

**ESKİŞEHİR KATI ATIK DEPOLAMA SAHASINDAN
ALINAN TOPRAK VE BİTKİ ÖRNEKLERİNDEKİ
KİRLETİCİ BİLEŞENLERİN BELİRLENMESİ**

Çiğdem VARDAR CİĞERCİ

**Yüksek Lisans Tezi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Şubat-2004**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Çiğdem Vardar Ciğerci' nin **Eskişehir Katı Atık Depolama Sahasından Alınan Toprak ve Bitki Örneklerindeki Kirlenici Bileşenlerin Belirlenmesi** başlıklı **Çevre Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi **18.02.2004.** tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Yard.Doç.Dr. Müfide BANAR

Üye : Yard.Doç.Dr. Hakan KOYUNCU

Üye : Yard.DoçDr. Mine KÜRKÇÜOĞLU

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20.02.2004.tarih ve ...7/3.....sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Altuğ İFTAR
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

ÖNSÖZ

“Eskişehir Katı Atık Depolama Sahasından Alınan Toprak ve Bitki Örneklerindeki Kirletici Bileşenlerin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Teknolojileri Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarım sırasında bilgisi, anlayışı ve desteği ile daima yanımda olan ve bu çalışmanın oluşmasında en büyük paya sahip değerli danışman hocam Sn. Yard.Doç.Dr. Müfide BANAR’a,

Deneysel çalışmalarımda bilgi ve deneyimleriyle yaptıkları katkılardan dolayı değerli hocalarım Sn. Prof.Dr. Kemal Hüsnü Can BAŞER, Sn. Yard.Doç.Dr. Mine KÜRKCÜOĞLU, Sn. Yard.Doç.Dr. Temel ÖZEK, Sn. Yard.Doç.Dr. Hakan KOYUNCU ve hocam Sn. Yard.Doç.Dr. Arzu ÇİÇEK’e,

Bitki, İlaç ve Bilimsel Araştırmalar Merkezi’ nin imkanlarından yararlanmamı sağlayan değerli hocam Sn. Prof.Dr. Mustafa ŞENYEL’e,

Deneysel çalışmalarımdaki yardımlarından dolayı Toprak Tahlil Laboratuvarı çalışanlarından Kimya Teknisyeni Salim TÜRKEK’e,

Çalışmalarım sırasında her konuda manevi desteği ile yanımda olan ve deneysel çalışmalarımdaki katkısından dolayı Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi elemanlarından Araş.Gör. Semra MALKOÇ’a ve yardımlarından dolayı arkadaşlarım Araş.Gör. Aysun ÖZKAN ve Araş.Gör. Zerrin ÇOKAYGİL’e ,

Yaşantım boyunca maddi manevi daima yanımda olup beni bugünlere getiren aileme ve her zaman hoşgörüsüyle yanımda olup, benden ilgi ve desteğini esirgemeyen eşim Fatih Mehmet CİĞERCİ’ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çiğdem VARDAR CİĞERCİ

Şubat 2004

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ESKİŞEHİR KATI ATIK DEPOLAMA SAHASINDAN ALINAN TOPRAK VE BİTKİ ÖRNEKLERİNDEKİ KİRLETİCİ BİLEŞENLERİN BELİRLENMESİ

ÇİĞDEM VARDAR CİĞERCİ

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yard.Doç.Dr. Müfide BANAR
2004, 146 Sayfa

Bu çalışmada, Eskişehir katı atık depolama sahasından alınan toprak ve bitki örneklerindeki kirletici bileşenlerin saptanması amacıyla hem standart fiziksel ve kimyasal yaş analiz teknikleri, hem de ileri analiz teknikler uygulanmıştır. Toplam 6 ay boyunca yapılan fiziksel ve kimyasal analizlerde sırasıyla pH, nem, uçucu madde, azot, fosfor, makro elementler (kalsiyum, sodyum ve potasyum) ve ağır metaller (krom, kurşun, kadmiyum, nikel, çinko, bakır, demir) gibi parametreler incelenmiştir. Bitki örneklerinde ise krom, kurşun, kadmiyum, nikel, çinko, bakır, demir gibi metalik elementler ve makro elementler belirlenmiştir. Örneklerin alındığı aylar için meteorolojik veriler de kaydedilmiş ve aralarındaki korelasyonun derecesi belirlenmeye çalışılmıştır.

Ayrıca, toprak örneklerindeki olası organik kirleticiler için katı faz mikroekstraksiyonu (KFME) tekniğiyle elde edilen ekstratlar Gaz Kromatografisi/Kütle Spektrometresi (GK/KS)'nde analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metaller, gaz kromatografisi-kütle spektrometresi, katı atık depolama, katı faz mikroekstraksiyonu, toprak kirliliği

ABSTRACT

Master of Science Thesis

DETERMINATION OF THE COMPONENTS OF THE POLLUTANTS IN THE SAMPLES TAKEN FROM SOIL AND PLANT IN ESKISEHIR URBAN LANDFILL

ÇİĞDEM VARDAR CİĞERCİ

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Environmental Engineering Program**

**Supervisor: Assist.Prof.Dr.Müfide BANAR
2004, 146 pages**

In this study, standard physical and chemical wet analysis techniques, and advanced analysis techniques were applied in order to determine the components of the pollutants in the samples taken from soil and plant in Eskisehir urban landfill. During the six-month physical and chemical analyses, parameters such as pH, moisture, volatile matter, total nitrogen, phosphorus, macro elements (calcium, sodium and potassium) and heavy metals (chrome, lead, cadmium, nickel, zinc, copper, iron) were examined, respectively. Metallic elements like chrome, lead, cadmium, nickel, zinc, copper, iron and macro elements were determined in the plant samples. Meteorological data was also recorded for the same months to determine the correlation between meteorological data and analyses.

Furthermore, for potential organic pollutants in soil samples, extracts obtained by Solid Phase Microextraction (SPME) techniques were analysed using Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS).

Keywords: Heavy metals, gas chromatography-mass spectrometry, landfill, solid phase microextraction, soil pollution

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	2
2. TOPRAK VE TOPRAK KİRLİLİĞİ	3
2.1. Toprak	3
2.1.1. Toprağı Oluşturan Faktörler	3
2.1.2. Toprak Profili	4
2.1.3. Toprağın Genel Yapısı	5
2.1.3.1. Toprağın katı maddeleri	6
2.1.3.2. Toprağın sıvı maddeleri	7
2.1.3.3. Toprağın gaz maddeleri	8
2.2. Toprak Kirliliği İle İlişkili Toprak Özellikleri	8
2.2.1. Toprak Strüktürü	9
2.2.2. Toprakların Besin Maddeleri ve Tutunma Mekanizmaları	10
2.2.3. Toprak Asitliği (Toprak pH'ı)	12
2.2.4. Tamponlama	13
2.3. Toprak Kirliliği	13
2.3.1. Ağır Metallerin Toprağı Kirletmesi	14
2.3.2. Organik Maddelerin Toprağı Kirletmesi	19
2.3.3. Havadaki Kirletici Maddelerin Toprağı Kirletmesi	20
2.3.4. Sulardaki Kirletici Maddelerin Toprağı Kirletmesi	21
2.3.5. Tarımsal Faaliyetlerle Toprağın Kirlenmesi	23

2.3.5.1. Gübreler	23
2.3.5.2. Biyosidler	24
2.3.5.3. Tarımsal Endüstri Atıkları	26
2.3.6. Diğer Kirleticiler	27
2.3.6.1. Petrol ve mineral yağlar	27
2.3.6.2. Radyoaktif maddeler	27
2.3.6.3. Tuzlar	28
3. KATI ATIK BERTARAFINDA DEPOLAMANIN YERİ	29
3.1. Katı Atık Depolama Tesislerinin Tanımı	30
3.2. Düzenli Depolama Sahası Tasarım Kriterleri	31
3.2.1. Katı Atık Depolama Tesislerinin Yapısı	34
3.2.1.1. Depo tabanının ve üst örtünün hazırlanması	36
3.2.1.2. Sızıntı suyu drenajı	41
3.2.1.3. Gaz toplama sistemleri	41
3.2.1.4. Günlük örtü tabakası	44
3.2.1.5. Son örtü sistemleri	44
3.2.2. Düzenli Depolama Sahalarının İşletilmesi	45
3.3. Depolama Sahalarının Çevresel Etkileri	48
3.3.1. Depolama Sahalarının Toprağa Etkileri	49
3.3.2. Depolama Sahalarının Bitkiler Üzerindeki Etkileri	50
3.3.3. Depolama Sahalarının Hava Kirliliğine Etkileri	51
3.3.4. Depolama Sahalarının Yeraltı Suyuna Etkileri	52
3.3.5. Depolama Sahalarının Koku Etkisi	54
3.3.6. Depolama Sahalarının Sera Etkisi	55
3.3.7. Depolama Sahalarının Yangın ve Patlama Riski	57
3.3.8. Depolama Sahalarında Taşıyıcı Haşere Üreme Riski	58
3.3.9. Depolama Sahalarından Kaynaklanan Gürültü Kirliliği	58
3.3.10. Depolama Sahasında Çalışan Kişilerin Karşı Karşıya Bulunduğu Riskler	58
3.3.11. Depolama Sahalarında Meydana Gelen Çökmeler	59
3.3.12. Depolama Sahalarının Diğer Etkileri	61

4. ÇALIŞMA ALANI	62
4.1. Eskişehir Katı Atık Depolama Sahasının Durumu ve Eskişehir’de Uygulanan Katı Atık Yönetimi	62
4.1.1. Evsel Atıklar	65
4.1.2. Tıbbi Atıklar	66
4.1.3. Endüstriyel Atıklar	66
4.2. Eskişehir Toprak Yapısı	67
5. MATERYAL VE YÖNTEM	69
5.1. Örnek Alınması	69
5.2. Fiziksel ve Kimyasal Analizler	70
5.2.1. pH	70
5.2.2. Toplam Katı Madde ve Nem Tayini	70
5.2.3. Uçucu Madde Miktarının Tayini	71
5.2.4. Azot Miktarının Tayini	71
5.2.5. Fosfor Analizi	72
5.2.6. Toprak Numunelerinde Ağır Metal ve Makro Element Analizleri	73
5.3. Katı Faz Mikroekstraksiyonu (KFME) (Solid Phase MicroExtraction SPME) ile Yapılan Analizler	74
5.3.1. Katı Faz Mikroekstraksiyonu (KFME)	74
5.3.2. KFME Prosedürü	75
5.3.2.1. KFME uygulama şekilleri	75
5.3.2.2. Adsorpsiyonu etkileyen parametreler	77
5.3.2.3. Desorpsiyon prosesi	80
5.3.3. Çalışmada KFME Tekniğinin Uygulanması	80
6. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	82
6.1. Fizikokimyasal Analiz Sonuçları	82
6.1.1. Toprak Örneklerinin Fizikokimyasal Analiz Sonuçları	82

6.1.2. Bitki Örneklerinin Fizikokimyasal Analiz Sonuçları	92
6.2. KFME Tekniği İle Elde Edilen Sonuçlar	97
6.3. İstatistiksel Analiz Sonuçları	102
6.4. Bulguların Değerlendirilmesi	112
7. SONUÇ	118
KAYNAKLAR	120
EK-1 ESKİŞEHİR KATI ATIK DEPOLAMA SAHASINDAKİ ÖRNEK ALMA NOKTALARININ GÖRÜNTÜLERİ	124
EK-2 KFME TEKNİĞİ İLE TANIMLANAN BİLEŞENLERİN ÖZELLİKLERİ	126

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Toprak profili	6
3.1. Depolama sahalarının yapısının şematik gösterimi	
(a) Kazı	35
(b) Alan	35
(c) Kanyon	35
3.2. (a) Tıbbi atıklar için depo tabanı sızdırmazlık sistemi	39
(b) Tehlikeli atıklar için sızdırmazlık sistemi	39
3.3. (a) Tıbbi atıklar için depo üst örtüsü sızdırmazlık sistemi	40
(b) Tehlikeli atıklar için depo üst örtüsü sızdırmazlık sistemi	40
3.4. (a) Yatay gaz tahliye hattı	42
(b) Yatay drenaj hattında merkezi gaz tahliye bacası	42
3.5. Düşey gaz toplama bacası	43
4.1. Depolama alanının Eskişehir'deki yerleşimi	62
4.2. Çöp depolama sahasının litolojik kesiti	63
5.1. Tepeboşluğu KFME yönteminin şematik gösterimi	76
6.1. Aylara göre pH verilerinin dağılımı	85
6.2. Aylara göre nem verilerinin dağılımı	86
6.3. Aylara göre uçucu madde verilerinin dağılımı	86
6.4. Aylara göre fosfor verilerinin dağılımı	87
6.5. Aylara göre azot verilerinin dağılımı	87
6.6. Aylara göre demir verilerinin dağılımı	88
6.7. Aylara göre bakır verilerinin dağılımı	88
6.8. Aylara göre çinko verilerinin dağılımı	89
6.9. Aylara göre kurşun verilerinin dağılımı	89
6.10. Aylara göre nikel verilerinin dağılımı	90
6.11. Aylara göre kadmiyum verilerinin dağılımı	90
6.12. Aylara göre kadmiyum verilerinin dağılımı	91
6.13. Aylara göre sodyum verilerinin dağılımı	91
6.14. Aylara göre potasyum verilerinin dağılımı	92
6.15. Aylara göre kalsiyum verilerinin dağılımı	92

6.16. Bitki örneklerinin aylara göre demir verilerinin dağılımı	94
6.17. Bitki örneklerinin aylara göre bakır verilerinin dağılımı	94
6.18. Bitki örneklerinin aylara göre çinko verilerinin dağılımı	95
6.19. Bitki örneklerinin aylara göre kurşun verilerinin dağılımı	95
6.20. Bitki örneklerinin aylara göre nikel verilerinin dağılımı	96
6.21. Bitki örneklerinin aylara göre nikel verilerinin dağılımı	96
6.22. Bitki örneklerinin aylara göre sodyum verilerinin dağılımı	96
6.23. Bitki örneklerinin aylara göre potasyum verilerinin dağılımı	97
6.24. Bitki örneklerinin aylara göre kalsiyum verilerinin dağılımı	97

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1.	Topraktaki yapı taşları ve miktarları	5
2.3.	Toprak reaksiyonunun pH değerlerine göre belirlenmesi	12
4.1.	Eskişehir’de katı atıkların fiziksel bileşimi	65
4.2.	Eskişehir ilinin toprak yapısı	67
4.3.	Eskişehir ili vahşi depolama sahasında yapılan toprak strüktür tayini sonuçları	68
5.1.	KFME elyaflarının özellikleri ve kullanım amaçları	78
6.1.	I. örnek için fizikokimyasal analiz sonuçları	83
6.2.	II. örnek için fizikokimyasal analiz sonuçları	83
6.3.	III. örnek için fizikokimyasal analiz sonuçları	84
6.4.	IV. örnek için fizikokimyasal analiz sonuçları	84
6.5.	V. örnek için fizikokimyasal analiz sonuçları	85
6.6.	Aylara göre bitki örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçları	93
6.7.	Toprak örneklerinin KFME sonuçları	98
6.8.	Eskişehir Mayıs-Ekim 2003 sıcaklık ve yağış verileri	102
6.9.	I. Örnek için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	103
6.10.	II. Örnek için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	104
6.11.	III. Örnek için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	105
6.12.	IV. Örnek için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	106
6.13.	V. Örnek için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	107
6.14.	3A için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	108
6.15.	3B için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	108

6.16.	4A için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	109
6.17.	4B için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	109
6.18.	Mayıs ayı bitki örnekleri için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	110
6.19.	Haziran ayı bitki örnekleri için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	110
6.20.	Temmuz ayı bitki örnekleri için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	110
6.21.	Ağustos ayı bitki örnekleri için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	111
6.22.	Eylül ayı bitki örnekleri için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	111
6.23.	Ekim ayı bitki örnekleri için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	111
6.24a.	Fizikokimyasal analiz sonuçlarının sınır değerlerle karşılaştırılması	113
6.24b.	Fizikokimyasal analiz sonuçlarının literatür değerleri ile karşılaştırılması	114
6.25.	KFME tekniği ile tanımlanan bileşiklerin diğer çalışmalarla karşılaştırılması	115
Ek2.1.	KFME tekniği ile tanımlanan bileşenlerin özellikleri	126
Ek2.2.	Risk Faktörleri	145
Ek2.3.	Emniyet Faktörleri	146

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AKM	: Askıda Katı Madde
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
BTEX	: Benzen-Toluen-Etilbenzen-Ksilen
CE	: Kapiler Elektroforez (Capillary Electrophoresis)
DDD	: $C_{14}H_{10}Cl_4$ (diklordifenildikloreten)
DDE	: $C_{14}H_8Cl_4$ (diklordifenilkloreten)
DDT	: $C_{14}H_9Cl_5$ (diklordifeniltrikloreten)
D-KFME	: Daldırmalı- Katı Faz Mikroekstraksiyonu
DSİ	: Devlet Su İşleri
DVB	: Divinil benzen
GK	: Gaz Kromatografisi (Gas Chromatography-GC)
GK-KS	: Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS)
HPLC	: Yüksek performanslı sıvı kromatografisi
IPCC	: Devletler Arası İklim Değişiklikleri Paneli
KAKY	: Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
KFE	: Katı Faz Ekstraksiyonu
KFME	: Katı Faz Mikroekstraksiyonu
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
PA	: Poliakrilat
PAHs	: Poliaromatik Hidrokarbonlar
PCBs	: Poliklorlu Bifeniller
PDMS	: Polidimetilsiloksan
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SM	: Sabit Madde
SM	: Standart Metot
SSE	: Sıvı-Sıvı Ekstraksiyonu
TB-KFME	: Tepeboşluğu- Katı Faz Mikroekstraksiyonu
TbAKY	: Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
ThAKY	: Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
TKM	: Toplam Katı Madde

TOK	: Toplam Organik Karbon
UM	: Uçucu Madde
UOA	: Uçucu Organik Asitler
V	: Hacim
VOCs	: Uçucu Organik Bileşikler (Volatile Organic Compounds)
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
YASS	: Yeraltı Su Seviyesi

1. GİRİŞ

Ekosistemdeki tüm canlı faaliyetlerinin sürdürülebilmesi için gerekli olan bileşenlerin başında gelen en önemli doğal kaynak topraktır. Besin maddelerinin hemen hemen hepsi toprakta yetiştiğinden, insan hayatında toprağın önemi büyüktür ve bu da arazilerin optimum şekilde kullanılmasını gerektirir. Bu nedenle, toprağın besin maddesi dengesinde, kimyasal özelliklerinde, mikroorganizma yaşamında bozunmalar meydana gelmesi veya toprakta toksik etki yapan bileşiklerin olması, yalnız toprak değil tüm ekosistem için büyük bir tehlike oluşturur (Çepel 1997 ve Karpuzcu 1994).

Toprağın zararlı maddelerle kirlenmesine neden olan süreçler birbirinden farklı iki grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi, toprak dışındaki ekosistemlerde meydana gelen kirlenmelerden kaynaklanan süreçlerdir. Bu gruba hava ve suları kirleten maddeler ile radyoaktif kaynaklı kirleticiler girer. İkinci gruba giren kirleticiler ise, insan eliyle toprağın üstüne ve içine bırakılan zararlı maddelerdir. Bunların en önemlileri tarımsal aktivite ile toprağa verilen mineral gübreler, hayvansal ve bitkisel zararlılarla mücadele için kullanılan biyosidler, hormonlar, tarımsal endüstri atık maddeleri, sıvı ve katı gübreler, endüstriyel faaliyetler sonucunda toprağa karıştırılan petrol, mineral yağlar, benzin ile evsel ve endüstriyel katı atıklardır (Çepel 1997).

Bu bağlamda, katı atık depolama sahaları ikinci gruba giren toprak kirletici kaynaklardan sayılmaktadır. Zira, depolanan atıkların türüne bağlı olarak pek çok etken toprağı tehdit etmektedir. Dünyada kullanılan katı atık depolama sistemlerinin çoğu vahşi depolama olarak nitelendirilen düzensiz depolama şeklinde olduğundan, atıkların toprak kirliliğine olan etkisi de artan katı atık miktarıyla orantılı bir şekilde artmaktadır. Ülkemizde toplam 3215 belediye bulunmakta, bunlardan sadece 18 ilde düzenli depolama yapılmaktadır. Bu durum toprak kirliliğine katı atıkların olumsuz etkilerinin ne denli büyük olabileceğini göstermek açısından son derece önemlidir.

1.1. Amaç

Bu çalışmada, vahşi depolama yapılan Eskişehir'deki katı atık depolama sahasının yarattığı olası toprak kirliliğinin boyutlarını saptamak amacıyla, toplam 6 ay boyunca, sahadaki 5 farklı noktadan alınan toprak örnekleriyle, 2 farklı noktadan alınan meşe ağacı yapraklarında bir seri fizikokimyasal analizler yapılmıştır.

Alınan toprak örneklerinde sırasıyla pH, nem, uçucu madde, azot, fosfor, makro elementler (kalsiyum, sodyum ve potasyum) ve ağır metaller (krom, kurşun, kadmiyum, nikel, çinko, bakır, demir) gibi parametrelere bakılmış, bitki örneklerinde ise krom, kurşun, kadmiyum, nikel, çinko, bakır, demir gibi metalik elementler belirlenmiştir.

Çalışmanın diğer safhasında, katı atık depolama sahası toprağındaki olası organik kirleticiler için, katı faz mikroekstraksiyonu (KFME) tekniğı uygulanmış, elde edilen ekstratlar Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GK-KS)'nde analiz edilmiştir.

Çalışmanın son aşamasında ise toprak ve bitki örneklerinde bulunan parametreler arasındaki korelasyonun derecesini belirlemek amacıyla SPSS.10.0 istatistik programı kullanılmış ve sonuçlar bu şekilde değerlendirilmiştir.

2. TOPRAK VE TOPRAK KİRLİLİĞİ

2.1. Toprak

Toprak, oluşumu, yapısı ve işlevine göre çeşitli şekillerde tanımlanmaktadır. Toprağın en açık tanımı şöyledir: Bitkisel maddelerin ayrışmasından meydana gelen belirli miktardaki organikler ile kayalara ait ayrışma ürünlerinin meydana getirdiği, katı yerkabuğu ile atmosfer, hidrosfer ve biyosfer arasında meydana gelen ekolojik döngülerin önemli istasyonudur (Çepel 1997).

2.1.1. Toprağı Oluşturan Faktörler

Toprak, çok uzun bir sürede anakayaların ayrışıp değişikliğe uğramasıyla meydana gelmiştir. Anakayayı ayrıştırıp değişikliğe uğratan çok sayıda doğal faktör bulunmaktadır. Bunlar iklim, canlı varlıklar ve arazi yüzü şekli (reliyef) olmak üzere üç grupta toplanabilir. Bu faktörlerin toprak oluşumundaki rolleri ve önemleri şu şekilde özetlenebilir:

- Anakaya (Anataş) veya Ana Materyal: Anakayalar, karakteristik mineral toplamlarından meydana gelen, yerkürenin litosfer denilen katı kabuğunu oluşturan anakayaç kitleleri olarak nitelenebilir. Bu kayalar iri taneli veya ince yapı, tabakalı veya masif, kireçli veya kireçsiz, mineraller bakımından zengin veya fakir olabilir. Bütün bu özellikler toprakların derinliğini, besin maddesi içeriğini, tane büyüklüğü bakımından yapısını ve su ve hava içeriğini etkiler (Çepel 1997). Anakayanın üzerinde gece-gündüz ve mevsimlik sıcaklık farkı ve donma olayları ile çatlaklar oluşmaya başlayınca, bitkilerin kökleri buradan derinlere kadar giderek hem mekanik hem de kimyasal parçalanmayı hızlandırır (Şişli 1999).
- İklim: İklim, anakayaların fiziksel ve kimyasal ayrışmasını sağlayarak önem kazanır. Sıcaklık değişimi ile anakaya yüzeyleri genişleyip daralır ve çatlaklar meydana gelir. Bunların arasına su dolarsa kaya kütleleri daha kolay parçalanır.

İklim koşulları nemli veya kurak, sıcak veya ılıman olmasına, gece ile gündüz, yaz ile kış arasındaki sıcaklık farklarının derecesine göre, anataşların veya ana materyalin fiziksel ve kimyasal ayrışma hızı, dolayısıyla meydana gelen toprağın genetik karakteristikleri üzerinde doğrudan doğruya etkili olmaktadır (Çepel 1997).

- Reliyef: Reliyefe ait karakteristikler (arazi eğimi, denizden yükseklik, baki, v.b.) toprak oluşumunu daha çok dolaylı olarak etkiler. Yamaçlardaki topraklar, erozyonla götürülebildiklerinden, düz yerlere kıyasla yamaçlarda daha sığ olurlar veya denizden yükseklik, sıcaklık ve yağışı etkilediğinden, iklimin toprak üzerindeki etkisini dolaylı olarak değiştirebilir (Çepel 1997).

- Canlı Varlıklar: Bitki örtüsü ve toprak canlıları, toprağın oluşumunda önemli rollere sahiptir. Ormanlarla kaplı bir bölgede derin ve kalın ağaç kökleri, yaptıkları basınç ve salgıladıkları asidik maddeler ile anakayaların hem fiziksel hem de kimyasal ayrışmasını etkiler. Ormanlık bölgelerdeki yaprak dökümü ile toprağa bol miktarda organik madde verilir. Bu organik maddeler mikroorganizma faaliyetlerini hızlandırır ve toprağın humus ve humuslu maddelerle zenginleşmesini sağlar (Çepel 1997).

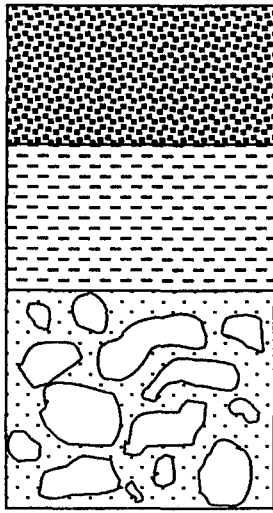
2.1.2. Toprak Profili

Toprak profilinde, Şekil 2.1.' de gösterildiği gibi A, B ve C ile belirtilen horizonlar vardır.

Bir toprağın genellikle koyu renkli olan en üstteki katmanına üst toprak veya A-horizonu denir (Çepel 1997). A-horizonu çeşitli parçalanma düzeyinde bulunan organik maddeleri, hiçbir değişikliğe uğramamış bitki dokusunu, fermantasyon ve humus tabakalarını içerir. Bu horizontdaki organizmalar hem fiziksel hem de kimyasal değişim üzerinde etkili olurlar. Humuslu kısımlar koyu renkli olup, daha alt kısımlar yıkanmanın en üst düzeyde bulunduğu bir tabaka olduğu için açık renklidir (Şişli 1999).

B-horizonu, içeriğindeki demir bileşiklerinden dolayı kırmızımsı kahverenkli ve bu tabakaya alt toprak da denir (Çepel 1997). B-horizonunun (birikme horizonu) alt bölümleri vardır. B₁ üst kısımlardan yıkanarak gelen maddeleri ve B₂ yerçekimi ile aşağı kısımlara sürüklenen maddeleri içerir. B₃ tanecikleri ise iridir ve yıkanmış maddelerin miktarı daha azdır (Şişli 1999).

C-horizonunda büyük ölçüde anakayanın parçalanmasından meydana gelen mineraller bulunur ve değişime uğramamış ana materyali içerir (Şişli 1999).



A-horizonu: Humus bakımından zengin üst toprak

B-horizonu: Birikme horizonu

C-horizonu: Anataş veya ana materyal horizonu

Şekil 2.1. Toprak profili (Şişli 1999)

Toprak profili içindeki fiziksel ayrışma süreçleri sadece nem ve sıcaklık faktörleri ile değil deniz dalgaları, buzullar ve akarsular gibi doğal kuvvetlerle de gerçekleşir. Kimyasal ayrışma süreçlerinde, kil ve humus maddelerinin yanında mineraller de ayrışır. Böylece bitkiler için gerekli olan besin maddeleri (Na, K, Ca, Mg, P) oluşur (Çepel 1997).

2.1.3. Toprağın Genel Yapısı

Toprak, organik ve mineral maddeler, ölmüş ve yaşayan organizmalar, katı, sıvı ve gaz şeklindeki yapı maddelerinden oluşur. Bu maddeler toprak verimliliği, mikroorganizma yaşamı ve topraktaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler için

son derece önemli roller oynamaktadır. Topraktaki yapı taşı olan maddelerin ortalama miktarları Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Topraktaki yapı taşları ve miktarları (Çepel 1997)

Madde adı	1 kg topraktaki miktar (g)	1 kg topraktaki hacimce %
Mineral maddeler	780,0	53
Hava	0,15	21
Toprak sıvısı	160,0	19
Organik maddeler	60,0	7

2.1.3.1. Toprağın katı maddeleri

- **İnorganik Maddeler:** Topraktaki inorganik maddelerin esas kaynağı ana materyaldir ve fiziksel ayrışma sonunda meydana gelmişlerdir. Çok çeşitli boyutlara sahip bu maddeler, belirli tane boyutu sınıflarına göre gruplara ayrılırlar. Topraklar kum, taş, kil gibi maddelerin miktarları doğrultusunda sınıflandırılabilirler. Toprak tekstürü veya toprak türleri, toprağın su tutma kapasitesi, suyu geçirgenliği, toprağın havalanması, kök yayılışı, mineral besin maddelerinin toprakta tutulması üzerinde önemli rollere sahiptir (Çepel 1997).

Taşlı topraklar, suyu hızla sızdırdıkları için üzerlerinde bulunan canlılar kuraklığa dayanıklıdır. Tanecikler iri olduğu için, absorpsiyon düşük olduğu gibi, besin maddeleri bakımından da fakirdir. Kumlu topraklarda tanecikler arasında bağlılık yoktur. Su kapasiteleri ve absorpsiyon özellikleri yetersizken, suyu geçirme, gazların yayılımı ve organik maddelerin ayrışma özelliği yüksektir. Tınlı topraklarda kum oranı %50-80, kil oranı %50-20'dir. Kil oranı %50'ye ulaşan tınlı topraklar, suyu güç geçirdiklerinden, gaz geçişine de elverişli değildir. Killi topraklar (kil içeriği %50-60), suyu güç geçirdikleri için su kapasiteleri ve absorpsiyon güçleri yüksektir. Humuslu topraklar ise azot bakımından zengin olmakla beraber fosfor ve besin maddeleri bakımından fakirdir. Kireçli topraklarda organik maddeler hızlı bir şekilde ayrışır ve kireç oranı çok yüksekse organik madde birikimi olur (Şişli 1999).

- Organik Maddeler: Topraktaki organik maddelerin kaynağı bitki ve hayvan artıklarıdır. Toprağın içindeki ve üstündeki bitki ve hayvan artıkları topraktaki organizmalar tarafından ayrıştırılarak şekilsiz, koyu renkte, ince sünger gibi bir maddeye dönüştürülür. Buna toprak humusu denir. Humus, toprağın su ve besin maddeleri dengesini düzeltir, bitkiler için gerekli mineral besin maddeleri ile birlikte azot kaynağıdır (Çepel 1997).

Organik maddeler koloidal yapıda olduğu için, büyük bir su tutma kapasitesine sahiptir. Toprak yüzeyindeki organik atık tabakası, toprak sıcaklığının mevsimsel ve yıllık değişimlerini yumuşatır. Sonbaharda üst toprak kısımlarının donması ve ilkbaharda toprağın kabarması gecikir. Toprak nemi üst düzeyde tutulur. Humus oluşumu ve toprak içindeki hayvan ve bitkilerin solunumu sonucunda, toprak havasında oksijen miktarı düşük, buna karşılık karbondioksit ve nem oranı yüksektir. Organik maddelerin ayrışması üst toprağın asitlik derecesini yükseltir. Daha aşağı kısımlardaki toprak bölümü, burada mevcut bazı karakterdeki tuzlar tarafından nötrleştirilir (Şişli 1999).

2.1.3.2. Toprağın sıvı maddeleri

Topraktaki tanecikler ve kırıntılar arasındaki irili ufaklı boşluklara gözenek adı verilmektedir. Bu gözeneklerin bir kısmı hava, bir kısmı da su ile doludur. Toprak suyu, besin tuzlarını ve organik maddeleri çözümdürür. Bitkilerin suyu besin maddesi olarak alabilmesi, bu toprak suyu ile gerçekleşir (Çepel 1997). Toprak suyunun tutulması ile ilgili olarak iki güçten söz edilebilir. Bunlardan birisi, katı yüzeylerin suyu çekme gücü olan adhezyondur. Burada su, toprak kolloidlerinin yüzeylerinde bulunan elektrik yükleri ile tutulmaktadır. Suyun absorbe edilmesinde önemli rolü olan ikinci güç ise su moleküllerinin birbirini çekmesiyle ilgili olan kohezyon gücüdür. Kohezyonda, su molekülleri arasında hidrojen iyonu bağlayıcı bir rol oynayarak toprak tanelerinin etrafını sarar. Burada su molekülleri daha hareketli ve taşıdıkları enerji daha yüksektir (Şişli 1999).

2.1.3.3. Toprağın gaz maddeleri

Toprak gözeneklerinin bir kısmını dolduran hava, toprağın gaz maddelerini oluşturur. Toprak organizmalarının solunumuyla karbondioksit vermesi, organik maddelerin mineralizasyonu ve karbonun karbondioksite oksitlenmesi ile toprak havasındaki karbondioksit miktarı %10-15' e kadar çıkabilmektedir. Toprak havasında karbondioksit ve oksijenden başka gazlar da (metan, etan, hidrojen sülfür gibi) bulunmaktadır. Bu nedenle toprak havasının bileşimi, bitki köklerinin gelişimi ve mikroorganizma yaşamı için oldukça önemlidir (Çepel 1997).

Kaba tanelerden oluşan toprağın hava kapasitesi yüksektir. Bu özellikteki topraklar, hava ile toprak arasındaki gaz alışverişi ve suyun süzülmesinin çabuk olması yüzünden, bitkiler ve toprak organizmaları için uygundur. Toprak havası, toprağın hemen üzerindeki havadan oksijen oranının azlığı ve karbondioksit ile su buharı oranının fazlalığı yüzünden farklılık gösterir (Şişli 1999).

2.2. Toprak Kirliliği ile İlişkili Toprak Özellikleri

Toprak kirlenmesiyle toprak özellikleri arasında sıkı ilişkiler bulunmaktadır. Bu ilişkiler çok yönlü olup çeşitli şekillerde ifade edilmektedir.

Ağır metallerin etkileri:

- Toprağa karışmış olan ağır metallerin ve nitrat anyonlarının yıkanarak yeraltı sularının niteliklerini bozmaları, büyük çapta toprağın tekstür ve strüktürüne bağlıdır.
- Ağır metaller, toprağın iyon değişim kapasitesindeki dengeyi bozarlar.
- Toprağın ağır metallere zarar görme derecesi, toprakların sorpsiyon kapasitelerine göre önemli ölçüde değişmektedir.
- Ağır metallerin toprakta tutulması, toprağın organik madde miktarı ve kil minerallerinin tipine göre değişir.

Asitleşmenin etkileri:

- Asit yağmurlarıyla meydana gelen toprak asitleşmesi, toprak canlılarını ve toprağın biyolojik aktivitesini zarara uğratar.
- Topraklarda meydana gelen asitleşme olayı, bitkilere zehir etkisi yapan bazı mineral elementlerin (Al, Fe, Mn, Zn, Cd) aktif hale gelmesini sağlar.
- Kirli havadan toprağa azot girdisi sağlanmakta ve toprakta azot depolanması olayı meydana gelmektedir.
- Toprağın tamponlama özelliği, toprak asitleşmesini bir dereceye kadar frenleyebilmektedir.

Diğer kirletici etkileri:

- Toprağın petrolle kirlenmesi bazı bakterilerle temizlenebilmektedir (Çepel 1997).

2.2.1. Toprak Strüktürü

Toprak strüktürü, katı toprak parçacıklarının istiflenme düzeni ve buna bağlı olarak toprak gözenek sisteminin şeklidir. Katı toprak parçacıkları kum, toz ve kil gibi birincil elemanları ve bunların birbirine yapışmasından meydana gelen kırıntıları kapsar. Bu katı parçacıklar, aralarında irili ufaklı boşluklar bırakacak şekilde üst üste yığılırlar. Aralarındaki bu boşluklar toprak gözenekleridir. Bunların yapı şekli ve büyüklükleri, toprağın su ve hava içeriğinde önemli rollere sahiptir. Toprağın katı parçacıkları, ya kum topraklarında olduğu gibi bağımsız bir yığın oluşturur (tek tane strüktürü) ya da toprak parçacıkları irili ufaklı kırıntılar oluştururlar (kırıntı strüktürü). Hem topraktaki mikroorganizma yaşamı, hem de bitki gelişimi bakımından kırıntı strüktürü idealdir (Çepel 1997).

Toprak gözeneklerinin miktarı ve büyüklükleri toprak türlerine göre yani toprağın içerdiği parçacıkların büyüklüğüne göre değişir. Kaba tanelerden meydana gelen bir yapı, bitki köklerinin ve toprakta yaşayan organizmaların toprak içine kolayca girmesine olanak sağlar. Kaba taneciklerden oluşan toprakta yağışın kolaylıkla derinlere geçebilmesinin nedeni, parçacıklar arasındaki gözenek

hacminin fazla olmasıdır. Bundan başka karbondioksit ve oksijen gibi gazların geçişi de bu gibi topraklarda kolaydır. Bununla birlikte bu parçacıklar, dar yüzey alanına sahip oldukları için, su absorpsiyonu da azdır. Bu tip topraklarda yüzeydeki su miktarı az olduğu halde, alt kısımlarda bitki kökleri ve hayvanlar için yeterli miktarda su vardır. Küçük parçacıklardan meydana gelen toprakta gözenek miktarı az olduğu için, yüzeydeki su kolayca alt kısımlara geçemez. Bunun için yağmurdan sonra üst kısımlarda su birikir. Toprak gözeneginin az olması yüzünden evaporasyon yüksek olmadığı için, oksijen ve karbondioksit gibi gazların geçişi de kolay değildir (Şişli 1999).

Topraktaki gözenekler, kök yayılışı, besin maddelerinin bitkiler tarafından alınabilmesi, toprak canlılarının çeşitliliği, bunların biyolojik aktiviteleri, toprakta madde taşınması ve birikmesi olayları üzerinde önemli rol oynarlar. Topraktaki gözeneklerin miktarı (gözenek hacmi), birim toprak hacminin yüzdesi olarak ifade edilir. Toprağın gözenek hacmi kumlu topraklarda 42 ± 7 , killi topraklarda 53 ± 8 ve diğerlerinde bu iki değer arasındadır (Çepel 1997).

2.2.2. Toprakların Besin Maddeleri ve Tutunma Mekanizmaları

Bitkilerin vejetatif gelişmesi ve çoğalmaları için gerekli elementler karbon, oksijen, hidrojen, azot, fosfor, kükürt, kalsiyum, magnezyum, potasyum, bor, klorür, kobalt, bakır, demir, mangan, molibden, silisyum, sodyum, vanadyum ve çinkodur. Bunlar içinde N, P, K birincil bitki besin maddeleri; Ca, Mg, S ikincil bitki besin maddeleri; geriye kalan elementler (H, O, B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Si, Na, Va ve Zn) ise iz elementler veya mikro elementler olarak adlandırılmaktadır (Çepel 1997).

Topraktaki besin maddelerinin kaynağı inorganik kökenli (anataşı oluşturan mineraller) veya organik kökenli (toprak humusu) olabilir. Bunların bitkiler tarafından alınabilmesi için anyon veya katyon şeklinde bulunmaları gerekir. Bu elementlerin tutunma mekanizmaları ise şunlardır:

- İyon Adsorpsiyonu: Topraktaki kil ve humus taneciklerinin anyon ve katyonları yüzeylerinde tutmasına iyon adsorpsiyonu denir. Kil ve humusa ise toprak kolloidleri ve katyon tutma kompleksi (katyon değiştirme kompleksi) adı verilmektedir.
- İyon Değiştirme: Toprak kolloidleri, iyon adsorpsiyonu ile yüzeylerinde tuttıkları iyonları, temasa geçtikleri toprak sıvısı içinde bulunan iyonlarla değiştirebilir. Böylece toprak kolloidlerinin yüzeyinde bağlı bulunan besin elementlerinden bitkilerin yararlanması sağlanmış olur.
- Katyon Tutma Kapasitesi (Katyon Değişim Kapasitesi): Toprak kolloidlerinin yüzeyinde tutulan katyon miktarı, 100 gram mutlak kuru toprağın adsorbe ettiği katyonların miliekivalent (m.e.) değeri olarak ifade edilmesidir. Toprak kirlenmesinde zararlı ağır metaller, katyon değişim kapasitesindeki diğer metalik katyonlarla yer değiştirerek dengeyi bozarlar.
- Toprağın Doygunluğu ve Baz Doygunluk Oranı: Toprak kolloidlerinin yüzeylerinde bulunan bütün negatif elektrik yükler, metal katyonları tarafından tamamen nötrleştirilmiş ise o toprak, bazlar bakımından doygun topraktır. Bir topraktaki metal katyonlarının toprağın toplam katyon değişim (tutma) kapasitesindeki yüzde olarak payına “baz doygunluk oranı” denir.
- Kil Mineralleri: Kil minerallerinin yapısı, su içeren alüminosilikatlar olarak tanımlanmakta ve genel formülleri $H_2O.Al_2O_3.SiO_2$ şeklinde gösterilmektedir. Killerin kimyasal analizi sonucunda birincil olarak silisyum, alüminyum ve demir oksitleri ile sudan oluştukları; ikincil olarak da kalsiyum, sodyum, potasyum ve fosfor oksitleri içerdikleri belirlenmiştir. Killerin hem anyon hem de katyon tutma özellikleri olduğu için, toprağı kirleten maddelerin zararını etkilemede önemli rol oynarlar (Çepel 1997).

2.2.3. Toprak Asitliği (Toprak pH' ı)

Toprak asitliği, toprak kirlenmesinin yeni Őekillerinden biridir. Çizelge 2.3.' de pH değerine karşılık toprağın ne kadar asitleŐtiđi gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Toprak reaksiyonunun pH değerlerine göre belirlenmesi (epel 1997)

PH	Reaksiyon Tanımı	pH	Reaksiyon Tanımı
< 3,0	AŞırı derecede asit	7,1-8,0	Zayıf alkali
3,0-3,9	çok Őiddetli asit	8,1-9,0	Orta derecede alkali
4,0-4,9	Őiddetli asit	9,1-10,0	Őiddetli alkali
5,0-5,9	Orta derecede asit	10,1-11,0	çok Őiddetli alkali
6,0-6,9	Zayıf asit	11,0 <	AŞırı derecede alkali

Asit karakterli yani pH' ı dŐŐk olan topraklar besin maddelerince fakir topraklardır. Solunum ve urĐme olayları sonucunda topraktaki karbonik asit miktarı ile organik asitlerin oranı arttığı için toprak asitliği de artar (Şişli 1999).

