarak Tablo 3’de verilmektedir.

2003-2004 yıllarında gerçekleştirilen bu çalışma ile, Mariannahill Park’ta Sıfır Atık planı uygulaması ile gerekli depolama alanında ortalama 20 m³/ay (%30) ve sonuçta her iki yıl için 16 - 27 m³/ay’lık gerçek bir tasarruf sağlamıştır. Önerilecek plan ile en az 16 m³/ay’lık bir depolama alanı tasarrufu sağlanabilmelidir. Nazareth’de geliştirilecek plan ile de hem 2003 hem de 2004 yılları için depolama alanında 5 m³/ay (%28) ‘lık bir tasarruf sağlanmalıdır ki bu değer her iki yıl için de 3-7 m³/ay’lık gerçek bir tasarruf anlamına gelmektedir. Elde edilen alan tasarrufları mevsimsel olarak değişiklik gösterecektir, fakat her şekilde önerilecek plan ile depolama alanında en az 3

m³/ay'lık bir tasarruf sağlanmış olmalıdır. Önerilen planın uygulanması ile elde edilecek çevresel ve ekonomik faydalar, Tablo 3'de verilen sonuçlar ile de ifade edilmektedir. Mariannahill depolama alanındaki çevresel kazançların başında, geri dönüşüm ile ayrıştırılmış, bertaraf edilmeyecek atıklardan tasarruf edilecek depolama alanı hacmi gelmektedir. Geri dönüştürülebilir malzemelerin ayrıştırılarak tekrar satışı ile ekonomik

kazançlar arttırılmış, böylece oldukça yüksek bir ciro sağlanmış ve depolama alanında daha az atık bertaraf edilmesinden dolayı işletme maliyetleri de önemli ölçüde düşürülmüştür. Bahsedilen fayda maliyet analizleri'nde düzenlenecek eğitim kampanyaları ve atıkların ayrı toplanması için gerekli nakliye maliyetlerinin göz önüne alınmadığına dikkat edilmelidir.

Tablo 3. Mariannahill örnek vaka çalışmasındaki "Atık Minimizasyonu" programı sonuçları

	Yüksek Kar Senaryosu			Düşük Kar Senaryosu		
	Mariannahill Park	Nazareth	Toplam	Mariannahill Park	Nazareth	Toplam
Toplam Evsel Katı Atık (Ton)	1916	510	2426	1916	510	2426
Hacim (m³)	1597	425	2022	1597	425	2022
Bertaraf edilen Evsel Katı Atık (Ton)	1341	357	1698	1341	357	1698
Hacim (m³)	1118	298	1415	1118	298	1415
Toplam Geri Dönüştürülebilir Maddeler (Ton)	575	153	726	575	153	726
Sert Plastikler (ton)	76	13	892	76	13	892
Yumuşak Plastikler (ton)	184	55	240	184	55	240
Cam (ton)	87	16	102	87	16	102
Teneke/Alüminyum (ton)	76	13	89	76	13	89
Karton (ton)	54	27	81	54	27	81
Kağıt (ton)	96	29	126	96	29	126
Kazanç (\$) (Geri Dönüştürülebilir)	47,517	13,375	60,801	34,261	8,578	42,840
Depolama Alanı Kazancı (m³)	479	127	607	479	127	607
Fayda Maliyet Analizi - Toplam Kazanç (\$)			40,546			22,493
Ağırlıkça Maliyet Tasarrufu (US\$/ton)			16.71			9.27
Hacimce Maliyet Tasarrufu (US\$/ m³)			20.05			11.12

3.2 Johannesburg, Cape Town ve Durban şehirlerinde elde edilen sonuçlar

Johannesburg ve Cape Town şehirleri için 2005 ve 2030 yılları arasında modellenen optimum atık geri dönüşüm oranları Şekil 1'de verilirken (Stotko and Trois, 2006), Durban şehri için 2007 ve 2032 yılları arasında hedeflenen en iyi atık geri dönüşüm oranları Şekil 2'de sunulmaktadır (Douglas, 2007).

Şekil 1'de geliştirilen birinci model incelendiğinde, Cape Town ve Johannesburg şehirleri için atık materyallerin geri kazanımının belirli bir eşik değere kadar arttırılması ekonomik olarak mantıklı gözükmektedir. Bu eşik değer, önerilen sistemde ekonomik olarak geri kazanılabilir maddelerin bittiği noktaya eş değerdir. Elde edilen bu sonuç, Şekil 2'de sunulmakta olan Durban şehri için geliştirilmiş model ile de uyumludur.

Durban şehri için geliştirilmiş olan modelde her ne kadar birinci modele göre daha yüksek bir geri kazanım oranı elde edilse de, Durban şehri için de aynı sistem önerilmekte ve atık maddelerde geri kazanım oranının belirli bir eşik değere arttırılması tavsiye edilmektedir. Şekil 2'de geliştirilen bu model ile tüm şehir genelinde üretilen atıklardan ziyade depolanmak üzere sahaya gelen atıklar ve kompostlama faktörü dikkate alındığı için, bu modelde atık geri dönüşüm oranı daha yüksektir.

Grafikte 2027 yılından sonra gözlenen kademeli düşüşün nedeni ise geri dönüşüm tesisine giren atık yığınlarının doymuş olması ve maksimum giriş kapasitesinin ulaşılmış olmasıdır.

Şekil 1'de 2010 yılına kadar olan değişim incelendiğinde, geri dönüştürülebilir maddelerin depolama alanına gönderilmektense, etkili bir geri dönüşüm

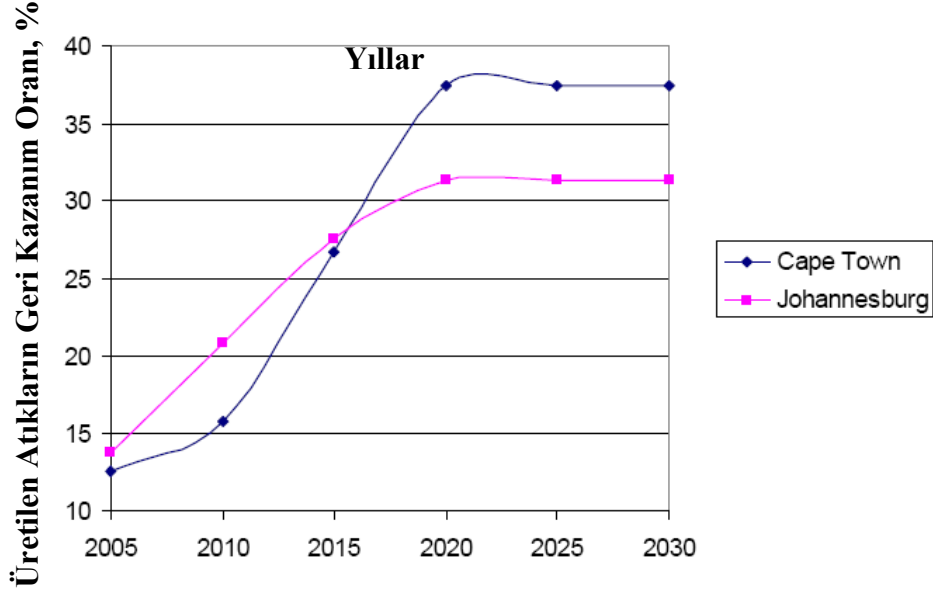
için özel firma ve girişimcilere sağlanacak desteğin (%100 destek) çok daha önemli olduğu görülür. Çünkü, bölgede geri dönüşüm konusunda mevcut girişimcilerin sayısı çok azdır ve bununla birlikte toplama ve bertaraf maliyetleri de oldukça yüksektir. Dolayısı ile, Meclis kendi özel geri dönüşüm tesisi altyapısını geliştirene kadar, geri dönüşüm konusundaki mevcut girişimcilerin ciddi ölçüde desteklenmesi gerekmektedir. Şekil 2'de verilen ve Belediye'nin kendi atık geri dönüşüm tesisini kurması için önerilen model ile, bir yandan finansal kapasite korunurken aynı zamanda ciddi kazançlar da elde edilebilecektir.

Cape Town şehrinde elde edilen eşik değer Johannesburg şehri için elde edilen değerden %6'lık bir farkla daha yüksek olması ilgi çekicidir. Bunun nedeni, Cape Town Şehir Meclisi için toplama ve bertaraf maliyetlerinin, Johannesburg'daki katı atık işletmecilerine (Pikitup) göre çok daha yüksek olmasıdır. Cape Town Şehir Meclisi'nde atık toplama maliyeti yaklaşık 50 \$/ton'dur (Stotko and Trois, 2006). Bununla birlikte Pikitup için aynı maliyet 45 \$/ton'dur (Her iki değer de 2004/2005 yılı kayıtlarından alınmıştır). Cape Town'daki bertaraf maliyetinin Johannesburg'daki depolama alanları için belirlenen aynı maliyete göre çok daha fazla olmasının nedeni ise Cape Town'daki tüm depolama alanlarının sızıntı suyu arıtma sistemi içerecek şekilde (B+) dizayn edilmişken, Johannesburg'daki Pikitup depolama tesislerinden sadece birinin sızıntı suyu arıtım sistemine sahip olmasıdır. Bu bakımdan Durban şehri'de Cape Town ile benzerlik göstermektedir. Cape Town Şehir Meclisi'ndeki atık toplama maliyetlerinin Pikitup'tan yüksek olmasının bir diğer nedeni ise; Johannesburg şehri bütünüyle fonksiyonel iki adet merkezi depolama alanına sahip iken Cape Town'da Meclis'e ait üç adet merkezi depolama

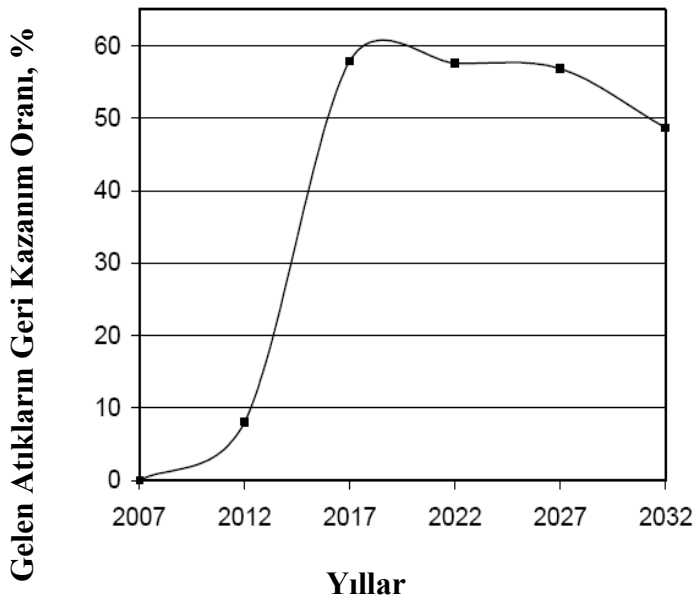
alanı bulunmaktadır. CapeTown'da yer alan bu üç depolama alanından birinin 2006 yılı itibarı ile dolması ve kapatılması planlanmaktadır.

Durban'da ise Belediye'ye ait bütünüyle fonksiyonel iki adet merkezi depolama alanı bulunmaktadır. Bu alanlardan bir tanesi hali hazırda işletimde olup, bölge

civarında kurulacak henüz plan aşamasında iki adet daha depolama alanı mevcuttur. Merkezilikten uzak bu gelişmeler, geri dönüşüm uygulamalarının sınırlı depolama alanlarının korunması amacı ile çok daha fazla teşvik edilmesine neden olmaktadır. Model, önerilen sistemin gerçekleştirilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. Cape Town ve Johannesburg şehirleri için modellenen optimum atık geri dönüşüm oranları



Şekil 2. Durban şehri için modellenen optimum atık geri dönüşüm oranları

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, mevcut entegre atık yönetimi sisteminin SIFIR ATIK yaklaşımı ile geliştirilmesi hedeflenerek, bölgede yer almakta olan Marianhill Park ve Nazareth Toplulukları örnek vakalar olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen fayda maliyet analizleri ile projenin ekonomik açıdan çok faydalı bir çalışma olduğu ortaya konulmuştur. Çevresel açıdan ele alındığında ise, her iki toplulukta da uygulanan atık minimizasyonu planları gerekli depolama alanında çok ciddi tasarruflar sağlamıştır. Bununla birlikte gerçekleştirilen analizlerin yanı sıra, nakliye ve eğitim programları için gerekli olan maliyet analizleri ayrıca gerçekleştirilmelidir.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlardan biri de, üretilen atık yığınları içindeki önemli değişimlerin özellikle Johannesburg, Cape Town ve Durban şehirlerinde Polokwane Bildiri'sine uyacak şekilde azaltılmasıdır. Depolama alanlarında depolanacak atık miktarlarının azaltılması mevzuatlarla zorunlu hale getirilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen model ile, atıkların geri dönüşümü yolu ile depolama alanlarında mevcut işletme maliyetlerinin önemli ölçüde azaltılabileceği ortaya konmuştur. Çalışmada her bir şehir için üretilen atıkların azaltılmasına yönelik en uygun programlar geliştirilmiş, tüm alternatifler arasında Madde Geri Dönüşüm Tesisleri'nin kurulmasının her üç şehir için de en uygun seçenek olduğu belirlenmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Yazarlar, Focus Area Program-2007 süresince sağlamış oldukları destekten dolayı Ulusal Araştırma Fonu'na ve teknik ve finansal desteklerinden ötürü Durban Solid Waste firmasına teşekkür ederler.

6. KAYNAKLAR

Des Ligneris, J., 2000. Waste management strategy to the South African solid waste industry, Proceedings of the Biennial Congress of the Institute of Waste Management of Southern Africa, WasteCon'00 1, 285 – 290., Cape Town, South Africa.

Douglas, J.A.S. (2007) Sustainable Options for diversion of waste from landfill in Durban, South Africa, Centre for Sustainable Development, Department of Engineering, University of Cambridge, M.Phil Dissertation.

Government of South Africa, Department of Environmental Affairs and Tourism (DEAT), 1999.

National Waste Management Strategy and Action Plans, Version C, DEAT, Pretoria.

Government of South Africa, Department of Environmental Affairs and Tourism (DEAT), 2001.

Polokwane Declaration, Drafted by government, civil society and the business community, National Waste Summit, Polokwane, 26 – 28 September 2001.

Matete, NO and Trois, C. (2006) Zero Waste for urban and rural areas in South Africa.

Proceedings of Wastecon 2006. September 2006, Somerset West, South Africa.

Onu, C., 2000. Sustainable waste management in developing countries, Proceedings of the Biennial Congress of the Institute of Waste Management of Southern Africa, WasteCon'2000 1, 367 – 378., Cape Town, South Africa.

Ridl, J., 2003. Environmental Law: A student guide, University of KwaZulu-Natal, Durban, South Africa.

SKC Engineers, 2002. Status Quo 2002 of Solid Waste Management 2002 for Ethekewini Municipal Area Report No. 2077/D0132, Durban, South Africa.

Stotko, O and Trois, C. (2006) Overview of the waste minimisation strategies in the three main cities in South Africa. Proceedings of Wastecon 2006. September 2006, Somerset West, South Africa.

AĞIR METALLERLE KİRLENMİŞ TOPRAKLAR İÇİN ARITIM YÖNTEMLERİ

E. Duyuşen GÜVEN

Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
Kaynaklar Kampüsü, 35160, Buca, İZMİR
Tel: 0 232 412 7131 Faks: 0 232 453 11 53
duyusen.kokulu@deu.edu.tr

ÖZET: Ağır metallerle kirlenmiş toprakların ıslahı için çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Bu yaklaşımlar; kirlenmiş bölgeyi örtüleme veya yüzey altına bariyerler yerleştirilerek kirleticinin hareketini engelleyen **izolasyon teknolojileri**, kirleticilerin fiziksel ve sızabilirlik özelliklerini değiştirerek mobilitelerini azaltmak prensibine dayanan **immobilizasyon yöntemleri**; kirleticinin ve toprağın özelliklerine bağlı olarak kirlenmiş bölgenin kirlenmemiş toprak matrisinden ayrılması esasına dayanarak gerçekleştirilen **fiziksel ayırma yöntemleri**, kirlenmiş fraksiyonun geri kalan toprak matrisinden sökülerek ayrılmasını sağlayan **ekstraksiyon yöntemleri** ve kimyasal ve biyolojik yöntemlerle kirleticilerin **toksosite-mobilitesini azaltan yöntemlerdir**. Sunulan çalışmada bu yöntemler avantaj ve dezavantajlarıyla incelenmiştir. Sonuç olarak toprak ıslahı için tercih edilecek teknolojiye karar vermeden önce, kirli bölgenin hidrojeolojik özellikleri ve toprağın kirlilik potansiyelinin iyi değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, toprak kirliliği, arıtım, mobilite

REMIEDIATION TECHNOLOGIES FOR HEAVY METAL CONTAMINATED SOILS

ABSTRACT: There are several approaches for remediation of heavy metal polluted soils. These approaches include; **the isolation techniques** which prevent the transport of pollutants by capping or subsurface barriers; **the immobilization methods** decreasing the mobility of the metals by changing their physical or leaching properties; **the physical separation techniques** depending on the removal of of the contaminated soil from the uncontaminated area; **the extraction methods** which remove the contamination from the soil matrix, and the **toxicity-mobility reducing approaches** that use chemical and biological methods for remediation of the contaminated sites. In the presented study, these methods are discussed with the advantages and the disadvantages. It is finally pointed that, the hidrogeological properties of the soil and the pollution potential of the contaminated area should be concerned before choosing a proper method for the remediation.

Keywords: Heavy metal, soil pollution, remediation, mobility

1. GİRİŞ

Ağır metaller, çevresel etkileriyle değerlendirildiğinde, önemli kirleticiler sınıfına girmektedirler. Toprak ortamında bulunan ağır metaller, son yıllarda endüstriyel ve madencilik aktivitelerinin artmasıyla kayda değer bir sorun haline

almakta, sadece toprak bünyesini kirlenmekle kalmayıp, yüzeysel ve yer altı sularına da taşınarak, insan ve hayvan sağlığını da tehdit etmektedir. Dolayısıyla, kirlenmiş topraklar için arıtım yöntemlerinin geliştirilmesi ve

uygulanması büyük önem taşımaktadır. Sunulan çalışma, ağır metallerce kirlenmiş topraklar için geliştirilen metodları değerlendirmektedir.