Toprak asitliğini meydana getiren hidrojen iyonunun kaynakları Şu Şekilde sıralanabilir:

- Topraktaki kök solunumu ve mikroorganizma faaliyeti sonucunda meydana gelen karbonik asit (H_2CO_3)
- Amonyum sŐlfat, ũre ve benzeri mineral gŐbrelerin toprakta ayrışması sonucu meydana gelen asitler
- Toprakta lokal olarak meydana gelen nitrifikasyon (amonyumun okside edilerek nitrat azotuna çevrilmesi) ve mineralizasyon (organik olarak bağlı azottan mineral azotu – NH_4 – meydana gelmesi) olayları
- Topraktaki Fe, Mn, S bileşiklerinin kimyasal ve biyolojik oksidasyon ũrŐnleri
- Toprakta adsorbe edilmiş Al iyonlarının toprak sıvısıyla reaksiyona girerek alŐminyum hidroksit meydana getirmesi ve hidrojenin açığa çıkması
- Asit yağmurları (epel 1997).

2.2.4. Tamponlama

Toprakların tamponluk özelliği, toprak kirlenme mekanizmasında doğal bir önleyici faktör olmaktadır. Toprakta sürekli olarak birtakım kimyasal ve biyolojik süreçler gerçekleşir. Bunun bir sonucu olarak toprakta hem asit hem de alkali karakterli maddeler meydana gelir. Bunlar kendi aralarında reaksiyona girerek herhangi birinin aşırı derecede artmasına engel olur. Ayrıca asit veya alkali karakterli fazla iyonlar, toprağın katyon değişim kapasitesine (kil ve humus) bağlanır. Toprağa dışarıdan asidik maddeler geldiğinde, değişim kompleksindeki alkali iyonlar (kalsiyum, magnezyum, v.b.) bunlarla yer değiştirerek, toprak sıvısının asitleşmesini önlerler. Asit karakterli iyonlar ise aksi yönde bir etkiyle toprak sıvısındaki ani ve aşırı reaksiyon değişimlerini önler veya yavaşlatır. Bu nedenle toprakların zararlı maddeleri bir dereceye kadar zararsız hale getirmeleri, büyük ölçüde tamponlama (nötrleştirme) özelliğine bağlıdır (Çepel 1997).

2.3. Toprak Kirliliği

Toprak kirliliği, toprağın, özümleme kapasitesinin üzerindeki miktarlarda, çeşitli bileşikler ve toksik maddeler ile yüklenmesi sonucunda anormal fonksiyonlar göstermesidir (Ünal ve Başkaya 1997). Diğer bir deyişle toprak kirlenmesi, dış etkenler sonucunda toprağın doğal yapısının bozulması, fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşiminin değişmesi ve kullanılabilirliğinin azalması veya yerinde kullanılmaması şeklinde tanımlanabilir. Buna göre toprağın çeşitli özelliklerini olumsuz yönde etkileyen her etki, toprak için kirlenme olarak değerlendirilebilir (Karpuzcu 1994).

Toprak kirlenmesine yol açan prosesler doğal ve insan yapımı olarak ikiye ayrılabilirler. En önemli miktardaki kirlilik ise insanlara ait faaliyetler sonucu meydana gelen kirliliktir. İnsan faaliyetleri sonucu oluşan kirlilik ana hatlarıyla evsel, tarımsal ve endüstriyel nitelikli olarak üç kategoriye ayrılabilir (Arhan 1997).

Toprak kirliliğine neden olan başlıca kaynaklar şunlardır:

- Atık depolama sahaları
- Çeşitli sanayi kuruluşlarının katı atıklarının toprağa verilmesi
- Arıtma tesislerinde oluşan çamurların toprağa dökülmesi
- Sıvı atıkların toprağa verilerek uzaklaştırılması
- Tarım koruma ilaçlarının toprakta birikmesi (pestisitler)
- Gübrelili ziraat yapılması (özellikle suni gübreler)
- Partikül ve aerosol halindeki hava kirleticilerinin toprakta birikmesi
- Kalitesiz sulama suyu ile toprağın sulanması
- Tehlikeli/zararlı madde kullanım yerleri ve depolarında sızıntılar olması veya ani deşarjların yapılması (Karpuzcu 1994 ve Arhan 1997).

2.3.1. Ağır Metallerin Toprağı Kirlenmesi

Özgül ağırlıkları 5 ve bu değerin üzerinde olan metaller ağır metal olarak nitelenmekte (Ag, As, Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn gibi) ve bunların toprakta çok yönlü zararlara neden oldukları bilinmektedir. Ağır metallerin toprakta normalin üzerinde birikmeleri, toprak kültürleri ve besin zinciriyle diğer canlılar için çok tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Karasal ekosistemlerde toprak, ağır metallerin en önemli birikme ortamıdır. Topraktaki humus ve kil miktarları, asit karakterli kationların miktarı ve bileşimleri ve kil minerali tipleri, ağır metallerin toprakta tutularak birikmesi konusunda önemli etkilere sahiptir. Topraklar, sorpsiyon kapasitelerine göre az veya çok miktarda ağır metalleri bağlar. Sorpsiyon gücü az olan, bu nedenle düşük bir tamponlama yeteneğine sahip kum toprakları, özellikle asidik bir reaksiyonda, ağır metallere ait tehlike sınır değerlerine kolayca erişir. Ağır metallerin bitkiler tarafından alınan miktarları da bitki türüne göre değişir (Çepel 1997).

Topraktaki ağır metallerin en tehlikeli yanı, bitkilerin yapısına girmeleri, hareketli hale geçtiklerinde (serbest iyon haline geldiklerinde) taban suyuna karışarak suyun niteliğini bozmaları, mikroorganizmalara zarar vermeleri ve besin zinciri ile diğer canlılara geçerek dolaylı yollardan zararlı olmalarıdır. Zarar

verme dereceleri topraktaki yoğunluklarına göre değişir. Ağır metallerin bitkilerde birikme durumunu belirlemek amacıyla yaprak analizleri veya bitki analizleri yapılabilir. Bunun amacı bu değerlerden biyoindikatör olarak yararlanmaktır. Ancak orman ağaçları için ağır metallerin topraktaki miktarından çok, çözünürlük dereceleri önemlidir, çünkü bu ağaçlar ağır metalleri suda çözünmüş olarak alırlar (Çepel 1997).

Ağır metallerin başlıca kaynakları evsel katı atıklar, mineral gübreler, kanalizasyon atıkları, atıksular, biyosidler, madencilik ve motorlu araçların egzoz gazlarıdır. Toprak kirliliğine neden olan belli başlı ağır metaller, özellikleri ve çevreye verdikleri zararlar şu şekilde özetlenebilir:

- **Kurşun:** İnorganik bir kimyasaldır. Yoğunluğu 11 g/cm^3 olan kurşun, mavimsi-gri renktedir. Doğada başlıca kurşun sülfür (PbS) veya galen ve sıklıkla da gümüş, bakır, çinko, antimon ve demir metalleriyle birleşmiş halde bulunur. Toprakta hareketsiz halde bağlandığından en çok üst toprak tabakalarında birikir. Biriken kurşun bileşikleri karbonat, fosfat ve sülfat gibi çok zor çözünen bileşiklere dönüşür. İnorganik kurşun tozlarının bir kısmı (asetat, nitrat tuzları gibi) suda çözüldüğü halde, bir kısmı (kurşun sülfat) suda çözünmez. Kurşunun çözünürlüğü zemin içinde bulunan organik madde, karbonat, hidroksitler, fosfatlar ve sülfat miktarları ile ilgilidir. Zemin içindeki mevcut fosfor ve pH değeri azalırsa, kurşunun çözünürlüğü artar. Başlıca kurşun kaynakları egzoz gazları, boya, akümülatör, seramik, porselen, kauçuk endüstrileri, metal alaşımları ve kurşun boru imalatıdır. Toprak özelliklerinin ve toprak pH'ının, bitkilerde Pb miktarları üzerine önemli etkisi vardır. Toprak pH'ı arttıkça bitkilerde kökün Pb derişimi azalırken, bitkinin tepe organlarındaki Pb miktarında değişiklik görülmez. Yüksek derecede kurşun birikimi olan bitkilerden besin zinciri ile diğer canlılara geçen kurşun, toksik etki yapabilir. Topraklarda kurşun derişimi normalde 5-100 ppm arasında olmasına karşın, yoğun trafiğin bulunduğu bölgelerde bu değer oldukça yüksektir. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (KAKY) Ek-IVA'ya göre kurşunun toprak içinde müsaade edilebilir miktarı 100 mg/kg 'dır (Çepel 1997; Tuncan ve ark. 1997 ve Kılınç 2003).

- **Krom:** İnorganik bir kimyasaldır. Yoğunluğu $7,19 \text{ g/cm}^3$ olan krom, havada kolayca kararmayan sert bir metaldir. Doğada saf halde bulunmaz, kromit (FeCr_2O_4) cevherinden veya kromitle karışık bir demir cevherinden elde edilir. Krom bileşikleri genellikle koyu kırmızı, yeşil ya da sarı renklidir. En önemli bileşikleri sodyum ve potasyum kromatları ve $\text{KCr}(\text{SO}_4)12\text{H}_2\text{O}$ gibi potasyum ve amonyum krom alümleri ve dikromatlardır. Zemin içinde taşınabilen ve en fazla çözünebilen bir metaldir. Çok kısa zamanda hareketsiz hale gelebilir. Bu nedenle zarar bakımından bitkileri az etkiler. Krom zehirlenmesi deri bozukluklarına yol açabilir. Başlıca krom kaynakları kromla kaplama (kromaj), krom çeliğinin yapımı, boya endüstrisi ve pil sıvılarıdır. Toprakta zararsız ve hareketsiz halde normal olarak 30-70 ppm arasında birikebilmektedir. Topraktaki krom miktarı $5 \mu\text{g/g}$ ' dan itibaren bitkilere toksik etki yapar. KAKY' ne göre toprak içinde müsaade edilebilir miktarı 100 mg/kg ' dır (Çepel 1997; Tuncan ve ark. 1997 ve Kılınç 2003).

- **Kadmiyum:** Doğada saf halde bulunmaz, demir ve mangan oksitlerin, klorürlerin ve organik maddelerin bir karışımıdır. Genellikle çinko ile birlikte bulunur, çinko cevherinde oluşur ve çinko metalürjisinin önemli bir yan ürünüdür. Çabuk çözünebilen tuzlar yapar ve toprağın pH' ı kadmiyumun çözünürlüğünün en önemli faktörüdür. Toprağın asitlik derecesi arttıkça çözünürlük ve yıkanma şiddeti artar. Toprakta organik maddelerin az bulunması halinde yıkanması son derece şiddetlenir. Başlıca Cd kaynakları tarım ilaçları, araç lastikleri ve egzoz dumanı, plastik, cam, boya ve pil endüstrileridir. Paslanmayı önlemek için cıvatalarda ve perçinlerde kullanılır. Sigara dumanında oldukça fazla bulunduğu saptanmıştır. Cd elementi önemli derecede toksik etkiye sahiptir. Toksik etkisi $0,1-1,0 \text{ mg/L}$ toprak çözeltisi olarak bildirilmektedir. Bitki bünyesinde bulunmasına müsaade edilen normal kadmiyum derişimi $0,1-2,4 \mu\text{g/g}$; toksik etki yaratacak derişim ise $5,0-30,0 \mu\text{g/g}$ ' dır. KAKY' ne göre toprak içinde müsaade edilebilir miktarı 3 mg/kg ' dır (Çepel 1997; Tuncan ve ark. 1997 ve Kılınç 2003).

- **Çinko:** Yoğunluğu $7,14 \text{ g/cm}^3$ olan çinko, mavimsi-beyaz renkte ve soğukta kırılabilen bir metaldir. Toprakta çeşitli minerallerin yapısında yer alır (çinko

blende (ZnS), smitsonit ($ZnCO_3$), kalamın ($Zn_2SiO_4 \cdot H_2O$), franklinit [$Zn(FeO_2)_2$], v.b.). Ayrıca ZnS, (ZnFe)S, ZnO, $ZnCO_3$ gibi tuzların bileşiminde bulunur. Çinko, Zn^{+2} , $ZnOH^+$ ve $ZnCl^+$ şeklinde toprağın kil mineralleri ile organik ögeleri tarafından sıkıca adsorbe edilir ve alkali topraklarda hidroksit, fosfat, karbonat ve silikatlar halinde çöker. Başlıca çinko kaynakları kuru pillerin yapımı, çinko levhalar ve endüstriyel atıklardır. Bitkiler için az miktarlarda gerekli bir iz elementtir. Bitkiler bunu besin maddesi olarak çok az miktarlarda aldıkları için, bitkilerden besin zinciri ile diğer canlılara geçerek zararlı olacak derecede bir birikim olmamaktadır. Normal koşullarda bitkilerde 20-400 ppm kadar birikebilmektedir. Toprakta kireç ve fosforun yüksek olması, organik maddenin yeterli düzeyde bulunmaması, sıkışma, sıcaklık ve pH, çinko eksikliği ile ilişkili etkenlerdir. Fosforca zengin topraklarda yetişen bitkilerin çinko eksikliği gösterdikleri saptanmıştır. Buna zıt olarak toprağa gereğinden fazla çinko verilmesi, bakır eksikliğine neden olmaktadır. Toprakta yoğun olduğu zaman zehir etkisi yapar. KAKY' ne göre toprak içinde müsaade edilebilir miktarı 300 mg/kg' dır (Çepel 1997; Tuncan ve ark. 1997 ve Kılınç 2003).

- **Bakır:** Yoğunluğu 8096 g/cm^3 olan bakır, en iyi elektrik iletkenliği olan elementlerdendir. Başlıca bakır kaynağı da buna bağlı olarak elektrik kablo ve tellerinin, elektrikli cihazların yapımında kullanılmasıdır. Diğer kaynaklar ise tarımsal işlemler, atık çamurları ve hava kirliliğidir. Toprakta çeşitli mineraller halinde bulunur [kovellit (CuS), kalkopirit (Cu_5FeS_2), bornit (Cu_5FeS_4), kalkosit (Cu_2S), kuprit (Cu_2S), tenorit (CuO), malahit ($Cu_2(OH)_2CO_3$), azurit ($Cu_3(OH)_2 \cdot (CO_3)_2$) gibi] ve genellikle çözünmeyen mangan ve demir hidroksit oksitleri ile bir araya gelir. Bakırın adsorpsiyonunda organik madde ve serbest mangan oksitleri önemlidir. Organik maddelere sıkı bir şekilde bağlanır. Bu nedenle yıkanmaları toprak organik maddesinin azalmasıyla artar. İndirgenme koşullarında ise çözünerek yıkanır. Ayrıca toprağın asitlik derecesi arttıkça sızıntı suyu ile derinlere doğru taşınma miktarı da artar. Topraktaki organik madde miktarının yanı sıra pH, humus/kil oranı ve toprakta kireçleme yapılması bakır noksanlığı ile ilişkili diğer etkenlerdir. Ayrıca toprakta gereğinden fazla çinko bulunması da, bakır noksanlığına neden olmaktadır. KAKY' ne göre toprak

içinde müsaade edilebilir miktarı 100 mg/kg' dır (Çepel 1997; Tuncan ve ark. 1997 ve Kılınç 2003).

- Demir: Yoğunluğu 7,14 g/cm³' dür. Topraktaki demirin büyük kısmı çeşitli minerallerin kristal kafeslerinde yapı elementi olarak yer alır. Toprakta +2 ve +3 değerli olabildiği gibi, çoğu zaman da oksit hidroksit, karbonat ve fosfat formunda bulunur. Demir miktarının azlığı demir eksikliğine neden olur. Toprakta fazla miktarlarda demir bulunması ise bitkilerde toksik etki yapar. Asidik ortamlarda demir bileşiklerinin çözünürlükleri artarken, bazik ortamlarda azalır. Ayrıca fazla miktarda bikarbonat iyonu, fosfat iyonu, kalsiyum ve magnezyum karbonatlar, mangan, molibden, vanadyum ve çinko bulunması ve gereğinden fazla potasyum ve kalsiyum bulunmaması da çözünürlüğü etkiler. Kireçli topraklarda bitkiler, demirden yeterince yararlanamadığından çoğu zaman demir klorozu hastalığı görülmektedir. Toprak çözültisindeki HCO₃⁻ iyonları da demir alımını engeller. Organik maddelere sıkı bir şekilde bağlanır. Bu nedenle yıkanmaları topraktaki organik maddenin azalmasıyla artar. İndirgenme koşullarında çözünerek yıkanır (Çepel 1997 ve Kılınç 2003).

- Nikel: Yoğunluğu 8,9 g/cm³ olan nikel, toprakta, havada ve biyosferde eser miktarda bulunan bir ağır metaldir. Paslanmaz çelik, madeni para, nikel-kadmiyum pilleri ve nikel tuzları üretiminde ve besin endüstrisinde katalizör olarak kullanılır. Topraklarda nikelin temel kaynağı bazik kayalar içerisinde çoklukla bulunan pentlandit [(FeNi)₉S₈] mineralidir. Garnierit, nikel magnezyum silikat, nikkolit ve millerit, NiS gibi minerallerle de nikel miktarı killi ve mineral topraklarda fazla iken, peat ve organik topraklarda azdır. Ayrıca topraktaki varlığı demir ve mangan hidroksitleri ve organik maddeler ile de mümkündür. Nikel bu hidroksitlerle, fosfatlarla, karbonatlarla ve silikatlarla çökelti oluşturur ve toprağın amorf fraksiyonları arasında yer alır. Silikat killeri tarafından absorbe edilir. Toprağın organik kompleksleriyle çözünebilir ve çözünemez kompleks oluşturur. Asitleşme olan topraklar, toprak çözültisi içindeki nikelin çözünebilirliğini artırır. Organik madde ve kireç bakımından zengin, alkali reaksiyondaki topraklarda şiddetle adsorbe edilir. Bu nedenle bu tür topraklarda zehir etkisi daha az olur.

Nikelin kanser yapıcı özelliği vardır. Bitkilerde 100 ppm' i aştığı zaman toksik etki yapar. KAKY' ne göre toprak içinde müsaade edilebilir miktarı 50 mg/kg' dır (Çepel 1997; Tuncan ve ark. 1997 ve Kılınç 2003).

2.3.2. Organik Maddelerin Toprağı Kirletmesi

Sıvı atıklarda BOİ, KOİ ve TOK (Toplam Organik Karbon) olarak ölçülen organik maddeler, çözünmüş, askıda veya koloidal olarak bulunabilir. Genel olarak organik maddelerin derişimi, toprak ve bitkilere kısa sürede etkili olmayacak seviyededir. Ancak fenoller, sürfaktanlar ve pestisitler yüksek derişimlerde, mikroorganizmalar için toksik etki gösterir. Organik yük, havalandırma amacıyla toprağın boş bırakıldığı süre ile ve toprağın sıvı yükü ile yakından ilgilidir (Karpuzcu 1994).

Organik maddeler, atık depolama tesislerinde birikebildikleri gibi, endüstri kuruluşları, konutlar ve trafik kökenli olarak, atmosferden doğrudan doğruya veya yağışlar ile toprağı ve bitkilere ulaşabilir. Bunların ekolojik olarak taşınabilirlik derecesi, biyolojik olarak ayrışma hızına bağlıdır. Toprakta ne kadar yavaş ayrışılırsa, ekolojik olarak taşınabilirlik sınırına gelmeleri o derece hızlı olur (Çepel 1997).

Toprağı zarar veren organik madde gruplarından üzerinde durulması gereken madde grupları şunlardır:

- Hidrokarbonlar
- Hidrojenli klorokarbon bileşikleri
- Poliklorlu Bifeniller (PCB' ler)
- Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH' lar)
- Isıl çözündürücüler

Toprakların hidrokarbonlarla kirlenmesi, genel olarak endüstri ve çöp yakma tesisleri ile trafikten kaynaklanmaktadır. Bunun dışında daha birçok

kirletici kaynaklar bulunmaktadır. Örneğin “diffüzyon emisyonu” ile de toprağa doğrudan doğruya hidrokarbonlar girmektedir. Bundan başka kimyasal madde üreten endüstri kuruluşlarının atıklarında ve çöplerinde, biyosidlerin bileşiminde bulunabilmektedir. Hidrokarbonların tehlikeli yanı, doğrudan doğruya zararlı etki yapabilmeleri, kısmen de bu maddelerin, çok uzun ömürlü olmalarıdır. Bunlar toprakta ve canlıların bünyesinde birikme özelliklerine de sahiptirler. Rafineri ve motorlu araçlardan çıkan organik maddelerin, çevrelerine zararlı olduğu belirlenmiştir. Hidrokarbonların toprak ve canlılar üzerinde doğrudan doğruya yaptığı etkiler çok karmaşık olup, bu karmaşık etki mekanizmasının ortaya çıkarılması için çok yönlü araştırmalar yapılmaktadır. Hidrokarbonlarla birlikte sayılan diğer toprak kirletici organik maddelerin hepsi doğa için yabancıdır. Bu maddelerin topraktaki biyolojik süreçler için olası zehir etkilerinin bir tehlike kaynağı olabileceği kabul edilmekle birlikte, bu hususta açıklayıcı bulgu ve bilgi eksiklikleri çoktur. Bitkiler organik maddeleri çok az miktarda aldıklarından, toprakta yüksek miktarlarda bulunsalar bile, bitki beslenmesi bakımından büyük bir tehlike oluşturmazlar. Fakat yine de, sanayi faaliyetleri sonucunda üretilen bu tür güç ayrılan zararlı toprak girdileri azaltılmalıdır (Çepel 1997).

2.3.3. Havadaki Kirletici Maddelerin Toprağı Kirletmesi

Atmosfere emisyon yolu ile yayılan kirleticiler (ağır metaller, PAH’ lar, PCB’ ler, dioksin, makro elementler, v.b.) yağmur yolu ile tekrar toprağa veya yüzeysel sulara dönmektedir. Örneğin, evsel katı atık yakma tesisleri ve termik santrallerin önemli bir cıva emisyonu kaynağı olduğu saptanmıştır. Termik santraller ve endüstriyel kuruluşlardan atmosfere karışan gazların toprağa en etkili olanları ise azot ve kükürt oksitlerdir. Oksijen bileşikleri (O_3 , CO, CO_2), halojenli bileşikler (HF, HCl), radyoaktif gazlar ve aerosoller de diğer önemli hava kirleticileridir. Atmosfere verilen yakma gazları sonucu oluşan asit yağmuru ise toprak pH’ ını olumsuz yönde etkileyebilir ve toprakta bulunan kirletici maddelerin hareketliliğini ve taşınmasını kolaylaştırabilir (Arhan 1997 ve Çepel 1997).

Atmosferik gazların toprağı kirletmesi sonucunda toprak asitliğı artmakta (toksik etki yapan metal katyonlar serbest hale geçer), besin dengesi bozulmakta (toprak, bitki besin maddeleri bakımından fakirleşir) ve toprağın tamponlama gücü azalmaktadır. Toprakta bu yönlü bir kirlilik olup olmadığını saptamak için toprağın asitlik derecesinin durumu, iyon değışim kapasitesi, baz doygunluk oranı ve baz nötrleştirme kapasitesi belirlenmelidir (Çepel 1997).

2.3.4. Sulardaki Kirletici Maddelerin Toprağı Kirletmesi

Alıcı ortam olarak kullanılabilir uygun bir su yatağının bulunmaması halinde sıvı atıklar, arıtma tesislerinden geçirilerek veya doğrudan toprağı verilmektedir. Sıvı atıkların toprağı verilmesinin en önemli amacı sıvı atıkların doğal arıtımıdır. Bir diğere amaç da suyun az olduğı yerlerde sıvı atıkların sulama suyu olarak kullanılmasıdır (Karpuzcu 1994).

Endüstriyel ve kentsel atıksular, toprak kirlenmesinde rol oynayan temel kaynaktır. Atıksular tarafından toprakların kirletilmeleri, bu suların arıtılmadan sulama suyu olarak kullanılmalarından kaynaklanmaktadır. Bu atıksuların kaynakları ise endüstriyel faaliyetler ve evsel atıksulardır. Bunların dışında, arıtma tesislerinin atıksu çamuru da bu konuda büyük önem taşıyan bir diğere kaynaktır (Çepel 1997).

Suların neden olduğı en önemli toprak kirletici kaynakların başında sulama suyu olarak atıksuların kullanılması gelir. Çeşitli kirletici maddeleri içeren bu sular, standartlarına uygun olarak arıtılmadan veya hiçbir arıtma işlemine sokulmadan, sulama suyu olarak kullanıldıklarında, içerdikleri inorganik ve organik maddeler ile toprağı kirletmektedirler. Bu nitelikteki atıksuların toprakta meydana getirdikleri zararları şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Çeşitli organik moleküller (fenol bileşikleri, fosfat maddeleri, v.b.) toprakta birikir ve burada yetişen kültür bitkilerine geçerek besin zinciri yoluyla diğere canlılara ulaşır zararlı etkiler meydana getirebilir.

- Ağır metaller ve mikro elementler toprakta birikerek bitkileri zehirleyici düzeye gelebilir. Bunun sonucunda, bitkisel ürün hem nicelik, hem de nitelik bakımından değer kaybedebilir.
- Topraklarda iyon dengesi ve besin ekonomisi bozulur.
- Toprak mikroorganizmaları olumsuz yönde etkilenir ve bunun sonucunda doğal madde döngüleri bozulabilir.
- Sulama sularıyla toprağa bazı hastalık yapan elementler (patojen canlılar; bakteriler, virüsler, protozoalar ve kurtçuklar) verilmiş olabilir.
- Sulama suyu olarak toprağa verilen atıksular süzülerek yeraltı sularını kirletebilir (Çepel 1997).

Aslında, tüm bu zararlı etkilere rağmen, atıksu ile toprakların sulanması, atıksuların doğal arıtımı olarak sayılmakta, böylece atıksular temizlenmiş olacağı gibi, toprakta sızıntı suyu birikimi artırılır ve bitkisel ürün ve toprak verimliliğinin de artması sağlanmış olur (Çepel 1997).

Bunun yanı sıra, arıtma tesislerinde oluşan atıksu çamuru da, çeşitli kademelerde işlem gördükten sonra son uzaklaştırma yeri olarak toprağa verilebilir veya toprak ıslahında kullanılabilir. Arıtılan suyun özelliğine bağlı olarak atıksu çamurunun içeriği de farklılık gösterir. Atıksu çamurları genel olarak patojen bakterileri, virüsleri ve bazı parazit solucan türlerini içermektedir. Bunlar, sağlık bakımından endişe verici ve hastalık taşıyıcıdır. Atıksu çamurlarındaki azot içeriği %2-5; P_2O_5 , %1,2-6; K_2O , %0,2-1,1; Cr, 26-1500 ppm; Hg, eser miktar-1 ppm; Pb, 16-3400 ppm; Zn, 80-6500 ppm; Cu, 600-1700 ppm; Cd, 13-300 ppm değerlerinde bulunmaktadır. Atıksu arıtma çamurunun toprakta kullanılması son derece hassas bir konu olup, KAKY' ne göre atıksu çamurları toprakta ağır metal birikimine yol açarken, diğer yandan da su tutma kapasitesine, kation değişim kapasitesine, besin maddesi içeriğine ve organik madde miktarına olumlu etkileri olduğu saptanmıştır (Karpuzcu 1994 ve Çepel 1997).

2.3.5. Tarımsal Faaliyetlerle Toprağın Kirlenmesi

Tarımsal faaliyetler de toprak için önemli kirlenme kaynaklarıdır. Tarım alanlarında verimi artırmak için kullanılan gübreler ve zirai mücadele ilaçları (pestisitler/biyosidler) bilinçsizce ve yanlış kullanıldığında (gerekenden çok miktarda veya yanlış zamanda) toprak kalitesini ve dolayısıyla yeraltı ve/veya yüzey sularının kalitesini etkileyebilir. Yağmur suları ile yıkanan topraktaki azot ve fosfor bileşikler yüzey sularında ötrofikasyona neden olmaktadır. Bunun yanında, yeraltı sularının nitrat ve pestisitler ile kirlenmesi de en sık rastlanan sorunlardan birisidir (Arhan 1997).

2.3.5.1. Gübreler

Tarım arazilerine büyük miktarlarda verilen gübrelerin esas bileşimi azot ve fosfordur. Azot toprak içinde taşınarak yeraltı sularına karışır. Ayrıca ziraat alanlarındaki azot ve fosfor bileşikler yağmur suları ile taşınarak yüzey sularına karışır ve ötrofikasyona sebep olur. Gübreli ziraat tekniğine uygun ve yetiştirilecek ürünün ihtiyacına göre verildiği takdirde, toprakta biriken azot ve fosfor miktarı artmaz. Ancak gübre verilmesinden hemen sonra yağın yağmurlar, bol miktarda azot ve fosforu sürükleyerek yüzey sularına taşır. Yapılan çalışmalar gübreli ziraat yapılan bölgelerde, gübrelenmeyen yerlere oranla daha fazla azotun yağmur suları ile taşındığını ortaya koymuştur (Karpuzcu 1994).

Azotlu ve fosforlu gübrelerin toprak kirlenmesinde önemli rolleri vardır:

- Azotlu Gübreler: Azot, bitki gelişimini sınırlayan önemli besin elementlerinden birisidir. Topraktaki azot rezervleri nitrat azotu ve amonyum azotudur. Amonyum azotu toprakta adsorpsiyonla tutulmasına karşın nitrat azotu tutulmaz. Bu nedenle toprağın derin tabakalarına ve yeraltı sularına kadar taşınabilmektedir. Topraktaki amonyum azotu nitrifikasyon ile nitrat azotuna dönüşebilmektedir. Nitrat azotu da toprak mikroorganizmaları tarafından azot dioksit ve azot monoksit bileşikler ile serbest elementer azot haline dönüştürülmektedir. Asit karakterli azot gübreleri, toprağın asitlik derecesini

yükseltir. Böylece topraklarda bazı besin maddelerinin alınmaması, asidik bileşenlerin toksik etki yapacak derecede artması, mikroorganizma faaliyet ve yaşamlarını sınırlaması gibi olumsuz etkiler ve zararlar ortaya çıkar (Karpuzcu 1994 ve Çepel 1997).

- Fosforlu Gübreler: Fosfor, yüzeysel sular ve erozyonla götürülen topraklarla geniş alanlara yayılır. Toprak çözeltisinde fosfat son derece düşük yoğunluktadır (genellikle 1 ppm' den az). Fosforlu gübrelerle topraktaki fosfor eksikliği giderilir. Böylece bitkilerin gereksinimi olan fosfor sağlanmış olur. Bitkiler tarafından kullanılmayan fosfor gübresi ise güç çözünen fosfor bileşiklerine dönüşür. Alkali reaksiyonlu topraklarda, çözünmez tersiyer kalsiyum fosfat, asit reaksiyonlu topraklarda çözünmez demir ve alüminyum fosfat şeklinde bağlanır (Çepel 1997).

2.3.5.2. Biyosidler

Biyosid veya pestisit olarak adlandırılan 250 civarında kimyasal madde, istenmeyen bitkisel, hayvansal ve mikrobiyal canlıların yok edilmesinde kullanılmaktadır. Bunlar, doğal veya sentetik organik bileşimde olabilirler. Biyosidler bir yandan özellikle tarımsal ürünlere zarar veren canlıları ortadan kaldırarak ürün artışı sağlarken, bir yandan da besin zinciriyle diğer canlıları zarara uğratmakta ve bir tür toprak kirliliği meydana getirmektedir. Kullanılan başlıca biyosidler şunlardır:

- İnsektisitler : Zararlı hayvansal canlılara karşı
- Herbisitler : Zararlı bitkisel canlılara karşı
- Fungisitler : Zararlı mantarlara karşı
- Nematositler : Nematodlara karşı
- Toprak sterilizatörleri : Tüm zararlılara karşı
- Özel amaçla kullanılan kimyasallar : Özel bazı organizmalara karşı

(Çepel 1997).

Çok kullanılan bazı biyosidlerin kimyasal bileşimleri, kullanım alanları, etki şekilleri, dayanıklılıkları ve insanlar için toksik etkileri şu şekilde özetlenebilir:

- Klorlu Hidrokarbonlar: Bu gruba DDT, DDE, DDD, aldrin, dieldrin, endrin, heptaklor, toksafen, lindan gibi pestisitler girmektedir. Klorlu hidrokarbonlar suda ve kanda çözünemedikleri halde yağda çözünebilmektedirler. Bunlar, mücadele edilmesi düşünülen zararlılarla birlikte diğer canlıları da öldüren geniş spektrumlu insektisit grubunu oluştururlar. Böceklerin merkezi sinir sistemlerini etkilerler, felç meydana getirip öldürürler. Ayrışmaya karşı dayanıklılık süresi yüksek olup 2-15 yıl kadar toprakta kalabilirler. İnsanlar için toksik etkisi azdır (Karpuzcu 1994 ve Çepel 1997).
- Organik Fosfatlar: Başlıcaları malathion, parathion, azodrin, phosdrin, diazinondur. Bunların bazıları dar, bazıları da geniş etki spektrumu olan insektisit ve çok azı da fungusit ve herbisitlerdir. Sinir zehirleridir. Sinirlerde iletişimi sağlayan enzimleri pasif hale getirirler. Ayrışmaya karşı dayanıklılıkları orta ile düşük derecededir (normal olarak bir haftadan 12 haftaya kadar, bazen birkaç yıllık). İnsanlar ve diğer hayvanlar için yüksek derecede toksiktir (Çepel 1997).
- Karbomatlar: Bunlar Cably (Sevin), Zireb ve Maneb gibi geniş ve dar spektrumlu insektisit, fungusit ve herbisitlerdir. Sinir zehiri olarak etkilidirler. Dayanıklılıkları genel olarak azdır (birkaç günden birkaç haftaya kadar). İnsanlar ve hayvanlar için düşük ve yüksek toksik etki yapan çeşitleri vardır (Çepel 1997).
- Fenoksi Herbisitler: Bu gruba giren başlıca herbisitler 2,4-D ve 2,4,5-T olarak adlandırılmaktadır. Bitkisel zararlılar için etkilidir. Bitkilerin yapraklarını öldüren veya dökülmesini sağlayan metabolik değişiklikler meydana getirirler. Dayanıklılıkları az ve ortadır (birkaç günden birkaç haftaya kadar). İnsanlar ve hayvanlar için toksik etkisi azdır (Çepel 1997).

Biyosidlerin topraktaki etkileri oldukça fazladır:

- Kullanıldıktan hemen sonra topraktaki duyarlı mikroorganizmaların çimlenme sayısını azaltır.
- Sonradan biyosidleri ayrıştırabilen veya bunlara karşı dirençli olan organizmalar çoğalabilir.
- Uygulandıktan sonra belirli bir süre toprakta birikebilirler.
- Buharlaşıma veya diğer yollarla atmosfere karışabilirler.
- Toprak yüzeyinde kalıp güneş ışınlarıyla temas ederlerse fotooksidasyona uğrayabilirler.
- Toprak kolloidlerine sıkı bir şekilde bağlanabilirler.
- Sızıntı suyuyla yeraltı suyuna karışabilirler.
- Bitkiler tarafından alınabilirler.
- Mikroorganizmaların topraktaki bazı ekolojik işlevlerini (toprak solunumu, nitrifikasyon, azot mineralizasyonu, havanın serbest azotunu bağlama, organik maddeleri ayrıştırma) tamamen veya kısmen engellerler.
- Toprakta uzun süre kalan biyosidlerin bileşimindeki bazı zararlı maddeler bitkilere, oradan da besin zinciri yoluyla diğer canlılara geçerek canlı bünyesinde birikmek suretiyle zararlar meydana getirebilirler (Çepel 1997).

2.3.5.3. Tarımsal endüstri atıkları

Tarımsal faaliyetler sonucunda elde edilen hayvansal ve bitkisel ürünlerden bazıları, özel endüstri kuruluşlarında işlenerek ıslah edilmekte veya bunlardan başka besin maddeleri elde edilmektedir. Et kombinaları, deri işleyen sanayi, yağ fabrikaları, yem fabrikaları, şeker ve bira sanayi işletmeleri, tekstil ve konserve fabrikaları gibi tarımsal endüstri kuruluşları, bazı atık maddeler ile çevreye zarar vermektedirler. Özellikle bu kuruluşlardan çıkan atıksular çeşitli kirleticileri (hidrokarbonlar, organik asitler, yağlar, v.b.) içermektedir. Tarımsal endüstri kuruluşlarının, bu atıksular için arıtma tesisleri vardır. Bu arıtma tesislerinden çıkan atıksu çamurları başka maddelerle karıştırılarak kompost yapılmakta ve gübre olarak doğrudan doğruya toprağa verilmektedir (Çepel 1997).

2.3.6. Diğer Kirleticiler

2.3.6.1. Petrol ve mineral yağlar

Petrol ve türevlerinin toprağı kirletmeleri önemli sorunlar doğurmaktadır. Çünkü kullanılmış motor yağları, yağ çamurları, mineral yağ sanayinin atık maddeleri, biyosidlerle toprağı püskürtülen dizel yağları, yıllarca toprakta kalmaktadır. Bunun nedeni ayrışmalarının ve mekanik, kimyasal ve fiziksel yöntemler kullanarak topraktan arındırılmasının çok güç oluşudur. Özellikle toprağı girmiş petrol ve türevlerinin taban suyuna ulaşp, orada birikmeleri ve böylece suları kirletmeleri son derece tehlikelidir. Çünkü bir litre mineral yağ veya benzin, bir milyon litre suyu kullanılmaz hale getirmektedir. Yağ parçacıkları toprak aracılığı ile bitkilere, su aracılığı ile de insan ve hayvanlara ulaşabilmektedir. Yağlarda, cıva ve diğer ağır metal iyonlarıyla klorlu biyosidler yoğunlaşmaktadır. Bunlar, toprak taneciklerinin yüzeyini sararak bitkilerin kılcal kökleriyle besin maddeleri arasında bir izolasyon tabakası oluşturur ve böylece bitki beslenmesini, dolayısıyla da bitkinin yaşamasını engeller. Ayrıca toprak hayvanları ile mikroorganizmalara da önemli zararlar vererek topraktaki doğal madde döngülerinin dengesini bozmaktadır (Çepel 1997).

2.3.6.2. Radyoaktif maddeler

Toprakta doğal olarak bazı radyoaktif maddeler (potasyum-40, karbon-14, uranyum, toryum ve bunların ayrışma ürünleri) bulunmaktadır. Nükleer silah denemeleri, atom bombaları, nükleer enerji santralleri ve nükleer reaktör sızıntıları ile bunlara yenileri eklenmektedir. Toprakta uzun süre kalabilirler ve genelde birçoğunun yarılanma ömrü kısadır. Bu nedenle bitkilere geçemezler. Son yıllarda, nükleer atık maddelerinin saklanması için toprağı gömülmesi yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Bunlar su ile temasa geçerek sızıntı suları ile yeraltı suyuna karışırlar (Çepel 1997).

2.3.6.3. Tuzlar

Topraklardaki tuzların en önemli kaynağı sulamaya uygun olmayan tuzlu ve alkali sularla toprağın sulanmasıdır. Daha sonra buharlaşan suyun içerdiği tuzlar bitki organlarında ve toprakta çökerek birikmektedir. Bu da bitkilerin metabolizma olaylarını ve toprağın çeşitli özelliklerini zarara uğratmaktadır. Topraklarda tuz miktarının artması bitkilerde beslenme güçlükleri meydana getirir. Toprakta tuz miktarı çok olursa toprağın osmotik potansiyeli artar ve tuz yoğunluğu belirli bir düzeye gelince toprak sıvısının osmotik potansiyeli köklerin geliştireceği osmotik potansiyelden yüksek olur. Bunun sonucunda bitkilerin toprak suyunu alması güçleşir ve hatta olanaksız hale gelir. Topraklarda tuzluluğun artması toprak strüktürünün, özellikle de kırıntıliliğinin bozulmasına da neden olur. İyon değişim kapasitesindeki hidratlanmış sodyum iyonlarının artması, toprak kırıntılarının dağılmasına neden olur. Bunun sonucunda iri gözenekler azalır ve ince tekstürlü topraklarda düşey su hareketi engellenmiş olur (Çepel 1997).

3. KATI ATIK BERTARAFINDA DEPOLAMANIN YERİ

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 gerçeğinden hareketle özellikle büyük şehirlerde evsel ve endüstriyel atıkların insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde kontrol edilmelerine yönelik çalışmalar yürütülmektedir. Ülkemizde 14 Mart 1991 tarihli Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği' ndeki (KAKY) koşullar ve bunu takiben 2 Kasım 1994 tarihinde yayınlanan değişikliklerle beraber katı atıkların bertaraf yöntemleri ve prensiplerinin ortaya konduğu yasal düzenlemeler yapılmıştır. Ayrıca, 27 Ağustos 1995 tarihli Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile tehlikeli atıkların ve 20 Mayıs 1993 tarihli Tıbbi atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile de tıbbi atıkların depolanma koşulları belirtilmiştir (Şahin 2002).

Gerek Çevre ve Orman Bakanlığı' nın katı atık yönetiminin düzenlenmesi konusundaki önemli çabaları, gerekse bu konuda oluşan toplumsal baskılar, ülkemizde katı atıkların yönetimi konusunun ciddi ve bilimsel ortamlarda tartışılması ve somut adımların atılması sonuçlarını getirmektedir. Bu konuda özellikle bazı Büyükşehir Belediyelerinin önemli yapısal ve yönetsel değişiklikleri gerçekleştirdiği de gözlenmektedir. Bu adımların doğru ve kararlı şekilde ilerletilmesi bu konunun öneminin ve çözülebilirliğinin kritik adımlarını oluşturacaktır (Vardar 2001).

Nüfus artışı ve yaşam düzeyinin gelişmesi, üretilen katı atık miktarının artmasına ve katı atıkların içerdikleri malzemelerin türlerinin de değişmesine yol açmıştır. Katı atık oluşumunu azaltarak katı atık kaynaklarının dikkatli bir şekilde yönetimini sağlamak etkin bir katı atık yönetiminin amacı olmalıdır. Türkiye' de katı atık yönetimi konusu, son yıllarda katı atık depolama sahalarının yarattığı kirlilikle gündeme gelmiştir. Önce vahşi depolama sahalarının rehabilitasyonu ve yeni düzenli depolama sahalarının açılması söz konusu olmuş, daha sonra kompostlama ve geri kazanım konuları tartışılmaya başlanmıştır. Ülkemizin mevcut koşulları dikkate alındığında yakma yönteminden ziyade düzenli

depolama sahalarının kurulması ve bu alanlara gidecek katı atık miktarının azaltılmasına yönelik önlemler alınması (değerlendirilebilir katı atıkların ayrı toplanması ve geri kazanım bu aşamada önem kazanmaktadır) Türkiye için öncelikli seçenekler olarak görülmektedir (Vardar 2001).