1.1. Toprakta Ağır Metaller Kirliliği Oluşturan Kaynaklar

Ağır metaller, volkanik ve tortul kayaçların yapısında doğal bileşenler olarak bulunmaktadır. Metallerin kirlenici olarak toprak ortamında birikmesi, insan faaliyetlerinin etkisidir. Topraktaki ağır metal kirliliğinin kaynaklarının başında madencilik aktiviteleri gelmektedir. İmalat sanayinde kullanılan metaller maden cevherinden elde edilmekte, bu işlemler esnasında oluşan kalıntılar rüzgar ile taşınmakta ve toprakta birikmektedirler. Cevherlerin eritilmesi prosesleri de metal kirliliği oluşturan işlemlerdir. Tarımsal ve bahçecilik aktivitelerinde kullanılan

maddeler de bir başka kirlenici kaynağı oluşturmaktadırlar. Çeşitli atıksu arıtma tesislerinden oluşan arıtma çamurları ise içerdikleri önemli miktarda nutrient ve organik madde sebebiyle tarım topraklarına uygulanmakta ve ağır metal kirliliği oluşturmaktadırlar. Bunun dışında, metalürji, kimya ve çeşitli imalat sanayilerinden kaynaklanan ağır metaller, hava yoluyla (aerosol ve toz emisyonlarının hareketiyle), çeşitli taşkınlar sebebiyle su yoluyla ve de atık yığınlarından kaynaklanan sızmalar sebebiyle toprağa ulaşarak birikirler. İyi yönetilmeyen katı atık deponi alanları da diğer ağır metal kaynakları olarak gösterilebilirler. Askeri eğitim alanları da kirlilik oluşturan diğer faaliyetlerdir (Alloway B.J., 1995). Bu faaliyetler ve sonucunda oluşan kirleniciler Tablo 1 ile özetlenmiştir.

Çizelge 1. Toprakta ağır metal kirliliği oluşturan faaliyetler

Kirlilik Oluşturan Faaliyet	Oluşan Kirlenici
Maden cevheri işleme ve eritme prosesleri	Au, Cu, Sb, Zn, Pb, Se, Te, Ag, Hg, U, Bi, Mo, Sn, As, Ni, Co, Cd, Pt, Tl
Tarım ve Bahçecilik <ul style="list-style-type: none"> Gübrelerdeki safsızlıklar Hayvan dışkıları Pestisitler Atık kompost Koruyucular 	Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn Cu, As, Zn Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn Cd, Cu, Ni, Pb, Zn As, Cu, Cr
Arıtma Çamurları	Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
Metalurji Sanayii	V, Mn, Pb, W, Mo, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, Si, Ti, Fe, Ir, Ge, Tl, Sb, In, Cd, Be, Bi, Li, As, Ag, Sb, Pr, Os, Nb, Nd, Gd
Elektronik Sanayii	Cu, Zn, Au, Ag, Pb, Sn, Y, W, Cr, Se, Sm, Ir, In, Ga, Ge, Re, Sn, Tb, Co, Mo, Hg, Sb, As, Gd
Çeşitli Sanayiler <ul style="list-style-type: none"> CI üretimi Pil üretimi Pigment ve boya üretimi Polimer stabilizatörleri Baskı ve Grafik Medikal üretimler 	Hg Pb, Sn, Zn, Cd, Ni, Hg Pb, Cr, As, Sb, Se, Mo, Cd, Ba, Zn, Co Cd, Zn, Sn, Pb Se, Pb, Cd, Zn, Cr, Ba Ag, As, Ba, Cu, Hg, Sb, Se, Sn, Pt, Zn
Atık Bertarafı	Cd, Cu, Pb, Sn, Zn
Askeri Faaliyetler	Pb, Cu, Zn

1.2 Toprak Kirliliği Oluşturan Önemli Kirletici Metaller

Toprak ve yer altı suyunda bulunan ağır metalin kirletici potansiyeli ve mobilitesi büyük oranda o metalin kimyasal formuna ve özelliklerine bağlıdır (Allen ve diğerleri, 1991). Toprakta birikim yaparak kirlilik oluşturan bazı önemli metaller ve özellikleri aşağıda açıklanmıştır;

1.2.1 Kurşun (Pb);

Kurşun kirliliği yoğunlukla metal eritme ve işleme tesislerinden, pil üretimi tesislerinden pigment ve kimya sanayinden kaynaklanır. Pb(II) ekosistemde en çok bulunan ve en reaktif olan formudur ve mononükleer ve polinükleer kurşun oksitler ve hidroksitler oluşturur. Pek çok koşulda bu form artık kurşun için en stabil formdur (Smith ve diğerleri, 1995). Bu formlar, inorganik Cl^{-1} , CO_3^{-2} , SO_4^{-2} ve PO_4^{-3} larla ve organik humik-fulvik asit, EDTA ve amino asitlerle düşük çözünürlükte bileşikler oluşturur. Toprak ortamında kurşunun hareketliliğini belirleyen temel prosesler adsorbsiyon, iyon değişimi, çökeltme ve organik maddeyle kompleks oluşturabilirliğidir. Bu prosesler kurşunun yüzeysel ve yer altı suyuna geçişini kısıtlar (Evanko ve Dzombak, 1997).

1.2.2 Krom (Cr):

Krom, madencilikte başlıca cevher ürünün mineral kromit ($FeCr_2O_4$) olarak kullanılmaktadır. Cr kirletici olarak doğaya atıklar ve elektrokaplama prosesleri yoluyla ulaşır. Ekosistemde bileşikler halinde bulunan kromun temel bileşikler kromat (CrO_4^{-2}) ve dikromattır ($Cr_2O_7^{-2}$). Cr kirlenmiş bölgelerde, aerobik koşullarda Cr(VI) formunda bulunur. Anaerobik koşullarda bu form, topraktaki organik madde ve Fe^{+2} varlığında Cr(III) formuna indirgenebilir ve düşük pH koşullarında NH_3 , OH^{-1} , Cl^{-1} , F^{-1} , CN^{-1} ve SO_4^{-2} ile kompleks oluşturur.

Cr(VI) daha toksik ve mobilitesi yüksek olan formdur. Kromun topraktaki hareketi toprağın adsorblama kapasitesine bağlıdır. Bu metal çözülmüş veya çökelmiş formda topraktan su kaynaklarına kolaylıkla taşınır (Evanko ve Dzombak, 1997).

1.2.3 Arsenik (As):

Yarı metalik bir element olan arsenik pek çok mineralde As_2O_3 olarak bulunur ve genelde bakır, kurşun, çinko, gümüş ve altın cevherleri çıkarılırken geri kazanılır. Arsenik, kompleks bir kimyaya sahiptir ve doğada çeşitli oksidasyon değerliklerinde bulunur (-III, 0, III, V) (Smith ve diğerleri, 1995). Aerobik koşullarda As(V), arsenat (AsO_4^{-3}) olarak bulunur ve metal katyonların varlığında metal arsenat kompleksleri oluşturur. İndirgen koşullarda ise As(III) arsenit oluştur (AsO_3^{-3}). Arsenik anyonik formda bulunduğu için Cl^{-1} ve SO_4^{-2} lar ile bileşik oluşturmaz. Pek çok arsenik bileşiği toprağa kuvvetlice tutunur ve yüzeysel ve yer altı sularına sadece kısa mesafelerde taşınırlar. Sorpsiyon ve demir oksitlerle çökeltme arsenik için en önemli giderim mekanizmalarıdır (Pierce ve Moore, 1982).

1.2.4 Çinko (Zn):

Çinkonun en yaygın olarak demir çelik sanayilerinde kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Zn, genelde +2 değerliğinde bulunur ve çeşitli anyonlarla, amino asitlerle ve organik asitlerle bileşik oluşturur. Çinko, yüzeysel ve yer altı suyu kaynaklarında en hareketli metallere dendir çünkü nötral ve asidik koşullarda çözünür bileşikler halinde bulunur. (Smith ve diğerleri, 1995). Sucul ekosistemlerde çinko, sedimante, süspansiyon haldeki katılara, demir-mangan oksitlerine ve organik maddelere adsorplanarak çökler (Evanko ve Dzombak, 1997).

1.2.5 Kadmiyum (Cd):

Kadmiyum, Pb, Zn ve Cu cevherlerinin çıkarılması esnasında yan ürün olarak ortaya çıkar, kaplama sanayinde kullanılır. Kadmiyumun en çok bulunan formu Cd^{+2} içeren kadmiyum siyanür kompleksleri, $Cd(OH)_2$ ve $CdCO_3$ olarak kaydedilmiştir. İndirgen koşullar altında ve sülfür varlığında stabil katı CdS oluşur. Cd, fosfat, arsenat, kromat gibi anyonların varlığında çökelir. Asidik koşullarda Cl^{-1} ve SO_4^{-2} ile kompleks oluşturur. Kadmiyum, yüzeysel ve yeraltı sularında oldukça mobildir (Evanko ve Dzombak, 1997).

1.2.6 Bakır (Cu):

Yeraltı ve yüzeysel su kaynaklarında oluşan bakır kirliliğinin başlıca kaynağı, bakır sülfid ve bakır oksit cevherlerinden ana ürün olarak elde edilen bakırdır. Bunun dışında, çeşitli yakma işlemleri sonucu oluşan uçucu küller de topraktaki bakır kirliliğini oluşturur (Alloway, 1995). Aerobik ve alkali koşullarda $CuCO_3$ başlıca çözünür bakır bileşiğidir. Bunun dışında bakır, hidroksit iyonlarıyla $CuOH^{+1}$ ve $Cu(OH)_2$ bileşiklerini de oluşturur. Bakırın topraktaki mobilitesi mineral yüzeylere sorpsiyonuna bağlıdır. Cu^{+2} , oldukça geniş pH aralığında kuvvetli bir biçimde topraktaki mineral yüzeylerine tutunur (Dzombak ve Moral, 1990).

1.2.7 Civa (Hg):

Cu ve Zn cevherlerinin eritilmesi, fosil yakıtların yanması, basınç ölçme istasyonlarından kaynaklanan kaçaklar, civa kirliliğini oluşturan başlıca kaynaklardır. Doğaya yayılan civa, Hg^{+2} , Hg_2^{+2} , HgO veya metil/etil civa şeklinde bulunur. En toksik formu metil/etil civa hali olup, bu kompleksler suda çözünebilir, havada ise uçucudurlar (Smith ve diğerleri, 1995). Asidik koşullarda Hg, stabil $HgCl_2$ olarak bulunurken, yüksek pH (>7) değerlerinde $Hg(OH)_2$ stabil formdur. Ayrıca Hg, toprak

ortamında mevcut sülfid iyonlarına kuvvetlice tutunur ve indirgen koşullar altında civa, H_2S varlığında stabildir. Redoks potansiyeli yükseldikçe oluşan HgS çökelir (Alloway, 1995).

1.3. Toprak Özelliklerinin Ağır Metal Mobilitesine Etkisi

Toprak matrisinde kirlilik; toprak nemindeki çözünmüş kirleticiler, toprak yüzeyindeki adsorblanmış kirleticiler ve kimyasal olarak fiksasyona uğramış katı bileşikler olmak üzere üç formda bulunur. Toprağın kimyasal ve fiziksel özellikleri; kirleticinin formunu, mobilitesini ve artıtım için kullanılacak teknoloji seçimini önemli ölçüde etkiler (Gerber ve diğerleri, 1991).

1.3.1 Fiziksel özellikler

Tanecik boyut dağılımı, toprağın en önemli fiziksel özelliklerinden biridir. Küçük tanecikler (<100 μm) yüzey alanlarının genişliği sebebiyle toprakta kirliliğin büyük kısmını tutarlar. *Nem oranı (su muhtevası)*, kirlenmiş toprağın kimyasını etkiler. Çözünmüş minerallerin miktarı, pH ve redoks potansiyeli toprağın nem oranına bağlıdır. *Toprak yapısı*, toprağın boyutu, şekli ve yapısal gelişimini etkiler, yer altı suyu ve kirletici arasındaki temasın derecesini belirler (Evanko ve Dzombak, 1997).

1.3.2 Kimyasal özellikler

Toprak suyundaki *inorganik anyonları varlığı* (CO_3^{-2} , SO_4^{-2} ve PO_4^{-3}), çözünmeyen bileşikler oluşturarak toprakta metallerin kimyasal olarak sabitlenmesini sağlar. Topraktaki pH değeri ise, genelde 4-8.5 arasında değişir. Bilinen bir gerçek şudur ki, metal katyonları asidik koşullarda mobildirler, çözünürler ve hareket ederler (Dzombak ve Morel, 1990). Toprakta, *Fe, Al, Mn metal oksitlerinin varlığı*, metal konsantrasyonunu etkiler çünkü bu mineraller katyon ve anyonları iyon

değiştirme, adsorbsiyon ve çökeltme mekanizmalarıyla giderirler. Toprağın *Kasyon ve anyon değiştirme kapasiteleri* (CEC, AEC) ise, anyon ve kasyonların topradaki mineral yüzeyine alınmasını belirler, AEC genelde CEC den önemli oranda düşürür. Toprakta bulunan *organik madde* miktarı ise metallerin mineral yüzeyine tutunmasını etkileyen önemli parametrelerden biridir (Evanko ve Dzombak, 1997).

2. ARITIM TEKNOLOJİLERİ

Ağır metallerle kirlenmiş topraklar için seçilecek arıtım yöntemine, kirlenmiş bölgenin fiziksel özelliklerine, kirleticinin konsantrasyonlarına, formlarına, bölgedeki yüzeysel ve yer altı suyu kaynaklarına bağlı olarak değişir. Kirlenmiş toprakların arıtılması için fiziksel, kimyasal, termal ve biyolojik prosesleri içeren çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Arıtım yöntemleri kirlenmiş bölgenin içinde (in situ) yapılabileceği gibi, kirli toprağın bölgenin dışında arıtıldığı (ex-situ) yaklaşımlar da söz konusudur. Bu yaklaşımların bir veya birkaçının kombinasyonu, yöntemin maliyet analizi de göz önünde bulundurulurarak seçilmelidir.

2.1. İzolasyon Yöntemleri:

İzolasyon yöntemleri, kirleticileri belli bir bölgede tutarak, hareketini engellemek prensibine dayanır. Diğer yöntemlerin ekonomik olmadığı durumlarda tercih edilen bu yöntemlerde kapaklama ve yüzey altı bariyerleri yaklaşımları ile kirlenen bölgeden yüzeysel ve yer altı suyu kaynaklarına madde transferi engellenmiş olur. Kapaklama yöntemlerinde toprağın üstüne geçirimsiz bir bariyer uygulanarak kirliliğin daha fazla yayılması engellenmiş olur. Malzeme olarak sentetik membranlardan yüksek yoğunluklu polietilen kullanılabilir. Yüzey altı bariyerlerinde ise, toprak altına

dikey bariyerler yerleştirilmek suretiyle kirliliğin yatay yönde hareketine engel olunur. Çimento, kil, alkali silikatlar, organik polimerler yatay perdeler olarak kullanılabilirler (Rumer ve Ryan, 1995)

2.2. İmmobilizasyon Yöntemleri

İmmobilizasyon teknolojileri, kirleticilerin fiziksel ve sızabilirlik özelliklerini değiştirerek mobilitelerini azaltmak prensibine dayanır. Bağlayıcı kimyasal madde ilavesiyle veya termal işlemler uygulayarak kirleticiler, kirlenmiş bölgede tutulurlar. İmmobilizasyon yöntemlerini 2 başlık altında incelemek mümkündür;

2.2.1. Solidifikasyon / Stabilizasyon (S/S)

Solidifikasyonun temeli, kirleticiyi bağlayan katı bir matrisin oluşmasıdır. Stabilizasyon (Fiksasyon) ise atığı daha az mobil hale getirmek için kimyasal bir reaksiyonun oluşmasıdır. Solidifikasyon/Stabilizasyon teknolojileri bölge içinde ve bölge dışında uygulanabilir. Genel yaklaşım, kirlenmiş toprağa bağlayıcı bir kimyasal ilavesi ile (enjeksiyon veya karıştırma) kirleticileri hapsedmektir. Çimento, uçucu kül, fırın cürufuruları, zift gibi maddeler bağlayıcı olarak kullanılarak kirliliğin üstünde kristalimsi, camsı veya polimerik bir tabaka oluşması sağlanır. S/S teknolojileri ile, anyon formunda bulunan metaller (Cr(VI), arsenik) ve de yüksek çözünürlüğe sahip hidroksit bileşikler olmayan metaller (Hg) ile kirlenmiş toprakların arıtılması için uygun değildir. Bu yöntemler yaygın olarak Cr, Pb, Zn, Cd için kullanılır (Evanko ve Dzombak, 1997).

Krebs ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği bir çalışmada, Zn ve Cu ile kirlenmiş toprakta in situ S/S teknolojisi uygulanmıştır. Kullanılan bağlayıcı Mg-montmorillonite ve çakıl üreten bir tesisten atık olarak çıkan çakıl çamurudur. Farklı konsantrasyonlarda

eklenen bağlayıcı maddelerden çakıl çamurunun, toprakta çözünebilir Zn konsantrasyonunu önemli ölçüde azalttığı kaydedilmiştir (Krebs ve diğerleri, 1995)

2.2.2. Vitrifikasyon

Kirletilmiş bölgeye yüksek sıcaklıkta (termal) bir arıtım uygulanması ile metallerin mobilitesinin azaltılmasıdır. İşlem sonucunda kirleticiler, oksitlenmiş katı olan camsı bir maddeye dönüşür. Bu uygulamayla organik kirleticiler tamamen yok edilmekte, inorganik maddeler ise düşük sızma özelliği gösteren camsı materyal içinde tutulmaktadır. Yüksek ısıya dayalı proses boyunca gaz fazına geçen kirleticiler ise filtrelerde tutulmak suretiyle toplanmaktadır (Kocaer ve Başkaya, 2003). Ex-situ vitrifikasyon prosesinde uygulanan adımlar ekskavasyon, ön arıtma, karıştırma, besleme, eritme ve vitrifikasyon, gaz toplanması ve erimiş ürünün atılmasıdır. In situ proseslerde ise büyük elektrotlar toprağa dikey yerleştirilmekte, elektrik akımıyla birlikte toprak yakılıp eritilmektedir (Evanko ve Dzombak, 1997). Vitrifikasyon prosesleri maliyetleri yüksek proseslerdir.