3.1. Katı Atık Depolama Tesislerinin Tanımı

Katı atıkların depolanması, düzenli depolama ve vahşi depolama olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Düzensiz depolama, hem hava ve yeraltı su kirliliği açısından hem de sağlık açısından tehdit edici unsurlar içerdiğinden düzenli depolama tercih edilmelidir. Düzenli depolama, katı atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde sistematik olarak yayıldığı, sıkıştırıldığı, üzerinin uygun materyalle örtüldüğü, hijyenik açıdan ve yeraltı/yüzey sularının kirlenmesine neden olmayan ve tamamen mühendislik kurallarına uygun olarak düzenli şekilde depolandığı sistemlerdir. Düzenli depolamanın amacı, evsel ve endüstriyel katı atıkların gaz, toz ve koku çıkarmasını, estetiği bozucu görünüşlerini, çeşitli haşerelerin çoğalmasını ve bunlar aracılığıyla hastalık mikroplarının çevreye dağılarak çevre sağlığını tehdit etmesini en basit ve en ucuz şekilde önlemektir (Vardar 2001).

Düzenli depolama yönteminin avantaj ve dezavantajları Çevre Bakanlığı'nın 1 Mayıs 1993 tarihinde yayınladığı "Katı Atık Depo Alanları Yönetimi İle İlgili Yönerge"de şu şekilde belirtilmiştir:

Avantajları:

- Uygun arazi bulunduğu takdirde ekonomik bir yöntemdir.
- Ön yatırımı nispeten en az olan yöntemdir.
- Son bertaraf yöntemidir ve hemen her türlü çöp için uygulanabilir.
- Esnek bir metottur. Katı atık miktarına göre kapasite kolaylıkla artırılabilir.
- Kullanılıp kapatılan araziden dinlenme-eğlenme aracıyla yararlanılabilir.

Dezavantajları:

- Kalabalık yörelerde, ekonomik taşıma mesafesi içinde uygun yer bulmak güçtür.
- Yerleşim yerlerine yakın deponi alanları için halkın tepkisi ile karşılaşılabilir.
- Tamamlanmış deponi alanlarında göçük ve yerel çökmeler olabileceğinden devamlı bakımı gereklidir.
- Sıvı ve gaz sızıntıları kontrol edilmezse sakıncalı durumlar ortaya çıkabilir (Şahin 2002).

Bir düzenli depolama sahasının planlanması, dizaynı ve işletiminde ise aşağıdaki hususların izlenmesi gerekmektedir:

- Düzenli depolama sahasının yerleşim planı ve dizaynı
- Düzenli depolama sahasındaki işlemler ve bunların yönetimi
- Düzenli depolama sahasında meydana gelen reaksiyonlar
- Düzenli depolama sahası gazlarının yönetimi
- Sızıntı suyunun yönetimi
- Çevresel monitorlama
- Düzenli depolama sahasının kapatılması ve kapatma sonrası korunumu (Vardar 2001).

3.2. Düzenli Depolama Sahası Tasarım Kriterleri

Katı atık depolama tesisinin tasarımında ilk adım, uygun saha seçimidir. Çevre Bakanlığı'nın yayınladığı yönergeye göre, yer seçimi için titizlikle dikkate alınması gereken parametreler aşağıda özetlenmiştir:

- Meskun sahalara uzaklık
- İçme ve kullanma suyu su toplama alanlarının durumu
- Çevredeki yeraltı suyu hareketleri
- Jeolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik yapı
- Tektonik yapı
- Çevredeki trafik durumu

- Taşıma mesafesi
- Sahanın çevreden görünüşü
- Sahanın depolama kapasitesi (Şahin 2002).

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği' ne göre depo tesisleri, yerleşim bölgelerine uzaklığı 1000 m' den az (özel durumlar hariç) olan yerlerde, taşkın riskinin yüksek olduğu yerlerde, heyelan, çığ ve erozyon bölgelerinde, içme, kullanma ve sulama suyu temin edilen yeraltı suları koruma bölgelerinde kurulamaz, etraflarına bina yapılmasına izin verilemez. Nüfusu 100.000' den küçük olan yerleşim bölgelerinde 10 yıllık ihtiyacı karşılayacak şekilde, nüfusu 100.000' den büyük olan yerlerde ise 500.000 m³ olarak planlanır (Şahin 2002).

KAKY' nde, depolama alanlarının en yakın meskun bölgeye uzaklığı 1000 m olarak belirtilirken bu değer, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre minimum 200 m olarak belirlenmiştir. Zira katı atık depo alanlarında oluşan zehirli gazlar yeraltından 200 m mesafeye kadar yayılabilmektedir (Şahin 2002).

Katı atık depolama alanı göller, gölcükler, nehirler, bataklıklar, taşkın sahaları, karayolları, kritik yerleşim alanları, su temin kuyuları ve havaalanları gibi yerlerden belli bir uzaklıkta olmalıdır. Söz konusu yerlerle ilgili olarak, pek çok ülkenin, yönetmeliklerinde de ilave bazı kriterler getirilmiştir:

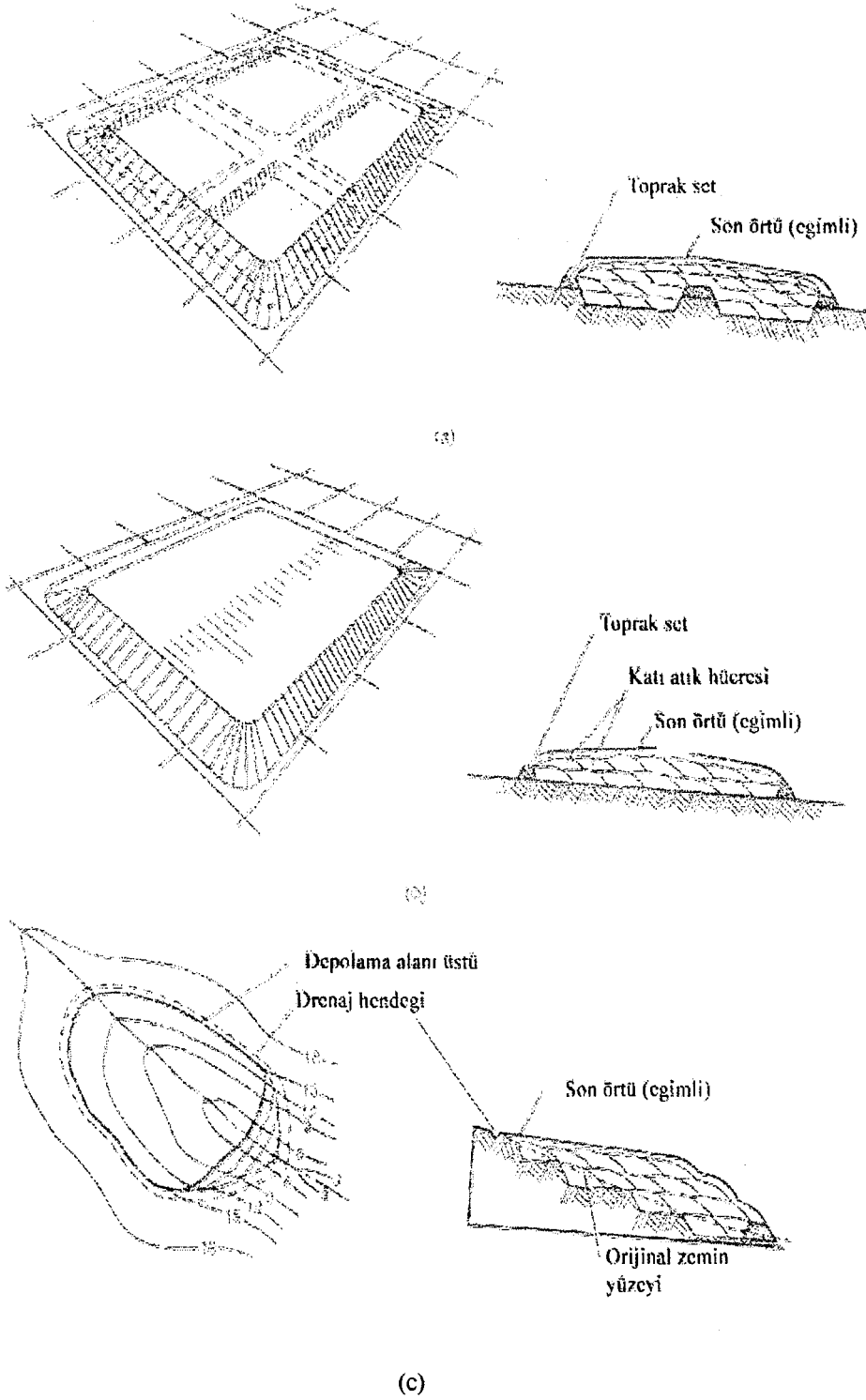
- Göl veya Gölcük: Ulaşım elverişli herhangi bir göl, gölcük veya akıntının 300 m yakınına hiçbir depolama alanı inşa edilemez. Bu uzaklık sızdırmazlık kontrollü bir depolama alanı için azaltılabilir. Ancak depolama alanının sızıntı suyunun göl veya gölcükle temas edeceği düşünülerek bir yüzey suyu kontrol programı hazırlanmalıdır.
- Nehir: Ulaşım elverişli bir nehir veya akıntının 90 m kadar yakınına hiçbir depolama tesisi inşa edilemez. Kıvrımlı olmayan bazı nehirler için bu uzaklık düşürülebilir ancak her durumda minimum 30 m' lik bir sınır korunmalıdır.

- Taşkın Sahası: Yüzyıllık bir taşkın sahası içinde hiçbir depolama alanı inşa edilemez. Bir arazinin su baskınına uğramasını önlemek için akıntı tarafı boyunca bir toprak depo alanı inşa edilmişse, ikinci derece akıntılarının alüvyonları içerisinde bir depolama alanı inşa edilebilir. Ancak büyük nehirlerin alüvyonları içerisine depolama alanı inşa edilemez.
- Karayolları: Herhangi bir karayolu veya otoyolun istimlak sınırının 300 m yakınında hiçbir katı atık depolama tesisi inşa edilemez. Sınırlama, esas olarak estetik nedenlerden ötürüdür. Sahanın gizlenmesi için eğer ağaçlar veya başka engelleyiciler kullanılıyorsa, sınırlanmış alan içine de depolama alanı yerleştirilebilir.
- Milli Parklar: Bir devlet milli parkının 300 m kadar yakınında hiçbir depolama alanı inşa edilemez. Ancak, belirlenen uzaklık içinde bir tip perdeleme kullanılmışsa mümkün olabilir.
- Kritik Yaşam Alanı: Yaşamları tehlikeye girebilecek bir veya daha fazla hayvan ve bitki cinsinin yaşadığı alan olarak tanımlanan kritik yaşam alanları içinde hiçbir depolama alanı inşa edilemez.
- Bataklıklar: Bataklıklar içerisinde hiçbir depolama alanı bulunamaz. Bir bataklığın tanımlanması genelde güçtür. Bazı bataklıklar için haritalar bulunabilir, ancak birçok durumda bu tip haritalar ya bulunmamakta ya da doğru olmamaktadır.
- Havaalanları: Bir havaalanının 300 m yakınında hiçbir depolama alanı inşa edilemez. Bu sınırlama kuş tehlikesinin azaltılması için getirilmiştir. Çünkü, depolama alanlarında yiyecek çok olduğundan, bu bölgede kuşlar oldukça fazladır. Önerilen depolama alanı yasak bölgenin içerisinde ise havaalanı idaresinden izin alınmalıdır.

- Su Kuyuları: Su temini için kullanılan herhangi bir kuyunun 400 m yakınında ve özellikle yeraltı suyu akımının hareket ettiği doğrultuda hiçbir katı atık depolama tesisi inşa edilemez (Şahin 2002).

3.2.1. Katı Atık Depolama Tesislerinin Yapısı

Depolama, Şekil 3.1' de gösterildiği gibi bir vadi içerisinde planlanan alan doldurularak veya bir dolgu oluşturularak yapılabilir. Genellikle önerilen dolum yöntemine göre, her gün getirilen atık, kalınlığı 15-30 cm olan “günlük örtü” tabir edilen toprak ile örtülür. Bu hacme “hücre veya lot” adı verilir. Hücre boyutları atık miktarı ve örtü olarak kullanılacak toprağın temin kolaylığına bağlı olarak değişir. Yükseklik 2,5-9 m olabilir. Seçilen 3 yatay-1 düşey eğim şeklindeki sıkıştırma, daha sonra yapılacak olan son örtü serme ve bitkilendirme açısından uygundur. Sıkıştırma, atık gevşek kalınlığı 0,6 m' yi aşmayacak şekilde yapılır. İlk sıra yan yana hücreler teşkil edilirken, yüksekliğin 1,5 m' yi geçmemesi ve alttaki sızıntı suyu drenaj sisteminin sıkıştırma sırasında hasar görmemesi için, atık içindeki büyük parçaların ayıklanması önerilir. Günlük örtü tabakası, kağıtların uçuşmasını önlemek, gaz ve sıvı sızıntısını azaltmak, fare ve yangın kontrolü ve genel görünüm amacıyla uygulanır. Bir sıra hücre “tabaka” olarak adlandırılabilir. Tabaka yüzeyi 30 günden fazla açıkta kalacaksa kalınlığı 30 cm olan ve erozyona günlük örtüden daha dayanıklı bir örtü teşkili gerekebilir. Toplam depo alanı, her biri 3-5 yıl hizmet verebilecek şekilde vadiler halinde, aşama aşama planlanarak inşa edilebilir (Şahin 2002).



Şekil 3.1. Depolama sahalarının yapısının şematik gösterimi (a) kazı (b) alan (c) kanyon
(Tchobanoglous ve ark. 1993)

3.2.1.1. Depo tabanının ve üst örtünün hazırlanması

Depo tabanına sızan suların yeraltı ve yüzey sularına karışmasını, zeminin kirlenmesini önlemek için, sahanın geçirimsiz zeminde kurulması veya taban ve yanların geçirimsiz hale getirilmesi en önemli konulardan birisidir. Eysel ve evsel nitelikli endüstriyel katı atık depolama tesisinden depo tabanına sızan suların yeraltı suyuna karışmasının önlenmesi için alınacak önlemler KAKY' nde şu şekilde belirtilmiştir:

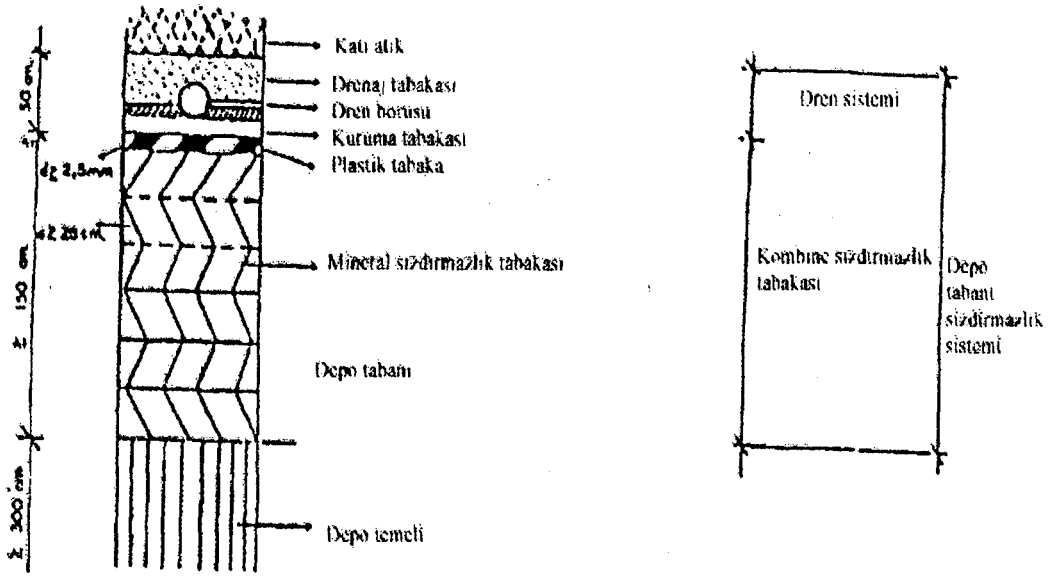
- Depo tabanı doğal yeraltı suyunun maksimum seviyesinden en az 1 m yüksekte olmalıdır.
- Depo tabanı geçirimsiz hale getirilmeli, bunun için kalınlığı en az 60 cm olan kil zeminle sıkıştırılmalıdır. Sıkıştırılmış zeminin geçirimsizlik katsayısı en az 1.10^{-8} m/s olmalıdır. Derinliği en az 10 m olan az çatlaklı kaya zeminlerde bu değer 1.10^{-7} m/s olarak alınır.
- Geçirimsiz hale getirilen taban üzerine dren boruları döşenerek sızıntı suları bir noktada toplanmalıdır. Hidrolik ve statik olarak hesaplanması gereken drenaj borularının çapı minimum 100 mm ve eğimi minimum %1' dir. Dren boruları, münferit borular şeklinde, yatayda ve düşeyde kıvrım yapmadan doğrusal olarak depo sahası dışına çıkar. Depo tesisi çıkışında kontrol bacaları bulunmalıdır. Ayrıca dren boruları çevresine kum, çakıl filtre yerleştirilmeli ve bu filtrenin boru sırtından itibaren yüksekliği minimum 30 cm olmalıdır.
- Toplanan sızıntı suları, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde (SKKY) verilen deşarj sınırlarını sağlayacak şekilde artırılmalıdır (Şahin 2002).

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği uyarınca tıbbi atıkların depolanmasında uyulması gereken koşullar ise şunlardır:

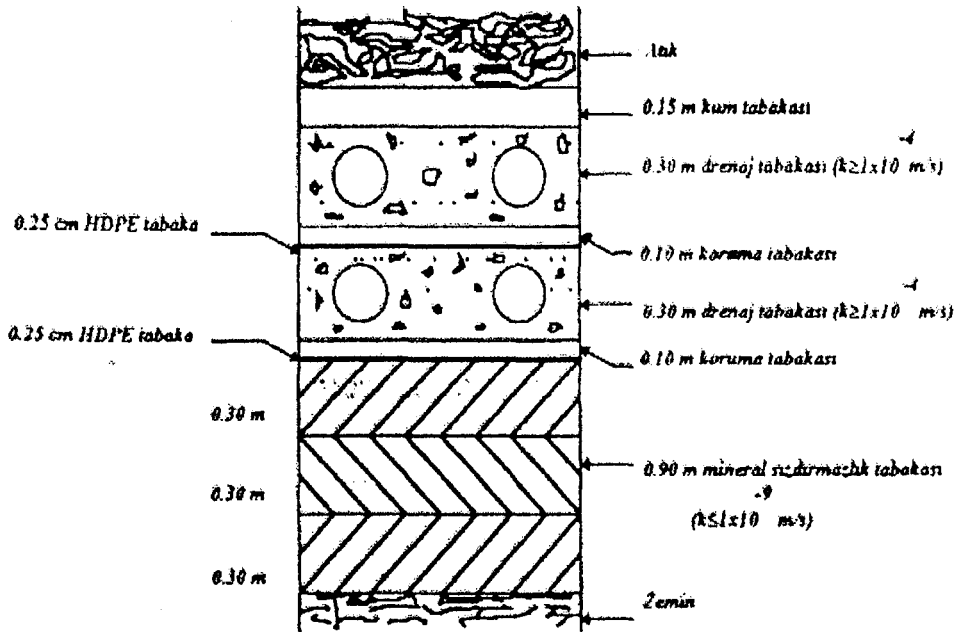
- Depolama tesisi tabanının, maksimum yeraltı su seviyesine uzaklığı 2 m' den az olamaz. Depolama tesisinin tabanı, sızıntı suyunun yeraltı suyuna karışmasını kesinlikle önleyecek şekilde düzenlenir. Bunun için mineral sızdırmazlık tabakası ile plastik geçirimsizlik tabakası birlikte kullanılmalıdır. Taban en az Şekil 3.2a' da şematik kesiti verilen değerleri sağlayacak şekilde oluşturulur. Doğal zemin üzerine yerleştirilen mineral sızdırmazlık tabakasının kalınlığı 1,5 m' den az, geçirimsizliği 10^{-9} m/s' den küçük olamaz. Plastik geçirimsizlik tabakasının kalınlığı ise en az 2,5 mm olmalıdır. Depo tabanına balık sırtı şeklinde bir form verilir ve tabanın boyuna eğimi %3' den, enine eğimi de %1' den küçük olamaz.
- Depo tabanında yeteri kadar dren borusunun, ana toplayıcıların ve bacaların bulunması zorunludur. Dren borularının içinde bulunduğu dren sisteminin kalınlığı 0,3 m' den küçük, bu tabakanın son geçirimsizlik katsayısı 10^{-3} m/s' den küçük olamaz.
- Toplanan sızıntı suları, SKKY' nde verilen deşarj sınırlarını sağlayacak şekilde artırılmalıdır.
- Depolama tesislerinde depo sıkıştırılarak doldurulur ve boşluk bırakılmaz. Dolgu işlemleri sırasında, sızıntı suyu miktarını azaltmak için günlük olarak atıkların üstü örtülmeli ve dolgu işlemi gerektiğinde bir sundurma altında yapılmalıdır.
- Depo tesisine dolgu işlemi tamamlandıktan sonra, dolgu üstü Şekil 3.3a' da verilen tabakalardan oluşturularak, depo gövdesine yüzeysel su girmeyecek şekilde sızdırmaz hale getirilir (Şahin 2002).

Tehlikeli atıkların depolanması ise Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği uyarınca yapılır. Uyulması gereken koşullar şu şekilde belirtilmiştir:

- Depolama tesisi tabanının, maksimum yeraltı su seviyesine uzaklığı 2 m' den az olamaz.
- Depo tabanı, sızıntı suyunun yeraltı suyuna karışmasını önleyecek şekilde düzenlenir. Bunun için mineral sızdırmazlık tabakası (kil) ve plastik geçirimsizlik tabakası birlikte kullanılmalıdır. Oluşturulacak taban Şekil 3.2b' de şematik kesiti yer alan değerleri sağlamalıdır.
- Deponi sahasında oluşan sızıntı suları, geçirimsiz tabaka üzerine döşenen çift drenaj sistemi ile uzaklaştırılır. Dren borularının da içinde bulunduğu bu tabakaların her birinin kalınlığı 0,30 m' dir. Son geçirimsizlik katsayısı 1.10^{-4} m/s' den küçük olamaz. Depo tabanında yeteri kadar dren borusu, ana toplayıcılar ve bacalar bulunmalıdır.
- Toplanan sızıntı suları, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen deşarj sınırlarını sağlayacak şekilde artırılmalıdır.
- Depo gövdesinde depolanacak atıkların ve çıkan sızıntı sularının birbiri ile çevreye ve ortama zarar verecek tepkime vermesi ve dolguların bunu sağlayacak şekilde yapılması esastır. Bunun için bazik ve asidik tepkime gösteren atıkların ayrı hücrelerde depolanması ve sızıntı sularının ayrı ayrı toplanması zorunludur.
- Şekil 3.3b' de yer alan şartlara uygun olarak depo tesisine dolgu işlemi tamamlandıktan sonra, dolgu üst depo gövdesi yüzeysel su girmeyecek şekilde sızdırmaz hale getirilmelidir (Şahin 2002).

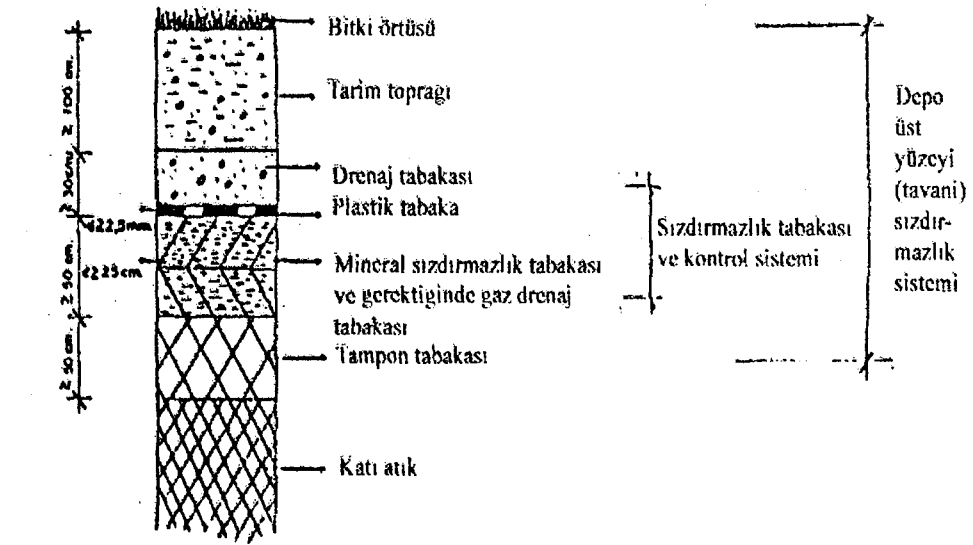


(a)

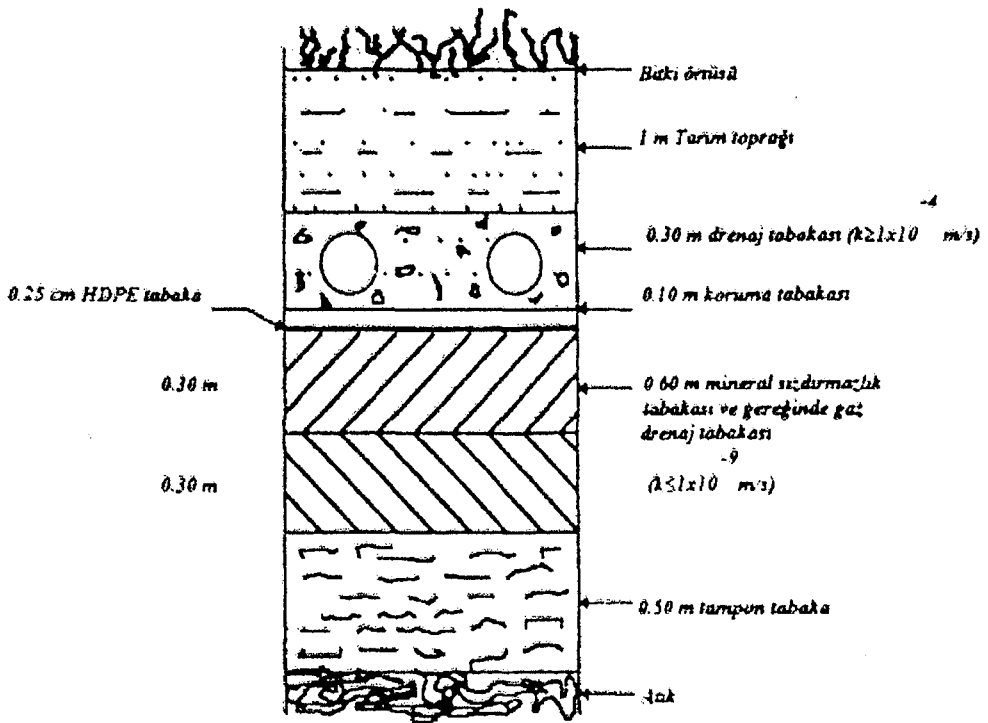


(b)

Şekil 3.2. (a) Tıbbi atıklar için depo tabanı sızdırmazlık sistemi ve (b) Tehlikeli atıklar için depo tabanı sızdırmazlık sistemi (TbAKY 1993 ve ThAKY 1995)



(a)



(b)

Şekil 3.3. (a) Tıbbi atıklar için depo üst örtüsü sızdırmazlık sistemi ve (b) Tehlikeli atıklar için depo üst örtüsü sızdırmazlık sistemi (TbAKY 1993 ve ThAKY 1995)

3.2.1.2. Sızıntı suyu drenajı

Sızıntı suyu drenaj sistemleri depolama sahasının içinde oluşabilecek sıvıların toplanarak, bunların uzaklaştırılması amacıyla kullanılır. Böylece atık depolama alanının içinde sıvı seviyeleri minimuma indirilir. Sızıntı suyu toplama sistemi şu kısımlardan oluşur:

- Ana drenaj sistemi
- Yanal drenaj sistemi
- Kılcal drenaj sistemi
- Sızıntı toplama havuzu ve havuzdan atık sahasına geri dolaşım sistemi (Şahin 2002).

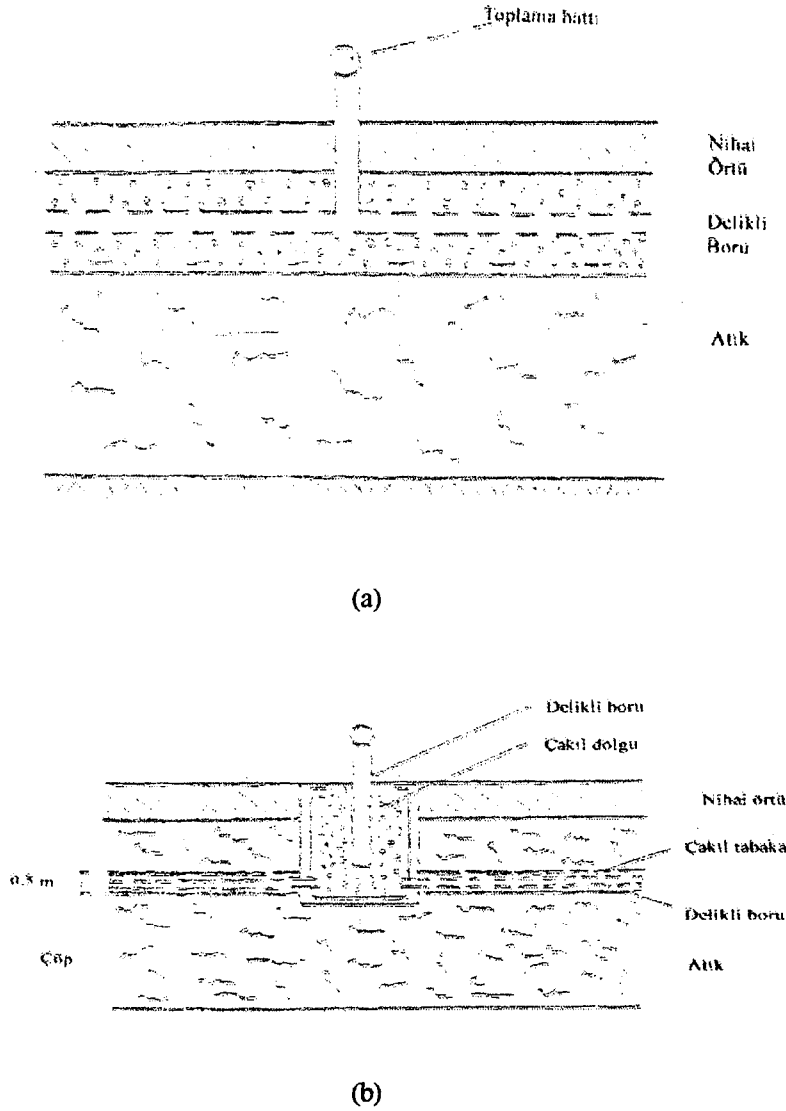
Sızıntı suyu drenajı hakkında KAKY' nin 26. maddesinde getirilen yasal düzenlemelere göre; sahaya ilk atık tabakası yerleştirilirken çok dikkatli olunması, drenaj tabakası olarak kullanılan kum-çakıl filtrenin yerinden oynamamasının ve boruların hasar görmemesinin sağlanması gereklidir. Yönetmeliğin öngördüğü şekilde sadece boru etrafına filtre yerine, bütün taban üzerinde tabaka oluşturulması daha sağlıklıdır. Aynı sebeple drenaj tabakası ile atık arasında bir geotekstil yerleştirilebilir. Bu geotekstilin sızıntı suyunun taşıdığı çok miktarda Askıda Katı Madde (AKM) nedeniyle tıkanması ve çakıl danelerinin penetrasyonu sonucunda yırtılması gibi nedenler de göz önüne alınarak dikkatli bir seçim yapılması gereklidir (Şahin 2002).

3.2.1.3 Gaz toplama sistemleri

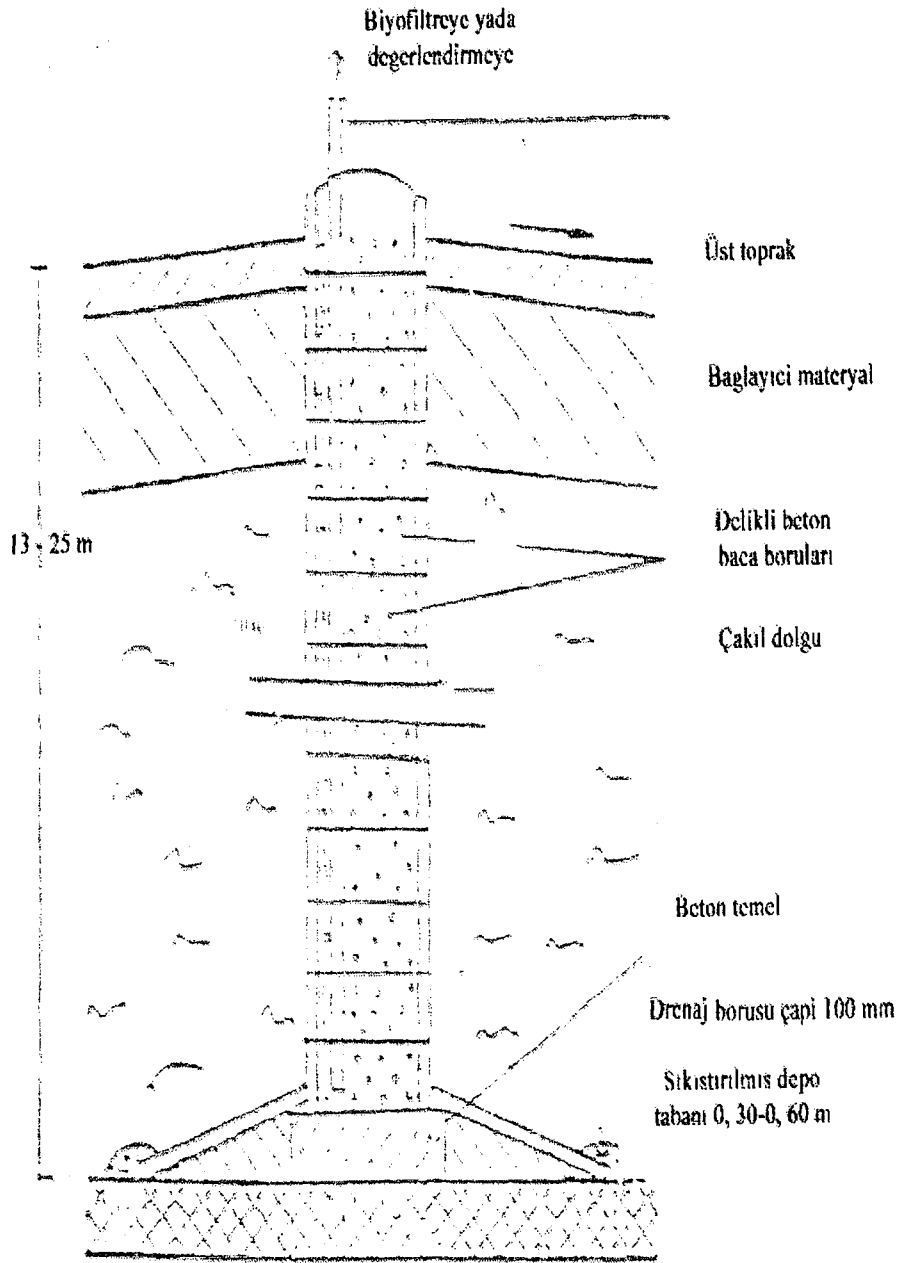
Depolama alanına getirilen katı atıklardan bir süre sonra metan ve karbondioksit ağırlıklı olmak üzere hidrojen sülfür, amonyak ve azot bileşikleri oluşur. Üretilen bu gazların düzenli bir şekilde toplanması ve bertaraf edilmesi saha işletmesi esnasında ve depolama alanı kapandıktan sonra da son derece önemlidir. Gaz toplama sistemleri için birçok alternatif vardır. Bunlar yatay ve düşey sistemler olarak ikiye ayrılır. Şekil 3.4.(a ve b) ve 3.5.' de iki tipik örnek görülmektedir (Şahin 2002).

Gaz kontrolü pasif ve aktif toplama sistemleri olarak ikiye ayrılır:

- **Pasif Gaz Toplama Sistemleri:** Derinliği az olan depolama alanlarında oluşan gazların yatay yöndeki iletimi son örtü içine yerleştirilecek olan havalandırma bacaları ile sağlanır.
- **Aktif Gaz Toplama Sistemi :** Bu sistem daha büyük depolama alanları için kullanılır. Gaz oluşum miktarlarının hesaplanmasından sonra, gerekli formüller kullanılarak gaz kuyularının adedi ve aralıkları hesaplanır. Bundan sonra toplayıcı boru sistemi tasarlanır (şahin 2002).



Şekil 3.4. (a) Yatay gaz tahliye hattı ve (b) Yatay drenaj hattında merkezi gaz tahliye bacası
(Tchobanoglous ve ark. 1993)



Şekil 3.5. Düşey gaz toplama bacası (Tchobanoglous ve ark. 1993)

3.2.1.4. Günlük örtü tabakası

Katı atık depolama sahasının çevreye verebileceği zararların en aza indirilmesi amacıyla işletim sırasında uygulanan yöntem günlük toprak örtüsünün kullanılmasıdır. Bu yöntemin uygulanması ile depolama sahasına serilen atıkların üzeri hemen toprak veya kompost ile örtülmekte ve bu sayede atıkların hava ve çevre ile teması kesilmektedir. Günlük örtü kullanımının getireceği yararlı etkiler şöyle özetlenebilir:

- Atık depolama sahasında oluşabilecek kötü kokuların önlenmesi
- Kağıt ve plastik gibi hafif parçaların rüzgarla etrafa dağılmalarının engellenmesi
- Sahada yangın çıkma ve yayılma olasılığının azalması
- Hastalıkların yayılmasına sebep olan sinek, sivrisinek ve farelerin çoğalmasının engellenmesi
- Kuşların saha etrafında barınmasının engellenmesi
- Depolama sahasının içindeki ulaşımın kolaylıkla sağlanması
- Depolama sahasının estetik bir görünüm kazanması (Şahin 2002).

Yukarıda sayılan avantajlarına rağmen, günlük örtü tabakası olarak temiz toprak kullanımının getireceği olumsuzluklar ve depolama sahası ömrünün kısılması birer dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır (Şahin 2002).

3.2.1.5. Son örtü sistemleri

Son örtü sistemleri aşağıdaki fonksiyonları yerine getirmek üzere inşa edilirler:

- Düşük seviyeli alanların toprak yüzeyi kotlarını yükseltmek
- Yağışlar nedeniyle oluşacak yüzey suyu miktarını en aza indirmek
- Kontrollü bir yüzey suyu akışını sağlamak
- Atıkları bitki ve hayvanlardan ayırmak
- Kenar şevlerdeki atıklardan oluşan sızıntı sularının hareketini engellemek

- Yağışların atık içine sızmasını önlemek
- Atık sahasında oluşan gazların kontrollü bir şekilde dışarı çıkmasını sağlamak (Şahin 2002).

3.2.2. Düzenli Depolama Sahalarının İşletilmesi

Öncelikle yapılması gereken bakım ve kontrol önlemleri pek çok değişik unsurdan oluşur. İlk olarak atık depolama sahası çalışma saatleri belirlenmeli, sahaya kabul edilecek atık türleri tespit edilmeli, atık taşıyan araçlar sahaya geldiklerinde görevli personel tarafından incelenip atık miktarları kantarda ölçülüp kaydedildikten sonra atık sahasına gönderilmelidir. Ayrıca saha içi trafik yönetimi, trafiğin düzenli bir şekilde işlemesi için düzenlenmelidir (Şahin 2002).

Atık depolama sahasının işletilmesinde üç ana işlemin yerine getirilmesi gereklidir:

- Atıkların belirli yöntemlere göre yerleştirilmesi
- Atıkların etkin bir şekilde sıkıştırılması
- Atık yüzeylerinin toprak malzemesi ile örtülmesi (Şahin 2002).

Her gün sahaya gelen atıklar serilip, sıkıştırılarak bir atık hücresi meydana getirilmesi gereklidir. Hücrenin ön tarafındaki açık alan, çalışma yüzeyi olarak adlandırılır. Atık hücresinin etrafı ve üstü ara toprak örtüsü yerleştirilerek kapatılmalıdır (Şahin 2002).

Günlük atık hücrelerinin oluşturulması sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar:

- Atık taşıyan kamyonların çalışma yüzeyine yaklaşma mesafeleri
- Hücrenin örtü malzemesinin bulunduğu yere uzaklığı
- Çalışma yüzeyine toprak örtüsünün hangi yöntemlerle taşındığı
- Çalışma alanındaki atıkların düşey ve yatay yönlerde toprak örtülmesi işlemleridir (Şahin 2002).

Saha çalışmalarında atık taşıyan araçların çalışma yüzeyinin mümkün olduğu kadar yakınına gelmeleri gereklidir. Araçlardaki atıkların çalışma yüzeyine yakın bir yerde boşaltılması, dozer tarafından atıkların daha iyi bir şekilde yayılmasına ve sonra da sıkıştırılmasına imkan sağlayacaktır. Sahada oluşturulan günlük atık hücrelerinin yüksekliği 2 m' yi aşmamalıdır. Etkin bir şekilde depolama için, hücrenin çalışma yüzeyine getirilen atıkların, hücrenin ön yüzeyine eğimli bir şekilde yayılması ve sıkıştırılması gereklidir. Hücrede depolama çalışmaları sürerken ve atık hücresinin üst seviyeleri ortaya çıktıkça, 15 cm kalınlığında bir toprak örtüsünün, bu üst yüzeylerin üzerine konulması gereklidir. Hücrenin tüm kenarlarının tamamen toprak örtü ile kaplanması son derece önemlidir. Genelde toprak örtüsü serildikten sonra iş makinelerinin, örtünün üstünden iki kez geçmeleri yeterli sıkışmayı sağlayacaktır. Çalışma alanlarında su birikintisi olmaması önemli bir noktadır (Şahin 2002).

Tamamlanmış atık hücrelerinin üzerine 6 aydan fazla yeni atık dökülmeyecek ise veya o alan son yüksekliklere ulaşmış ise o zaman atık hücresinin üzerine 30 cm' lik ara örtü tabakası serilmesi gereklidir (Şahin 2002).

Atık depolama çalışmaları esnasında yürütülmesi gereken gözlemelemler çalışmaları yüzey sularının, yeraltı sularının ve sızıntı sularının kalitesinin ve miktarının gözetilmesini kapsamalıdır (Şahin 2002).