2.3. Fiziksel Ayırma Yöntemleri

Fiziksel ayırma ex-situ bir proses olup, kirleticinin ve toprağın özelliklerine bağlı olarak kirletilmiş bölgenin kirlenmemiş toprak matrisinden ayrılması esasına dayanır. Meaknik ayırma işlemleri parçacık boyutu, yoğunluğu, ve kirli toprağın yüzey özelliklerine bağlıdır. Fiziksel ayırma yöntemleri, çoğunlukla ön arıtma prosesleri olarak kullanılır (Evanko ve Dzombak, 1997). Ayırma işlemi, eleme, santrifüj gücüne bağlı hidrosiklonlar, gravimetrik çöktürmeye dayalı akışkan yatak ayırıcılar, kirli partiküllerin farklı yüzey özelliklerine dayanan flotasyon ayırıcılar ve metallerin manyetik özelliklerine dayanan manyetik ayırıcılar ile gerçekleşmektedir (Kocaer ve Başkaya, 2003).

2.4. Ekstraksiyon Yöntemleri

In situ veya ex situ olmak üzere, kirletilmiş fraksiyonun geri kalan toprak matrisinden ekstrakte edilmesi prensibine dayanan yöntemlerdir. Kirliliğin topraktan sökülmesi, ekstrakte edici maddelerin kirli toprağa uygulanmasıyla veya elektrokinetik prosesler ile sağlanır. Temel ekstraksiyon yöntemleri aşağıda belirtilmiştir;

2.4.1 Toprak yıkama (Soil washing)

Küçük boyutlu toprak tanecikleri, yüzey alanlarının genişliği sebebiyle kirliliğin büyük kısmını tutarlar. Toprak yıkama teknolojilerinde küçük boyutlu tanecikler büyük boyutlu partiküllerden ayrılır ve sızdırmaya yardımcı bir madde ilavesiyle kirlilik topraktan uzaklaştırılır. Toprak yıkama toprağın ekskavasyonunu takiben gerçekleştirilen bir dışarıda arıtım seçeneğidir. Bu proseslerde işlemler sırasıyla;

Ön eleme: Büyük kaya parçacıklarının ve çöküntülerin kirli matristen uzaklaşması sağlanır

İkincil eleme: Farklı boyutlara sahip partiküller (5mm-60 mm)birbirinden ayrılır ve bu partiküller su bazlı akışkan bir sistemde elenirler. Bu parçacıklar, daha küçük boyutlu partiküllerden daha temiz olduğundan kazılmış alana geri bırakılır.

Fiziksel arıtma: Çok ince partikülleri büyüklerinden ayıran işlemdir. Genellikle kimyasal arıtma ile birleştirilerek kullanılan bu işlemde döner fırçalar kullanılır ve küçük kirli partiküllerin akışkana geçerek kaba parçalardan ayrılması sağlanır (Evanko ve Dzombak, 1997).

Kimyasal Arıtma: Geriye kalan çok ince parçacıklar, su bazlı akışkan bir ortamda çözücü bir maddeyle muamele edilir. Kullanılan ekstrakte edici madde mevcut kirleticilere ve de toprak matrisinin özelliklerine bağlıdır. Pek çok proses

ortamın asit-baz kimyası dikkate alınarak seçilmektedir. EDTA(etilen daimin tetra asetik asit) gibi şelatlandırıcı maddeler, bazı metalleri bağlayarak topraktan ayırır. Oksitleyici ve indirgen maddeler de (hidrojen peroksit, sodyum borohidrat gibi) metalleri çözünmüş formlarına geçirerek katı matristen uzaklaştırır. Sürfaktanlar da, toprak yıkama işlemlerinde kullanılan kimyasallar arasındadır (Evanko ve Dzombak, 1997). Bradbury ve Strevens, geliştirdikleri ACT*DE*CON prosesinde oksidan ve şelatlandırıcı içeren CO_3^{2-} kullanmışlardır. Uygulanan toprak yıkama işleminde önemli oranda kirletici sızdırılmış, suya geçen metaller daha sonra MAG*SEP prosesiyle tekrar arıtılmıştır (Bradbury ve Strevens, 1995).

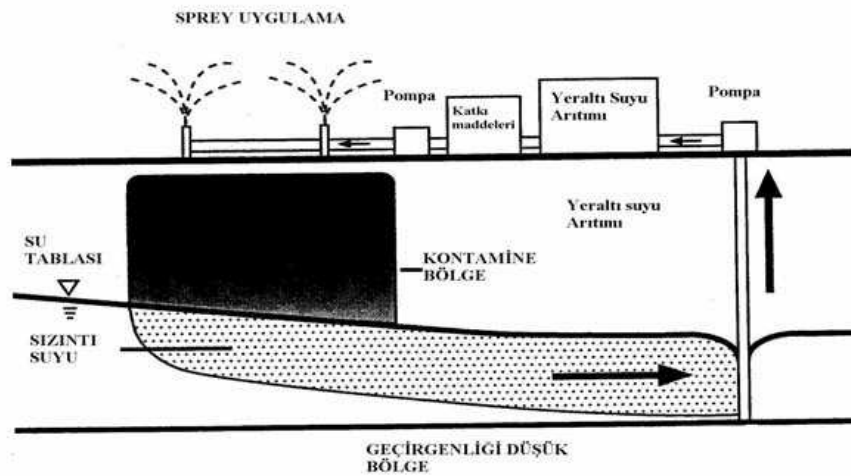
Susuzlaştırma: Arıtmadan sonra kirlenmiş sıvıyı toprak matrisinden ayırmak amacıyla kullanılır. Belt filtreler, filtrepresler veya arazide depolama

işlemleri susuzlaştırma yöntemlerindedir.

Atıksu arıtımı: Kirli sıvıyı topraktan ayırdıktan sonra kimyasal süreçler kullanılarak atıksu arıtılır.

2.4.2 Toprağı yerinde temizleme (In situ sol flushing)

Kirlenen toprak için yerinde yapılan bir arıtma olup, katkı maddesi içeren basınçlı su toprağa püskürtülür. Katkı maddeleri genelde kirleticinin çözünürlüğünü arttıran sürfaktanlar, deterjan özelliğinde maddeler veya solventlerdir. Çözünen kirleticiler sızarak yer altı suyuna ulaşır, Yer altı suyu daha sonra belli aralıklarla pompalarla yüzeye çekilip arıtılır (Şekil 1). Bu prosesin verimliliği toprağın türü, nem oranı gibi hidrojeolojik özelliklere bağlıdır. Kil gibi düşük geçirimliliğe sahip topraklarda bu yöntemden verim alınamaz (CPEO, 2002).



Şekil 1. Yerinde toprağı temizleme yöntemi (Kocaer ve Başkaya, 2003)

2.4.3 Pirometalurjik ekstraksiyon

Bu teknolojilerde metallerin kirli topraktan ekstraksiyonu, kirlenmiş toprağın yüksek sıcaklıktaki fırınlara alınarak metallerin katı matristen uçurulması suretiyle gerçekleştirilir. Kirleticilerin buharlaşması için 200-700°C sıcaklık uygulanır. Bu teknoloji, yüksek oranda ağır metal kirliliğine sahip (%5-20) büyük hacimli topraklara uygulanır ve metallerin geri

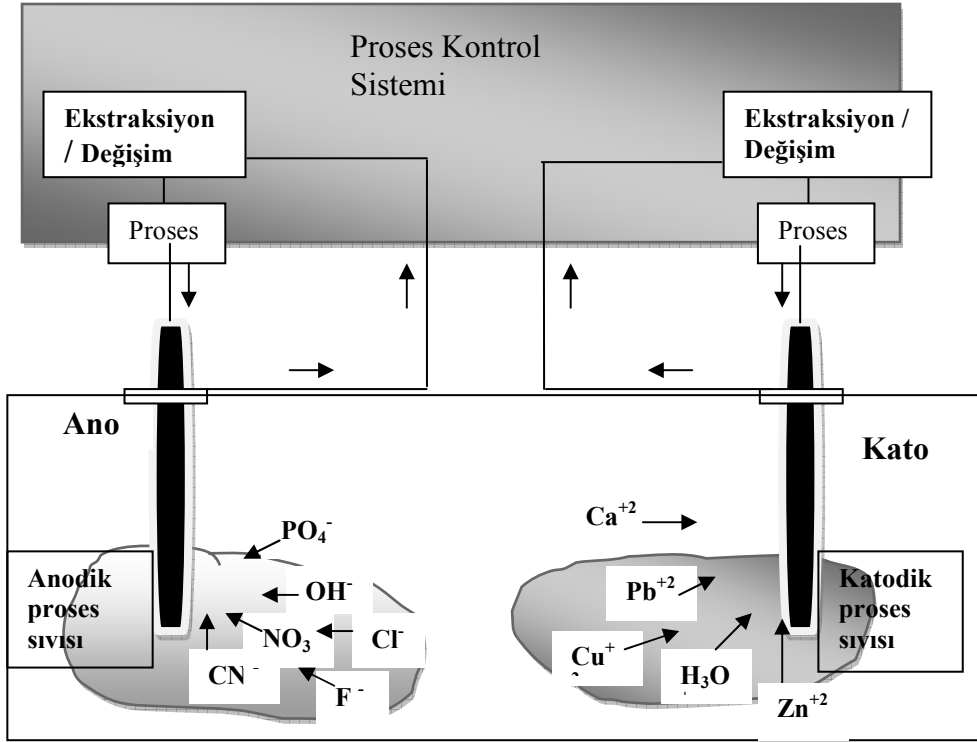
kazanımı hedeflenir (Evanko ve Dzombak, 1997)

2.4.4. Elektrokinetik yöntemler

Elektrokinetik ekstraksiyon, kirli toprağa düşük voltajlı doğru akım uygulanması esasına dayanır. Elektrokinetik arıtma prosesi bir pil prensibine benzer. Kirlenmiş bölgeye elektrotlar (anod ve katod) yerleştirilir ve yüklenir. Topraktaki

ağır metaller, yüklü iyonlar olarak elektrotlara doğru hareket ederler. İyonların hareketinin sağlanması için iletken bir sıvı kullanılması gerekmektedir ve kirleticiler bu sıvıda yoğunlaşarak elektrotların etrafında toplanırlar. Kirleticiler, daha sonra elektroda, elektrokaplama veya çökeltim prosesi

uygulanmasıyla, iyon değiştirici reçinelerle veya elektrod yakınındaki sıvının yüzeye pompalanması suretiyle uzaklaştırılır (Smith ve diğerleri, 1995). Bu yöntem hem in-situ hem de ex-situ kullanılmaktadır. Tipik bir elektrokinetik sistem şekil 2 ile gösterilmiştir.



Şekil 2. Toprakta elektrokinetik arıtım sistemi (Acar ve Alshawabkeh, 1993)

2.5 Toksikite/Mobilite Azaltan Yöntemler

2.5.1. Kimyasal arıtma

Toprakta ağır metallerin toksisitesini azalmak için kimyasal oksidasyon, indirgenme ve nötralizasyon reaksiyonları uygulanır. Kimyasal oksidasyon, metal atomunun elektron kaybederek oksidasyon derecesini değiştirir. Potasyum permanganat, hidrojen peroksit, hipoklorit ve klor gazı kullanılan başlıca oksidanlardır. İndirgenme reaksiyonlarında ise metaller elektron alırlar. Alkali metaller (Na, K), sülfür dioksit, sülfür tuzları ve demir sülfat

kullanılan indirgen maddelerdir. Her iki işlem de metallerin toksisitesini azaltır, çökmesini veya çözünmesini sağlar. Kimyasal nötralizasyon ise aşırı asidik veya bazik toprakların pH dengesini sağlar. Nötralizasyon prosedürüyle çözünmeyen metal tuzlarının yer altı suyunda çökmesi sağlanır (Evanko ve Dzombak, 1997).

Kimyasal arıtma genellikle S/S teknolojilerinden önce uygulanan bir ön arıtım seçeneğidir. Metallerden en çok, Cr(VI) dan, Cr(III) formuna indirgenmesi işlemi için kullanılır. Kimyasal oksidasyon işlemiyle arsenik toksik As(III) ten, daha az toksik ve çözünür As(VI) formuna

dönüştürülür (Evanko ve Dzombak, 1997).

2.5.2. Fitoremediasyon

Fitoremediasyon, çeşitli bitkiler kullanarak topraktaki kirleticilerin transfer, stabilizasyon ve giderimi prensibine dayanır (CPEO, 2002). Doğada bulunan *Thlaspi*, *Urtica*, *Chenopodium*, *Polygonum sachalase* ve *Allyssim* gibi bazı bitki türlerinin bünyelerinde normalden çok daha fazla ağır metal biriktirdiği bilinmektedir (hiperakümülatör). Fitoremediasyon teknolojilerinden *fitoekstraksiyon*, bitkinin kök ve filizlerinde yüksel oranda metalin tutulmasıyla olur. *Fitostabilizasyon* bitkileri ise metallerin topraktaki mobilitesini sınırlayan bitkilerdir, bünyelerinde çok yüksek miktarda metal tutmazlar. *Rizofiltrasyon* bitkileri ise kirlenmiş yer altı suyu kaynaklarında birikmiş kirleticileri köklerine almak suretiyle giderirler (Evanko ve Dzombak, 1997). Fitoremediasyon teknolojileri ile Cd, Cu, Pb, Ni ve Zn bitki bünyelerine alınır.

Duncan ve arkadaşları, ağır metallerle kirlenmiş topraklarda farklı türde 3 bitki büyütür (*Betula pendula*- huş ağacı, *Salix caprea* L- söğüt ağacı, *Acer pseudoplatanus*- çınar), Zn elemetinin normalden çok daha yüksek oranda bitki bünyesinde tutunduğunu kanıtlamışlardır (Duncan ve diğerleri, 1995). Raskin ve arkadaşları ise kavak ve çam türlerinde, yapraklarda yüksek oranda Zn, Cu, Ni, Cd, Pb ve Cr ölçmüşlerdir (Baskin ve diğerleri, 1994)

Fitoremediasyon yönteminin uygulanmasının ardından yüksek metal içeriğine bağlı bitkiler kurutma, yakma, piroliz, asit ekstraksiyonları, anaerobik çürütme gibi yöntemlerle

uzaklaştırılmalıdır (Kocaer ve Başkaya, 2003).

2.5.3. Biyolojik sızma (Bioleaching)

Biyolojik sızma, kemolitotrofik bakteriler olan *Thiobacillus* (*T. thiooxidans*, *T. ferrooxidans*, *T. thioparus* gibi) türleri kullanılarak gerçekleştirilir. 15-55 °C arasında, asidik şartlarda büyüyen bu bakteri türleri, metal sülfidlerden sülfürik asit oluşumunun sağlar ve metalleri toprak veya sediment ortamından ya direkt olarak ekstrakte eder ya da enzimatik oksidasyon basamaklarıyla metal sülfidlerin çözünmesini sağlar (Seidel ve diğerleri, 1995). Hem in-situ hem de ex-situ olarak uygulanabilecek bu yöntemle yapılan pek çok bilimsel çalışma mevcuttur. Toprak, sediment, arıtma çamuru gibi katı matrislerde uygulanan bu yöntemle, Cr, Cu, Zn, Pb, Ni gibi metaller önemli oranda (%60-90) arıtılmıştır (Chen ve Lin, 2000; Seidel ve diğerleri, 1995; Gomez ve Bosecker, 1999). Biyolojik sızma ile toprakların arıtılması süreci 20-50 gün arasında değişmektedir.

3. DEĞERLENDİRME

Ağır metallerle kirlenmiş topraklar için ıslah yöntemleri birbirlerine oranla farklılıklar taşımaktadırlar. Toprağın bölgede temizlenmesi çoğu zaman daha ekonomik olduğunda in situ yöntemler tercih edilebilmekte, ancak arıtma veriminin yüksek olması sebebiyle bazı bölgelerde toprağın ekskavasyon ile bölge dışında temizlenmesi daha uygun görülmektedir. Ağır metallerle kirlenmiş topraklar için arıtım yöntemleri Tablo 2 ile kıyaslanmıştır.

Çizelge 2. Ağır Metallerle Kirlenmiş Topraklar için Arıtım Teknolojilerinin Kıyaslanması (Evanko ve Dzombak, 1997)

Arıtım Yöntemi	Aritılan metaller	Maliyet	Uzun sür. kullanıma uygunluğu	Yüksek kons. metallere uyg.	Toksinite azalması etkisi	Immob. etkisi	Hacim Azalması
Kapaklama	Pb,Cr, As	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek	yok
Yüzey altı bariyerleri	Pb,Cr, As, Cd	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek	yok
S/S ex-situ	Pb,Cr, As, Cd	Orta	Orta	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yok
S/S in situ	Pb, Cr, Zn, Cu	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Yüksek	yok
Vitrifikasyon ex-situ	Pb,Cr, As, Cd	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yok
Vitrifikasyon in situ	Pb,Cr, As, Hg	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	yok
Biyolojik Arıtma	Pb,Cr, As, Zn, Cd	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek	yok
Fiziksel Ayırma	Pb,Cr, As, Zn, Cd, Cu	Orta	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	var
Toprak Yıkama	Pb,Cr, As, Zn, Cd, Cu	Orta	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	var
Pirometalurjik Ekstraksiyon	Pb,Cr, As, Zn, Cd, Cu	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Var
Yerinde toprak temizleme	Pb, Cr, Hg	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Var
Elektrokinetik Arıtma	Pb,Cr, As, Zn, Cd, Cu	Orta	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Var

Toprak ıslahı için tercih edilecek teknolojiye karar vermeden önce kirli bölgenin hidrojeolojik özellikleri ve toprağın kirlilik potansiyeli iyi değerlendirilmelidir. Kirli topraklar için arıtım yöntemi planlanırken, sistemin maliyet analizi karar vericiler için en önemli unsurlardandır. İzolasyon yöntemleri ve yerinde solidifikasyon/stabilizasyon teknolojileri düşük maliyetli yöntemler olup, ağır metallerin yaratmış kirliliği gidermemekte, kirleticinin bulunduğu bölgede hapsolmasını sağlayıp daha geniş bölgeye yayılmasını engellemektedir. Vitrifikasyon yöntemleri yüksek maliyetli teknolojilerdir. Son yıllarda üstünde en çok çalışılan toprak temizleme teknolojileri elektrokinetik ve biyolojik

yöntemlerdir. Biyolojik yöntemler yüksek maliyetli sistemler olmayıp, sonuç almak için uzun zaman gerektirmektedirler. Fitoremediasyon teknolojileri çok uzun zamanda sonuç vermektedir. Ayrıca bitkilerde biriken yüksek oranda kirleticiler için giderim çalışmaları önem taşımaktadır. Biyolojik sızma yöntemleri ile yüksek oranda ağır metal giderimi sağlanmaktadır. Ancak burada da kirliliğin yer değiştirmesi, topraktan ayrılıp sızıya geçmesi söz konusudur. Biyolojik sızma işlemi takiben kirlenmiş sıvı için yeni arıtım çalışmaları devam etmelidir (elektrokinetik prosesler, kimyasal arıtma gibi).