Atık depolama sahasının altında bulunan yeraltı suyunun, sahadaki sızıntı sularından etkilenip etkilenmediği kontrol edilmelidir. Bunun için proje tasarımında yerleştirilmiş olan gözlem kuyuları kullanılabilir. Üç ayda bir, her gözlem kuyusundan birer tane yeraltı suyu numunesi alınıp aşağıdaki parametreler ölçülmelidir:

- Sahada; sıcaklık, iletkenlik ve pH
- Laboratuvarda; alkalinite, KOİ, sertlik, klorür ve demir (Şahin 2002).

Yüzey sularının kalitesi yağmur yağdıktan sonra drenaj hendeklerinden akan sulardan numune alınıp kimyasal testlere tabi tutularak belirlenir. Numuneler her yağmur yağışında günde bir kez toplanmalıdır. Alınan su numunelerinde toplam askıda katı madde, KOİ, BOİ ve pH ölçülmelidir (Şahin 2002).

Atık depolama sahasından drene edilen sızıntı suyu miktarı sürekli olarak kaydedilmelidir (Şahin 2002).

Atık depolama sahasının etrafına yerleştirilen gaz gözlem kuyularından alınan numuneler de rutin olarak izlenmelidir. Bu kuyulardan üç ayda bir gaz numuneleri alınarak metan ve oksijen miktarları ölçülmeli, herhangi bir ölçüm sırasında ölçülen metan miktarının %5' in üzerine çıkması halinde rehabilitasyon çalışmaları planlanmalıdır (Şahin 2002).

İşletme faaliyetleri bitiminde ve son örtü sistemi yerleştirildikten sonra, sahanın uzun süreli bakım çalışmalarına başlanması gerekir. Uzun süreli bakım çalışmaları ise şunları kapsamalıdır:

- Depolama alanının üzerine yerleştirilecek son örtüde yüzey sularının atık depolama sahasının içine sızması ve örtü yüzeyinde erozyonu önlemek için sürekli olarak bakım çalışmaları yürütülmelidir. Periyodik saha gözlemlerinde dikkat edilecek hususlar şunlardan oluşur: yüzey sularından meydana gelen erozyonlar, yüzeyde aşırı oturmalar ve atık gazlardan dolayı bitki örtüsünde bozulmalar. Bu aşınmaların daha ciddi boyutlara varmaması için bu alanlarda bakım çalışmaları yapılmalı, son örtü yüzeyi ilk 3-5 yıl boyunca, yılda iki kez bakım görmelidir. Ondan sonraki yıllarda ise yılda bir kez gözlem yapılması yeterlidir. Son örtünün üzerinde bitki tabakasının oluşturulması örtü bütünlüğü açısından son derece önemlidir.
- Saha gözlem programları düzenli olarak yürütülmelidir. Yeraltı, yerüstü ve sızıntı suları, gaz oluşumu ve bunların işletme sistemleri düzenli olarak kontrol edilmelidir.

- Sızıntı suyu toplama sisteminin düzgün çalışıp çalışmadığı kontrol edilmeli; sızıntı suyu drenaj boruları temizlenmeli; sızıntı suyu terfi sisteminin pompalama işlemlerinin, sızıntı suyuna giden ulaşım yollarının ve sızıntı suyu havuzundan sahaya geri sulama sisteminin bakımı yapılmalıdır.
- Ulaşım yollarının ve yüzey suyu taşıma kanallarının bakımları yapılmalıdır (Şahin 2002).

3.3. Depolama Sahalarının Çevresel Etkileri

Katı atıklar, tekniğine uygun bir şekilde bertaraf edilmediği takdirde halk sağlığı ve çevresel etkiler ile ilgili problemler ortaya çıkar (Karpuzcu 1994). Bu etkiler şu şekilde özetlenebilir:

- 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,
- Gürültü kirliliği ve
- Taşıyıcı haşere üremesi (Şahin 2002).

Depolama sahası gazının çevresel etkileri depolama sahasının tasarımına, işletme yöntemine ve depolanan maddelerin yapısına bağlıdır. Son zamanlarda, düzenli depolama sahası kurulmasında ve işletilmesinde, gazın kullanımı, sızıntı suyu kirliliği ve toplanması üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak, düzenli depolanan evsel katı atık bileşiminde yer alan ambalaj atıklarında olacak değişikliklerin olası etkileri konusuna fazla önem verilmemektedir (Daskalopoulos ve ark. 1997).

3.3.1. Depolama Sahalarının Toprağa Etkileri

Toprak doğada kirletici maddelerin biriktiği ve depolandığı bir ortamdır. Bu ortamdan diğer ortamlara (hava, yeraltı suyu, yüzeysel su) evaporasyon, erozyon, veya sızma yolları ile sürekli bir taşınma olmaktadır. Birçok faaliyetler sonucu kirlenen zeminler de dolayısıyla atmosfer ve yeraltı/yüzeysel suları için bir kirlilik kaynağı oluşturmaktadır (Arhan 1997).

Bu noktada, katı atıkların toprak kirliliğine en belirgin etkisi atık depolama sahalarında olmaktadır. Atıklar, hiçbir önlem alınmadan bir alana bırakıldığı takdirde, arazi kullanılamaz hale gelmekte, yeraltı suları kirlenmekte ve rahatsız edici kokular oluşmaktadır. Evlerden çıkan atıklarla birlikte endüstriyel, ticari, madencilik ve tarımsal faaliyetler sonucunda, ortaya çıkan katı atıklar da bu depolama sahalarında herhangi bir önlem alınmaksızın depolandığı takdirde kirliliğin boyutları daha da büyümektedir (Ünal ve Başkaya 1997).

Katı atıkların içinde bulunan kirleticilerin toprakta taşınarak yeraltı veya yüzey sularına karışması hidrolojik faktörlere ve toprağın özelliklerine (toprak yatağının özellikleri, kil yüzdesi, killerin mineral yapısı, toprak strüktürü, boşluk oranı, toprağın nemi, toprak pH' ı, v.b.) bağlıdır (Karpuzcu 1994).

Katı atıkların bileşimleri nedeniyle toprağa ağır metallerin girişi de olmaktadır. Evsel nitelikli katı atıklar içinde bile tehlikeli ve zararlı maddeler bulunmaktadır. Bunlar arasında piller, ilaçlar, çeşitli boyalar ve çözücüler sayılabilir. Piller katı atık içine çok zehirli ağır metal girişinin en önemli kaynaklarından. Doğrudan toprağa bırakılan çöplerden ağır metal girişi olmakta, topraktan da yıkanma sonucu yeraltı sularına ve yüzeysel su kaynaklarına gelmekte, besin zincirinin bir halkasını oluşturan bitkilere gelen ağır metaller buradan insanlara kadar ulaşmaktadır (Ünal ve Başkaya 1997).

Endüstriyel atıklar, gelişigüzel atıldıklarında veya depolandıklarında, çok ciddi toprak kirlenmesine yol açmaktadırlar. Amerika Birleşik Devletleri' nde

endüstriyel atıkların atıldığı eski depolama sahaları ve boş araziler bir süre sonra çok önemli bir kirlilik kaynağı (toprak, yeraltı ve/veya yüzeysel su kirliliği) olarak ortaya çıkmış ve bugün çok para harcanarak incelenmekte ve temizlenmeye çalışılmaktadır. Yapılan bir çalışmaya göre (17 Mart 1986, Fortune Magazin) kirlenmiş sahaların temizlenmesinin 50 yıl kadar süreceği ve 300 milyar dolar civarında (1986 bazında) harcama gerektireceği belirtilmektedir (Arhan 1997).

3.3.2. Depolama Sahalarının Bitkiler Üzerindeki Etkileri

Bitkisel hasar, köklerin; oksijenin depolama alanı gazı ile doğrudan yer değiştirmesi sonucu, oksijeni alamamalarından kaynaklanır. Gaz kontrol sistemlerinin olmadığı durumlarda depolama alanı gazı, konsantrasyon ve basınç farklılıkları nedeni ile kaçabilir ve depolama sahası boyunca havaya yükselir. Bu olay sırasında oksijen yer değiştirir ve bitki kökleri yüksek konsantrasyonda depolama alanı gazının iki ana bileşeni olan metana ve karbondioksit maruz kalırlar. Oksijenin yokluğu bitkilerde asfiksiden (oksijensizlikten boğulma) dolayı ölümlere neden olur (El-Fadel ve ark. 1997). Bitkilerin ölmesi, tarım alanlarında ürün azalmasına, dolayısıyla kuraklığa neden olur (Daskalopoulos ve ark. 1997).

Metana doğrudan maruz kalma, bitki büyümesini çok etkilememesine rağmen, yüzeye yakın yerlerde metan tüketici bakteriler tarafından yapılan metan oksidasyonu, oksijen yetersizliğini oluşturan bir diğer faktördür (El-Fadel ve ark. 1997).

Aşağıdaki denklik oksijen tüketimini ifade etmektedir:



Metan oksidasyonu süresince açığa çıkan ısı, toprak sıcaklığını yükselterek bitkilerde potansiyel asfiksi oluşturur. Metan oksidasyonundan ve depolama alanı gazından karbondioksit oluşumu, yüksek konsantrasyonlarda (%30-45) bitki büyümesi için kısmen zararlı olabilir. Depolama sahası gazının bazı iz miktardaki bileşenleri (amonyak, karbonmonoksit, halo-organik bileşikler, hidrokarbonlar,

uçucu organik asitler) bitkiler için toksiktir ve bitki büyümesini inhibe edicidirler (Daskalopoulos ve ark. 1997).

Depolama sahasında bitki büyümesini etkileyen diğer faktörler örtü toprağının kalınlık, bileşim, geçirgenlik ve nem içeriği gibi özelliklerdir (El-Fadel ve ark. 1997).

3.3.3. Depolama Sahalarının Hava Kirliliğine Etkileri

Katı atık depolama sahaları içine depolanan organik kökenli atıkların biyokimyasal olarak ayrışması sonucunda, çoğunluğu metan gazından oluşan depo gazı ortaya çıkmaktadır. Miktar olarak 1 m³ atık başına 100-400 m³ gaz oluşur (Şahin 2002). Ayrıca, yüksek konsantrasyonda karbondioksit içeren depolama alanı gazı, yüksek çözünürlüğü nedeni ile yeraltı suyu kirliliğinde, sızıntı suyu kadar önemli bir potansiyele sahiptir. Metan ve karbondioksit, depolama sahası gazının iki ana bileşeni olmasına rağmen, bu gaz içinde çevreye ve sağlığa zararlı, hava ve yeraltı suyu bakımından ciddi bir tehdit unsuru olan eser miktarlarda sayısız bileşenin olduğu kanıtlanmıştır. Depolama gazı ile açığa çıkan eser miktardaki bu toksik gazlar, doymamış bölgelere taşınırlar ve yeraltı suyu ile ara bölgede sıvı-gaz fazını oluşturarak, yeraltı su kaynaklarını kirletirler. Literatürde, depolama alanlarından çok uzaklarda bile, yeraltı suyunda vinil klorür ve diğer uçucu hidrokarbonların bulunduğu dair bir çok örnek vardır. Sonuç olarak, doymamış gözenekli ortamlar içinde eser gazların iletim mekanizmaları, bir çok araştırmanın konusu olmaktadır. Depolama sahalarından kaynaklanan uçucu organik karbonların potansiyel emisyonları ise $4 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-3}$ kg/m²/gün olarak belirlenmiştir (El-Fadel ve ark. 1997).

Depolama sahası gazında bu kimyasalların varlığı devamlı gelen evsel atığa, hafif endüstriyel atıkların bertarafına ve yasal olmayan atık dökümüne bağlıdır. Mikrobiyal araştırmalar, depolama sahasındaki ürünlerin biyolojik yıkımının da bu kimyasalların oluşumuna katkıda bulunduğunu göstermiştir. Eser miktardaki gaz emisyonlarının öncelikli sorunları hava kirliliği ve potansiyel

sağlık riskleridir. Uçucu organik karbon emisyonlarının yerel bölgelerde kanser riskini arttırdığına ve ortam ozonunun üretilmesine neden olduğuna inanılmaktadır. Eser miktardaki gaz emisyonları aynı zamanda metanojenlerin büyümesini engelleyerek, metan üretimini etkilemekte ve gaz dönüşüm sistemlerinde korozyona neden olmaktadır (El-Fadel ve ark. 1997).

Düzenli depolama alanlarında ayrıca yapım ve zemin ıslahı çalışmaları kapsamında yürütülen temizlik ve kazı işleri toz oluşumuna neden olabilir. Günün gününe devam eden atık taşıma ve örtme işlemleri sırasında da toz oluşur. Katı atık yanmadığı sürece duman nedeniyle hava kirliliği oluşmaz (Şahin 2002).

Katı atığı sahaya getiren kamyonlar ve toprak işlerinde kullanılan araçlar karbonmonoksit, hidrokarbon ve azotoksitler gibi kirletici gazlar yayarlar. Nüfus yoğunluğu ve kirleticilerin havaya karışma riskleri göz önüne alınarak, derişimlerinin düşük olması sağlanmalıdır (Şahin 2002).

3.3.4. Depolama Sahalarının Yeraltı Suyuna Etkileri

Sızıntı suyu oluşumu, yeraltı suyu için en önemli tehdit unsurudur. Sızıntı suyu, depolama alanının tabanına ya da depolama alanındaki geçirimsiz tabakaya ulaştığı zaman, yüzeyden deşarj olabileceği bir noktaya doğru ilerler ya da depolama sahası tabanınca ilerleyerek, yüzey altındaki düzeneklere erişir. Bu düzeneklerin yapısına ve de sızıntı suyu toplama sistemlerinin olmamasına bağlı olarak, depolama sahası altında yer alan akiferlerin kirlenmesine neden olur (El-Fadel ve ark. 1997).

Önemli miktarda kirletici bileşen, düzenli depolama alanlarından sızarak yeraltı sularına karışmaktadır. Örneğin 1977' de ABD' de 50 adet katı atık düzenli depolama alanında yapılan bir araştırmada; alanların altındaki yeraltı sularının büyük oranda kirlendiği saptanmış, bunların 49' unda ağır metallere ve 40' unda PCBler, benzen gibi çeşitli organik çözücülere rastlanmıştır. 1994' de yine ABD' de yapılan bir araştırmada, katı atık düzenli depolama alanlarından etkilenen

yeraltı sularında kurşun, krom, çinko, arsenik, kadmiyum ve mangan iyonları bulunmuştur (Şahin 2002).

Sızıntı suyu problemi, bir kütle transfer prosesinin sonucudur. Depolama alanına giren atık, su akışları ile kontrol edilen birçok değişime uğrar. Depolama alanındaki üç fazdan (katı atık, sızıntı suyu ve depolama alanı gazı) sıvı faz, çözünebilir ve askıda organik maddeler ve inorganik iyonlar bakımından katı fazdan daha zengindir (Daskalopoulos ve ark. 1997).

Tahmin edilenlerin dışında, sızıntı suyu oluşumunda önemli varyasyonlar olabilir. Örneğin, pratik olarak, atığın emme kapasitesinin tamamı kullanılmayabilir, su sahaya girdiği gibi yüksek geçirgenliğe sahip yollar boyunca süzülebilir ve sonuçta önemli miktarlarda sızıntı suyu arazi içinde toplanabilir. Buna ek olarak, depolama alanının doldurulmaya başlandığı ilk zamanlarda, ortalamanın üstündeki yağış periyotları sırasında ya da doldurma işlemi için atıkların sıkıştırılması ile de sızıntı suyu oluşabilir. Depolama alanında karşılaşılan sorunlar, yetersiz kontrol ve bakım sonucu oluşmaktadır. Sızıntı suyu, depolama sahası işletiminde oluşan hatalar nedeni ile oluşmaya başlayabilir. Yani zarar görmemiş membran tabaka haricindeki tabakalardan, delik ve çatlaklardan süzülebilir. Kalite kontrole bağlı olarak, üçte ikisi bağlantı yerlerinde olmak üzere hektar başına iki ya da elli delik görülebilir (Daskalopoulos ve ark. 1997).

Bu sızıntı yolları için tipik nedenler şunlardır:

- Membran tabakanın ek yerlerinde yapılan birleştirme işleminin yetersizliği,
- Membran tabakanın döşenmesi sırasında oluşan yırtıklar,
- Tabakanın iyi oturmaması,
- Kimyasal etki,
- Tabakanın altından gaz yükselmesi.

Düşük geçirgenlikli doğal bir tabaka kullanılarak yapılan depolamanın özelliği olan yavaş sızıntı ile karşılaştırıldığında, sentetik bir tabaka kullanılması, sızıntı suyunun kısmen büyük ve akut bir etki göstermesine neden olabilir. Bu

nedenle, membran tabakanın altına yerleştirilen kil tabaka, sızıntı suyu oluşumunu büyük ölçüde engelleyecektir. Sızıntı suyu oluşumunun minimizasyonu, yüzey ve yeraltı suyu girişlerinin kontrolü, atık ile temasın en aza indirilmesi, kontrollü bakım, düşük geçirgenlikli tabakaların kullanılması, sıvı atık girişlerinin kontrolü, doğrudan depolama için atığın susuzlaştırılması gibi işlemlerle sağlanmaktadır. Depolama sahasından oluşan sızıntı suyunun kontrolü ise sentetik tabakanın korunması için kompozit tabakanın sentetik tabaka ile birleştirilmesi veya bir çift olarak kullanılması ile, yeraltı suyunun geçtiği en yüksek noktanın üzerine koruyucu tabakanın yerleştirilmesi ile veya düşük geçirgenlikli duvarlarla alanın çevrenmesi şeklinde yapılmaktadır (Daskalopoulos ve ark. 1997).

Sızıntı suyu bileşiminin tahmini, en az miktarının tahmini kadar zordur ve depolama alanında oluşan bozunmanın oranı ile değişim gösterir. Yapılan çalışmalarda, sızıntı suyu bileşiminde görülen değişikliklerin, depolama sahasının büyüklüğüne, mevsimlere ve sahanın yaşına bağlı olduğu görülmüştür. Buna rağmen, potansiyel sızıntı suyunun niteliğinin değerlendirilmesi, depolama alanı tasarımında ve sızıntı suyu arıtma sistemlerinin seçiminde önemli rol oynamaktadır (Daskalopoulos ve ark. 1997).

3.3.5. Depolama Sahalarının Koku Etkisi

Depolama sahasından kaynaklanan koku nedeni ile o bölgelerde yaşayan insanlar tarafından yapılan şikayetler, genellikle sağlığa etkileri ile ilgili soruları kapsamaktadır. Yapılan çalışmalar depolama sahasından kaynaklanan kokunun kaynağını, metabolik ürünlerden kaynaklanan ve anaerobik koşullar altında bozunmanın ara ürünlerinden oluşan sınırlı sayıdaki iz bileşenlerin oluşturduğunu göstermiştir (Daskalopoulos ve ark. 1997). Kokuya neden olan bu küçük koku bileşenleri atmosfere yayılan depolama sahası gazı içindeki esterler, hidrojen sülfür, organosülfürler, alkilbenzenler, limonen ve diğer hidrokarbonlardır (El-Fadel ve ark. 1997). Ayrıca depolama sahasında çıkabilecek alevlenmeler nedeni ile oluşan koku da rahatsız edicidir (Daskalopoulos ve ark. 1997). Depolama sahası gazının koku özelliği, gazdaki koku bileşenlerinin

derişimine bağlı olarak hafiften ağıra doğru değişebilir. Bu derişimler, atığın bileşimine ve yaşına, bozulma ve gaz üretim hızına ve atıktaki mikrobiyal populasyonun türüne ve diğer faktörlere bağlı olarak değişir. Kokular, eser bileşenlerinin toksik olmasına rağmen, doğrudan sağlığa zararlı olmalarından çok çevresel zarar olarak görülmüşlerdir. Kokuların, depolama sahası sınırlarından etrafa yayılması büyük ölçüde hava koşullarına (rüzgar, sıcaklık, basınç, rutubet) bağlıdır (El-Fadel ve ark. 1997).

Kokunun ortaya çıkma riski, depolamadan sonraki ilk yılda yüksektir. Depolama sahasından kaynaklanan kokular bireyler için mide bulandıracak kadar kötü olabilmekte ve çevrenin sulanması kokunun azaltılması için yeterli olmamaktadır. Koku kontrolü için aşağıdaki önlemlerin alınması gerekir:

- Günlük toprak örtüsünün atıkların üzerine yayılması
- Koku yoğunluğu yüksek atıkların üzerlerine hemen toprak örtülmesi (özellikle artma çamurlarının depolanması halinde)
- Yüzey sularının saha üstünde birikmesinin önlenmesi
- Sızıntı suyu ve gaz toplama sistemlerinin bakımlarının sürekli olarak yapılması (Daskalopoulos ve ark. 1997).

3.3.6. Depolama Sahalarının Sera Etkisi

Depolama yüzeyinden kaynaklanan metan ve karbondioksit emisyonları, önemli derecede küresel ısınmaya yani sera etkisine neden olmaktadır. Moleküler bazda karbondioksite göre 20-25 kat daha büyük bağlı etkiye sahip olan metan gazı, kızılötesi radyasyonu tutmada daha etkili olması ve okside edici etken olan hidroksil iyonlarına olan ilgisinin yüksek olması sonucu diğer türlere göre atmosferde daha uzun süre kalma eğilimi gösterdiği için küresel ısınmada daha büyük rol oynar (El-Fadel ve ark. 1997).

Yakın zamanda atmosferdeki metan derişimindeki artışlar, küresel boyutta metan kaynakları ve alıcıları üzerine geniş çapta çalışmalar yapılmasına neden

olmuştur. Atmosferik metan derişimlerinin yılda ortalama olarak %1-2 dolaylarında artış gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, metan gazı toplam küresel ısınmanın %18' ini oluşturmaktadır. Bu yüzde, 40-75 milyon tonu depolama sahası emisyonlarından oluşan, yıllık, yaklaşık 500 milyon tonu ifade etmektedir. Sürekli artan nüfus ve kentleşme sonucu, katı atık depolama sahaları, geri kazanım programları kullanılmadıkça, atmosfere metan yayan önemli kaynaklar olmaya devam edecektir (El-Fadel ve ark. 1997).

Depolama alanı gazının olası çevresel etkilerini değerlendirmek için, sera gazı gibi, ışınlarla bağlantılı etkilerini bilmek gerekir. Farklı sera gazlarının atmosferde kalma süresi ve ışınlarla olan etkileşimlerini belirlemek için küresel ısınma konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Devletler Arası İklim Değişiklikleri Paneli (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change), günümüz atmosferine verilen sera gazının zamana bağlı ısınma etkilerini belirten bir indeks geliştirmiştir. Doğrudan küresel ısınma etkilerine ek olarak, gazlar atmosferde kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan ürünler ile de dolaylı etkilere sahip olabilirler (karbondioksit ve troposferik ozonun ürünü olan metanın bozunması gibi) (Daskalopoulos ve ark. 1997).

Depolama alanı örtüsü boyunca olan atmosferik gaz emisyonları, birçok araştırmacı tarafından ölçülmektedir. Bir yarı-kurak depolama sahasında kuru toprak koşullarında Bogner (1989), metan ve karbondioksit akışının 630 ile 950 kg/m²/yıl gibi yüksek değerlerde olabileceğini saptamıştır. Akış ölçüm kutularını kullanarak, Lytwynshyn (1982) ve Kunz ve Lu (1979-1980), metan yayılma akışının depolama alanı örtüsü boyunca 390 ile 1200 kg/m²/yıl olduğunu belirtmişlerdir. Bu ölçümler, metanotroflar tarafından yüzeye yakın yerlerde metanın aerobik oksidasyonunun yapılması nedeni ile gerçek emisyon hızlarının altındadır. Kontrol çalışmalarından elde edilen emisyon hızları, depolama alanındaki gerçek emisyonları temsil etmemesine rağmen, atmosfere verilen gaz eğilimini açıkça göstermektedir (El-Fadel ve ark. 1997).

3.3.7. Depolama Sahalarının Yangın ve Patlama Riski

Depolama sahası gazı, enerji dönüşümü sağlayan metan bakımından zengin olmasına rağmen, parlayıcı olması, hava ile birlikte patlayıcı forma dönüşmesi ve depolama sahasından adveksiyon ve diffüzyon ile yayılma özelliklerinden dolayı dikkat gerektirmektedir. Diffüzyon, gazın depolama sahası hacmi boyunca uniform derişimlere ulaşmasını sağlayan fiziksel bir prosestir ve bu nedenle de gaz hareketi yüksek derişimli alanlardan, düşük derişimli alanlara doğrudur. Adveksiyon ise, yüksek basınçlı alanlardan düşük basınçlı alanlara hareket sonucu oluşan basınç farklılıklarından kaynaklanır. Diffüzyon ve adveksiyon hızları öncelikle depolama sahası gazının fiziksel özelliklerine ve üretim hızına, depolama sahası iç sıcaklığına, nem içeriğine, depolama sahasını çevreleyen toprak formasyonuna ve barometrik basınç değişikliklerine bağlıdır. Depolama sahası gazı, ya üst örtü boyunca havalanma veya saha boyunca etrafı çevreleyen toprağa hareket ile depolama sahasından kaçmayı sağlayan yollar izler. Kaçak gaz yolunu, binaların ve yeraltında inşa edilmiş düzeneklerin içinde ya da depolama sahası yakınında bulunan gaz cepleri oluşturan ve potansiyel patlama riski taşıyan yerlerde bulur. Toprağın özelliğine bağlı olarak gaz, depolama sahasında uzun yollar alabilir. Literatürde, depolama sahalarından gaz kaçacağına bağlı olarak oluşan sayısız yangın ve patlama olayı verilmiştir (El-Fadel ve ark. 1997).

Yangın ve patlama olayları sadece depolama sahalarından kaynaklanan kazalar olarak sınırlandırılmaz. Sahadaki yangınlar genellikle yüzey altında, depolama sahasına hava girişi ve yangına neden olabilecek olan metan-oksijen karışımının oluşması ile meydana gelir. Hava girişi öncelikle gaz dönüşümü veya kaçak kontrol sistemlerinden aşırı geri çekilme oranının bir sonucu olarak ortaya çıkar. Bunlara ek olarak, yüzey çatlakları ve sıcaklık farklılıkları baca etkisi yaratabilir ve depolama sahası içine hava girişine neden olabilir. Yüzey altı yangınlarını önlemek için kazı, depolama sahası içinde oksijen içermeyen havanın elde edilmesi ve inert gaz veya suyun enjeksiyonunu içeren teknikler geliştirilmektedir (El-Fadel ve ark. 1997).

3.3.8. Depolama Sahalarında Taşıyıcı Haşere Üreme Riski

Biyolojik taşıyıcı olan hayvanlar; hastalığa yol açan organizmaları insanlara taşıyan kemirgenler, kuşlar veya böceklerdir. Uygun şekilde yürütülmeyen katı atık depolama alanı çalışmalarında katı atıklar bu zararlı hayvanlar için hem yiyecek hem de barınak görevi görebilir. Uygun işletme koşullarının sağlanmasıyla bu hayvanların yol açtığı sağlıkla ilgili tehlikeler azaltılabilir (Şahin 2002).

Atıkların üzerine günlük örtü koymak sureti ile haşerelere yiyecek ve barınma fırsatı ortadan kaldırılır ve bu sayede haşere üremesi kontrol altına alınabilir. Sivrisinek üremesini önlemek için yüzey suyu drenajının iyi yapılması ve sızıntı suyunun atık depolama alanında birikmesini önlemek gereklidir. Ayrıca haşere kontrolü için sahadaki işletme binaları ilaçlanabilir (Şahin 2002).

3.3.9. Depolama Sahalarından Kaynaklanan Gürültü Kirliliği

Saha içinde kullanılan donanım (gaz toplama sistemlerindeki kompresörler vb.) ve nakil araçları gürültü seviyesinin artmasına yol açabilir. Bu nedenle, depolama sahası çevresindeki nüfus yoğunluğuna bağlı olarak, gürültü seviyelerindeki artışların sosyal zararlara neden olmamasına dikkat edilmelidir (Şahin 2002).

3.3.10. Depolama Sahasında Çalışan Kişilerin Karşı Karşıya Bulduğu Riskler

Atık yönetimi süresince pek çok insan belediyenin toplama sisteminden itibaren taşıma, ayırma ve depolama basamaklarında katı atıklarla çalışmaktadır. Bu çalışan insanların atıkların sebep olacağı riskleri bilecek şekilde eğitilmiş olmaları ve bu risklere karşı önlem almaları gerekir. Atıkları taşımakla görevlendirilen özel eğitimden geçmiş şoför ve temizlik personeli çalışma sırasında eldiven, koruyucu gözlük, çizme kullanmalı ve donanımlar ayrı bir

bölgede muhafaza edilmelidir. Bunların temizlenmesi belediye veya belediyenin görevlendireceği kuruluş tarafından yapılmalıdır. Atık taşıma ve toplama araçları belli aralıklarla temizlenmelidir. Eğer atıkların ayrılması depolama alanında ve gereken önlemler alınmadan yapılıyorsa çok tehlikelidir ve belirli sürelerden fazla çalışılmamalıdır. Bu süreçte, düzensiz depo alanlarında metan gazı toplama sistemleri olmadığı için, yanma olayları gerçekleşebilir. Sıkıştırılmış bazı bölgeler ise kazıldığında veya atık hareket ettirildiğinde patlayabilir. Eski ve düzensiz atık sahalarının en iyi rehabilitasyon yöntemi, drenaj sistemleri yapılarak yeşil alana dönüştürmektir. Eski düzensiz depo sahalarından maddesel geri kazanım ve yakıt elde edilmesi düşünülmemelidir (Şahin 2002).

Yanma olayları sonucu oluşan dioksinler ve furanlar da insan sağlığını kötü etkilemektedir. Depolama alanlarında ayrıca, depolama gazının geçtiği ve biriktiği yerlerde bulunan insanlarda boğulmalar görülebilir. Bu durum:

- Gazın geçtiği bölgede, ofiste ya da çukurlarda çalışan işçileri
- Su kanalı ile etkilenmiş bölgede bulunanları
- Bölgenin dışında bulunan insanları etkiler (Daskalopoulos ve ark. 1997).

Özellikle depo sahalarının kapatılmasında dikkatli olunmalıdır. Düzenli depolama işlemi yapılmamış olan depo alanlarının rehabilitasyonunda çalışan işçilerin eğitilmiş olmaları ve boğucu özelliğe sahip metan gazına karşı önlem almaları, kazma işlemlerinde metan gazının yoğunlaştığı yerlerde çalışmamaları gerekir. Ayrıca üstü örtülmüş, ancak metan gazı drenaj sistemi kurulmamış çöplükler de patlama riski taşıyan tehlike noktalarıdır (Şahin 2002).

3.3.11. Depolama Sahalarında Meydana Gelen Çökmeler

Tamamlanmış depolama sahalarının başka kullanım alanlarına açılması, atığın bozunmaya uğrayarak boşluk hacmini arttırması ve dolayısıyla depolama sahasının yapısındaki zayıflamalar nedeni ile oluşan çökmeler tarafından engellenmektedir. Depolama sahası çökmesinin diğer nedenleri sızıntı suyunda atığın çözünmesi, tamamlanmamış atık sıkıştırılması, biyolojik ve fiziko-kimyasal

değişiklikler nedeni ile küçük parçaların büyük hacimlere taşınması, yüzey altı yangınları, atık kalınlığı ve ağırlığına bağlı olarak konsolidasyon ve mekanik sıkıştırmayı veya depolama sahası inşası sırasında yapı materyal ve malzemelerinin yüklenmesini içerir (El-Fadel ve ark. 1997).

Depolama sahası çöküntüsünün hızı ve büyüklüğü, öncelikle atık bileşimine, depolama sahası atığının biyolojik bozunmasını etkileyen işletme faktörlerine ve kısmen de neme bağlıdır. Tahminlere göre en büyük depolama sahası çökmesi orijinal kalınlığın %25-50' si arasında değişir. İşletmeden ve yüklemekten kaynaklanan çökmeler, toplam çökmelerin %5-30' unu oluştururlar ve depolama sahası işletilirken ya da kapatıldıktan hemen sonra meydana gelirler. Atıkların bozunması sonucu oluşan uzun süreli çökmeler, teorik olarak orijinal kalınlığın % 40'ına ulaşır ve depolama sahasındaki stabilizasyon prosesine bağlı olarak kapatılmadan sonraki yıllar boyunca devamlı olarak yavaş bir azalma gösterir. Ortalama olarak, toplam depolama sahası kalınlığının %15' inin çökmesinin atığın bozunmasından ileri geldiği düşünülmektedir (El-Fadel ve ark. 1997).

Depolama sahaları, atık bileşiminde, düzenli olmayan çökme modeline neden olan büyük değişimler gösterirler. Bu da depolama sahası yapısında bütünlüğü bozucu değişik çökmeler yaratır. Binaların yapısal hataları, final örtüsündeki yüzey çatlakları, yüzeysel su drenaj sistemlerinde, sızıntı suyu ve gaz toplama sistemlerinin boru tesisatında ve yeraltı düzeneklerindeki hasar, değişik çökme sebeplerine dayanabilir. Atık bileşimindeki değişimler kadar, atığın yerleştirilme ve sıkıştırılma şekli, havalanmanın olmaması, düşey yüklemeler ve yüzey altı yangınları da değişik çökme nedenlerinden olabilir. İşletme ve bakım çalışmaları (sıralama, ön arıtma, düzenli sıkıştırma vb.) büyük ve değişik çökmeleri en aza indirebilir (El-Fadel ve ark. 1997).

3.3.12. Depolama Sahalarının Diğer Etkileri

Tüm bunlara ek olarak, düzenli depolama alanlarının ekolojik denge üzerine de olumsuz etkileri de vardır. Özellikle depolama sahasının yapım çalışmaları sırasında yolların ve su kontrolü ve bakım yapılarının inşa edilmesi nedeniyle bitki örtüsünün temizlenmesi gerekir. Ancak bu işlemin yerel etkisi çok az olsa bile, sahadaki dengenin bozulmasıyla ortaya çıkan toplam etki, olumsuz bölgesel sonuçlara yol açabilir. Katı atık dolgu alanı geliştirilirken bitki örtüsünün kamuoyu tarafından yeterli görülen seviyenin altında yok edilmemesi için özen gösterilmelidir. Zira, bitki örtüsü ortadan kaldırıldığında, bunlara bağımlı olan hayvanlar da yok olacak veya göç edecektir (Şahin 2002).

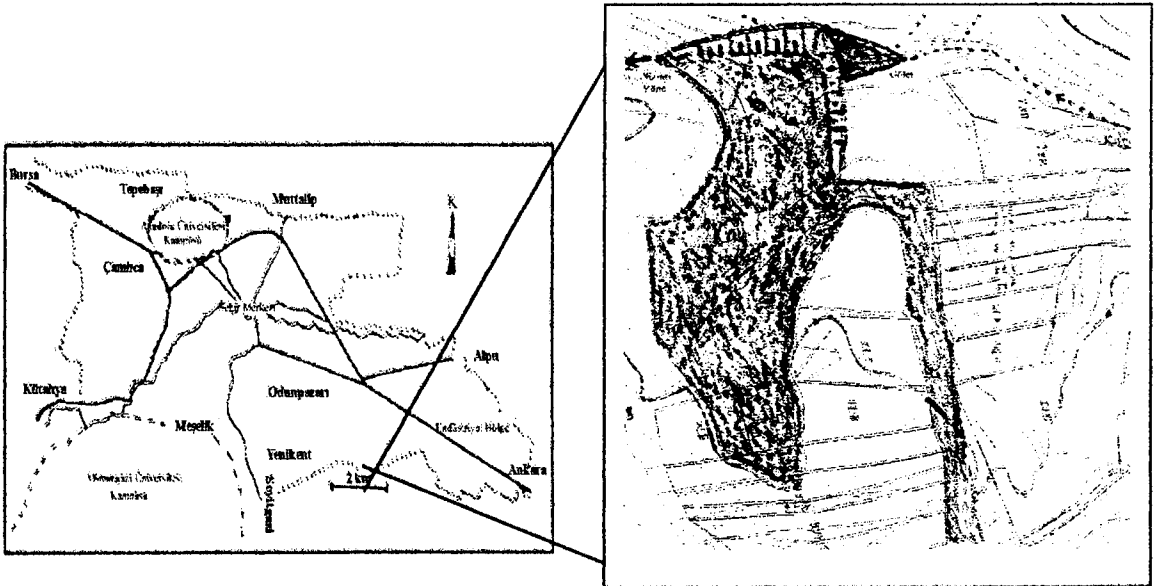
4. ÇALIŞMA ALANI

4.1. Eskişehir Katı Atık Depolama Sahasının Durumu ve Eskişehir’ de Uygulanan Katı Atık Yönetimi

Eskişehir çöp depolama sahası şehrin güneydoğusunda, Eskişehir Seyitgazi yolu üzerinde yolun solunda, şehir merkezine 15 km, Yenikent Toplu Konut Alanı’ na 5 km mesafede ve Kırtık-Şahindere mevkiinde yer almaktadır. Sahanın şehir merkezindeki yerleşimi Şekil 4.1’ de verilmiştir.

1986 yılından beri çöplerin düzensiz olarak döküldüğü bu sahaya, günde yaklaşık 500 ton evsel katı atık gelmektedir. Gelecekte Düzenli Atık Depolama Sahası olarak projelendirilmesi düşünülen alan 164 hektar olup, yaklaşık olarak 8 hektarlık bir alan şu anda kullanılmaktadır.

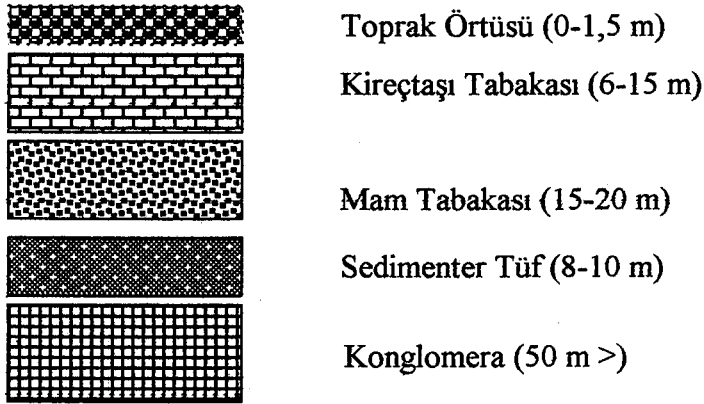
Yaklaşık 2 milyon m³ hacme sahip atık kütle ile kaplı olan mevcut saha, 50 m derinliğindeki bir vadinin yamacında yer alır (Şahin 2002).



Şekil 4.1. Depolama alanının Eskişehir’deki yerleşimi (Şahin 2002)

Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılan çalışmada sahadaki oluşumun kalker olduğu görülmektedir. Sahaya yaklaşık 4-5 km mesafede bulunan E-tipi cezaevi alanında yapılmış bulunan sondajlarda, Yeraltı Su Seviyesi (YASS)'nin 40-50 m' de bulunduğu belirtilmiştir.

İnceleme sahası Paleojen yaşlı taban konglomera ile bunun üzerinde diskordan olarak gelen Neojen yaşlı sedimenter tuf, marn ve kireçtaşı tabakaları ile temsil edilmektedir. Aşağıda sahanın litojik kesiti gösterilmiştir (Şahin 2002).



Şekil 4.2. Çöp depolama sahasının litojik kesiti (Şahin 2002)

Sahaya, iki alt belediyenin ve onlara bağlı olarak çalışan iki ayrı taşeron firmanın araçları ile şehirden toplanan evsel nitelikli atıkların dışında, sağlık 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 sağlıksız koşullar altında, çeşitli kişiler tarafından geri kazanım işlemi

yapılmaktadır. Sahaya çöpler döküldükten sonra sözü edilen kişiler tarafından geri kazanılabilir nitelikteki atıklar ayrılarak bir kepçe yardımıyla vadiye boşaltılmaktadır (Şahin 2002).

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 kaplanmıştır. En derin yerinin 1,5-2 m olduğu bilinmektedir.

Sahanın çevresi henüz çit veya benzer bir fiziksel engel ile çevrilmediği 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 oluşan küçük çöp yangınları gözlenmekle birlikte, koku ve sinek problemi muhtemelen rüzgar nedeniyle şimdilik çok azdır.

Eskişehir'de iki alt belediye (Tepebaşı ve Odunpazarı) tarafından atıkların hemen hemen tamamı karışık olarak toplanmaktadır. 1996 yılında, cam, metal, plastik, kağıt ve karton atıklarının ayrı toplanarak değerlendirilmesini hedefleyen ve iki alt belediye tarafından ÇEVKO Vakfı ile birlikte yürütülen pilot çalışmalar halen kısmen devam etmektedir. Bugüne değin 6200 konutta uygulanmakta olan programda Tepebaşı Belediyesi'nce 222 ton, 5300 konutta uygulanmakta olan programda ise Odunpazarı Belediyesi'nce 138 ton geri kazanılabilir nitelikte atık toplanmıştır (Şahin 2002).

Bunun yanısıra Anadolu Üniversitesi'nce yürütülen geri kazanım çalışmalarında da 2001 yılından bugüne kadar yaklaşık 87 ton geri kazanılabilir atık toplanmıştır.

4.1.1. Evsel Atıklar

Eskişehir’de evsel atıklarla ilgili bugüne değin kapsamlı ve sistematik olarak yapılan tek çalışma Anadolu Üniversitesi “Yunusemre ve İki Eylül Kampüsleri Atıklarının Karakterizasyonu ve Değerlendirilebilirlik Seçeneklerinin İncelenmesi” Projesi çerçevesinde 1 yıl boyunca yapılan deneysel verilerden oluşmaktadır. Çeşitli zamanlarda münferit olarak yapılan diğer çalışmalarla bu projedeki fiziksel bileşimler Çizelge 4.1’ de karşılaştırılmıştır.

Toplam atık içerisindeki organik madde miktarı yaz aylarında artış göstermekte, bunun yanı sıra kağıt, plastik, cam gibi geri kazanılabilir maddelerin miktarı artmaktadır. Kış aylarında kül miktarında belirgin bir artış olmasına rağmen ısıtma sisteminde doğal gazın geçişin başlaması ile bu oranda da azalma görülmektedir (Şahin 2002).

Çizelge 4.1. Eskişehir’de katı atıkların fiziksel bileşimi (Şahin 2002)

	Büyükşehir Belediyesi’ nin Çalışmaları		Anadolu Üniversitesi’ nin Çalışmaları
	17-18 Mart 1988	21 Temmuz 1993	Ocak 2001- Kasım 2001
Madde	%	%	%
Organik	7,74	45,25	43
Kül	82,3	15,0	-
Kağıt	1,9	5,4	22
Plastik	0,95	14,6	24
Bez	0,1	6,0	-
Cam	0,3	3,6	7,5
Hafriyat	6,3	6,7	-
Metal	-	-	3,5

4.1.2. Tıbbi Atıklar

Eskişehir ilinde, 13 tanesi merkezde, 12' si ilçelerde ve 18 tanesi de köylerde olmak üzere, toplam 43 Sağlık Ocağı faaliyet göstermektedir. İlde 4 adet verem savaş dispanserî olup, il merkezinde Sağlık Bakanlığı'na bağlı 1 Devlet Hastanesi, 1 Doğumevi, Çifteler ve Sivrihisar ilçelerinde 1'er Devlet Hastanesi bulunmaktadır. Bunların dışında merkezde diğer Bakanlıklar, Üniversite ve özel sektöre ait 6 hastane daha vardır. Eskişehir' de oluşan tıbbi atık miktarı 2001 yılı verilerine göre 223.584 kg/yıl şeklindedir.

Şehir merkezindeki sağlık kuruluşlarında oluşan tıbbi atıklar (evsel ve enfekte) çoğunda ayrı olarak, atık tipine göre farklı renkli torbalarda biriktirilmekte, ancak daha sonra bu atıklar diğer evsel atıkların taşındığı sıkıştırılmalı araçlarla mevcut çöp sahasına taşınmaktadır.

Mevcut sahada tıbbi atıklar için ayrı bir döküm yeri bulunmakla ve tıbbi atıkların bir kısmı sahaya atık torbaları ile getirilmekle birlikte, sahanın mevcut koşulları nedeniyle tıbbi atıklar dağınık ve çevre için olumsuz etkilere neden olacak şekilde depolanmaktadır (Şahin 2002).

4.1.3. Endüstriyel Atıklar

Eskişehir' de mevcut Organize Sanayi Bölgesi'nden 2001 yılında çıkan toplam endüstriyel atık miktarı yaklaşık 87.865 tondur. Ayrıca il merkezinde faaliyet gösteren TUSAŞ Motor A.Ş. ve Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı' ndan 2000 yılı verilerine göre toplam 165 ton endüstriyel atık çıkmıştır. Endüstriler ve Hava Kuvvetleri atıklarını kendi araçları ile Büyükşehir Belediyesi' nin Kırıkk-Şahindere mevkiindeki çöp sahasına getirmektedir. Bazı sanayiler kendi atıkları içerisindeki geri kazanılabilir maddelerini diğer atıklardan ayrı olarak toplayıp değerlendirmekte ve tehlikeli ve zararlı atıklarını kendileri bertaraf etme yoluna gitmektedirler (Şahin 2002).

4.2. Eskişehir Toprak Yapısı

İklim, topografya ve ana madde farklılıkları nedeniyle Eskişehir’de çeşitli büyük toprak grupları oluşmuştur. Büyük toprak gruplarının yanı sıra toprak örtüsünden yoksun bazı arazi tipleri de görülmektedir (Kılınç 2003).

Eskişehir’deki toprak yapısıyla ilgili veriler Çizelge 4.2.’de, vahşi depolama sahasından alınan toprak örneklerine göre İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılan strüktür tayini sonuçları ise Çizelge 4.3.’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Eskişehir ilinin toprak yapısı (Kılınç 2003)

Toprak Grubu	Yayılm Yeri	Alanı (hektar)	Kullanımı
Alüvyal Topraklar	Porsuk Ovası Sarısu Ovası Yukarı Sakarya Ovası	104.291	
Hidromorfik Alüvyal Topraklar	Sakarya Nehri ve Porsuk Çayı boylarında	8727	
Kahverengi Topraklar	Merkez, Mahmudiye, Çifteler, Sivrihisar ilçeleri ve Seyitgazi’nin kuzeydoğusu	610.889	I., II., III. ve IV. sınıf tarım arazisi (404.273 hektar) ve mera (230.544 hektar)
Kırmızı Kahverengi Topraklar	Beylikahır bucağının güneybatısı	1996	İşlemeli tarım arazisi (1844 hektar), kuru tarım arazisi (146 hektar) ve otlak (6 hektar)
Kahverengi Orman Toprakları	Mihalıççık, Seyitgazi ve Sarıcakaya yöreleri ve merkez ilçenin güneybatısı	345.819	I., II., III. ve IV. sınıf tarım arazisi (%19,5), otlak (%16,8) ve orman arazisi (%33,1)
Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları	İlin kuzeyi, Mihalıççık’ın doğusu, Seyitgazi-Kırka arası ve Sarıcakaya	193.894	II., III. ve IV. sınıf tarım arazisi (16.176 hektar) ve orman arazisi (%57,3)
Kireçsiz Kahverengi Topraklar	İlin kuzeybatısı ve Muttalıp köyü	20.129	II., III. ve IV. sınıf tarım arazisi (6740 hektar) ve mera (13.029 hektar)
Kolüvyal Topraklar	Küçük akarsu vadileri	8392	
Kestane Rengi Topraklar	Merkez	3886	II. sınıf tarım arazisi (2732 hektar) ve mera (1154 hektar)

Çizelge 4.3. Eskişehir ili vahşi depolama sahasında yapılan toprak strüktür tayini sonuçları

	BARAKA			
	MERKEZ	ARKASI	YOL	TARLA
Çakıl (%)	58	30	20	13
Kum (%)	31	28	44	21
Silt (%)	8	27	26	44
Kil (%)	3	15	10	22
Özgül Ağırlık (G_s)	2,20	2,41	2,48	2,50
D_{60}^* (mm)	3	0,4	0,45	0,03
D_{30}^{**} (mm)	0,9	0,015	0,03	0,0004
D_{10}^{***} (mm)	0,05	0,0004	0,0025	0,004
Üçgen Sınıflandırma Sistemine Göre Sınıfı	Kumlu-lem	Kil-lemi	Kumlu-lem	Kil-lemi
Birleştirilmiş Sınıflandırma Sistemine Göre Sınıfı	Kumlu çakıl zeminler	Kumlu-siltli çakıl zeminler	Siltli-çakıllı kum zeminler	Kumlu-killi silt zeminler

* Çapları D' den küçük olan ve ağırlık yüzdeleri 60 olan danelerin çapı

** Çapları D' den küçük olan ve ağırlık yüzdeleri 30 olan danelerin çapı

*** Çapları D' den küçük olan ve ağırlık yüzdeleri 10 olan danelerin çapı

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Örnek Alınması

Çalışmanın deneysel kısmı 3 ana bölümden oluşmaktadır:

1. Eskişehir vahşi depolama sahası toprağının karakterizasyonunu yapmak amacıyla gerçekleştirilen fiziksel ve kimyasal analizler,
2. Eskişehir vahşi depolama sahasından alınan bitki örneklerindeki metalik elementler ve makro elementlerin belirlenmesi amacıyla yapılan ağır metal tayinleri,
3. Toprak örneklerindeki, uçucu organik bileşenlerin belirlenmesi amacıyla yapılan katı faz mikroekstraksiyon (KFME) analizleri.

5 Haziran 2003 tarihinde başlanan deneysel çalışmalar için örnekler Seyitgazi Yolu üzerindeki Eskişehir katı atık depolama sahasından aylık periyotlarla alınmış ve kötü hava şartları nedeniyle örneklerin alınmadığı Kasım ve Aralık ayları dışında toplam 6 aylık veri toplanmıştır. Elde edilen tüm veriler Bölüm 6'da verilmiştir.

Eskişehir katı atık depolama sahasındaki örnekleme çalışmaları 4 bölgede yapılmıştır. Sahanın merkezi 1. Bölge (I. Örnek), sahadaki barakaların arkasında bulunan alan 2. Bölge (II. Örnek), çöp kamyonlarının geçtiği yol 3. Bölge (III. ve IV. Örnek) ve sahanın güneydoğusundaki tarla ise 4. Bölge (V. Örnek) olarak adlandırılmıştır. Çalışmada, toprak numuneleri için 5 ayrı noktadan, bitki numuneleri içinse 2 ayrı noktadan örnek alınmıştır. Katı atık depolama sahası toprağındaki kirletici bileşenlerin bitkiler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, 3. bölgeden ve 4. bölgeden meşe ağacı örnekleri alınmıştır. Bu bitki örneklerinin bir kısmı yıkandıktan sonra (3A ve 4A), bir kısmı ise yıkanmadan (3B ve 4B) analiz edilmiştir (Ek-1).

5.2. Fiziksel ve Kimyasal Analizler

5.2.1. pH (TS 8332)

Analitik örnek ile suyun karışımındaki hidrojen iyonu konsantrasyonunun logaritmasının negatifine örneğin pH değeri denir. Çözeltinin pH değerine bağlı olarak, su ile cam yüzey arasında potansiyel farkı vardır. Bu nedenle, cam elektrot ile voltaj ölçülerek, çözeltinin pH değeri tespit edilir.

105°C'de kurutulmuş örnekten 5 gram alınarak 110 ml saf su içerisinde 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda çözeltinin pH değeri HANNA pH 211 Microprocessor pH metre ile ölçülmüştür.

5.2.2. Toplam Katı Madde ve Nem Tayini (SM 2540 B)

105°C'de kurutulmuş örneğin ağırlık kaybı, nem miktarı olarak tanımlanır. 105°C'de kurutulduktan sonra, geri kalan kısım ise katı maddedir. Gravimetrik olarak miktarı tayin edilen katı madde, toplam katı madde olarak adlandırılır.

Çalışmada, sabit tartıma getirilen krozelere 8-10 gram kadar toprak örneği konulmuş, numuneler 105°C'de 1 saat kurutulmuş, daha sonra toplam katı madde miktarı ve nem oranı aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmıştır:

$$\text{Nem oranı (\%)} = (A-B) \times 100 / A \dots\dots\dots(5.1)$$

$$\text{TKM (\%)} = 100 - \text{Nem oranı} \dots\dots\dots(5.2)$$

Burada,

A: Kap + kurutulmadan önceki örnek ağırlığı, g

B: Kap + kuru örnek ağırlığı, g

5.2.3. Uçucu Madde Miktarının Tayini (SM 2540 E)

Yüksek sıcaklıklarda (600°C) uçucu hale gelebilen katı maddeler uçucu katı maddelerdir. Bu sıcaklıkta organik maddeler CO₂ ve H₂O şeklinde uzaklaşacaktır. 600°C sıcaklıkta, uçucu kısım ayrıldıktan sonra geriye kalan kısım ise sabit katı madde (uçucu olmayan madde) olarak adlandırılır.

$$UM(\%) + SM(\%) = \%100 \dots\dots\dots(5.3)$$

Toplam katı madde tayini yapıldıktan sonra kap ve içinde kalan maddeler 550±50°C'de fırında tutulmuş ve kap ile içinde kalanlar tekrar tartılmıştır.

$$Uçucu Madde(\%) = (A-B) \times 100 / A \dots\dots\dots(5.4)$$

$$SM(\%) = 100 - UM \dots\dots\dots(5.5)$$

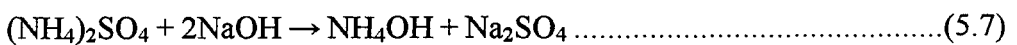
Burada;

A: Kap + içindeki örnek ağırlığı (fırında yakmadan önce)

B: Kap + içindeki madde ağırlığı (yakıldıktan sonra)

5.2.4. Azot Miktarının Tayini (Kjeldahl Yöntemi)

Belirli nicelikte tartılan örneğin azot miktarının tayini, derişik H₂SO₄ ile katalizör olarak CuSO₄ ve hidrojen peroksit yardımıyla yaş yakma esasına dayanır. Bu şekilde karbonlu bileşenler okside edilerek CO₂'e, hidrojene bağlı olan azot ise (NH₄)₂SO₄'a dönüşür. Bu çözeltinin derişik NaOH ile distilasyonu sonucunda, serbest hale geçen NH₃'ün bir asit çözeltisi (0,1N HCl) ile bağlanması ve titrasyonu gerçekleştirilir.



Azot miktarının tayininde Kjeltch cihazının yakma ünitesindeki yakma tüplerine elek analizi (0,5 mm) yapılmış olan toprak numunelerinden 1 gram tartılıp konmuştur. Bunun üzerine yaklaşık 1 spatül CuSO_4 , 10 ml H_2SO_4 ve birkaç damla hidrojen peroksit eklenmiştir. Şahit olarak kullanılacak tüpe ise yaklaşık 1 spatül CuSO_4 , 10 ml H_2SO_4 ve birkaç damla hidrojen peroksit konmuştur. Bu tüpler ısıtma düzeneğinde 410°C sıcaklıkta 2 saat yakılmıştır. Yakma işlemi sırasında tüplerin ağzı kapatılmış, çıkan asidik buharların uzaklaştırılması, su akışı ayarlanmış aspiratör ile sağlanmıştır. Yakma işlemi tamamlandığında tüplerin el ile tutulabilecek kadar soğuması beklenmiştir. Daha sonra erlenlere 20 ml borik asit eklenmiş ve Gerhardt Vapodest 40 cihazının distilasyon ünitesinde sırayla distile edilmiştir.

Yakma işlemi tamamlanmış tüplerden biri tüp kavrama bölümüne oturtulmuş, borik asit konulmuş olan erlenlerden biri de distilat çıkış bölümünün altına yerleştirilmiştir. Distilasyon işleminde, cihazın otomatik olarak çekeceği su miktarı 100 ml (10 saniye)'ye, NaOH miktarı 50 ml (5 saniye)'ye ve distilasyon süresi 4 dakikaya ayarlanmıştır. Distilasyon tamamlandıktan sonra 0,1N HCl ile titrasyon yapılmıştır. Yakma işlemi tamamlanmış olan her bir tüp için aynı işlemler tekrarlanmıştır. Titrasyon sonrasında örneklerin azot içeriği şu formülle hesaplanmıştır:

$$\text{Azot (\%)} = 0,0014 \times (V_1 - V_0) \times 100 / m \dots\dots\dots(5.8)$$

V_1 = Toprak örneğinin titrasyonunda harcanan 0,1 N HCl hacmi (ml)

V_0 = Şahidin titrasyonunda harcanan 0,1 N HCl hacmi (ml)

m = Toprak numunesinin miktarı (g)

5.2.5. Fosfor Analizi (Olsen Yöntemi)

25 ml'lik balon jöjelere 1, 2, 4, 6, 8, 10 ve 15 ml standart fosfor çözeltisi konulmuştur. Üzerlerine 5 ml %1,5'lük amonyum molibdat çözeltisi ilave edilmiş, son hacim yaklaşık 22 ml olacak şekilde saf su ilave edildikten sonra 1 ml sulu kalay klorür çözeltisi konmuş ve balon seviyesi saf su ile 25 ml'ye tamamlanıp

çalkalanmıştır. 10 dakika sonra çözeltilerin DRLANGE marka CADAS 100 spektrofotometresinde 660 nm dalga boyunda absorbans değerleri okunmuş ve kalibrasyon eğrisi çizilmiştir.

Elek analizi (0,5 mm) yapılmış olan toprak numunelerinden 2,5 gram tartılarak 100'lik erlenlere konulmuş, 50 ml sodyum bikarbonat ilave edilmiş ve çalkalama cihazında 30 dakika çalkalanmıştır. Örnekler mavi bant süzgeç kağıdından süzildükten sonra, süzüntüden 25 ml'lik balon jodelere 5 ml alınmıştır. Üzerlerine 5 ml amonyum molibdat çözeltisi ilave edildikten sonra elde çalkalanmış ve 15 dakika bekletilmiştir. Yaklaşık seviye 22 ml olacak şekilde saf su ilave edildikten sonra 1 ml sulu kalay klorür çözeltisi konmuş ve balon seviyeleri saf su ile 25 ml'ye tamamlanıp karıştırılmıştır.

Hazırlanan kör ve örneklerin spektrofotometre cihazında 660 nm dalga boyunda absorbans değerleri okunmuş, kalibrasyon eğrisi yardımıyla mg/kg cinsinden fosfor değerleri hesaplanmıştır.

5.2.6. Toprak ve Bitki Numunelerinde Ağır Metal ve Makro Element Analizleri

Katı atık depolama sahasından alınan **toprak** örnekleri 0,5 mm'lik elekten geçirildikten sonra 105°C'de 2-3 saat kurumaya bırakılmıştır. Etüvde tamamen nemi giderilen numunelerden 0,5 gram tartılmış ve şilifli erlenler içerisine konularak üzerlerine nitrik asit (HNO₃) ve hidroklorik asit (HCl) 3:1 oranında ilave edilerek geri soğutuculu sistemde digestion işlemine tabi tutulmuştur. Organik bozunmaları tamamlanan örnekler soğuduktan sonra kaba filtre kağıdından süzülerek, hacimleri 0,1N'lik HCl ile 100 ml'ye tamamlanmıştır.

Katı atık depolama sahasından alınan **bitki** örnekleri ise blender ile parçalandıktan sonra 105°C'de 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Etüvde tamamen nemi giderilen numunelerden 1 gram tartılmış ve şilifli erlenler içerisine konularak üzerlerine nitrik asit (HNO₃) ve perklorik asit (HClO₄) 3:1 oranında

ilave edilerek geri soğutuculu sistemde digestion işlemine tabi tutulmuştur. Organik bozunmaları tamamlanan örnekler soğuduktan sonra kaba filtre kağıdından süzülerek, hacimleri 0,1N'lik HCl ile 100 ml'ye tamamlanmıştır.

Toprak ve bitki örneklerindeki ağır metal ve kalsiyum miktarları Perkin Elmer 3110 Alev Atomik absorpsiyon spektrometresinde, sodyum ve potasyum miktarları ise Jenway PFW 7 Alev fotometresinde okunmuştur.

5.3. Katı Faz Mikroekstraksiyon (KFME) (Solid Phase MicroExtraction SPME) Tekniği ile Yapılan Analizler

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 KFE (Solid Phase Extraction-SPE) ve KFME teknikleri kullanılmaya başlanmıştır (Lee ve ark. 1998 ve Şahin 2002).

Çalışmada, çevre mühendisliği alanında yeni bir uygulama aracı olan KFME tekniğinden yararlanılmış, uygulamaları BİBAM laboratuvarlarında yapılan bu analizlerden elde edilen sonuçlar Bölüm 6'da verilmiştir.

5.3.1. Katı Faz Mikroekstraksiyonu (KFME)

Kimyasal analizlerde hızlı örnek almak amacıyla geliştirilmiş olan KFME tekniği ilk olarak Kanada'da Waterloo Üniversitesi'nde Belardi ve Pawliszyn tarafından 1989'da kullanılmıştır. İlk ticari örneği de, 1993 yılında SUPELCO firması tarafından piyasaya sunulmuştur. KFME tekniğinin hızlı bir şekilde gelişmesi 1990 yılının başında, özel tasarımı mikroenjektörler içine adsorban kaplı elyafın yerleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir (Arslandere 2002 ve Şahin 2002).

Katı faz mikroekstraksiyonu (KFME) örnek hazırlamada yeni bir tekniktir. Toprak, hava ve su gibi çeşitli matrislerdeki çevresel kirleticilerin analizinde başarıyla uygulanmaktadır. KFME, sıvı-sıvı ekstraksiyonu (SSE) ve katı faz ekstraksiyonu (KFE) gibi birçok konvansiyonel örnek hazırlama tekniğinin avantajlarına sahip olan bir serbest-çözücü tekniğidir. KFME, örnek matrisi ve bir polimerik sabit faz (kaplamalı erimiş silika elyaf) arasında hedef bileşiğin dağılım dengesine dayanır. KFME'nin uygulama alanına giren başlıca bileşikler pestisitler, fenoller, poliklorlu bifeniller (PCB'ler), polisiklik aromatik bileşikler (PAH'lar) ve inorganik bileşikler gibi çevresel kirleticilerdir. KFME, çevreye ve sağlığa zararlı olabilen ve pahalı organik çözücüleri gerektirmez. Teknik çok kolay, hızlı, kolayca otomatikleştirilebilen, taşınabilir ve ucuzdur. Üstelik örneklerin küçük hacimlerde olması yeterlidir (Penalver ve ark. 1999).

5.3.2. KFME Prosedürü

Katı faz mikroekstraksiyonu iki adımdan oluşur. İlk olarak, hedef bileşikler ilk saptama süresi için örneğin kaplamalı elyafta tutulmasıyla matristen özütlenir. İkinci adımda elyaf, örnekten giderilir ve tutulan bileşikler ayrılma ve ölçüm için analitik bir cihazda desorbe edilir. Desorpsiyon adımına, elyafın bir gaz kromatografisinin sıcak enjektörüne yerleştirilmesiyle devam edilir (Isıl Desorpsiyon) (Penalver ve ark. 1999).

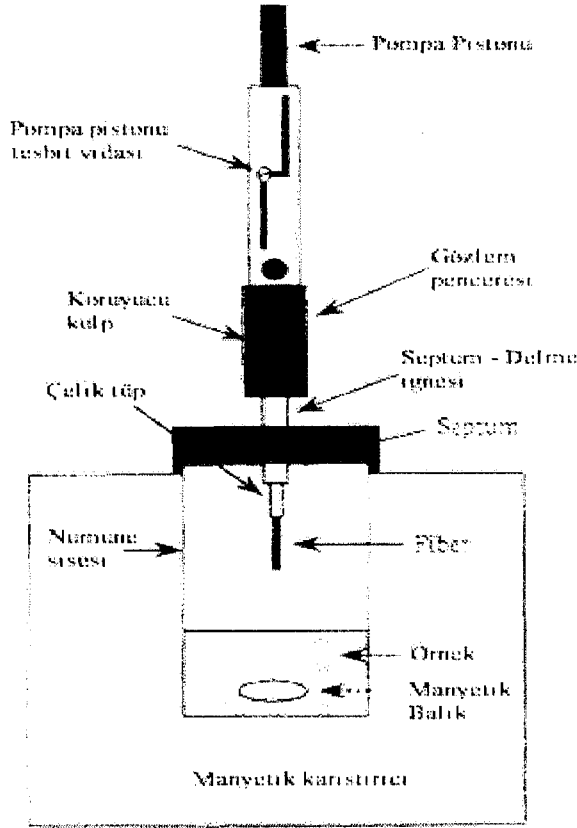
5.3.2.1. KFME Uygulama Şekilleri

KFME için iki farklı ekstraksiyon yöntemi vardır: daldırmalı-katı faz mikroekstraksiyonu (D-KFME) (Immersion-Solid Phase Micro Extraction-Im-SPME) ve tepeboşluğu-katı faz mikroekstraksiyonu (TB-KFME) (Headspace-Solid Phase Micro Extraction-HS-SPME).

- **Daldırmalı Katı Faz Mikroekstraksiyonu (D-KFME):** Bu uygulamada elyaf, su veya hava örneklerinde yer alır ve bileşikler örnek matrisinden elyaf kaplama içine absorbe edilir veya elyaf kaplama üzerine adsorbe edilir. Adsorbe edilecek bileşiğin yapısına uygun bir kaplama materyali ile kaplanmış KFME silika elyafı,

enjektör yardımıyla örnek şişesinin lastik kapağı 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 alınır. Enjektör örnek çözeltisinden uzaklaştırılmadan önce elyaf, paslanmaz çelik ucun içerisine çekilmelidir (Hook ve ark. 2002 ve Şahin 2002).

- Tepeboşluğu Katı Faz Mikroekstraksiyonu (TB-KFME): Toprak veya su örneğinin bulunduğu şişenin lastik kapağı, enjektörün sivri ucu yardımıyla delindikten sonra bu uç içindeki elyaf, örneğe değmeyecek şekilde çıkarılır. KFME elyafı su veya toprak üzerindeki havada yer alır ve bileşikler örnek matrisinden elyaf kaplamaya geçerler. Şişedeki hava, KFME elyafını korumak için elyaf ve matris arasında bir bariyer görevi görür. Bundan sonraki işlem basamakları daldırılmalı KFME'deki gibi uygulanır. Böylece sıvı ya da katı örnek üzerindeki gaz fazından uçucu bileşikler KFME elyafına adsorplanmış olur (Şekil 5.1.) (Hook ve ark. 2002 ve Şahin 2002).



Şekil 5.1. Tepeboşluğu KFME yönteminin şematik gösterimi (Şahin 2002)

5.3.2.2. Adsorpsiyonu Etkileyen Parametreler

KFME'deki elyaf tarafından özütlenen bileşiğin miktarı, elyaf ve enjektörün özellikleri, sıcaklık, ekstraksiyon süresi, örneğe tuz veya organik bir çözücünün eklenmesi, pH, örneğin karıştırılması ve örnek hacmi gibi parametrelerden etkilenebilir (Penalver ve ark. 1999).

- KFME Enjektörü: KFME enjektörü, şekil olarak gelişmiş bir mikrolitre enjektörüne benzemektedir. 1 cm uzunluğunda, 5 µm çapında adsorbanla kaplı silika bir elyafa sahiptir. Bu elyaf paslanmaz çelik kaplı bir koruyucu kulpa bağlıdır. KFME enjektöründe delici bir uç içerisine çekilebilen paslanmaz çelik bir tüp içerisine yapıştırılmış, yüzeyi sabit bir fazla kaplı olan silika elyaf görülür (Şekil 5.1.). KFME enjektörlerinin elle ve otomatik olarak kullanılabilen çeşitleri vardır. KFME elyafı uygun şekilde kullanıldığında tekrar tekrar kullanılabilme özelliğine sahiptir (50-100 kez). Elyaf, ısıl desorpsiyon ya da uygun organik çözücülerle kolayca temizlenebilir. Bu nedenle oldukça ekonomiktir (Şahin 2002).

KFME 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. PDMS apolardır ve BTEX bileşikleri (benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen), uçucu organik bileşikler (VOC'lar) ve pestisitler gibi polar olmayan bileşikler için yüksek bir afinite gösterir. Düşük molekül ağırlıklı veya uçucu bileşiklerin analizinde genellikle 100 µm'lik PDMS ile kaplanmış elyafa ihtiyaç duyulur. Daha büyük molekül ağırlıklı veya yarı uçucu bileşikler 7 µm PDMS kaplı elyafla daha etkili bir biçimde adsorbe olurlar. Yüksek molekül ağırlıklı yarı uçucu bileşikler 30 µm'lik PDMS elyafını GK/KS 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. Fenoller, fenol türevleri ve bazı pestisitler gibi polar bileşiklerin ekstraksiyonunda, PDMS'den daha polar olan 85 µm'lik PA kaplı elyaf kullanılır. Yüksek oranda buharlaşabilen polar

maddeler (alkoller, eterler, aminler gibi), diğer bileşiklere göre çok daha hızlı adsorbe olurlar ve 65 µm'lik PDMS/DVB (divinilbenzen) kaplı elyaftan çok daha hızlı salıverilirler. 60 µm'lik PDMS/DVB kaplı elyaf genellikle HPLC için tercih edilir. Karbovaks/reçine kaplı elyaflar genellikle yüzey aktif maddelerin özütlenmesinde kullanılır. Karboksen/PDMS kaplı elyaflar, daha geniş yüzey alanına sahiptir ve yüksek molekül ağırlıklı VOC'lar gibi organik bileşiklerin ekstraksiyonunda daha büyük potansiyel gösterirler (Çizelge 5.1.) (Arslandere 2002, Penalver ve ark. 1999 ve Şahin 2002).

Çizelge 5.1. KFME elyaflarının özellikleri ve kullanım amaçları (Arslandere 2002 ve Şahin 2002)

Kaplama materyali	Tanımlama	Kaplama kalınlığı	Kullanım alanı	Özellik	Önerilen analiz yöntemi
PDMS	Bağlı değil	100 µm	Uçucular	Kırmızı/düz	GC/HPLC
	Bağlı değil	30 µm	Polar olmayan yarı uçucular	Sarı/düz	GC/HPLC
	Bağlı	7 µm	Orta polar olmayan yarı uçucular	Yeşil/düz	GC/HPLC
PDMS/DVB	Kısmen çapraz bağlı	65 µm	Polar uçucular	Mavi/düz	GC
		60 µm	Genel	Kahverengi/çentikli-dişli	HPLC
PA	Kısmen çapraz bağlı	85 µm	Polar yarı uçucular	Beyaz/düz	GC/HPLC
Karboksen/PDMS	Kısmen çapraz bağlı	75 µm	Eser miktardaki uçucular	Siyah/düz	GC
Karbovaks/Reçine	Kısmen çapraz bağlı	50 µm	Yüzey aktif maddeler	Mor/çentikli-dişli	HPLC
Karbovaks/DVB	Kısmen çapraz bağlı	65 µm	Polar bileşikler	Turuncu/düz	HC
DVB/karboksen/PDMS	Tamamen çapraz bağlı	50/30 µm	Genel	Gri/düz	GC
		50/30 µm	Genel	Gri/dişli	

- **Ekstraksiyon Süresi ve Sıcaklığı:** KFME, bir tür denge prosesi olduğu için bileşiğin en yüksek miktarı da dengelenme süresinde özütlenecektir. Bileşiğin elyafa adsorpsiyonunu artıracığı için örneği karıştırmak, dengeye ulaşma süresini kısaltır. Düşük dağılım katsayısı olan bileşikler, daha uzun bir dengelenme süresine ihtiyaç duydukları için, ekstraksiyon süresi dengelenme süresinden daha kısa olmalıdır.

Ekstraksiyon sıcaklığının ise iki farklı etkisi vardır. Ekstraksiyon sırasında sıcaklığın artması, bileşiklerin adsorpsiyonunu artırır ve adsorpsiyon adımı ekzotermik bir proses olduğu için bileşiklerin dağılım katsayısını azaltır. TB-KFME yönteminde sıcaklık, bileşiklerin tepeboşluğuna transferine yardımcı olur (Penalver ve ark. 1999).

- pH Modifikasyonu, Tuz ve Çözücü Eklenmesi: Elyafta tutulan bazı bileşiklerin miktarını artırma yollarından biri, pH'ın düzenlenmesidir. pH, fenoller ve aminler gibi temel bileşikler ve asit ekstraksiyonundaki nötr formu sağlayan değerlere göre düzenlenebilir.

Tuzun (genelde NaCl) eklenmesiyle, bileşiklerin elyafı tutulma oranı artar. Triazinler gibi polar bileşikler için duyarlılık artırılabilir. Tuzun eklenmesi ile, iyonik kuvvet artacağı gibi, kolayca tutulan bileşiklerin çözünürlüğü ise azalır. Bu etki, bileşiğin polaritesine, tuz derişimine ve örnek matrisine bağlıdır.

Su örneklerindeki organik çözücülerin varlığı, bileşiğin adsorplanma miktarını azaltır. Diğer yandan, toprak ve çamurda bileşiği matristen ayırmak için örnek matrisine su veya organik çözücü eklenir (Penalver ve ark. 1999).

- Örneğin Karıştırılması: Örneğin karıştırılması, bileşiklerin adsorplanmasını güçlendirir ve hem daldırmalı KFME hem de tepeboşluğu KFME için ekstraksiyon süresini azaltır. TB-KFME'de, örneğin karıştırılması, tepeboşluğu ve sıvı faz arasında kütle transferi sağlar. En verimli karıştırma tekniği, magnetik karıştırıcının kullanılmasıdır. Diğer teknikler, ekstraksiyon süresini artırır ve örneğin ideal bir şekilde karışmasını sağlamaz (Penalver ve ark. 1999).

- Örnek Hacmi: Örneğin hacmi genelde elyafın hacminden daha büyüktür. Örnek matrisi ve elyaf arasındaki bileşiklerin paylaşım katsayıları, örnek hacmindeki değişimlerden etkilendiği için, dikkate alınmalıdır (Penalver ve ark. 1999).

5.3.2.3. Desorpsiyon Prosesi

Elyaf kaplamada tutulan bileşikler GK (Gaz Kromatografisi-Gas Chromatography), HPLC (yüksek performanslı sıvı kromatografisi-High Resolution Liquid Chromatography) veya KE (Kapiler Elektroferez-Capillary Electrophoresis) ile desorbe edilebilirler.

- KFME-GK: Gaz kromatografisinin enjeksiyon girişi, elyaftaki bileşiklerin desorpsiyonu için kullanıldığından, KFME, GK'ye kolayca bağlanabilir. Gaz kromatografisinin enjektörü içindeki taşıyıcı gaz akışı, bileşiklerin elyaftan ayrılmasını ve ayrılan bu bileşiklerin gaz kromatografisi kolonuna transferlerini sağlar. Desorpsiyon, birçok bileşik için iki dakikadan kısa sürede gerçekleşir. GK'deki ısı desorpsiyon, KFME'nin desorpsiyon süresini saptayan taşıyıcı gazın akış hızı ve GC enjektörünün sıcaklığı gibi parametrelerden etkilenebilir. Yüksek molekül ağırlıklı bileşikler için yüksek desorpsiyon sıcaklığı gerekir.
- KFME-HPLC: KFME-GK'den daha karmaşık bir sistemdir ve fiberde tutulan bileşikler, desorpsiyon bölgesindeki elyafa organik bir çözücü eklenmesiyle desorbe edilirler. Bu bileşikler daha sonra HPLC analitik kolonuna alınır. Bu yöntem ile saptanabilen bileşikler, iyonik olmayan yüzey aktif maddeler, fenil-üre, karbamat pestisitler ve PAH'lardır.
- KFME-CE: Bu sistem ile barbitüratlar ve fenoller gibi organik bileşikler saptanabilir. Çok küçük enjeksiyon hacimleri ile çalışılması gerektiği için KFME-HPLC'den daha zordur. HPLC'de mikrolitre hacimler enjekte edilirken, KE'de nanolitre hacimler enjekte edilir (Penalver ve ark. 1999).

5.3.3. Çalışmada KFME Tekniğinin Uygulanması

Bu çalışmada toprak örneklerindeki uçucu, yarı-uçucu ve organik kirleticilerin analizi için örnek hazırlama tekniği olarak ısıtmalı tepeboşluğu katı faz mikroekstraksiyonu (Δ HS-SPME) tekniği uygulanmıştır. Daha sonra KFME

enjektörü, gaz kromatografisi enjeksiyon giriş bölgesine enjekte edilmiş ve örneklerin analizi yapılmıştır.

Yapılan KFME analizlerinde, Supelco'dan temin edilen 65 µm film kalınlığına sahip PDMS/DVB elyaf kullanılmıştır. 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 magnetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Isıtmalı tepeboşluğu KFME için optimize edilen özütleme koşulu 15 dakika 50°C'de ısıtma işleminden sonra 30 dakika KFME süresidir. Özütlemeyen sonra elyaf, GK/KS'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), enjektör 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.

6. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular üç bölüm halinde gösterilmiştir:

- Toprak ve bitki örneklerinde yapılan fizikokimyasal analiz sonuçları Bölüm 6.1.'de,
- Toprak örneklerine uygulanan katı faz mikroekstraksiyonu (KFME) tekniğinden elde edilen sonuçlar Bölüm 6.2.'de,
- Toprak ve bitki örneklerinin fizikokimyasal analizinden elde edilen verilerin istatistiksel olarak anlamlandırılabilmesi amacıyla SPSS 10.0 bilgisayar programı kullanılarak yapılan Pearson korelasyonu sonuçları Bölüm 6.3.'de verilmiştir.

6.1. Fizikokimyasal Analiz Sonuçları

6.1.1. Toprak Örneklerinin Fizikokimyasal Analiz Sonuçları

Katı atık depolama sahasının 5 ayrı noktasından alınan toprak örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçları Çizelge 6.1.-6.5.'de, tüm örnek alma noktaları için parametrelerin aylık dağılımları ise Şekil 6.1.-6.15.'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. I. örnek için fizikokimyasal analiz sonuçları

Parametre	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
PH	7,05	7,15	7,46	8,03	7,95	8,21
Nem (%)	35,18	6,14	2,52	3,49	5,39	6,18
Uçucu Madde (%)	24,66	11,79	14,24	14,42	15,34	14,80
Fosfor (mg/kg)	10,69	136,73	120,00	66,17	214,00	180,70
Azot (%)	36,43	58,84	35,03	51,84	43,43	18,21
Demir (mg/kg)	28200	26500	28480	27240	29360	31600
Bakır (mg/kg)	200	158	128	502	388	126
Çinko (mg/kg)	914	756	776	648	780	680
Kurşun (mg/kg)	154	158	320	178	200	166
Nikel (mg/kg)	254	0	0	0	308	202
Kadmiyum (mg/kg)	3	4	3	5	10	8
Krom (mg/kg)	110	372	48	44	80	410
Kalsiyum (mg/kg)	81600	13296	15608	15302	98750	62150
Sodyum (mg/kg)	6300	6370	3170	1470	1100	3200
Potasyum (mg/kg)	2900	8100	5500	5800	4700	6000

Çizelge 6.2. II. örnek için fizikokimyasal analiz sonuçları

Parametre	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
PH	7,26	7,33	7,54	7,98	8,08	8,05
Nem (%)	12,06	6,43	5,72	4,46	4,54	5,65
Uçucu Madde (%)	15,36	14,23	11,75	9,59	11,30	10,68
Fosfor (mg/kg)	5,38	36,58	34,92	52,37	77,86	90,66
Azot (%)	25,22	16,81	14,01	23,82	25,22	12,61
Demir (mg/kg)	13200	15960	21320	21840	20250	19050
Bakır (mg/kg)	86	32	36	190	16	32
Çinko (mg/kg)	236	304	124	90	354	480
Kurşun (mg/kg)	80	34	118	126	0	88
Nikel (mg/kg)	160	0	0	0	620	178
Kadmiyum (mg/kg)	0	0	0	0	0	0
Krom (mg/kg)	64	32	26	36	0	34
Kalsiyum (mg/kg)	91800	15054	15838	15504	39075	69400
Sodyum (mg/kg)	4600	0	0	0	0	0
Potasyum (mg/kg)	2900	4800	5600	6000	1400	2100

Çizelge 6.3. III. örnek için fizikokimyasal analiz sonuçları

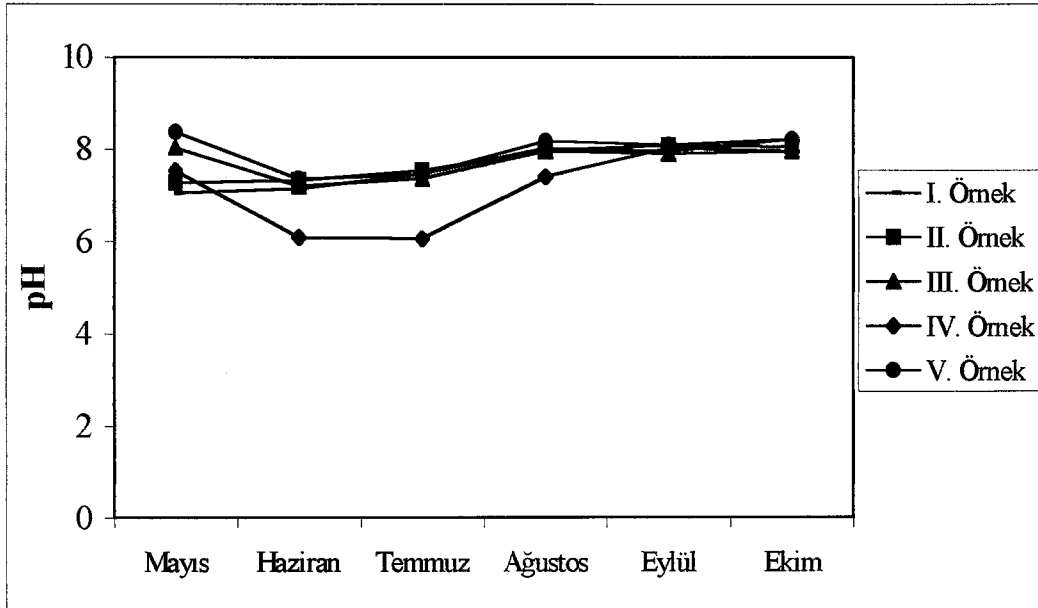
Parametre	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
pH	8,03	7,21	7,37	7,95	7,90	7,95
Nem (%)	25,68	6,11	5,78	4,20	4,52	5,77
Uçucu Madde (%)	8,61	14,01	12,66	10,44	14,13	12,07
Fosfor (mg/kg)	4,16	96,61	50,92	90,44	128,88	148,13
Azot (%)	14,01	26,62	18,21	33,62	28,02	29,42
Demir (mg/kg)	19400	20320	24560	23120	26740	35300
Bakır (mg/kg)	116	46	36	58	66	42
Çinko (mg/kg)	372	206	406	146	378	300
Kurşun (mg/kg)	106	94	124	182	20	64
Nikel (mg/kg)	120	0	0	0	660	218
Kadmiyum (mg/kg)	0	0	0	0	0	0
Krom (mg/kg)	68	42	12	84	0	52
Kalsiyum (mg/kg)	101400	15558	15912	15674	18820	91750
Sodyum (mg/kg)	6600	0	0	0	0	0
Potasyum (mg/kg)	2100	6600	5800	7400	1600	3700

Çizelge 6.4. IV. örnek için fizikokimyasal analiz sonuçları

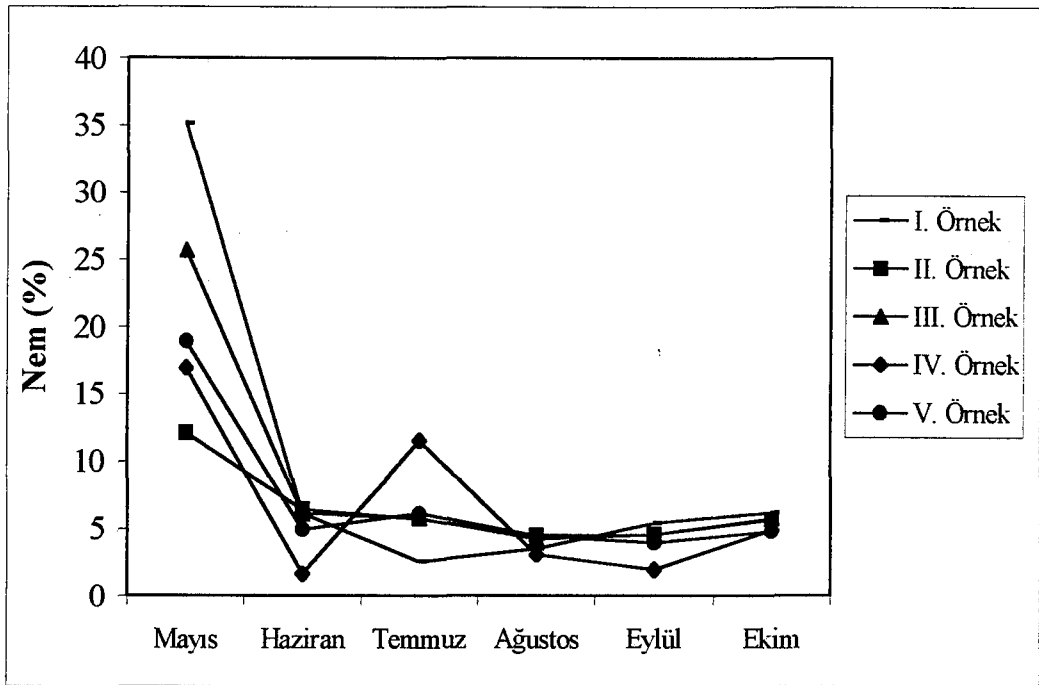
Parametre	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
pH	7,54	6,09	6,06	7,40	8,03	7,95
Nem (%)	16,93	1,64	11,52	3,04	1,93	4,89
Uçucu Madde (%)	12,55	15,31	14,75	23,19	6,60	10,79
Fosfor (mg/kg)	2,21	759,61	100,76	144,12	33,80	61,73
Azot (%)	15,41	33,62	30,82	44,83	50,44	21,02
Demir (mg/kg)	22200	17100	24180	26980	23200	24200
Bakır (mg/kg)	158	78	78	82	84	62
Çinko (mg/kg)	332	536	638	224	400	620
Kurşun (mg/kg)	156	92	204	190	46	128
Nikel (mg/kg)	160	0	0	0	168	172
Kadmiyum (mg/kg)	1	1	2	2	4	2
Krom (mg/kg)	92	34	10	8	20	88
Kalsiyum (mg/kg)	81800	15414	15656	15652	59350	66000
Sodyum (mg/kg)	7200	2270	2770	4540	0	3000
Potasyum (mg/kg)	2000	4800	5200	7300	3100	4200