Ülkemizde ağır metallerle kirlenmiş topraklar için henüz yeterince önlem

alınmamaktadır. 10.12.2001 tarihinde yürürlüğe giren Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde toprakta ağır metaller için sınır değerler verilmiştir. Yönetmelik, herhangi bir faaliyet sonucu toprakta ağır metal kirliliğine sebep olan faaliyet sahibini, bu alanın arıtımını sağlamak konusunda sorumlu tutmakta, ancak herhangi bir yöntem işaret etmemektedir. Toprak kirliliğinin mevcut durumunun izlenmesi ise, bölge sınırlarının dahil olduğu ilin Valilikleri sorumluluğunda olmasına rağmen, toprak kirliliğinin takibine yönelik düzenli kontrol ve denetimler gerçekleştirilmemektedir. Tarımsal toprakların ve yer altı suyu kaynaklarının zengin olduğu ülkemizde toprak kirliliğini önleyici yeni yaptırımların yürürlüğe girmesi büyük önem taşımaktadır.

4. KAYNAKLAR

Acar, Y.B., Alshawabkeh, A.N., "Principles of Electrokinetic Remediation", *Environmental Science and Technology*, Vol 27, 2638-2647, 1993

Allen, J., Torres, I.G., "Physical Separation Techniques for Contaminated Sediment" in *Recent Developments in Separation Science*, N.N. Li, Ed., CRC Press, West Palm Beach, FL, Vol 5, 1991

Alloway B.J., *Heavy Metals in Soils*, Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, UK, 1995

Bradbury, D., Scrivens, S., "Remediation of radioactive and heavy metal contaminated soils and groundwater using the ACT*DE*CON and MAG*SEP processes", Proceedings of the Fifth International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil, the Netherlands, 1995

Chen, S.Y., Lin J.G., "Influence of solid content on bioleaching of heavy metals from contaminated sediment by

Thiobacillus spp", *J Chem Technol Biotechnol* 75:649-656, 2000

CPEO, www.cpeo.org/techtree/ttdescript, Center for Public Environmental Oversight, 2002

Duncan, H.J., McGregor S.D., Pulford I.D., Wheeler C.T., "The Phytoremediation of heavy metal contamination using coppice woodland" Proceedings of the Fifth International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil, the Netherlands, 1995

Dzombak, D.A. , Morel F.M.M., *Surface Complexation Modeling: Hydrous Ferric Oxide*, John Wiley & Sons, New York, 1990

Evanko C.R., Dzombak D.A., *Remediation of Metals-Contaminated Soils and Groundwater*, TE-97-01, Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center, Pittsburgh, PA, 1997

Gerber, M.A., Freeman, H.D., Baker, E.G. and Riemath, W.F., *Soil Washing: A Preliminary Assessment of Its Applicability to Hanford*, Prepared for U.S. Department of Energy by Battelle Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington. Report No. PNL-7787; UC 902., 1991

Gomez C., Bozecker K., "Leaching heavy metals from contaminated soil by using *Thiobacillus ferrooxidans* or *Thiobacillus thiooxidans*", *Geomicrobiology Journal*, 16:233-244, 1999

Kocaer, F.O., Başkaya, H.S., "Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprakların temizlenmesinde uygulanan teknolojiler", Uludağ üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 8 Sayı 1, 2003

Krebs, R., Vollmer M.K., Gupta S.K. ,“Are immobilization techniques adequate to remediate heavy metal contaminated soils?”, Proceedings of the Fifth International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil, the Netherlands, 1995

Pierce, M.L. and Moore, C.B. ,“Adsorption of Arsenite and Arsenate on Amorphous Iron Hydroxide,” *Water Res.*, 16:1247-1253,1992

Raskin I., Kumar, P., Dushenkov S., Salt D.E., “Bioconcentration of heavy metals by plants,” *Environmental biotechnology* 5, 285-290, 1994

Rumer, R.R. and Ryan, M.E., *Barrier Containment Technologies for Environmental Remediation Applications*, John Wiley & Sons, New York, 1995

Seidel H., Ondruchka J., Stottmeister U., “Heavy metal removal from contaminated sediments by bacterial leaching: a case study on the field scale”, *Contaminated Soil*⁹⁵, 1039-1048, 1995

Smith, L.A., Means, J.L., Chen, A., Alleman, B., Chapman, C.C., Tixier, J.S., Jr., Brauning, S.E., Gavaskar, A.R., and Royer, M.D. ,*Remedial Options for Metals-Contaminated Sites*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL., 1995

YAZIM KURALLARI

GENEL KURALLAR

1. Dil

Dergi üç ayda bir Türkçe olarak yayınlanır. Makalenin başında makalenin Türkçe-İngilizce özeti ve anahtar kelimeleri verilecektir.

2. Yazıların Sunulması

Yazıların aslı ile üç fotokopisi (ve mümkünse WP, WS ve ACSII kodunda yazılan bilgisayar disketi veya CD'si) Dergi'nin Editörlerinin adresine gönderilmelidir. Ayrıca yazışmaların yapılabilmesi için ayrı bir sayfaya yazının başlığı, yazı ile birlikte yazarın/yazarların ad ve soyadı, açık adresi, telefon-faks numaraları ve elektronik posta adresi yazılarak gönderilmelidir.

3. Yazıların Değerlendirilmesi

Yazıların yayın kurulu tarafından ön değerlendirmesi yapılacak, derginin amaç, kapsam ve yazım kurallarına uygun olmayanlar yazarlarına geri gönderilecek, uygun olanlar yazının konusu ile ilgili uzmanlara değerlendirilmek üzere iletilecek ve bu değerlendirme sonucu basılacaktır.

4. Yazının Başka Yerlerde Yayınlanması

Yazılar Derginin Editörlerinin yazılı izni olmadan başka yerde yayınlanamaz, kongre, konferans, sempozyumlarda bildiri olarak sunulamaz.

5. Yayın Hakkı

Yazıların her türlü yayın hakkı Dergiye, patent hakkı ve sorumluluğu yazarlara aittir. Ayrıca Dergide yayınlanan yazılar, kısmen veya tamamen yazılar kaynak gösterilmeden hiç bir yerde kullanılamaz.

6. Telif Ücreti

Yayınlanan yazılara bir ücret ödenmeyeceği gibi yazının yayınlanması için de herhangi bir ücret talep edilemez. Basılmış yazının beş kopyası yazının ilk yazarına ücretsiz olarak gönderilir. İlave kopyalar için ücret alınır.

7. Yazıların Geri Gönderilmesi

Değerlendirme sonucu yayınlanması uygun görülmeyen yazılar yazarlarına geri gönderilir. Yayınlanan yazıların asılları istenirse yayın tarihinden itibaren en çok bir ay içinde yazarlara geri gönderilebilir.

SAYFA DÜZENİ

1. Yazılar, A4 normunda yazı sayfasına üstten ve alttan 2,5 cm, soldan ve sağdan 2 cm bırakılarak çift aralıkla daktilo edilmeli, şekil ve tablolar ayrıca verileceğinden yazı içinde bunların yerleştirileceği yeterli boşluk bırakılmalıdır.
2. İlk sayfada başlık üstten 5 cm, büyük harflerle koyu olarak yazılmalı, yazı başlığı 70 harfi geçmemeli, 14 punto büyüklüğünde olmalı ve gereksiz uzatmalardan kaçınılmalıdır.
3. Yazarların ismi, soyadı (koyu olarak) ve açık adresleri başlıktan sonra 2 aralık bırakılarak ortalanarak yazılmalıdır. Eğer yazarlar farklı kurum/kuruluşlarda görev yapıyorlarsa sayılarla her yazarın görev aldığı adres, telefon-faks numaraları ve elektronik posta adresleri (italik olarak) belirtilmelidir.

MAKALE DÜZENİ

Makalede tüm yazılar "Arial" yazı karakteriyle yazılmalıdır.