Çizelge 6.5. V. örnek için fizikokimyasal analiz sonuçları

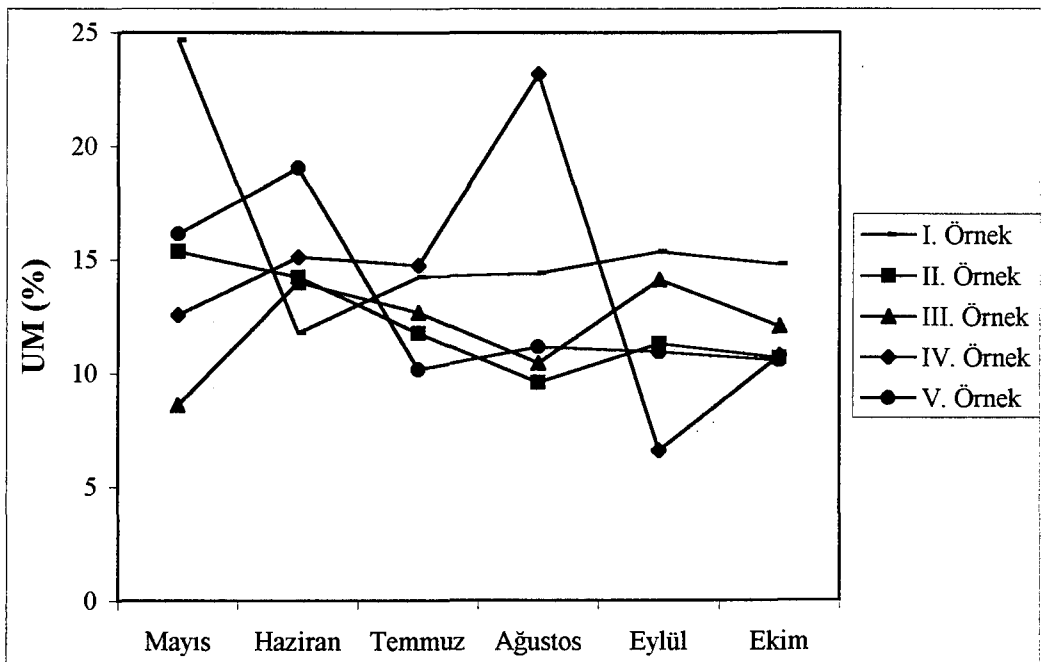
Parametre	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
pH	8,36	7,36	7,45	8,19	8,09	8,22
Nem (%)	18,88	4,92	6,11	4,43	3,93	4,77
Uçucu Madde (%)	16,12	19,06	10,16	11,15	10,94	10,56
Fosfor (mg/kg)	1,70	131,04	30,17	130,94	62,25	75,46
Azot (%)	18,21	9,807	4,20	16,81	29,42	15,41
Demir (mg/kg)	20600	27200	25720	27340	26200	26600
Bakır (mg/kg)	80	34	36	42	18	30
Çinko (mg/kg)	230	130	124	158	392	568
Kurşun (mg/kg)	116	122	142	162	0	160
Nikel (mg/kg)	396	0	0	0	136	104
Kadmiyum (mg/kg)	0	0	0	0	0	0
Krom (mg/kg)	156	132	144	148	0	112
Kalsiyum (mg/kg)	71400	14912	14842	15002	85050	72400
Sodyum (mg/kg)	4700	0	0	0	0	0
Potasyum (mg/kg)	2900	5800	6600	7300	2100	3700



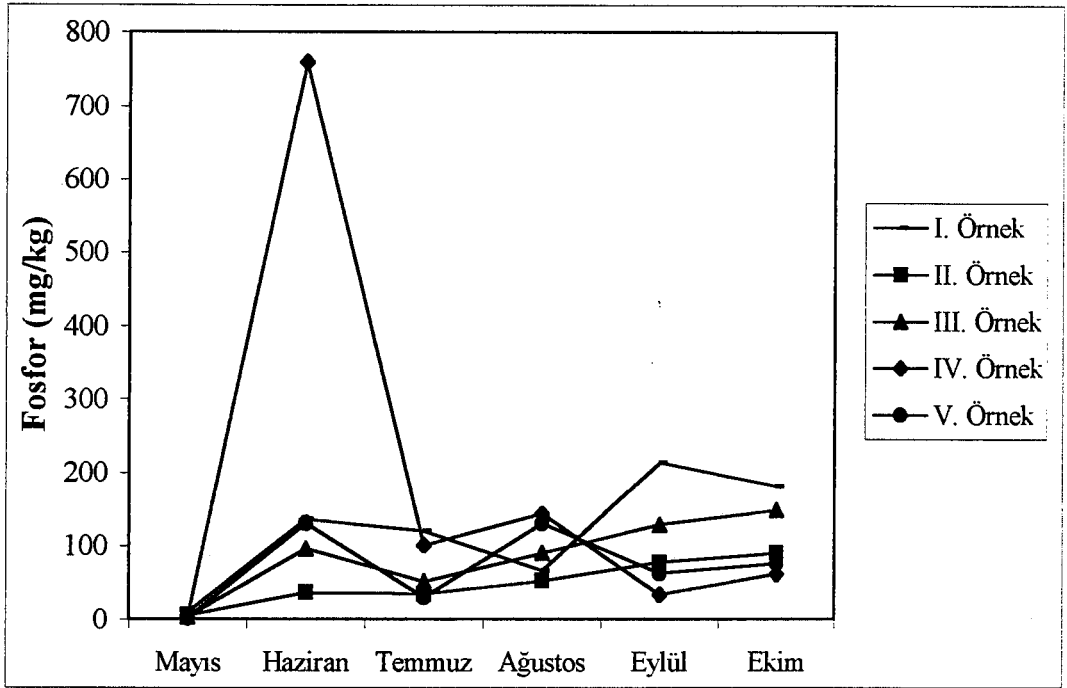
Şekil 6.1. Aylara göre pH verilerinin dağılımı



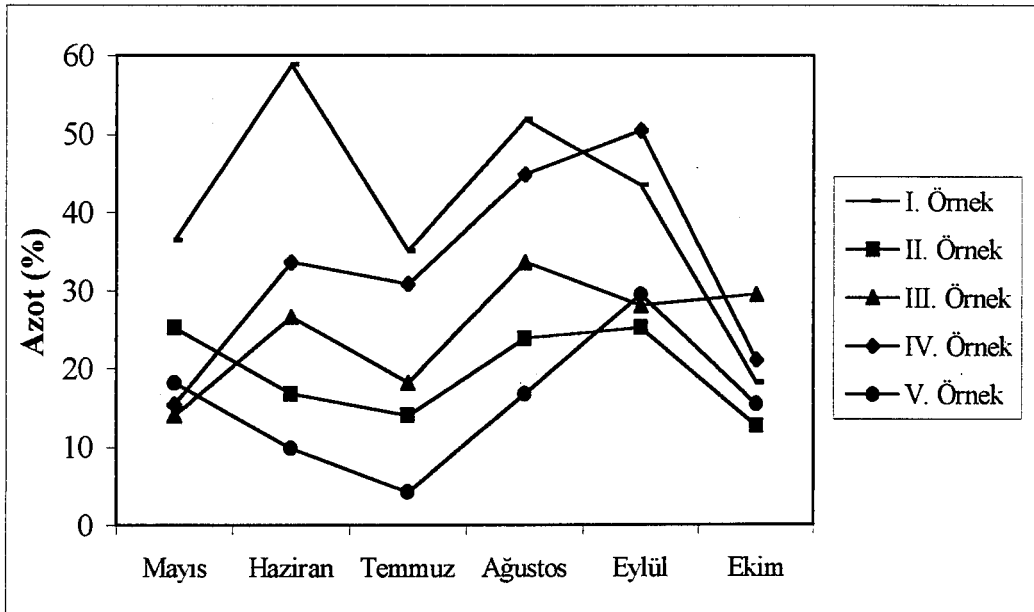
Şekil 6.2. Aylara göre nem verilerinin dağılımı



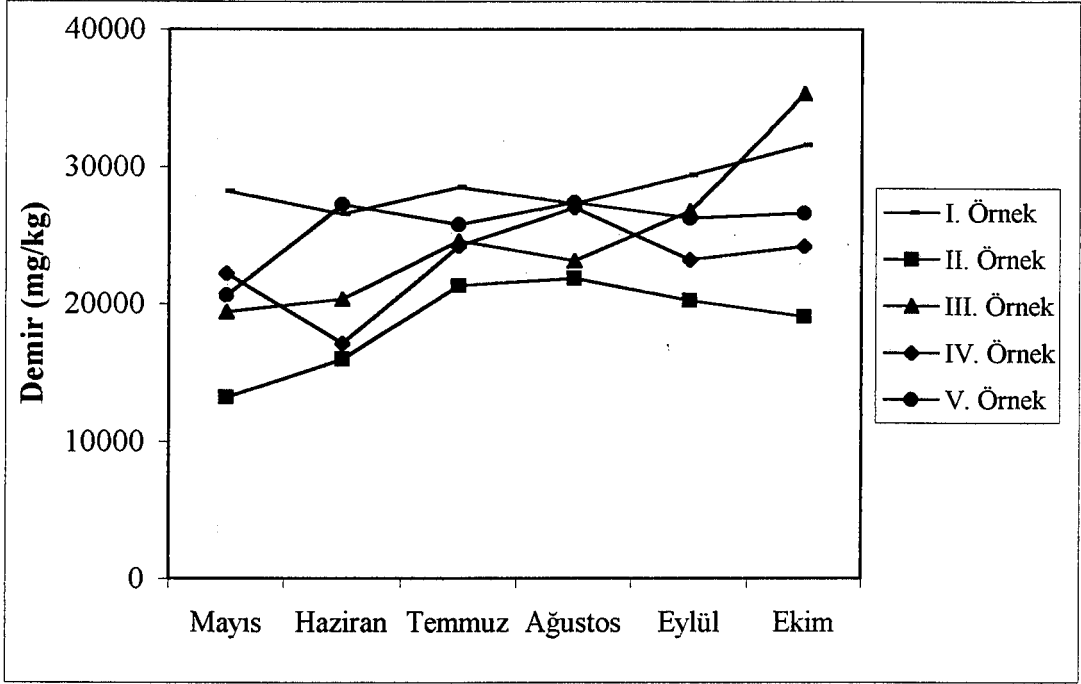
Şekil 6.3. Aylara göre uçucu madde verilerinin dağılımı



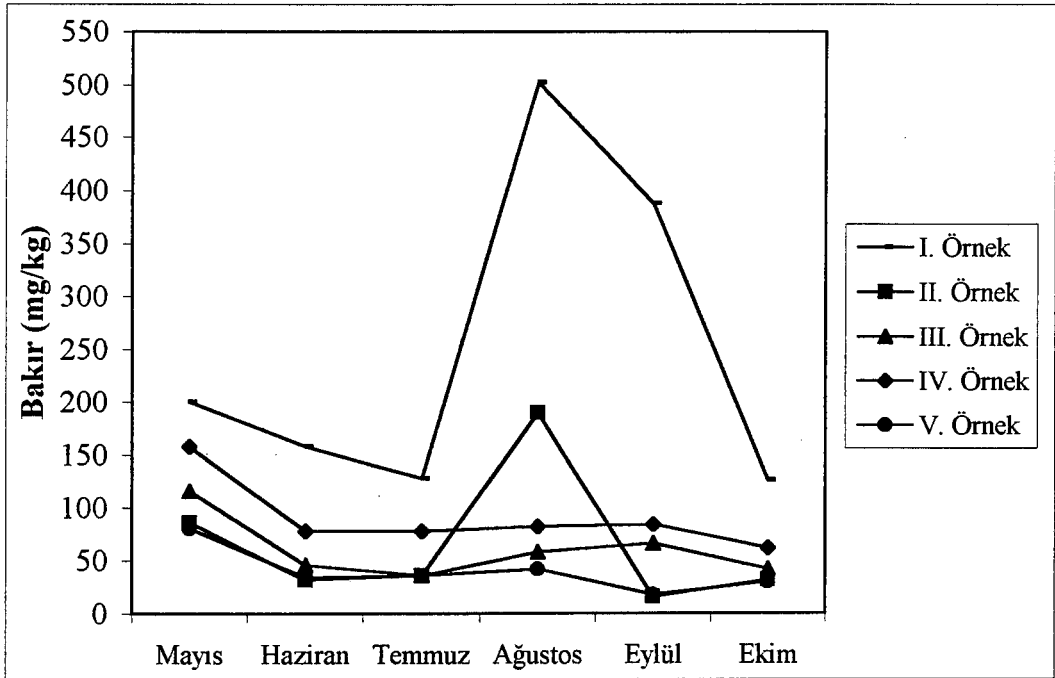
Şekil 6.4. Aylara göre fosfor verilerinin dağılımı



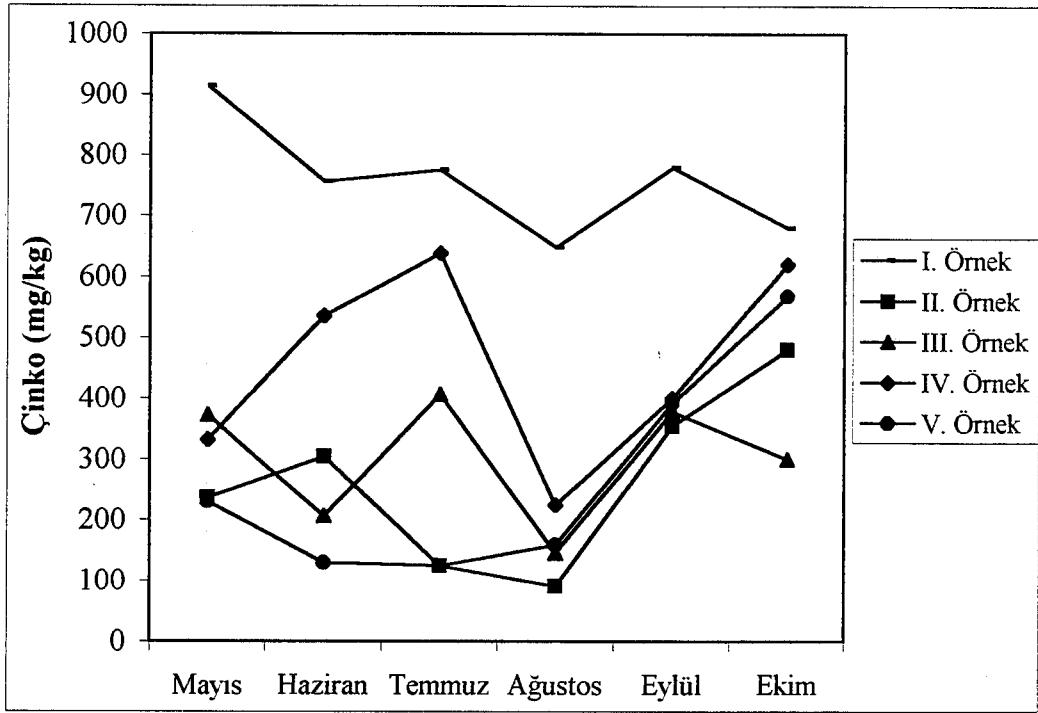
Şekil 6.5. Aylara göre azot verilerinin dağılımı



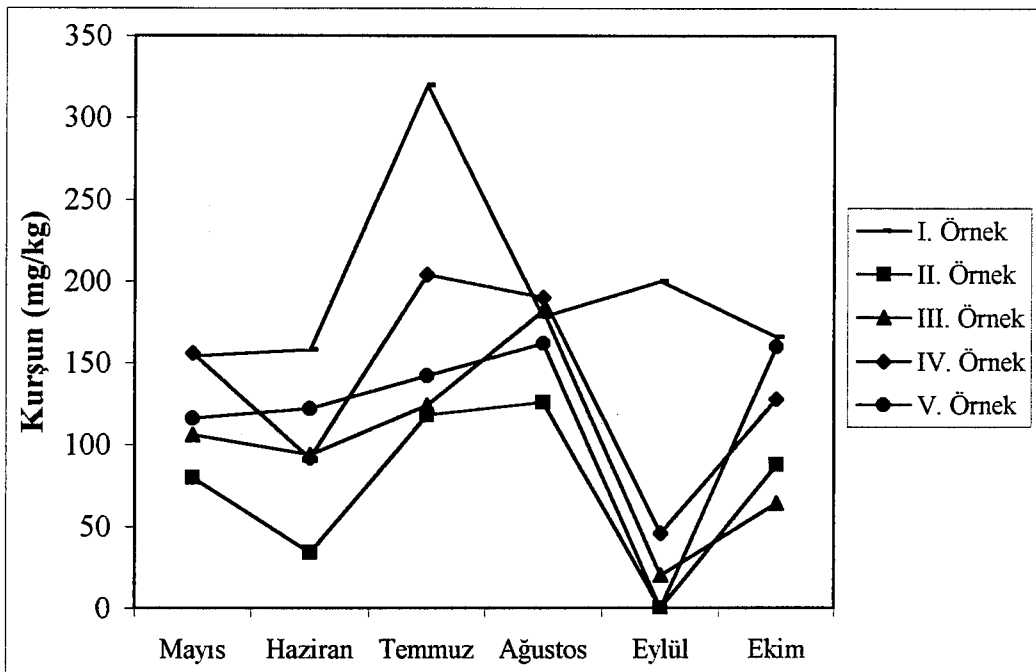
Şekil 6.6. Aylara göre demir verilerinin dağılımı



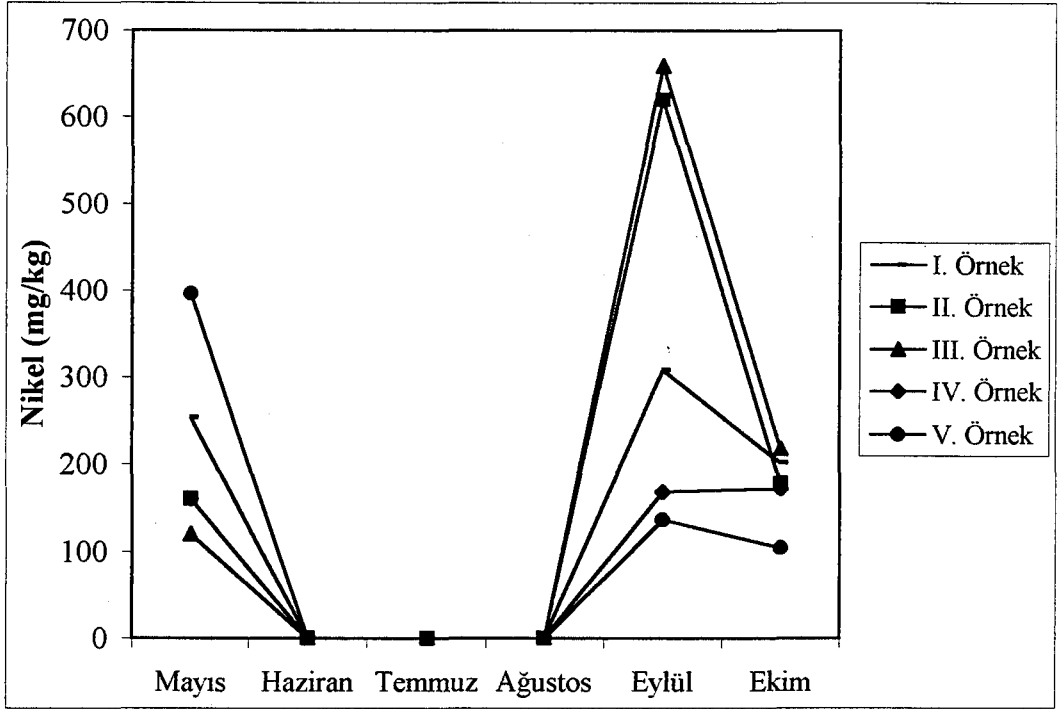
Şekil 6.7. Aylara göre bakır verilerinin dağılımı



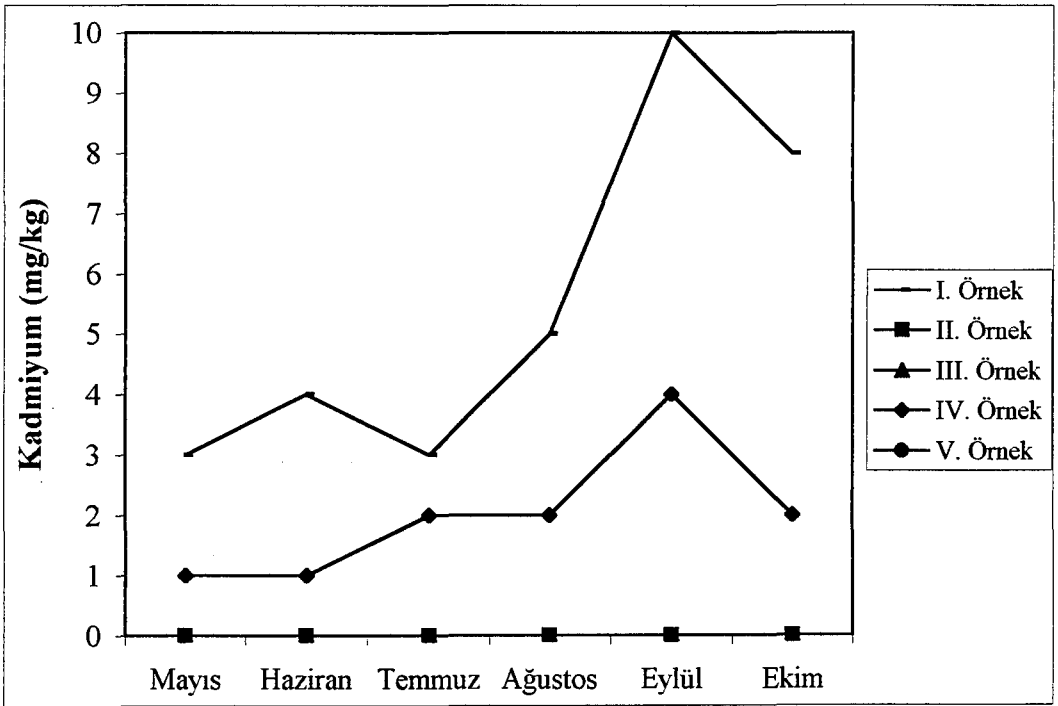
Şekil 6.8. Aylara göre çinko verilerinin dağılımı



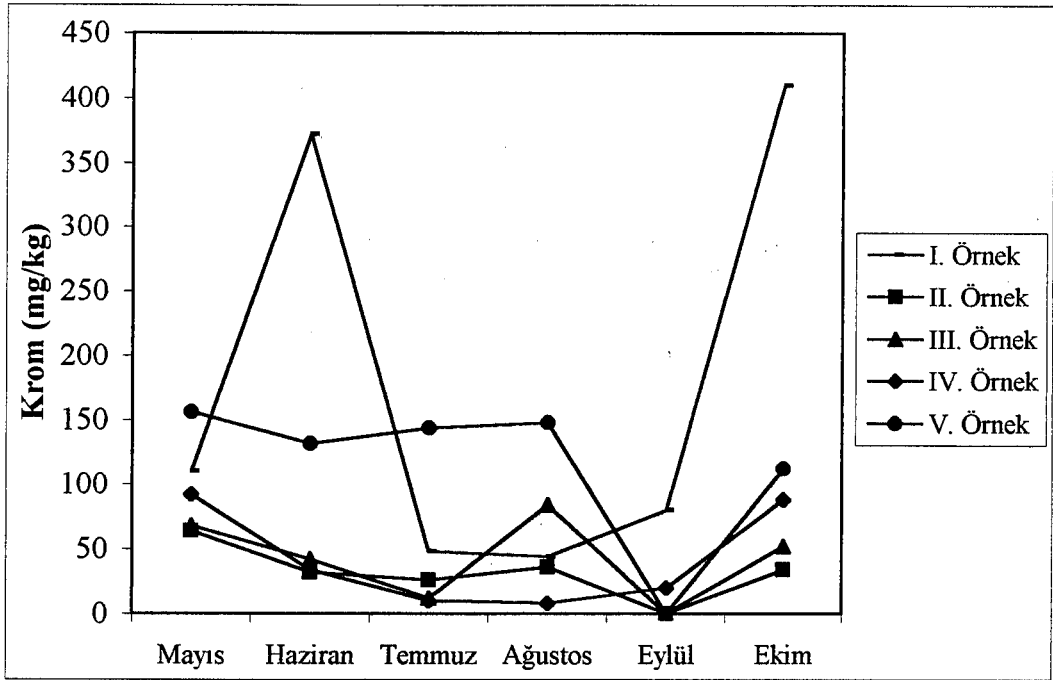
Şekil 6.9. Aylara göre kurşun verilerinin dağılımı



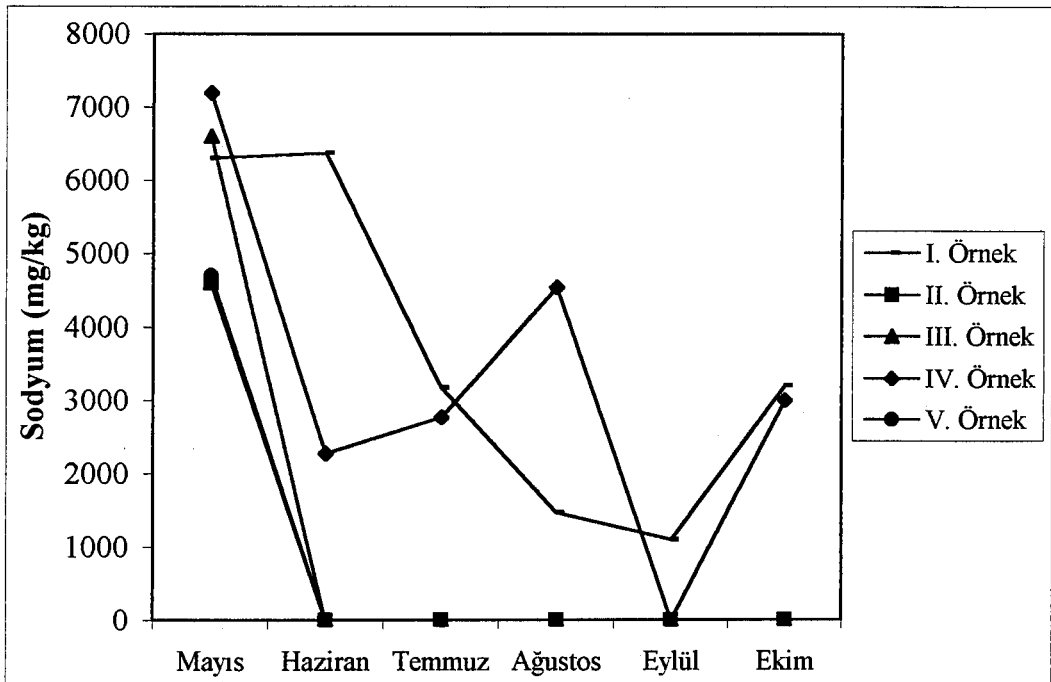
Şekil 6.10. Aylara göre nikel verilerinin dağılımı



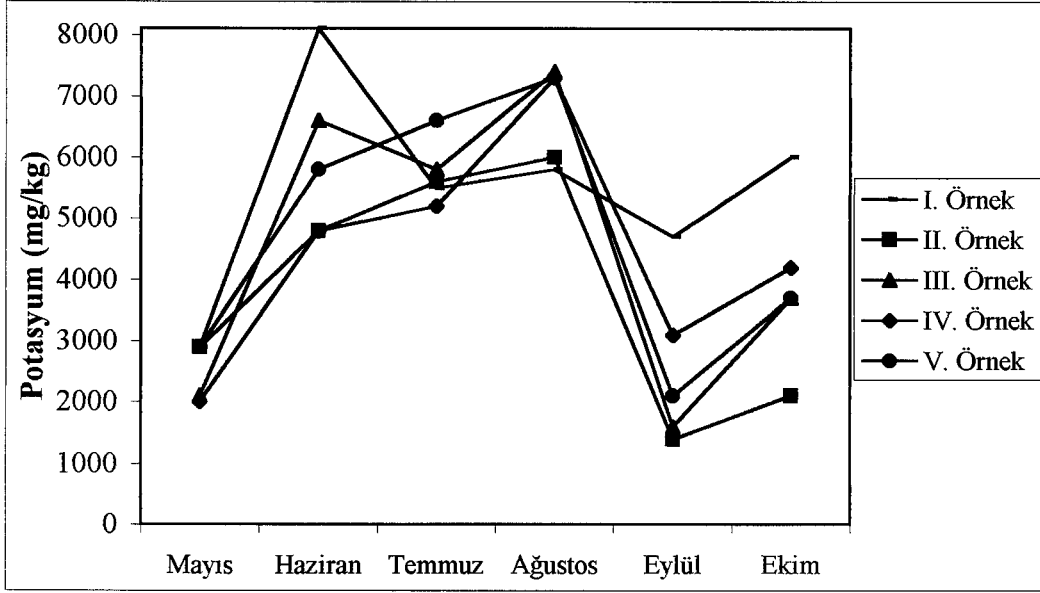
Şekil 6.11. Aylara göre kadmiyum verilerinin dağılımı



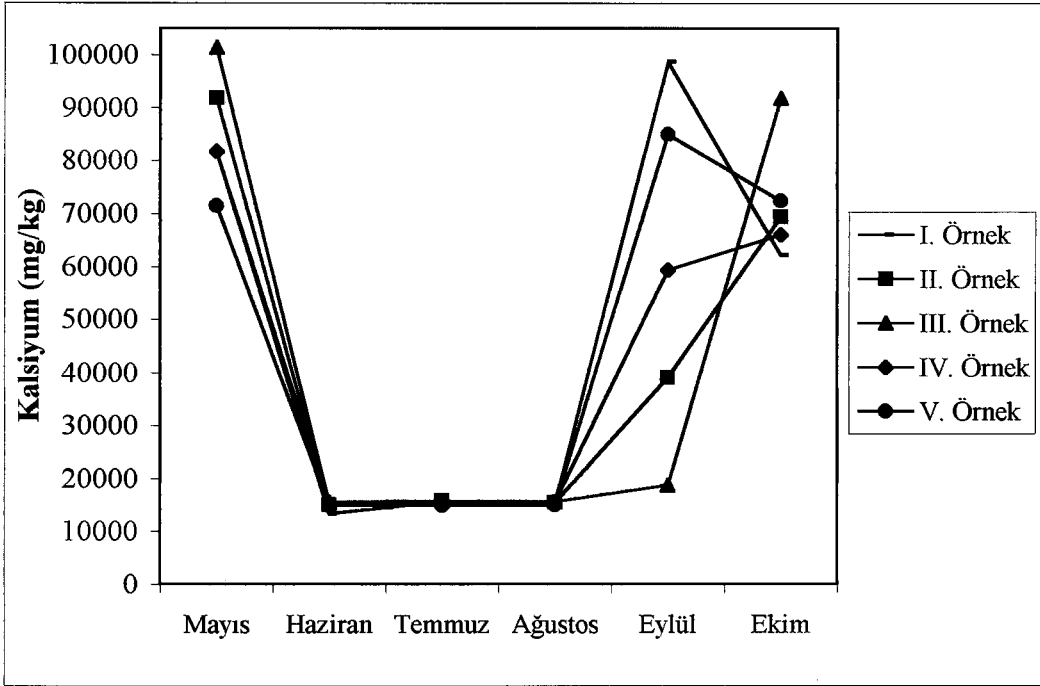
Şekil 6.12. Aylara göre krom verilerinin dağılımı



Şekil 6.13. Aylara göre sodyum verilerinin dağılımı



Şekil 6.14. Aylara göre potasyum verilerinin dağılımı



Şekil 6.15. Aylara göre kalsiyum verilerinin dağılımı

6.1.2. Bitki Örneklerinin Fizikokimyasal Analiz Sonuçları

Katı atık depolama sahasının 2 ayrı noktasından alınan bitki örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçları Çizelge 6.6.'da, parametrelerin aylık dağılımları ise Şekil 6.16.-6.24.'de verilmiştir.

Çizelge 6.6. Aylara göre bitki örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçları (mg/kg)

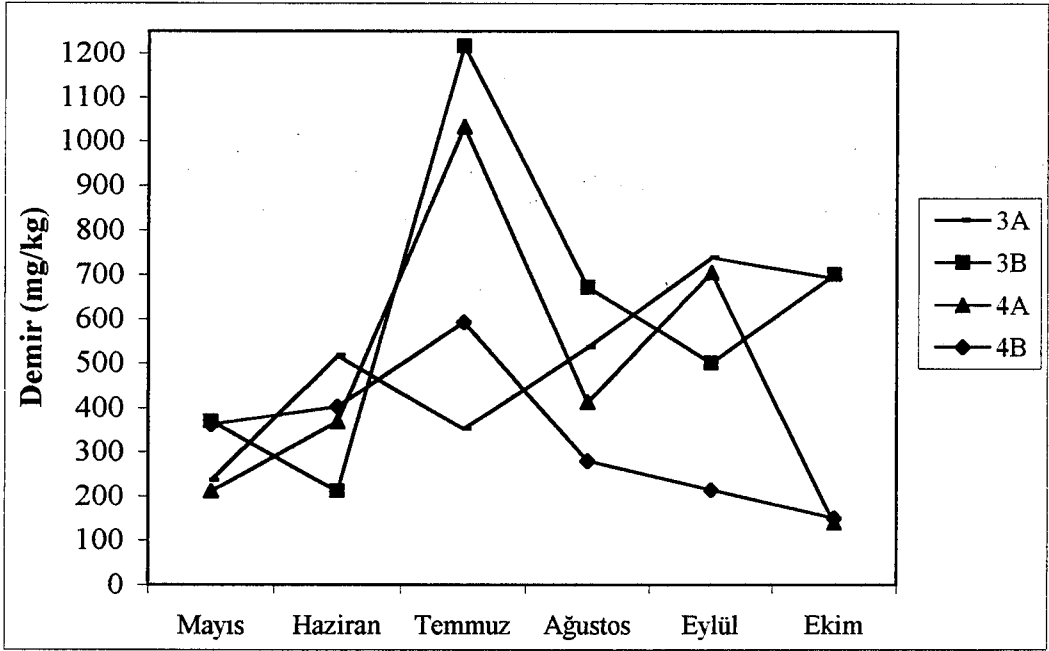
Parametre	Mayıs				Haziran				Temmuz				Ağustos				Eylül				Ekim			
	3A	3B	4A	4B	3A	3B	4A	4B	3A	3B	4A	4B	3A	3B	4A	4B	3A	3B	4A	4B	3A	3B	4A	4B
Demir	237	369	211	262	516	211	367	403	352	1217	1033	592	536	671	413	280	738	500	705	215	692	700	140	150
Bakır	26	33	43	34	11	13	20	28	18	43	21	21	15	121	16	11	31	115	17	90	11	19	9	14
Çinko	89	81	113	117	34	73	26	52	28	61	47	67	36	54	40	34	21	34	59	79	122	150	140	160
Kurşun	45	49	49	38	50	75	40	0	40	48	68	28	67	53	45	54	78	128	31	71	29	35	30	56
Nikel	15	12	8	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	51	25	26	34	38	32	34
Kadmiyum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Krom	4	9	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kalsiyum	15000	13200	3300	3100	4717	5575	6949	6327	7336	7333	6628	7039	7716	6677	7000	7159	3828	7290	7230	5580	12600	7661	2412	7625
Sodyum	1950	2100	1950	2900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Potasyum	3550	4500	3850	3850	3650	2900	3450	3850	3850	4600	4700	3650	3700	4500	3400	3650	3000	3050	2750	2400	1250	1150	2000	1450

3A: 3. Bölge yıkanmış bitki numunesi

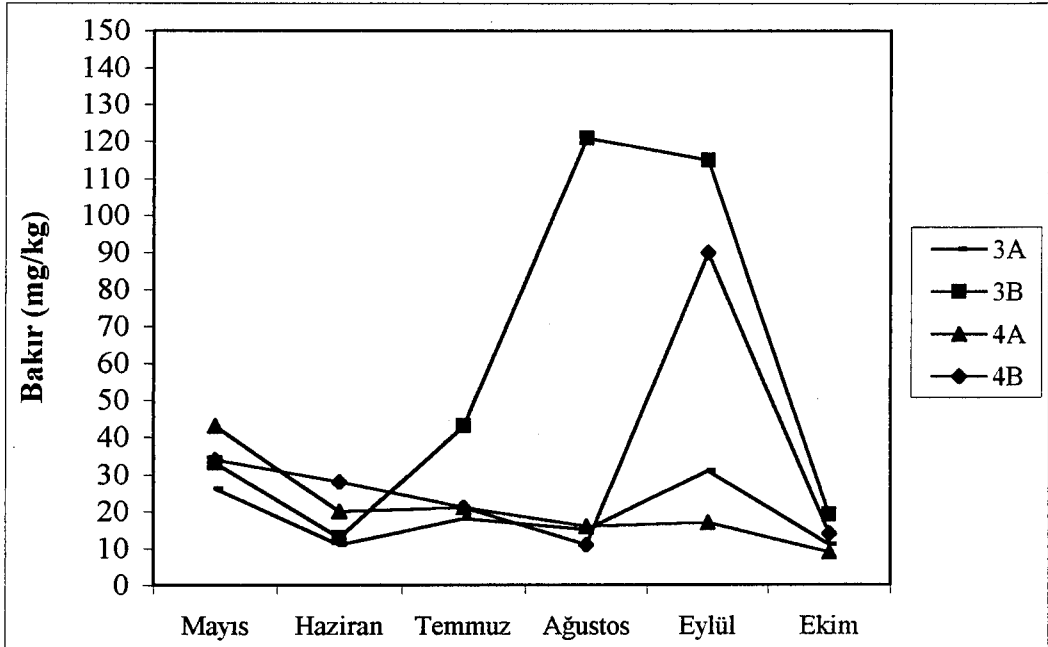
3B: 3. Bölge yıkanmamış bitki numunesi

4A: 4. Bölge yıkanmış bitki numunesi

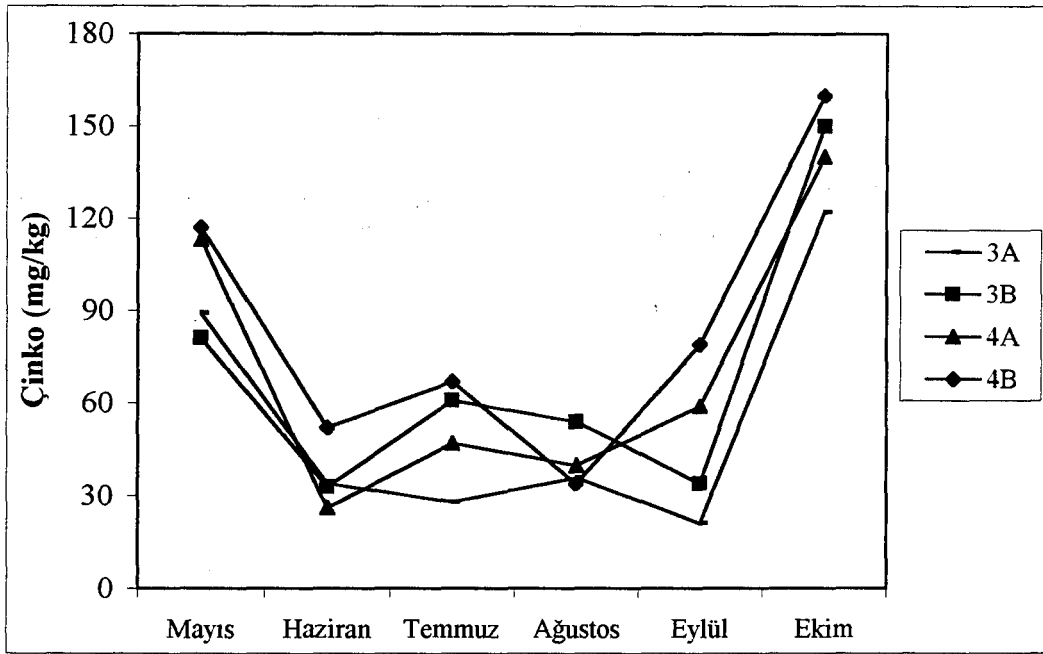
4B: 4. Bölge yıkanmamış bitki numunesi



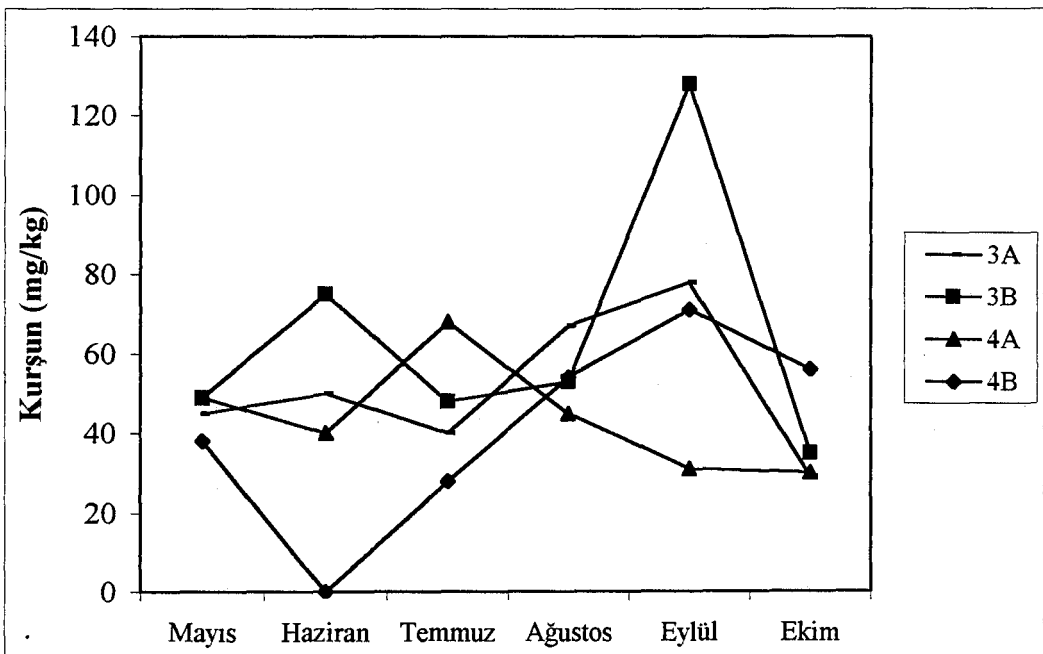
Şekil 6.16. Bitki örneklerinin aylara göre demir verilerinin dağılımı



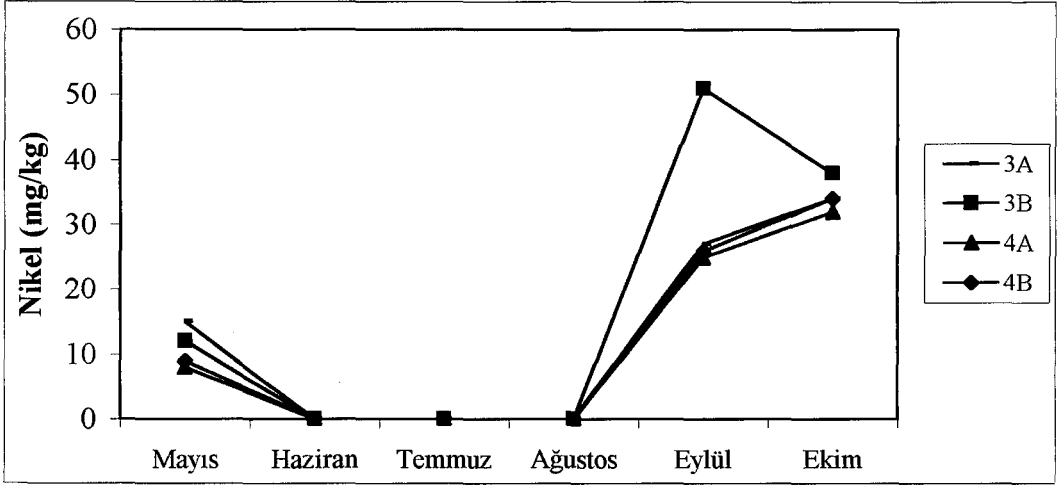
Şekil 6.17. Bitki örneklerinin aylara göre bakır verilerinin dağılımı



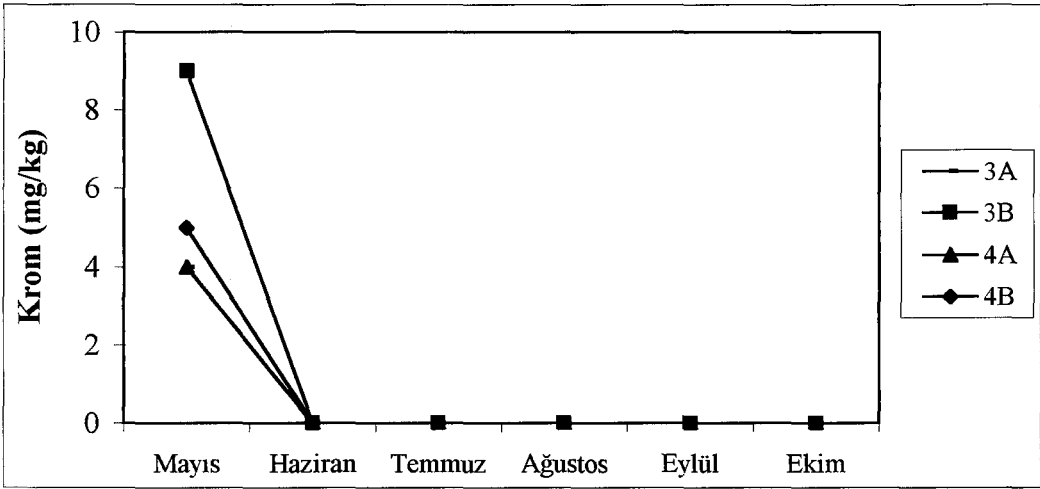
Şekil 6.18. Bitki örneklerinin aylara göre çinko verilerinin dağılımı



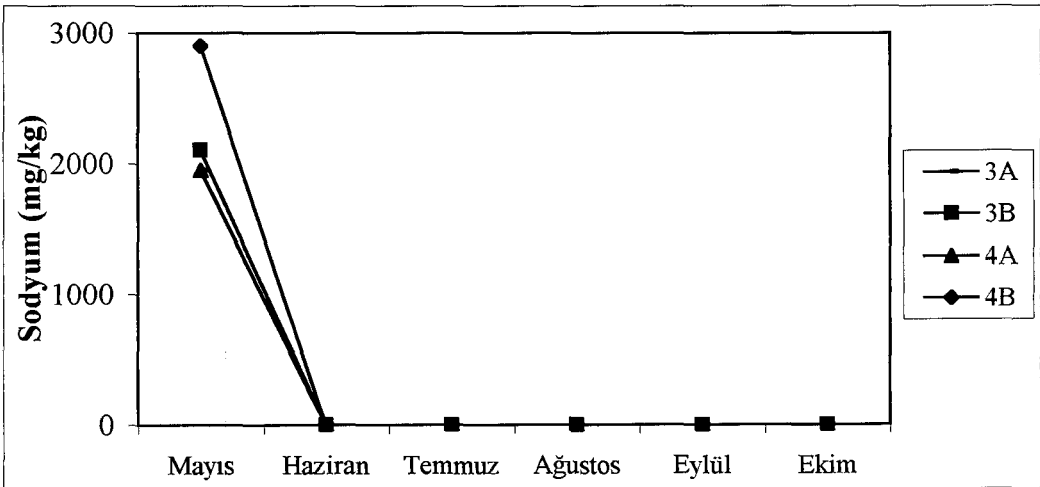
Şekil 6.19. Bitki örneklerinin aylara göre kurşun verilerinin dağılımı



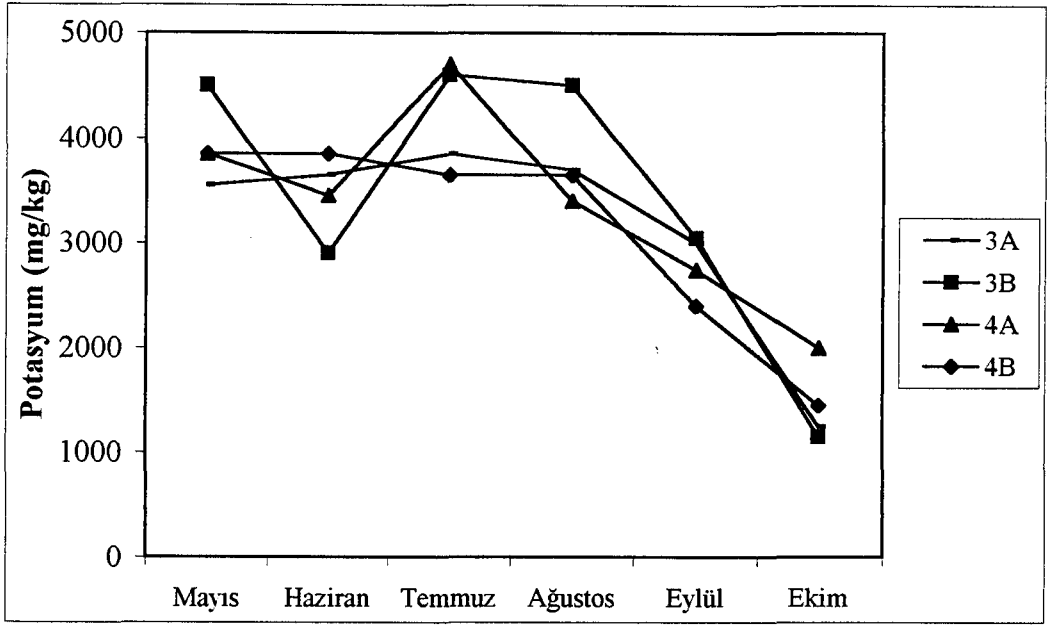
Şekil 6.20. Bitki örneklerinin aylara göre nikel verilerinin dağılımı



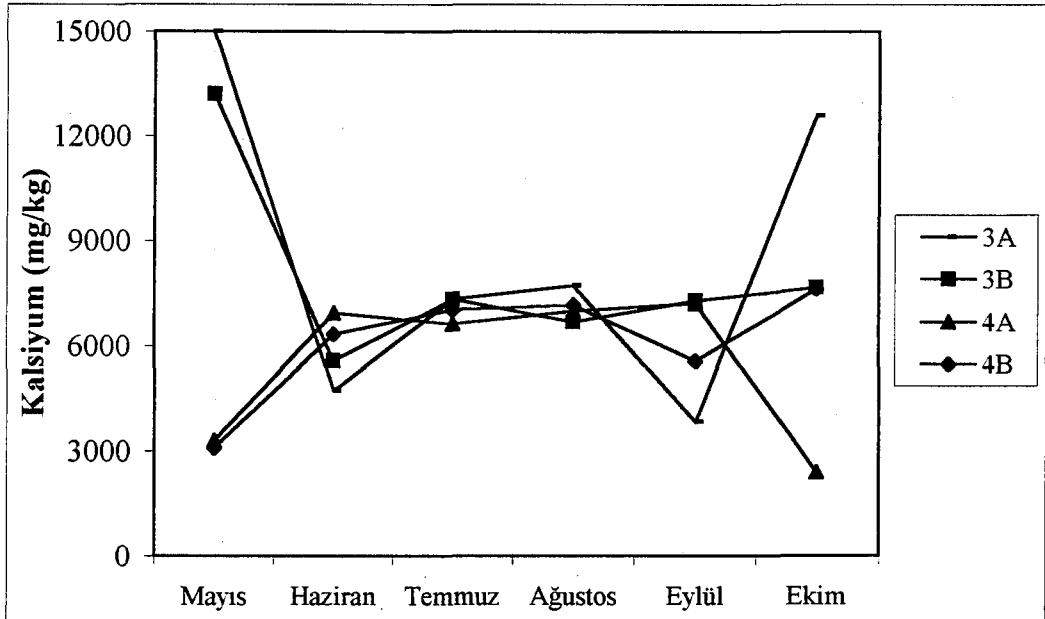
Şekil 6.21. Bitki örneklerinin aylara göre krom verilerinin dağılımı



Şekil 6.22. Bitki örneklerinin aylara göre sodyum verilerinin dağılımı



Şekil 6.23. Bitki örneklerinin aylara göre potasyum verilerinin dağılımı



Şekil 6.24. Bitki örneklerinin aylara göre kalsiyum verilerinin dağılımı

6.2. KFME Tekniği İle Elde Edilen Sonuçlar

Alınan toprak örneklerinde ısıtılmalı TB-KFME tekniğinin uygulanması sonucu elde edilen bulgular Çizelge 6.7.'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Toprak örneklerinin KFME sonuçları

Bileşen	Mayıs					Haziran					Temmuz					Ağustos					Eylül					Ekim				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
asetofenon							*			*		*			*		*	*		*		*					*			
benzaldehit						*			*		*		*	*						*										
1, 1'-bifenil																							*							
benzil alkol									*																					
p-simen						*					*	*	*							*										
kamfor						*	*			*	*				*					*	*				*		*			*
1,8-sineol			*		*				*				*	*		*	*			*							*		*	*
kloroform															*					*			*		*		*			*
dodekan											*	*								*			*		*					*
dimetil oktanil asetat											*									*					*					*
dekanal						*														*					*					*
dechyl butirat			*		*	*	*	*	*	*	*				*					*					*		*		*	*
dimetil oktanol							*							*						*			*		*		*		*	*
2-dekanon													*							*					*					*
2-dodekanon													*							*					*					*
1-dekanol													*							*					*					*
dihidro myrcenol																				*					*					*
dekanol																				*					*					*
(E, E)-2,4-dekadienal														*						*					*					*
(E)-2-dekenal												*	*	*						*	*				*					*
etanol											*				*	*				*	*				*					*
etil dimetil benzen											*				*	*				*	*				*					*
endofenkol											*				*	*				*	*				*					*

Çizelge 6.7. (devamı)

Bileşen	Mayıs					Haziran					Temmuz					Ağustos					Eylül					Ekim				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
2-etil hekzanol			*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
etil benzen								*					*					*		*										
fenil alkol							*					*			*															
2-heptanon								*		*					*	*														
(E)-2-hekzenal						*																								
1-hekzanol			*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*				*	*	*
1-heptanol						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*		*	*				*	*	
hekzadekan	*	*		*							*																			
heptadekan	*	*		*																										
(E)-2-hekzen-1-ol																								*		*	*			
hekzanal									*					*					*											
heptanal														*																
(E)-2-heptanal																			*											
ionol										*		*			*		*	*	*		*		*			*		*		*
izopropil myristate										*		*	*		*		*	*	*		*		*			*		*		*
metil hekzonat						*			*		*								*											
6-metil-2-heptanon															*	*							*					*		
5-metil-3-heptanon						*																								
metil heptanoat						*			*			*							*											
6-metil-5-hepten-2-on						*									*	*			*											
metil oktanoat						*			*			*		*					*											
metil indanol										*																				
metil dekanolat						*			*		*		*						*											

Çizelge 6.7. (devamı)

Bileşen	Mayıs					Haziran					Temmuz					Ağustos					Eylül					Ekim				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
metil chavicol						*					*								*											
metil butirat																														
metil nonanoat														*					*											
metil benzoat									*					*					*											
nonanal						*			*		*			*					*											
1-nonanol			*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*			*	*	
naftalen			*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*			*	*	
(E)-2-nonenal								*	*			*		*					*											
2-nonanon								*	*			*		*					*											
(E, E)-2,4-nonadienal														*					*											
γ-nonalakton																														
2-oktanon						*	*			*		*	*																	
(E)-2-oktenal						*			*					*					*											
1-oktanol						*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	
oktadekan	*	*				*																								
γ-oktalakton						*			*					*					*											
oktanal									*					*					*											
3-okten-2-on																			*											
1-okten-3-ol																			*											
2-okten-1-ol									*																					
propionik asit esterleri **			*		*	*	*	*	*	*		*		*			*		*			*		*			*	*	*	
2-propanol							*		*	*	*			*		*	*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	
pentadekan	*	*		*																										

Çizelge 6.7. (devamı)

Bileşen	Mayıs					Haziran					Temmuz					Ağustos					Eylül					Ekim				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
pinocarvone							*					*								*										
2-pentil furan																			*											
1-pentanol									*										*											
feniletil alkol									*					*																
fenol									*					*					*					*						
stiren						*	*	*		*		*			*	*	*	*	*	*	*	*								
1,2,4- trimetil benzen						*					*									*										
tetradekan	*																													
terpinen-4-ol										*										*	*			*					*	*
tridekan																							*							
2-tridekanon													*										*							
toluen														*																
α-terpineol						*	*	*	*	*	*								*						*					*
undekan											*																			
2-undekanon													*																	
(E)-2-undekenal														*																
verbenon																								*				*	*	

** Propionic asit 2-meth-2,2-dimetil-1 (2-hidroksi-1- metiletil) metiletil propil ester

6.3. İstatistiksel Analiz Sonuçları

Çalışmada yapılan tüm fizikokimyasal analiz sonuçları arasında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığını görebilmek amacıyla SPSS 10.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu sonuçlar üzerinde meteorolojik koşulların da etkili olduğu düşünülerek Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen sıcaklık ve yağış verileri de yapılan istatistiksel analizde kullanılmıştır (Çizelge 6.8.).

SPSS 10.0 bilgisayar programı kullanılarak yapılan istatistiksel analizde Pearson korelasyonu uygulanmıştır. Bu korelasyon, iki değişken arasındaki ilişkinin derecesini gösterir. Katsayı negatif ise ilişki ters yönlüdür (bir değişkenin değeri artarken diğerinin değeri azalır), pozitif işaretli ise değişkenlerin değerleri birlikte artıyor ya da azalıyor. Sayısal yorum yapılırken 0'a yakın olan değerler için ilişkinin zayıf olduğu, 0,5'ten büyük değerler için (özellikle 1'e yakın olanlar için) ilişkinin kuvvetli olduğu söylenir. Bu değerler, çizelgelerde koyu renkli gösterilmiştir.

Toprak örneklerinin istatistiksel değerlendirmesi Çizelge 6.9.-6.13.'de gösterilmiştir. Bitki örneklerinin istatistiksel değerlendirmesinde her bir bitki örneğinin esas alındığı (Çizelge 6.14.-6.17.) ve ayların esas alındığı (Çizelge 6.18.-6.23.) iki farklı yaklaşım sergilenmiştir.

Çizelge 6.8. Eskişehir Mayıs-Ekim 2003 sıcaklık ve yağış verileri

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Toplam Yağış Miktarı (mm)
Mayıs	16,4	43,5
Haziran	20,4	0
Temmuz	21,7	0,3
Ağustos	22,4	7,2
Eylül	15,8	8,1
Ekim	12,9	33,6

Çizelge 6.9. I. Örnek için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

	pH	Uçucu Mad.	Nem	Azot	Fosfor	Sodyum	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Nikel	Çinko	Kurşun	Kadmiyum	Krom	Yağış	Sıcaklık
pH	1.000																
Uçucu Madde	-.387	1.000															
Nem	-.581	.948	1.000														
Azot	-.372	-.300	-.151	1.000													
Fosfor	.545	-.641	-.673	-.177	1.000												
Sodyum	-.843	.352	.612	.120	-.463	1.000											
Potasyum	.100	-.893	-.710	.397	.421	.069	1.000										
Kalsiyum	.151	.582	.482	-.418	.222	-.125	-.682	1.000									
Demir	.618	.090	-.064	-.911	.505	-.345	-.258	.555	1.000								
Bakır	.434	-.049	-.182	.464	-.072	-.651	-.154	.083	-.271	1.000							
Nikel	.170	.576	.484	-.463	.232	-.101	-.660	.997	.597	.040	1.000						
Çinko	-.769	.759	.810	-.032	-.400	.582	-.631	.471	-.154	-.339	.448	1.000					
Kurşun	-.012	-.256	-.412	-.162	.149	-.322	-.025	-.313	.034	-.198	-.343	.006	1.000				
Kadmiyum	.751	-.250	-.363	-.253	.794	-.639	.004	.601	.623	.332	.608	-.353	-.216	1.000			
Krom	.044	-.318	-.100	-.203	.365	.442	.585	-.066	.293	-.566	-.001	-.241	-.485	.170	1.000		
Yağış	-.031	.800	.776	-.633	-.360	.323	-.640	.605	.503	-.239	.643	.403	-.498	.028	.200	1.000	
Sıcaklık	-.300	-.350	-.320	.693	-.384	-.025	.339	-.811	-.818	.283	-.853	-.184	.419	-.617	-.460	-.716	1.000

Çizelge 6.10. II. Örnek için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

	pH	Uçucu Mad.	Nem	Azot	Fosfor	Sodyum	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Nikel	Çinko	Kurşun	Kadmiyum	Krom	Yağış	Sıcaklık
PH	1.000																
Uçucu Madde	-.891	1.000															
Nem	-.736	.837	1.000														
Azot	.030	.143	.268	1.000													
Fosfor	.902	-.744	-.747	-.273	1.000												
Sodyum	-.584	.714	.964	.472	-.697	1.000											
Potasyum	-.320	-.124	-.176	-.183	-.438	-.229	1.000										
Kalsiyum	-.109	.401	.723	.191	-.098	.759	-.688	1.000									
Demir	.729	-.923	-.881	-.187	.586	-.784	.293	-.629	1.000								
Bakır	.101	-.304	.012	.449	-.242	.154	.546	-.129	.185	1.000							
Nikel	.491	-.105	-.133	.448	.475	.001	-.836	.302	.058	-.422	1.000						
Çinko	.296	.063	-.026	-.288	.603	-.096	-.818	.479	-.265	-.649	.507	1.000					
Kurşun	-.039	-.320	.042	-.278	-.232	.057	.642	-.069	.298	.614	-.728	-.576	1.000				
Kadmiyum	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Krom	-.611	.528	.809	.061	-.671	.764	.216	.535	-.659	.424	-.583	-.213	-.505	.	1.000		
Yağış	-.085	.318	.705	.154	-.105	.744	-.558	.976	-.586	.044	.142	.400	.108	.	.648	1.000	
Sıcaklık	-.307	-.084	-.228	.050	-.466	-.241	.935	-.790	.324	.488	-.611	-.882	-.407	.	.011	-.716	1.000

Çizelge 6.11. III. Örnek için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

	pH	Uçucu Mad.	Nem	Azot	Fosfor	Sodyum	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Nikel	Çinko	Kurşun	Kadmiyum	Krom	Yağış	Sıcaklık
pH	1.000																
Uçucu Madde	-.603	1.000															
Nem	.351	-.745	1.000														
Azot	.130	.371	-.762	1.000													
Fosfor	.049	.649	-.773	.825	1.000												
Sodyum	.412	-.772	.996	-.728	-.769	1.000											
Potasyum	-.544	.095	-.480	.377	.019	-.492	1.000										
Kalsiyum	.579	-.622	.705	-.389	-.207	.687	-.560	1.000									
Demir	.303	.270	-.459	.430	.748	-.468	-.225	.272	1.000								
Bakır	.572	-.700	.895	-.513	-.621	.928	-.576	.550	-.485	1.000							
Nikel	.423	.373	-.124	.174	.466	-.088	-.773	.028	.379	.162	1.000						
Çinko	.063	.039	.347	-.711	-.289	.330	-.713	.286	.138	.233	.435	1.000					
Kurşun	-.074	-.540	.051	.033	-.465	.068	.757	-.193	-.431	-.018	-.825	-.532	1.000				
Kadmiyum	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Krom	.404	-.759	.361	.166	-.245	.380	.343	.401	-.195	.352	-.564	-.654	.666	.	1.000		
Yağış	.704	-.696	.744	-.357	-.238	.744	-.611	.981	.210	.666	.104	.264	-.167	.	.446	1.000	
Sıcaklık	-.541	.020	-.251	.037	-.368	-.241	.803	-.732	-.626	-.259	-.619	-.402	.758	.	.118	-.716	1.000

Çizelge 6.12. IV. Örnek için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

	pH	Uçucu Mad.	Nem	Azot	Fosfor	Sodyum	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Nikel	Çinko	Kurşun	Kadmiyum	Krom	Yağış	Sıcaklık
PH	1.000																
Uçucu Madde	-.380	1.000															
Nem	-.089	-.055	1.000														
Azot	.061	.114	-.716	1.000													
Fosfor	-.653	.251	-.460	.110	1.000												
Sodyum	.033	.443	.725	-.663	-.224	1.000											
Potasyum	-.347	.820	-.472	.447	.269	-.102	1.000										
Kalsiyum	.749	-.664	.411	-.471	-.574	.273	-.838	1.000									
Demir	.465	.292	.094	.199	-.781	.157	.384	.043	1.000								
Bakır	.150	-.064	.763	-.455	-.279	.736	-.603	.540	-.115	1.000							
Nikel	.823	-.769	.192	-.292	-.575	.018	-.783	.961	.082	.314	1.000						
Çinko	-.417	-.398	.005	-.344	.214	-.406	-.104	-.111	-.327	-.493	-.029	1.000					
Kurşun	-.344	.698	.537	-.338	-.259	.626	.481	-.331	.517	.137	-.485	-.048	1.000				
Kadmiyum	.500	-.477	-.432	.705	-.442	-.717	-.060	.130	.394	-.365	.352	-.075	-.474	1.000			
Krom	.422	-.380	.457	-.836	-.218	.513	-.651	.806	-.182	.459	.698	.125	-.091	-.410	1.000		
Yağış	.608	-.292	.566	-.736	-.511	.637	-.614	.879	.126	.597	.755	-.141	.051	-.270	.929	1.000	
Sıcaklık	-.724	.774	-.059	.381	.395	.078	.703	-.878	.040	-.096	-.945	-.214	.519	-.251	-.762	-.716	1.000

Çizelge 6.13. V. Örnek için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi

	pH	Uçucu Mad.	Nem	Azot	Fosfor	Sodyum	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Nikel	Çinko	Kurşun	Kadmiyum	Krom	Yağış	Sıcaklık
pH	1.000																
Uçucu Madde	-.287	1.000															
Nem	.396	.408	1.000														
Azot	.678	-.158	.033	1.000													
Fosfor	-.259	.165	-.692	-.050	1.000												
Sodyum	.475	.414	.992	.148	-.656	1.000											
Potasyum	-.516	-.035	-.356	-.722	.515	-.423	1.000										
Kalsiyum	.681	-.173	.301	.760	-.498	.372	-.964	1.000									
Demir	-.422	-.282	-.977	-.125	.816	-.971	.482	-.430	1.000								
Bakır	.367	.424	.941	-.128	-.487	.926	-.061	.040	-.859	1.000							
Nikel	.645	.247	.886	.437	-.712	.922	-.728	.702	-.924	.724	1.000						
Çinko	.550	-.404	-.156	.509	-.131	-.102	-.668	.793	.060	-.322	.245	1.000					
Kurşun	-.076	.008	.059	-.734	.206	-.008	.675	-.565	.088	.323	-.255	-.201	1.000				
Kadmiyum																	
Krom	-.133	.307	.414	-.750	-.002	.340	.623	-.602	-.255	.653	.002	-.515	.882		1.000		
Yağış	.761	.068	.716	.280	-.537	.744	-.595	.674	-.717	.634	.843	.528	.141		.179	1.000	
Sıcaklık	-.560	.113	-.189	-.523	.365	-.241	.863	-.912	.282	.037	-.559	-.915	.299		.447	-.716	1.000

Çizelge 6.14. 3A için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

	Sodyum	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Nikel	Çinko	Kurşun	Krom	Yağış	Sıcaklık
Sodyum	1.000										
Potasyum	.191	1.000									
Kalsiyum	.719	-.352	1.000								
Demir	-.699	-.616	-.460	1.000							
Bakır	.437	.231	-.048	-.079	1.000						
Nikel	.075	-.858	.324	.556	.293	1.000					
Çinko	.408	-.740	.867	-.030	-.259	.605	1.000				
Kurşun	-.177	.405	-.633	.342	.559	-.108	-.702	1.000			
Krom	1.000	.191	.719	-.699	.437	.075	.408	-.177	1.000		
Yağış	.744	-.496	.918	-.222	.178	.600	.878	-.430	.744	1.000	
Sıcaklık	-.241	.835	-.454	-.398	-.236	-.965	-.718	.260	-.241	-.716	1.000

Çizelge 6.15. 3B için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

	Sodyum	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Nikel	Çinko	Kurşun	Krom	Yağış	Sıcaklık
Sodyum	1.000										
Potasyum	.378	1.000									
Kalsiyum	.961	.313	1.000								
Demir	-.340	.238	-.155	1.000							
Bakır	-.247	.348	-.189	.106	1.000						
Nikel	-.106	-.626	.060	-.134	.222	1.000					
Çinko	.067	-.687	.144	.012	-.668	.175	1.000				
Kurşun	-.228	-.046	-.256	-.354	.519	.510	-.663	1.000			
Krom	1.000	.378	.961	-.340	-.247	-.106	.067	-.228	1.000		
Yağış	.744	-.214	.824	-.243	-.320	.316	.609	-.404	.744	1.000	
Sıcaklık	-.241	.716	-.377	.260	.250	-.833	-.597	-.080	-.241	-.716	1.000

Çizelge 6.16. 4A için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

	Sodyum	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Nikel	Çinko	Kurşun	Krom	Yağış	Sıcaklık
Sodyum	1.000										
Potasyum	.261	1.000									
Kalsiyum	-.523	.381	1.000								
Demir	-.391	.595	.666	1.000							
Bakır	.931	.547	-.219	-.118	1.000						
Nikel	-.098	-.834	-.518	-.306	-.375	1.000					
Çinko	.457	-.495	-.960	-.575	.131	.702	1.000				
Kurşun	.181	.946	.217	.602	.405	-.725	-.324	1.000			
Krom	1.000	.261	-.523	-.391	.931	-.098	.457	.181	1.000		
Yağış	.744	-.334	-.921	-.693	.454	.474	.917	-.254	.744	1.000	
Sıcaklık	-.241	.734	.729	.496	.047	-.923	-.847	.662	-.241	-.716	1.000

Çizelge 6.17. 4B için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

	Sodyum	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Nikel	Çinko	Kurşun	Krom	Yağış	Sıcaklık
Sodyum	1.000										
Potasyum	.349	1.000									
Kalsiyum	-.901	-.383	1.000								
Demir	.088	.734	-.079	1.000							
Bakır	.017	-.209	-.403	-.241	1.000						
Nikel	-.082	-.948	.070	-.773	.387	1.000					
Çinko	.341	-.689	-.149	-.451	-.034	.778	1.000				
Kurşun	-.062	-.632	.041	-.675	.408	.666	.305	1.000			
Krom	1.000	.349	-.901	.088	.017	-.082	.341	-.062	1.000		
Yağış	.744	-.308	-.519	-.428	-.109	.491	.821	.298	.744	1.000	
Sıcaklık	-.241	.794	.217	.686	-.331	-.929	-.902	-.478	-.241	-.716	1.000

Çizelge 6.18. Mayıs ayı bitki örnekleri için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

	Sodyum	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Nikel	Çinko	Kurşun	Krom
Sodyum	1.000								
Potasyum	.002	1.000							
Kalsiyum	-.530	.138	1.000						
Demir	.666	.662	.029	1.000					
Bakır	-.016	.209	-.780	-.212	1.000				
Nikel	-.405	-.145	.950	-.051	-.907	1.000			
Çinko	.550	-.425	-.952	-.165	.605	-.810	1.000		
Kurşun	-.892	.403	.361	-.397	.295	.122	-.519	1.000	
Krom	.015	.952	.380	.745	-.100	.133	-.617	.310	1.000

Çizelge 6.19. Haziran ayı bitki örnekleri için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Çinko	Kurşun
Potasyum	1.000					
Kalsiyum	.096	1.000				
Demir	.839	-.302	1.000			
Bakır	.566	.731	.033	1.000		
Çinko	-.580	-.215	-.734	-.064	1.000	
Kurşun	-.870	-.446	-.462	-.895	.299	1.000

Çizelge 6.20. Temmuz ayı bitki örnekleri için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Çinko	Kurşun
Potasyum	1.000					
Kalsiyum	-.362	1.000				
Demir	.883	-.266	1.000			
Bakır	.537	.406	.765	1.000		
Çinko	.046	-.127	.495	.488	1.000	
Kurşun	.894	-.607	.619	.106	-.249	1.000

Çizelge 6.21. Ağustos ayı bitki örnekleri için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Çinko	Kurşun
Potasyum	1.000					
Kalsiyum	-.529	1.000				
Demir	.774	-.232	1.000			
Bakır	.955	-.704	.800	1.000		
Çinko	.857	-.757	.811	.970	1.000	
Kurşun	.120	.777	.253	-.131	-.280	1.000

Çizelge 6.22. Eylül ayı bitki örnekleri için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Çinko	Kurşun	Nikel
Potasyum	1.000						
Kalsiyum	-.004	1.000					
Demir	.706	-.120	1.000				
Bakır	-.046	.298	-.733	1.000			
Çinko	-.948	.323	-.699	.129	1.000		
Kurşun	.497	.049	-.260	.818	-.464	1.000	
Nikel	.582	.475	-.106	.743	-.406	.884	1.000

Çizelge 6.23. Ekim ayı bitki örnekleri için fizikokimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Bakır	Çinko	Kurşun	Nikel
Potasyum	1.000						
Kalsiyum	-.817	1.000					
Demir	-.807	.711	1.000				
Bakır	-.730	.206	.478	1.000			
Çinko	.024	-.438	-.485	.534	1.000		
Kurşun	-.117	-.021	-.491	.307	.812	1.000	
Nikel	-.812	.340	.699	.959	.278	.053	1.000

6.4. Bulguların Değerlendirilmesi

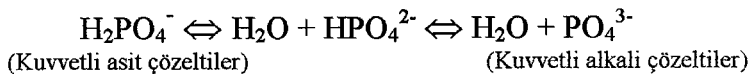
Bu çalışmada elde edilen tüm bulguların teknik ve yasal açıdan değerlendirilmesi aşağıda sunulmuştur.

Toprak örneklerinde yapılan ilk tayin pH'ın belirlenmesi olup, toprak pH'ı genellikle mevsimlere ve yöreye göre değişmektedir. Alınan numunelerde yapılan analizler sonucunda, pH'ın zayıf ve orta alkali sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, doğal ortamda ağır metal çözünürlüğünün az olduğunu gösterir. Nitekim Mayıs-Ekim dönemleri arasında yapılan çalışmalarda da pH değeri 6,06-8,36 arasında seyretmiş ve özellikle Ağustos, Eylül, Ekim aylarında yüksek değerler göstermiştir. Toprakta pH değeri, ilkbahardan sonbahara kadar düşer; çünkü bu dönemde, bitki ve mikroorganizmaların faaliyetleri için tüm koşullar elverişlidir. Yoğun biyolojik aktivite ve CO₂ birikimi sonucunda, toprak çözeltisinde H⁺ iyonlarının derişimi artar ve pH düşer. Sonbahardan ilkbahara kadar geçen süre içinde, bitki ve mikroorganizmaların faaliyetleri azaldığından pH değeri tekrar yükselir.

Nem değerleri incelendiğinde ise, beklendiği gibi yaz aylarında (Haziran, Temmuz, Ağustos) sonuçların daha düşük olduğu görülmüştür.

IV. Örnekte uçucu madde değerleri %6,6-23,19 arasında çok büyük farklılıklar gösterirken, diğer örnek alma noktalarından elde edilen sonuçlarda değerlerin birbirine daha yakın olduğu dikkat çekmiştir.

Toprak ve bitki yaşamı için gerekli olan makro elementler arasında yer alan fosforun çözünürlüğü üzerinde, toprak reaksiyonunun çok belirgin bir etkisi vardır. Asitliği yüksek toprak çözeltisinde, yalnız, H₂PO₄⁻ iyonları bulunur. pH yükselirse önce HPO₄²⁻, sonra PO₄³⁻ iyonları hakim duruma geçer. pH artışıyla ilişkili olan reaksiyon denkleminde göre;



pH 7'de hem $H_2PO_4^-$ hem de HPO_4^{2-} iyonları yer almaktadır. Genel olarak, $H_2PO_4^-$ ve HPO_4^{2-} iyonları, PO_4^{3-} iyonlarına göre daha yaygın formlardır; ancak, toprakta bazı bileşiklerin ya da iyonların bulunup bulunmamasına göre durum değişebilmektedir. Örneğin, çok kuvvetli asidik ortamlarda, çözünebilir demir ve alüminyumun ya da yüksek pH değerlerinde kalsiyumun bulunması, fosforun yayınlılığına olumsuz etki yapar (Boşgelmez ve ark. 2001). Bu çalışmada bulunan fosfor değerlerine bakıldığında da, pH, fosfor ve kalsiyum değerleri arasında bu etkileşim açıkça görülmektedir.

Demir, bakır ve çinko iyonlarının aktifliğiyle toprak reaksiyonu arasında da yakın bir ilişki vardır. Toprağın pH derecesi düşük olduğu zaman, bu iyonların önemli miktarda çözülmüş oldukları görülür. Bazı koşullarda, bu miktarlar öylesine artar ki, bitkilere toksik etki yapmaya başlar. pH değeri yükseldikçe, bu iyonların çözünürlükleri azalır ve çökerler. Ancak çalışmada elde edilen bakır derişimleri bu duruma tamamen, çinko derişimleri kısmen uyarken, demir derişimlerinin yüksek olması, demir iyonlarının topraktaki organik maddeler tarafından bağlandığını düşündürmektedir.

Toprak örneklerinde yapılan ağır metal analizi sonuçlarının Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek-IVA (Toprakta Müsaade Edilen Maksimum Ağır Metal Muhtevaları)'ya göre ve Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-IA (Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri)'ya göre değerlendirmesi Çizelge 6.24a.'da verilmiştir.

Çizelge 6.24a. Fizikokimyasal analiz sonuçlarının sınır değerlerle karşılaştırılması

Ağır Metal	SONUÇLAR (mg/kg)		KAKY (mg/kg kuru toprakta)	TKKY (mg/kg kuru toprak)	
	Aralık	Ortalama		pH≤6	pH>6
Bakır	16-502	101,3	100	50	140
Çinko	90-914	410,1	300	150	300
Demir	13200-35300	24132	-	-	-
Kadmiyum	0-10	1,5	3	1	3
Krom	0-410	81,9	100	100	100
Kurşun	0-320	124,3	100	50	300
Nikel	0-660	128,5	50	30	75

Bu değerlere bakıldığında çinko, kurşun ve nikel değerleri açısından sınır değerlerin aşıldığı görülmektedir. Buna gerekçe olarak, Türkiye'deki evsel katı atıklar içinde tehlikeli atıkların bulunması gerçeği gösterilebilir.

Eskişehir vahşi katı atık depolama sahasıyla ilgili 1996 yılında Recep Bakış tarafından yapılan çalışma verileriyle karşılaştırma yapıldığında (Çizelge 6.24b.), pek çok verinin aynı aralıkta olduğu dikkat çekmektedir. Derişimler sıralandığında, Bakış'ın çalışmasında $Pb < Cu < Cr < Ni < K < Zn < Na < Fe < Ca$ iken, bu çalışmada $Cr < Cu < Pb < Ni < Zn < Na < K < Fe < Ca$ şeklindedir.

Çizelge 6.24b. Fizikokimyasal analiz sonuçlarının literatür değerleri ile karşılaştırılması

Ağır Metal	Sonuçlar (mg/kg)		Bakış 1996 Sonuçlar (mg/kg)	
	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama
Bakır	16-502	101,3	83-154	119,4
Çinko	90-914	410,1	3984-9581	6224,4
Demir	13200-35300	24132	32190-43618	38458,3
Nikel	0-660	128,5	3704-4497	4205,3
Krom	0-410	81,9	110-132	119,7
Kurşun	0-320	124,3	57-97	73,8
Kalsiyum	13296-101400	34878,8	40071-43166	41988,3
Sodyum	0-7200	1753	6660-11300	8348,3
Potasyum	1400-8100	3653,3	5014-6780	5603,3

Uçucu bileşenlerin 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-KFME tekniği sonucunda toplam 86 bileşen tanımlanmıştır.

Bu çalışmanın, Aysun Şahin tarafından 2002 yılında yapılan "Eskişehir Katı Atık Depolama Sahası Sızıntı Suyunun Karakterizasyonu ve Fiziksel/Kimyasal Özelliklerinin Farklı Analiz Teknikleriyle Belirlenmesi" başlıklı yüksek lisans tezini bütünlemesi de amaçlandığından, Çizelge 6.25.'de her iki çalışma sonuçları ve literatür bulguları karşılaştırılmıştır.

Ayrıca, KFME tekniği ile toprak örneklerinde belirlenen bileşenlerin özellikleri Ek-2’de verilmiştir.

Çizelge 6.25. KFME tekniği ile tanımlanan bileşiklerin diğer çalışmalarla karşılaştırılması

Toprakta Tanımlanan Bileşikler	Şahin 2002	Referans
asetofenon		
benzaldehit		
1, 1’ -bifenil		Eriksson ve ark. 2001
benzil alkol		
<i>p</i> -simen	*	Flamini ve ark. 2003
kamfor		Bicchi ve ark. 2000
1,8-sineol		Bicchi ve ark. 2000
kloroform		
dodekan		Ezquerro ve ark. 2003
dimetil oktanil asetat		
dekanal		Ezquerro ve ark. 2003, Flamini ve ark. 2003
dechyl butirat		
dimetil oktanol		
2-dekanon		
2-dodekanon		
1-dekanol		
dihidro myrcenol		
dekanol		
(E, E)-2,4-dekadienal		
(E)-2-dekenal		
etanol		
etil dimetil benzen		
2-etil hekzanol		Ezquerro ve ark. 2003
etil benzen		Llompart ve ark. 1999, Penalver ve ark. 1999
fenil alkol		
2-heptanon		Ezquerro ve ark. 2003
(E)-2-heksenal		
1-hekzanol		
1-heptanol		Flamini ve ark. 2003
hegzadekan	*	Flamini ve ark. 2003

Çizelge 6.25. (devamı)

Toprakta Tanımlanan Bileşikler	Şahin 2002	Referans
heptadekan	*	Flamini ve ark. 2003
(E)-2-heksen-1-ol		
hekzanal		Ezquerro ve ark. 2003
heptanal		Ezquerro ve ark. 2003
(E)-2-heptanal		
ionol		
izopropil myristate		
metil hekzonat		
6-metil-2-heptanon		
5-metil-3-heptanon		
metil heptanoat		
6-metil-5-hepten-2-on		Flamini ve ark. 2003
metil oktanoat		
metil indanol		
metil dekanoat		
metil chavicol		
metil butirat		
metil nonanoat		
metil benzoat		
nonanal		Ezquerro ve ark. 2003, Flamini ve ark. 2003
1-nonanol		
naftalen	*	Eriksson ve ark. 2001, Hook ve ark. 2002
(E)-2-nonenal		
2-nonanon		
(E, E)-2,4-nonadienal		
γ -nonalakton		
2-oktanon		
(E)-2-oktenal		
1-oktanol		
oktadekan		Flamini ve ark. 2003
γ -oktalakton		
oktanal		Ezquerro ve ark. 2003, Flamini ve ark. 2003
3-octen-2-on		
1-okten-3-ol		
2-okten-1-ol		
propionik asit esteri **		
2-propanol		
pentadekan		Flamini ve ark. 2003, Hook ve ark. 2002
pinocarvone		
2-pentil furan		
1-pentanol		

Çizelge 6.25. (devamı)

Toprakta Tanımlanan Bileşikler	Şahin 2002	Referans
feniletil alkol		Flamini ve ark. 2003
fenol		Baciocchi ve ark. 2001
stiren		
1,2,4- trimetil benzen		Hook ve ark. 2002
tetradekan		Flamini ve ark. 2003
terpinen-4-ol		Bicchi ve ark. 2000
tridekan		
2-tridekanon		
toluen		Ezquerro ve ark. 2003, Llompert ve ark. 1999, Penalver ve ark. 1999
α -terpineol		Bicchi ve ark. 2000, Flamini ve ark. 2003
undekan		Ezquerro ve ark. 2003
2-undekanon		
(E)-2-undekenal		
verbenon		

** Propionik asit 2-meth-2,2-dimetil-1 (2-hidroksi-1- metiletil) metiletil propil ester

Bölüm 6.3.'de verilen istatistiksel analiz sonuçlarına bakıldığında;

- Nem ve yağışın doğru orantılı,
- Ni ve sıcaklığın ters orantılı,
- Ca ve yağışın doğru orantılı,
- Ca ve sıcaklığın ters orantılı,
- P ve Fe'in IV. Örnekte ters, diğer örneklerde doğru orantılı,
- I. Örnek dışında tüm örneklerde K ve sıcaklığın doğru orantılı,
- K ve Ni'in ters orantılı,
- K ve Zn'nun ters orantılı,
- Ca ve K'un ters orantılı

oldukları saptanmıştır.