1. **ÖZET** (italik, 10 punto, metin hemen özet başlığının yanından başlamalı)

Yazarların isim ve adreslerinin bittiği satırdan sonra 2 aralık bırakılarak sol baştan başlanarak yazılır. Özet; yazının konusunu, yapılan çalışmaların amacını, kullanılan yöntemleri elde edilen sonuçları ve değerlendirmeyi içeren 150 kelimelik bir bölümdür.

2. **Anahtar Kelimeler** (italik, 10 punto)

Konu sınıflandırmasının yapılabilmesi için en çok 10 kelimedenden oluşan anahtar kelimeler verilir. Anahtar kelimelerde ilk harf büyük, diğerleri ise küçük harfle başlamalıdır.

3. **İngilizce Başlık** (italik, koyu, büyük harf, 12 punto ortalanacak, öncesinde iki sonrasında bir boşluk bırakılacak)

4. **ABSTRACT** (italik, 10 punto, metin hemen abstract başlığının yanından başlamalı)

Makalenin İngilizce özeti genelde Türkçe özetin tercümesinden oluşmaktadır.

5. **Key Words** (italik, 10 punto)

Türkçe yazılmış anahtar kelimelerin İngilizcesi verilecektir. Anahtar kelimelerde olduğu gibi "keywords"lerde de ilk harf büyük, diğerleri ise küçük harfle başlamalıdır.

6. **GİRİŞ** (büyük harf, 12 punto)

Yazıyı doğrudan ilgilendiren ve uzun tarihçeler ve tekrarlar içermeyen bir "giriş" bölümü olmalıdır.

7. **Yazının Türü**

Yazılar aşağıdaki üç türden birinde yazılabilir

- a) Özgün araştırmalar ile ilgili yazılar
- b) Uygulama örneklerini bilimsel bir yaklaşımla aktaran yazılar
- c) Derleme şeklindeki yazılar

8. Sayfa Sayısı

Derleme şeklindeki yazılar dışındaki türlerde yazılar, tüm şekil ve tablolar dahil 5000 kelime (15-17 sayfa) eş değerinde olmalıdır.

9. Bölüm Başlıklarının Düzenlenmesi

Makale içindeki ana başlıklar numaralandırılmalı ve büyük harflerle yazılmalıdır. Birinci alt başlıklar da ana başlığı takip edecek şekilde numaralandırılmalı ve ilk harfleri büyük harf olacak şekilde yazılmalıdır.

Örnek: **3. METODOLOJİ** (koyu, 12 punto, büyük harf)
 3.1. Deney Düzeni (koyu, 12 punto, kelimelerin ilk harfleri büyük)
 3.1.1. Kullanılan malzemeler (koyu, 12 punto, sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük)
 3.1.1.1. Organik atıklar (koyu, italik, 12 punto, sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük)

Ana başlıklardan önce 2 sonra ise bir boşluk bırakılmalıdır. Ara başlıklardan önce ve sonra birer boşluk bırakılmalıdır.

10. Şekiller

Yazıya konacak şekiller, fotoğraflar, grafikler, çizimler, fotoğraflar ve tablolar metin içinde verilmeli ayrıca ayrı ayrı sayfalar halinde şekil, fotoğraf, grafik, çizim, fotoğraf ve tablo numaraları ve adları yazılarak yazı ekinde verilmelidir. Şekil numaraları koyu yazılmalıdır. Şekil isimleri ise ilk harfi büyük geri kalanı küçük harf olmalı ve normal yazılmalıdır (koyu değil). Şekil ile şekil başlığı arasında 1 boşluk bırakılmalı ve şekil başlığı soldan hizalanmalıdır. Şekillerin içinde yazı ile açıklama yapılacaksa uygun büyüklükte font seçilmelidir. Şekil içlerinde en küçük yazı karakteri olarak 8 punto seçilmesi tercih edilmektedir.

11. Çizimler

Çizimler özgün olmalıdır. Boyutları ya yazıya tek sütuna doğrudan yerleştirilecek veya % 30 küçültmeye uygun boyutta olmalıdır. Çizimler üzerinde yer alan yazı, sayı ve semboller daktilo, letraset veya uygun karakterli şablon ile yazılmalıdır. Yazıya konacak çizimler metin içinde verilmeli ayrıca ayrı ayrı sayfalar halinde çizim numaraları ve adları yazılarak yazı ekinde verilmelidir.

12. Grafikler

Teknik resim kurallarına uygun olarak ve mümkün olduğunca küçük çizilmelidir. Yazıya konacak grafikler metin içinde verilmeli ayrıca ayrı ayrı sayfalar halinde grafik numaraları ve adları yazılarak yazı ekinde verilmelidir.

13. Fotoğraflar

Fotoğraflar parlak kağıda basılmış, küçüldüğü zaman resim özelliği bozulmayacak boyut ve kalitede olmalıdır. Fotoğrafların arkasına hafifçe yazının başlığı ve şekil numarası yazılmalıdır. Yazıya konacak fotoğraflar metin içinde verilmeli ayrıca ayrı ayrı sayfalar halinde fotoğraf numaraları ve adları yazılarak yazı ekinde verilmelidir.

14. Tablolar

Tablolar üstte tablo numarası ve adı, bir aralıktan sonra tablonun kendisi gelecek şekilde yazılmalı, tablonun yatay ve dikey çizgileri çizilmeli ve yazıya eklenmelidir. Tablo başlıklarında ilk harf büyük olmalı, diğer kelimeler küçük harfle yazılmalıdır. Tablo başlıkları sola dayalı olacak şekilde yazılmalı, iki satır olması durumunda bir üstteki ilk kelimenin altından hizalanmalıdır. Tabloların tüm hücreleri çerçevelenmeli ve format kaymalarına dikkat edilmelidir. Yazıya tablolar metin içinde verilmeli ayrıca ayrı ayrı sayfalar halinde tablo numaraları ve adları yazılarak yazı ekinde verilmelidir. Tabloların ilk satır ve sütunları koyu olmalıdır (parametrelerin verildiği bölümler).

15. Dipnot

Yazılarda dipnot kullanılmamalıdır.

16. Kaynaklar

Yazı içinde kaynaklar "... Hopkins (1990)..." veya (Hopkins, 1990; Ferguson, 1991) şeklinde cümlelerin sonunda, yazar soyadı ve yayın yılı belirtilerek verilmelidir. Yazının sonunda bir "Kaynaklar" bölümü bulunmalı ve yazar soyadına göre alfabetik sıralama yapılmalıdır. Kaynaklar aşağıdaki şekilde yazılmalıdır.

Kitaplar

Eckenfelder, W.W. Jr., *Industrial Water Pollution Control*, Mc Graw Hill, New York, 1966.

Kitaptan Bir Bölüm

Goldsmith, B.M., "Non-nitrogenous Carcinogenic Industrial Chemicals" in *Carcinogens in Industry and the Environment* (J.M. Sontag, ed.), Marcel Dekker Inc., New York, p.p. 283-290, 1990.

Rapor

UNEP, *Environmental Data Report*, Blackwell Scientific, Oxford, 1987.

Tez

Sims, R.C., *Land Treatment of Polynuclear Aromatic Compounds*, Ph. D. Dissertation, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, 1998.

Makaleler

Kocasoy, G., "A Method for the Prediction of the Extent of Microbial Pollution of Sea Water and the Carrying Capacity of Beaches", *Environmental Management*, Vol. 13, No. 4, pp.69-73, 1989.

KATI ATIK ve ÇEVRE dergisini ilgilenen her kişi ve kuruluşa ulaştırmak, ancak yüksek baskı giderleri nedeniyle sadece ilgilenenlere göndermek arzusundayız. Bu amacı sağlamak üzere, derginin kendilerine yollanmasını isteyen kişi ve kuruluşlara bu formu doldurarak bize göndermelerini rica ederiz.

Katı Atık Türk Milli Komitesi

Katı Atık Türk Milli Komitesine,

KATI ATIK ve ÇEVRE dergisinin tarafıma gönderilmesini arzu etmekteyim.

Tarih: / /

İsim, Soyadı :

Kuruluş :

Adres :

Telefon :

Fax :

E-mail :

İmza

KATI ATIK ve ÇEVRE dergisini ilgilenen her kişi ve kuruluşa ulaştırmak, ancak yüksek baskı giderleri nedeniyle sadece ilgilenenlere göndermek arzusundayız. Bu amacı sağlamak üzere, derginin kendilerine yollanmasını isteyen kişi ve kuruluşlara bu formu doldurarak bize göndermelerini rica ederiz.

Katı Atık Türk Milli Komitesi

Katı Atık Türk Milli Komitesine,

KATI ATIK ve ÇEVRE dergisinin tarafıma gönderilmesini arzu etmekteyim.

Tarih: / /

İsim, Soyadı :

Kuruluş :

Adres :

Telefon :

Fax :

E-mail :

İmza

KATI ATIK KİRLENMESİ ARAŞTIRMA VE DENETİMİ
TÜRK MİLLİ KOMİTESİ
BOĞAZIÇI ÜNİVERSİTESİ

80815 BEBEK - İSTANBUL

KATI ATIK KİRLENMESİ ARAŞTIRMA VE DENETİMİ
TÜRK MİLLİ KOMİTESİ
BOĞAZIÇI ÜNİVERSİTESİ

80815 BEBEK - İSTANBUL