7. SONUÇ

Bu çalışmada, farklı analiz teknikleri kullanılarak Eskişehir katı atık depolama sahası civarındaki toprak kirliliği araştırılmıştır. Sahadaki toprak kirliliğinin karakterizasyonunda, katı atıkların fiziksel bileşimine paralel olarak oluşan sızıntı suyunun kompozisyonu da büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, aynı sahada yapılmış olan sızıntı suyu çalışmasını bütünleyici doğrultuda çalışılmıştır.

Toprakların katı atıklar tarafından kirlenmesinin en önemli aracı sızıntı suyudur. Sızıntı suyu, toprağın su tutma kapasitesine bağlı olarak farklı kirlilik derişimleri meydana getirir. Bu nedenle çalışmada, depolama sahası toprağının strüktür tayini yapılmıştır.

Sızıntı suyu topraktan geçerken, içerdiği kirletici maddeler toprak tarafından tutulurlar. Bu noktada, toprağın yapısı, pH'ı, kation değişim kapasitesi ve organik madde içeriği büyük önem taşımaktadır. Özellikle killi topraklar ve organik madde bakımından zengin topraklar, yüksek kation değişim kapasitesine sahip oldukları için büyük ölçüde ağır metal ve kation tutarlar.

Ayrıca toprak kirliliğinin saptanmasında biyoindikatör olarak katı atık depolama sahasından alınan bitki örneklerinden yararlanılmış, ağır metallerin bitkilerde birikme durumunu belirlemek amacıyla bu bitkilerin analizleri yapılmıştır.

Toprak kirleticileri sadece ağır metaller değildir. Toprak numunelerindeki organik bileşenlerin tanımlanması amacıyla, çevresel analizlerde yeni bir yöntem olan katı faz mikroekstraksiyonu tekniği de uygulanmıştır. Sonuçlarda 86 adet bileşen saptanmış ve bu bileşenlerin yaz aylarında daha yoğun olduğu belirlenmiştir.

Çalışmanın son aşamasında ise analizler sonucunda elde edilen veriler arasındaki anlamlılığın belirlenmesi amacıyla istatistiksel analiz yapılmış, sıcaklık ve yağışın kirlilik üzerinde etkisi olup olmadığı incelenmiştir.

Sonuç olarak, gerek daha önce yapılan çalışmalar, gerekse bu çalışma sonucunda elde edilen veriler, vahşi katı atık depolama sahalarının neden olduğu çevresel etkiler 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.

KAYNAKLAR

ARHAN, Y., *Toprak kirlenmesi ve kirlenmiş zeminlerin ıslahı*, Türkiye' de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu II (Ed: KARPUZCU, M., KINLI, H., BAYAR, S. ve DÖKMECİ, S.), Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, Cilt II, 441-453 (1997).

ARSLANDERE, Ö., *Yağaltı Sularının Kimyasal Bileşimi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye (2002).

BACIOCCHI, R., ATTINA, M., LOMBARDI, G. ve BONI, M.R., *Fast determination of phenols in contaminated soils*, Journal of Chromatography A, **911**, 135-141 (2001).

BAKIŞ, R., *Eskişehir çöp depolama alanından kaynaklanan toprak kirliliğinin ağır metal bakımından araştırılması*, Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu '99 (Ed: ÖZTÜRK, İ., DEMİR, A. ve ALP, K.), İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul, Türkiye, Cilt III, 332-339 (1999).

BICCHI, C., DRIGO, S. ve RUBIOLO, P., *Influence of fibre coating in headspace solid-phase microextraction-gas chromatographic analysis of aromatic and medicinal plants*, Journal of Chromatography A, **892**, 469-485 (2000).

BOŞGELMEZ, A., BOŞGELMEZ, İ.İ., SAVAŞÇI, S. ve PASLI, N., *Ekoloji-II Toprak*, Başkent Klşe Matbaacılık, Ankara, Türkiye (2001).

ÇEPEL, N., *Toprak kirliliği erozyon ve çevreye verdiği zararlar*, Matbaa Teknisyenleri Kollektif Şirketi, İstanbul, Türkiye (1997).

DASKALOPOULOS, E., BADR, O. ve PROBERT, S.D., *Economic and environmental evaluations of waste treatment and disposal technologies for municipal solid waste*, Applied Energy, **58**, 4, 209-255 (1997).

EL-FADEL, M., FINDIKAKIS, A.N. ve LECKIE, J.O., *Environmental impacts of solid waste landfilling*, Journal of Environmental Management, **50**, 1-25 (1997).

ERIKSSON, M., FALDT, J., DALHAMMAR, G. ve BORG-KARLSON, A.K., *Determination of hydrocarbons in old creosote contaminated soil using headspace solid phase microextraction and GC-MS*, Chemosphere, **44**, 1641-1648 (2001).

EZQUERRO, O., PONS, B. ve TENA, M.T., *Direct quantitation of volatile organic compounds in packaging materials by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry*, Journal of Chromatography A, **985**, 247-257 (2003).

EZQUERRO, O., PONS, B. ve TENA, M.T., *Multiple headspace solid-phase microextraction for the quantitative determination of volatile organic compounds in multilayer packagings*, Journal of Chromatography A, **999**, 155-164 (2003).

FLAMINI, G., CIONI, P.L. ve MORELLI, I., *Use of solid-phase microextraction as a sampling technique in the determination of volatiles emitted by flowers, isolated flower parts and pollen*, Journal of Chromatography A (baskıda) (2003).

GREENBERG, A.E., CLESCERI, L.S., EATON, A.D. ve FRANSON, M.A.H., *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Eighteenth Edition, American Public Health Association, Washington, USA (1992).

HOOK, G.L., KIMM, G.G., HALL, T. ve SMITH, P.A., *Solid-phase microextraction (SPME) for rapid field sampling and analysis by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)*, Trends In Analytical Chemistry, **21**, **8**, 534-543 (2002).

http-1: <http://ptcl.chem.ox.ac.uk>

http-2: www.chemexper.com

KARPUZCU, M., *Çevre kirlenmesi ve kontrolü*, Kubbealtı Neşriyatı, İstanbul, Türkiye (1994).

KILINÇ, C., *Eskişehir topraklarında ağır metal ve makro elementlerin incelenmesi*, Lisans Bitirme Tezi, Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye (2003).

LEE, M., YEH, Y., HSIANG, W. ve HWANG, B., *Solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry for determining chlorophenols from landfill leaches and soil*, Journal Chromatography A, **806**, 317-324 (1998).

LLOMPART, M., LI, K. ve FINGAS, M., *Headspace solid phase microextraction (HSSPME) for the determination of volatile and semivolatile pollutants in soil*, *Talanta*, **48**, 451-459 (1999).

PENALVER, A., POCURULL, E., BORRULL, F. ve MARCE, R.M., *Trends in solid-phase microextraction for determining organic pollutants in environmental samples*, *Trends In Analytical Chemistry*, **18**, **8**, 557-568 (1999).

ŞAHİN, A., *Eskişehir katı atık depolama sahası sızıntı suyunun karakterizasyonu ve fiziksel/kimyasal özelliklerinin farklı analiz teknikleriyle belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye (2002).

ŞİŞLİ, M.N., *Çevre bilim ekoloji*, Gazi Kitabevi, Ankara, Türkiye (1999).

TCHBANOGLOUS, G., THEISEN, H. ve VIGIL, S., *Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues*, McGraw-Hill Inc., New York, USA (1993).

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı: 22387, Türkiye (1995).

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı: 21586, Türkiye (1993).

Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı: 24609, Türkiye (2001).

TUNCAN, A., KOYUNCU, H., TUNCAN, M., ÖZEL, A. ve TOKGÖZ, B., *Toprak kirliliğinin ilave malzemelerle iyileştirilmesi*, Türkiye' de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu II (Ed: KARPUZCU, M., KINLI, H., BAYAR, S. ve DÖKMECİ, S.), Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, Cilt II, 455-464 (1997).

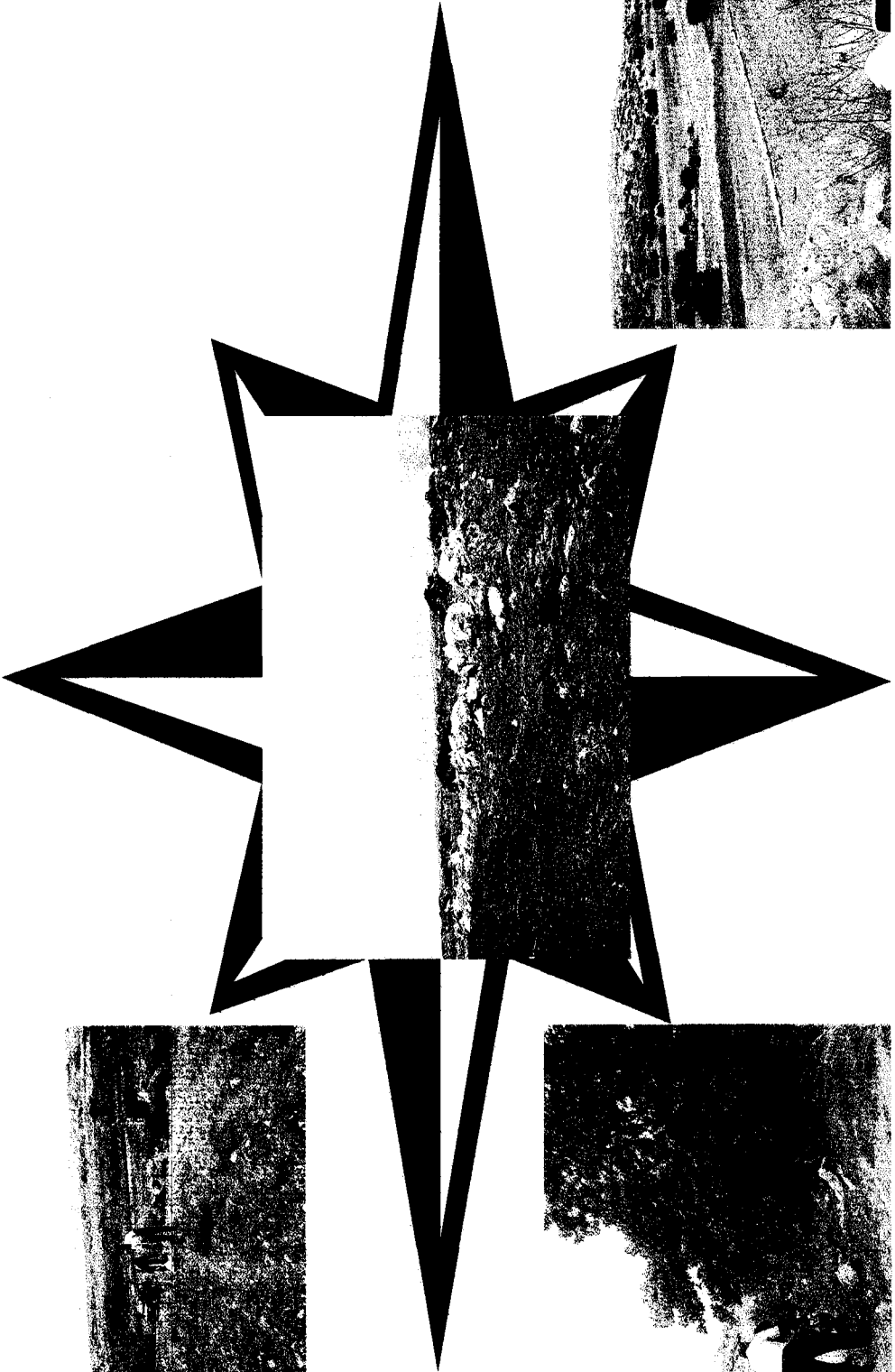
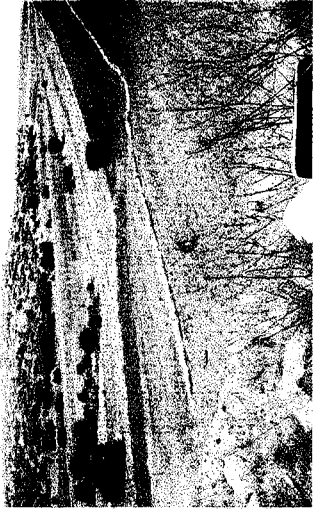
Türk Standartları Enstitüsü, TS 8332 ISO 10390: Toprak Kalitesi-pH Tayini, Ankara, Türkiye (1995).

ÜNAL, M. ve BAŞKAYA, H.S., *Kocaeli' de katı atıklar ve doğu kanalı suyuyla oluşan toprak kirliliği*, Türkiye' de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu II (Ed: KARPUZCU, M., KINLI, H., BAYAR, S. ve DÖKMECİ, S.), Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, Cilt II, 465-470 (1997).

VARDAR, Ç., *Anadolu Üniversitesi katı atıklarının değerlendirilmesi*, Lisans Bitirme Tezi, Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye (2001).

EK-1

ESKİŞEHİR KATI ATIK DEPOLAMA SAHASINDAKİ ÖRNEK ALMA NOKTALARININ GÖRÜNTÜLERİ



EK-2

KFME TEKNİĞİ İLE TANIMLANAN BİLEŞENLERİN ÖZELLİKLERİ

Çizelge Ek2.1. KFME tekniği ile tanımlanan bileşenlerin özellikleri

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
Aldehitler									
dekanal	decyl aldehit, n-dekanal	$C_{10}H_{20}O$ Kaynama Nok: 207°C Donma Nok.: 7°C Tutuşma Nok.: 200 °C Parlama Nok.: 85°C Yoğunluk: 0,83 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 156,27	112-31-2	Xi	R 38	S 24 S 25	Stabil Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Cildi tahriş edici Oral-Sıçan LD50 = 3730 mg/kg	Karbon monoksit, toksik gazlar ve karbondioksit ile tehlikeli ürünler ortaya çıkar.
benzaldehit	benzoik aldehit, benzenkarbonal, benzen karboksaldehit	C_6H_5CHO Kaynama Nok: 179°C Erime Nok.: -56°C Tutuşma Nok.: 192°C Parlama Nok.: 63°C Yoğunluk: 1,04 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 156,27	100-52-7				Stabil Yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ve güçlü oksitler ile uyumsuz	Gözü tahriş edici, solunumu ve yutulması zararlı Ciltte tahriş yol açar Oral-Sıçan LD50 = 1300 mg/kg	
trans,trans-2,4-dekadienal		$C_{10}H_{16}O$ Kaynama Nok: 114°C Parlama Nok.: 85°C Yoğunluk: 0,857 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 152,24	25152-84-5	Xi	R 36 R 38	S 26 S 37 S 39	Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Gözde ve deride tahriş yol açar Solunum yolları ve sindirim sistemi için zararlıdır	Karbon monoksit ve karbondioksit ile tehlikeli ürünler ortaya çıkar.

* Bkz. Çizelge Ek2.2.

** Bkz. Çizelge Ek2.3.

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
trans-2-heksenal	leaf aldehit	$C_6H_{10}O$ $CH_3CH_2CH_2CH=CHCHO$ Kaynama Nok: 146°C Parlama Nok.: 35°C Yoğunluk: 0,846 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 98,14	6728-26-3	Xn	R 10 R 21/22	S 16 S 36/37	Stabil Yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Gözde, solunum yollarında ve deride tahrişe yol açar Yutulması zararlıdır Oral-Sıçan LD50 = 780 mg/kg	Karbon monoksit ve karbondioksit ile tehlikeli ürünler ortaya çıkar. BM No: 1989 Tehlike Sınıfı: 3
hekzanal	kaproik aldehit, kapronaldehit, 1-hekzanal, hekzanalaldehit, hekzilaldehit	$C_6H_{12}O$ Kaynama Nok: 119°C Erime Nok.: < -20°C Parlama Nok.: 25°C Yoğunluk: 0,814 g/cm ³	66-25-1		R 10 R 36 R 37 R 38	S 16 S 26 S 36	Stabil Alevlenebilir Oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Gözü tahriş edici, solunumu ve yutulması zararlı Oral-Sıçan LD50 = 4890 mg/kg	BM No: 1207 Tehlike Sınıfı: 3.0 Deniz kirleticisidir
heptanal	enantaldehit, heptil aldehit, oenantal, oenantalaldehit, oenantik aldehit, oenantol, n-heptaldehit, n-heptanal	$C_7H_{14}O$ Kaynama Nok: 150°C Erime Nok.: -43°C Tutuşma Nok.: 250°C Parlama Nok.: 48°C Yoğunluk: 0,818 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 114,19	111-71-7	Xi	R 10 R 36 R 37 R 38	S 26 S 36	Stabil Yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Gözü tahriş edici, solunumu ve yutulması zararlı Ciltte tahrişe yol açar	BM No: 3056 Tehlike Sınıfı: 3.0

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
nonanal	n-nonil aldehit, nonoik aldehit, pelargonaldehit, 1-nonil aldehit	$C_9H_{18}O$ Kaynama Nok: 93°C Erime Nok.: -18°C Parlama Nok.: 63°C Yoğunluk: 0,823 g/cm ³	124-19-6		R 36 R 38	S 26 S 36 S 37 S 39	Stabil Yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Cilt, göz ve solunum yollarını tahriş edici	Bazı sebzelerde bulunur ve yiyecek katkı maddesi olarak kullanılır.
trans-2-nonenal		$C_9H_{16}O$ Kaynama Nok: 55°C Parlama Nok.: 79°C Yoğunluk: 0,84 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 140,22	18829-56-6			S 24 S 25			
Trans 2, trans 4-nonadienal		$C_9H_{14}O$ Kaynama Nok: 97°C Parlama Nok.: 85°C Yoğunluk: 0,862 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 138,21	5910-87-2			S 24 S 25	Stabil Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Cilt, göz ve solunum yollarını tahriş edici	Karbon monoksit ve karbondioksit ile tehlikeli ürünler ortaya çıkar.
trans-2-oktenal	trans-2-okten-1-al	$C_8H_{14}O$ Molekül Ağırlığı: 126,19	2363-89-5						Parfümlerde
oktanal	oktil aldehit, kapril aldehit	$C_8H_{16}O$ Kaynama Nok: 171°C Erime/Donma Nok.: 12-15°C Tutuşma Nok.: 210 °C Parlama Nok.: 51°C Yoğunluk: 0,821 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 128,21	124-13-0		R 10	S 16	Stabil Yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Cilt, göz ve solunum yollarını tahriş edici	BM No: 1191 Tehlike Sınıfı: 3

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
trans-2-undekenal	undekanal, undecylic aldehit	C ₁₁ H ₂₂ O Kaynama Nok: 109°C Parlama Nok.: 96°C Yoğunluk: 0,825 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 170,29	112-44-7			S 24/25	Stabil Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Cildi tahriş edici	Karbon monoksit, toksik gazlar ve karbondioksit ile tehlikeli ürünler ortaya çıkar.
Alkoller									
1-dekanol	alkol C10, antak, kaprik alkol, royaltak, dekanol, n-dekanol, T 148, royaltak-85, n-decyl alkol, kaprinik alkol, epal 10, lorol 22, sipol L10	C ₁₀ H ₂₂ O Kaynama Nok: 233°C Erime Nok.: 7°C Tutuşma Nok.: 287°C Parlama Nok.: 82°C Yoğunluk: 0,829 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 114,19	112-30-1		R 36 R 37 R 38 R 41 R 52 R 53	S 26 S 36 S 37 S 39 S 45 S 61	Stabil Yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ve asit anhidritler ile uyumsuz	Çok kuvvetli tahribat özelliğine sahip Oral-Sıçan LD50 = 4720 mg/kg	BM No: 3082 Tehlike Sınıfı: 9.0 Çevre için zararlı
dihidro myrcenol		C ₁₀ H ₂₀ O Kaynama Nok: 84°C Parlama Nok.: 76°C Yoğunluk: 0,784 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 156,27	53219-21-9			S 24/25	Stabil	Deriye ve göze teması ve solunumundan kaçınılmalı	Toksik gazlar ile tehlikeli ürünler oluşturur
benzil alkol	benzenkarbinol, benzenmetanol, benzoil alkil, hidroksitoluen, fenilmetanol, fenilmetil alkol, hidroksimetil benzen	C ₇ H ₈ O Kaynama Nok: 206°C Erime Nok.: -15°C Tutuşma Nok.: 436°C Parlama Nok.: 94°C Yoğunluk: 1,045 g/cm ³	100-51-6			S 26	Stabil Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz Suya ve neme karşı duyarlı Yanıcı	Cilt, göz ve solunum sistemi için ciddi boyutlarda tahrişe yol açar Oral-Sıçan LD50 = 1230 mg/kg	

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembölü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
dimetil oktanol		$C_{10}H_{22}O$ Molekül Ağırlığı: 158.28	151-19-9						
etanol	hububat alkölü, fermantasyon alkölü, alköl, metilkarbinol, saf alköl, saf etanol, susuz alköl, anhidrol, etil hidrat, etil hidroksit	C_2H_5OH Kaynama Nok: 78°C Erime Nok.: -130°C Tutuşma Nok.: 651°C Parlama Nok.: 24°C Yoğunluk: 0,789 g/cm ³	64-17-5		R 11 R 20 R 21 R 22 R 36 R 37 R 38 R 40	S 7 S 16 S 24 S 25 S 36 S 37 S 39 S 45	Stabil Güçlü oksitleyici ajanlar, peroksitler, asitler, asit kloritler, asit anhidritler, alkali metaller, amonyak ve nem ile uyumsuz	Cilt ve göz için tahriş edici, yutulamsı bulantı ve kumaya neden olur. Oral-Sıçan LD50= 7060 mg/kg	BM No: 1170 Tehlike Sınıfı: 3.0
1-hekzanol	amilkarbinol, kaproil alköl, hekzanol, n-hekzanol, n-hekzil alköl, 1-hidrosihekzan	$C_6H_{14}O$ Kaynama Nok: 156,5°C Erime Nok.: -52°C Tutuşma Nok.: 527°C Parlama Nok.: 108°C Yoğunluk: 0,789 g/cm ³	111-27-3		R 20 R 21 R 22	S 24 S 25	Stabil Yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Solunumu, yutulması ve ciltle teması zararlıdır. Oral- Sıçan LD50=720 mg/kg	
2-etil hekzanol	2-etilhekzil alköl, oktil alköl, etilhekzanol	$C_8H_{18}O$ Kaynama Nok: 183°C Erime Nok.: -76°C Parlama Nok.: 73°C Yoğunluk: 0,83 g/cm ³	104-76-7		R 36 R 37 R 38	S 26 S 36	Stabil. Yanıcı. Güçlü oksitleyici ajanlarla ve asitlerle uyumsuz	Tahriş edici Yutulması zararlı Oral-Fare LD50= 2500 mg/kg	

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
1-heptanol	n-heptanol, n-heptil alkol, heptanol, heptan-1-ol	$C_7H_{16}O$ Kaynama Nok: 176°C Erime Nok.: -36°C Parlama Nok.: 73°C Tutuşma Nok : 350°C Yoğunluk: 0,823 g/cm ³	111-70-6				Stabil Alevlenebilir Güçlü oksitleyici ajanlarla ve güçlü asitlerle uyumsuz	Cilt ve göz için tahriş edici Yutulması ve solunması zararlı Oral- Sıçan LD50= 3250 mg/kg	Tehlike sınıfı: 6.1
trans-2-heksen-1-ol		$C_6H_{12}O$ Kaynama Nok: 65°C Parlama Nok.: 54°C Yoğunluk: 0,85 g/cm ³	928-94-9		R 10	S 16	Stabil Alevlenebilir Güçlü oksitleyici ajanlarla ve güçlü asitlerle uyumsuz	Zararlı veya tahriş edici olabilir	
metil chavicol	estragol, 4-alil-1-metoksibenzen, 4-alilanisol, 1-metoksi-4-(2-propenil)benzen	$C_{10}H_{12}O$ Kaynama Nok: 216°C Parlama Nok.: 81°C Yoğunluk: 0,965 g/cm ³	140-67-0				Stabil Alevlenebilir Güçlü oksitleyici ajanlar ve güçlü asitler ile uyumsuz	Deri ve göz için tahriş edici olabilir. Oral- Fare LD50=1250 mg/kg	Parfümlerde ve tatlandırıcılarda kullanılır.
1-nonanol	n-nonil alkol	$C_9H_{20}O$ Kaynama Nok: 215°C Erime Nok.: -6°C Molekül Ağırlığı:144,26	00143-08-8						Alkol ve eterle karışabilir; poliester reçineleri, stiren reçineleri, vinil klorür ve poliolefin polimerlerinde kullanılır.

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembölü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
1-oktanol	oktil alkol, kaprilik alkol, n-oktil alkol, oktan-1-ol, oktanol	$C_8H_{18}O$ $CH_3(CH_2)_7OH$ Kaynama Nok: 195°C Erime Nok.: -17°C Parlama Nok.: 81°C Yoğunluk: 0,83 g/cm ³	111-87-5		R 36 R 37 R 38	S 26 S 36	Stabil Alevlenebilir Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Göz ve deri için tahriş edici. Solunması veya yutulması zararlı olabilir.	BM No: 3082 Tehlike Sınıfı: 9.0
1-okten-3-ol		$CH_3(CH_2)_4CH(OH)CH=$ CH_2 Kaynama Nok: 174°C Erime Nok.: -130°C Tutuşma Nok.: 245°C Parlama Nok.: 68°C Yoğunluk: 0,837 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 128,22	3391-86-4	Xn	R 22		Stabil Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz.	Yutulması zararlı, gözde, ciltte ve solunum yollarında tahriş edicidir.	BM No: 2810 Tehlike Sınıfı: 6.1
2-okten-1-ol		$C_8H_{16}O$ Parlama Nok.: 85°C Yoğunluk: 0,85 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 128,21	18409-17-1			S 24/25			
2-propanol	2- hidroksipropan, izopropanol, izopropil alkol, izo-propanol, izo-propil alkol, sec-propanol, sec-propil alkol, dimetilkarbinol, propan-2-ol	C_3H_8O ($CH_3CHOHCH_3$) Kaynama Nok.: 82°C Erime Nok.: -89°C Tutuşma Nok.: 425°C Parlama Nok.: 12°C Yoğunluk: 0,79 g/cm ³	67-63-0		R 11 R 36 R 37	S 7 S 16 S 24 S 25 S 26	Stabil Alevlenebilir Güçlü oksitleyici ajanlar, halojenler, alüminyum, aktif halojen bileşikleri ile uyumsuz	Solunumu, yutulması ve cilt ile teması zararlı veya tahriş edici olabilir. Oral-Sıçan LD50=5045 mg/kg	

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
1-pentanol	pentan-1-ol, n-amil alkol, n-pentil alkol, n-pentanol, pentanol	$C_5H_{12}O$ Kaynama Nok.: 137°C Parlama Nok.: 49°C Yoğunluk: 0,811 g/cm ³	71-41-0		R 10 R 23 R 24 R 25 R 36 R 37 R 38		Stabil Alevlenebilir Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Zehirli Yüksek oranda tahriş edici Oral-Sıçan LD50=2200 mg/kg	BM No: 1105 Tehlike Sınıfı: 6.1
feniletil alkol	benzil karbinol, 2-fenil etanol, 2-fenethyl alkol, 2-feniletil alkol, beta- hidroksietil benzen	$C_8H_{10}O$ Kaynama Nok.: 219°C Erime Nok.: - 27°C Parlama Nok.: 184°C Yoğunluk: 1,023 g/cm ³	60-12-8				Stabil Yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ve güçlü asitler ile uyumsuz	Zararlı Tahriş edici Oral-Sıçan	
terpinen-4-ol	1-metil-4- izopropil-1- sikloheksen-4- ol 1-p-menten- 4-ol, 1- terpinen-4-ol, 4-terpinenol, 4- karvomentenol	$C_{10}H_{18}O$ Kaynama Nok.: 88°C Parlama Nok.: 79°C Yoğunluk: 0,93 g/cm ³	562-74-3			S 26 S 36 S 37 S 39	Stabil Yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Yutulduğunda zararlı Göz ve deriyi tahriş edici	Tatlandırıcı olarak ve doğal yağlarda koku verici olarak kullanılır
α-terpineol	terpen alkol	$C_{10}H_{18}O$ Kaynama Nok.: 219°C Parlama Nok.: 90°C Yoğunluk: 0,93 g/cm ³	8000-41-7				Stabil Yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ve güçlü asitler ile uyumsuz	Tahriş edici olabilir Oral-Sıçan LD50=4300 mg/kg	

Cizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
Esterler									
dechyl butirat		$C_{14}H_{28}O_2$ Molekül Ağırlığı: 228,37	5454-09-1						
metil heptanoat		$C_8H_{16}O_2$ Kaynama Nok: 172°C Erime Nok.: 0°C Parlama Nok.: 52°C Yoğunluk: 0,87 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 144,21	106-73-0		R 10	S 16	Stabil Alevlenebilir	Göz ve deri ile temas ettirilmemelidir Oral-Sıçan LD50= >5 mg/kg	Toksik gazlarla tehlikeli ürünler oluşturur. BM No: 1993 Tehlike Sınıfı: 3
izopropil myristate	tetradekanoik asit, 1-metiletil ester, izopropil tetradekanoat	$C_{17}H_{34}O_2$ Kaynama Nok.: 167°C Parlama Nok.: 110°C Yoğunluk: 0,853 g/cm ³	110-27-0		R 36 R 37 R 38		Stabil Yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Göz, deri ve solunum yolları için tahriş edici Oral-Fare LD50= 49700 mg/kg	
metil oktanoat		$C_9H_{18}O_2$ Kaynama Nok: 79°C Parlama Nok.: 73°C Yoğunluk: 0,878 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 158,24	111-11-5			S 24/25	Stabil	Göz, deri ve solunum yollarında tahrişe yol açabilir	Toksik gazlarla tehlikeli ürünler oluşturur.

Cizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
metil dekanolat	metil kaprat, kaprik asit metil ester, dekanolik asit metil ester, metil n-kaprinat	$C_{11}H_{22}O_2$ Kaynama Nok: 222°C Erime Nok.: 11°C Yoğunluk: 0,87 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 186,29	110-42-9			S 24/25			
metil benzoat	benzoik asit metil ester	$C_8H_8O_2$ Kaynama Nok: 198°C Erime/Donma Nok.: -12°C Tutuşma Nok.: 518°C Parlama Nok.: 82°C Yoğunluk: 1,094 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 136,15	93-58-3	Xn	R 22		Stabil Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Göz, deri ve solunum yollarında tahrişe neden olabilir. Yutulduğunda kusma, bulantı ve ishale yol açar. Oral-Sıçan LD50=1177 mg/kg	Karbon monoksit ve karbondioksit ile tehlikeli ürünler ortaya çıkar.
metil butirat		$C_5H_{10}O_2$ Kaynama Nok: 102°C Parlama Nok.: 12°C Yoğunluk: 0,897 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 102,13	623-42-7	F	R 11		Stabil Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Göz, deri, sindirim sistemi ve solunum yollarında tahrişe neden olabilir Oral-Sıçan LD50= >5 mg/kg	Toksik gazlarla tehlikeli ürünler oluşturur. BM No: 1237 Tehlike Sınıfı: 3

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
metil nonanoat	pelargonik asit metil ester		1731-84-6						
Ketonlar									
2-dekanon	metil oktil keton	$C_{10}H_{20}O$ Kaynama Nok: 211°C Erime/Donma Nok.: 3,5°C Parlama Nok.: 71°C Yoğunluk: 0,825 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 156,27	693-54-9				Stabil Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Oral-Fare LD50= 7936 mg/kg	Karbon monoksit, toksik gazlar ve karbondioksit ile tehlikeli ürünler ortaya çıkar.
2-heptanon	n-amil metil keton, metil pentil keton, heptan-2-on	$C_7H_{14}O$ Kaynama Nok: 149°C Erime Nok.: -35°C Tutuşma Nok.: 392°C Parlama Nok.: 47°C Yoğunluk: 0,82 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 136,15	110-43-0		R 10 R 22	S 23	Stabil Alevlenebilir Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Göz, deri ve solunum yollarında tahrişe neden olabilir. Oral-Sıçan LD50= 1760 mg/kg	Tehlike Sınıfı: 3
2-oktanon	oktan-2-on, heksilmetilketon	$C_8H_{16}O$ Kaynama Nok: 173°C Erime Nok.: -21°C Parlama Nok.: 62°C Yoğunluk: 0,82 g/cm ³	111-13-7		R 36 R 37 R 38		Stabil Alevlenebilir Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Deri ve solunum yolları için tahriş edici	Çözücü ve tatlandırıcı olarak kullanılır.
2-dodekanon	decyl metil keton	$C_{12}H_{24}O$ Kaynama Nok: 247°C Erime/Donma Nok.: 17°C Parlama Nok.: 108°C Yoğunluk: 0,82 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 184,32	6175-49-1			S 24/25	Stabil Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Göz, deri, sindirim sistemi ve solunum yollarında tahrişe neden olabilir	Karbon monoksit ve karbondioksit ile tehlikeli ürünler ortaya çıkar.

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
2-nonanon	n-heptil metil keton	$C_9H_{18}O$ Kaynama Nok: 192°C Erime Nok.: -21°C Tutuşma Nok.: 280°C Parlama Nok.: 64°C Yoğunluk: 0,832 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 142,24	821-55-6			S 24/25	Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Göz, deri, sindirim sistemi ve solunum yollarında tahrişe neden olabilir Oral-Sıçan LD50= 3200 mg/kg	Karbon monoksit ve karbondioksit ile tehlikeli ürünler ortaya çıkar.
6-metil-5-hepten-2-on		$C_8H_{14}O$ Kaynama Nok: 73°C Erime/Donma Nok.: 0°C Parlama Nok.: 50°C Yoğunluk: 0,855 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 126,0974	110-93-0		R 10	S 16	Stabil Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Göz, deri, sindirim sistemi ve solunum yollarında tahrişe neden olabilir Oral-Sıçan LD50= 3500 mg/kg	BM No: 1224 Tehlike Sınıfı: 3
gamma-nonalakton	nonan-4-olide; gamma-nonanoik lakton	$C_9H_{16}O_2$ Molekül Ağırlığı: 156.22	104-61-0				Stabil Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Oral-Sıçan LD50= 4400 mg/kg	Karbon monoksit, toksik gazlar ve karbondioksit ile tehlikeli ürünler ortaya çıkar.
2-tridekanon	metil undecyl keton	$C_{13}H_{26}O$ Molekül Ağırlığı: 198,04 Yoğunluk: 0,822	593-08-8			S 24/25			

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
gamma-oktalakton	gamma-oktanoik lakton	$C_8H_{14}O_2$ Kaynama Nok: 234°C Erime/Donma Nok.: 0°C Parlama Nok.: >110°C Yoğunluk: 0,981 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 142,2	104-50-7			S 24/25			
5-metil-3-heptanon	etil amil keton, etil 2-metilbutil keton, etil-2-izopentilketon, etil amil keton	$C_8H_{16}O$ Kaynama Nok: 160°C Erime Nok.: -57°C Parlama Nok.: 43°C Yoğunluk: 0,82 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 128,21	541-85-5		R 10 R 36 R 37	S 23			
2-undekanon	metil nonil keton, nonil metil keton, 2-hendekanon, undekan-2-on	$C_{11}H_{22}O$ Kaynama Nok: 231°C Erime Nok.: 11°C Parlama Nok.: 89°C Yoğunluk: 0,83 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 128,21	710-04-3			S 23 S 24 S 25	Stabil Yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Tahriş edici ve zararlı olabilir Oral-Sıçan LD50= 5000 mg/kg	
verbenon		$C_{10}H_{14}O$ Kaynama Nok: 227°C Parlama Nok.: 85°C Yoğunluk: 0,97 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 150,22	1196-01-6			S 24/25	Stabil Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Göz, deri ve solunum yolları için tahriş edici	Karbon monoksit, toksik gazlar ve karbondioksit ile tehlikeli ürünler ortaya çıkar.

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
Uçucu Organik Bileşikler ve Aromatik Hidrokarbonlar									
<i>p</i> -simen	dolcymen, <i>p</i> - izopropiltoluen	$C_{10}H_{14}$ Kaynama Nok: 177°C Erime Nok.: -68°C Parlama Nok.: 47°C Tutuşma Nok.: 435°C Yoğunluk: 0,854 g/cm ³	99-87-6		R 10	S 16	Stabil Alevlenebilir Güçlü oksitleyici ajanlar ve asitler ile uyumsuz	Yüksek derişimlerde uyuşturucu özelliği taşır. Kronik kullanımı karaciğer ve böbrekte zarara yol açabilir. Gözü tahriş edebilir. Oral-Sıçan LD50= 4750 mg/kg	BM No: 2046 Tehlike Sınıfı:3
kloroform	triklorometan, metil triklorür, formil triklorür, metan triklorür, trikloroform, metenil triklorür, triklorometan	$CHCl_3$ Kaynama Nok: 61°C Erime Nok.: -63°C Yoğunluk: 1,48 g/cm ³	67-66-3		R 20 R 22 R 38 R 40 R 48	S 36 S 37	Stabil	Laboratuar hayvanlarında kanser yapıcı Solunumu ve yutulması ölüme yol açar Tahriş edicidir Oral-Sıçan LD50= 1194 mg/kg	Alkole kullanıldığında zehirliliği artar BM No: 1888 Tehlike Sınıfı: 6.1 Çevre için çok tehlikelidir.

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
stiren	stiren monomer, vinilbenzen, feniletilen, stirol, stirolene, etenilbenzen, stiron	C_8H_8 Kaynama Nok: 145°C Erime Nok.: -31°C Parlama Nok.: 31°C Tutuşma Nok.: 490°C Yoğunluk: 0,91 g/cm ³	100-42-5		R 10 R 20 R 36 R 38	S 23	Stabil Alevlenebilir güçlü asitler ve bakırdan uzak tutulmalıdır	Toksik Karsinojen Mutajen Korozif Göz ve deride yanmaya yol açar	
toluen	metilbenzen, fenilmethan, toluol, metilbenzol	C_7H_8 Kaynama Nok: 110,6°C Erime Nok.: -93°C Parlama Nok.: 4°C Tutuşma Nok.: 536°C Yoğunluk: 0,865 g/cm ³	108-88-3		R 11 R 20	S 16 S 25 S 29 S 33	Stabil Alevlenebilir Nem tutucu Oksijen, oksitleyici ajanlar ve nemden uzak tutulmalıdır	Toksik Yüksek derecede tahrişe neden olur Oral-Sıçan LD50= 636 mg/kg	Çözücü olarak kullanılır BM No: 1294 Tehlike Sınıfı: 3
etil dimetil benzen	1,3-dimetil-4-etilbenzen, 1-etil-2,4-dimetilbenzen	$C_{10}H_{14}$ Molekül Ağırlığı: 134,22	874-41-9						
naftalen		$C_{10}H_8$ Kaynama Nok: 218°C Erime Nok.: 77°C Parlama Nok.: 88°C Yoğunluk: 1,14 g/cm ³	91-20-3		R 20 R 21 R 22 R 36 R 37 R 38 R 43 R 45	S 16 S 26 S 36 S 37 S 39 S 45	Stabil Alevlenebilir oksitleyici ajanlar ile uyumsuz Sıcağa karşı duyarlı	Solunması ve yutulması toksik etki yapar Karsinojen Oral-Fare LD50= 533 mg/kg	

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
etil benzen	feniletan, etilbenzol, etil benzen	C_8H_{10} Kaynama Nok: 136°C Erime Nok.: -95°C Parlama Nok.: 15°C Tutuşma Nok.: 432°C Yoğunluk: 0,867 g/cm ³	100-41-4				Stabil Alevlenebilir oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Deride, gözde, solunmasında ve yutulmasında tahriş edicidir Yüksek derişimleri uyuşturucu etkisi yapar	
1,2,4- trimetil benzen		C_9H_{12} Kaynama Nok: 169°C Erime Nok.: -43,8°C Parlama Nok.: 48°C Yoğunluk: 0,876 g/cm ³	95-63-6				Stabil Alevlenebilir Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Göz, deri ve solunum yolları için tahriş edici Yutulması zararlıdır Oral-Sıçan LD50= 5000 mg/kg	Havayla patlayıcı karışımlar oluşturabilir
dodekan	n-dodekan, adakane 12, bihexyl, dihexyl, duodekan	$C_{12}H_{26}$ Kaynama Nok: 216,2°C Erime Nok.: -9,6°C Parlama Nok.: 71°C Yoğunluk: 0,75 g/cm ³	112-40-3		R 36 R 37 R 38	S 26 S 36	Stabil Yanıcı Oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Solunması, yutulması ve deriyle teması zararlı olabilir	Sentetik ajan ve çözücü olarak kullanılır
hegzadekan	ketan, n-ketan, n-hegzadekan	$C_{16}H_{34}$ Kaynama Nok: 287°C Erime Nok.: 18°C Parlama Nok.: 135°C Tutuşma Nok.: 201°C Yoğunluk: 0,773 g/cm ³	544-76-3		R 36 R 37 R 38	S 26 S 27 S 36 S 37 S 39	Stabil Yanıcı Nem tutucu Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Yüksek derecede tahriş edicidir	

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembölü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
heptadekan		$C_{17}H_{36}$ Kaynama Nok: 3027°C Erime/Donma Nok.: 22°C Parlama Nok.: 148°C Tutuşma Nok.: 201°C Yoğunluk: 0,777 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 240,47	629-78-7			S 24/25	Stabil Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Göz, deri ve solunum yollarını tahriş edebilir	Karbon monoksit ve karbondioksit ile tehlikeli ürünler ortaya çıkar.
oktadekan		$C_{18}H_{38}$ Kaynama Nok: 317°C Erime/Donma Nok.: 28°C Parlama Nok.: 135°C Yoğunluk: 0,777 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 254,5	593-45-3			S 24/25			
tetradekan		$C_{14}H_{30}$ Kaynama Nok: 253°C Erime/Donma Nok.: 5,8°C Parlama Nok.: 99°C Tutuşma Nok.: 202°C Yoğunluk: 1,7675 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 198,39	629-59-4			S 24 S 25			
tridekan	n-tridekan	$C_{13}H_{28}$ Kaynama Nok: 234°C Erime Nok.: -6°C Parlama Nok.: 102°C	629-50-5		R 36 R 37 R 38	S 26 S 36	Stabil yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Tahriş edici	

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
undekan	hendekan, n-undekan	$C_{11}H_{24}$ Kaynama Nok: 196°C Erime Nok.: -26°C Parlama Nok.: 60°C Yoğunluk: 0,74 g/cm ³	1120-21-4		R 36 R 37 R 38	S 26 S 36	Stabil yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Göz ve deriyi tahriş eder	
Yarı Uçucu Bileşikler									
asetofenon	asetilbenzen, metil fenil keton, fenil metil keton, 1- feniletanon	C_8H_8O Kaynama Nok: 202°C Erime Nok.: 19°C Parlama Nok.: 82°C Tutuşma Nok.: 570°C Yoğunluk: 1,03 g/cm ³	98-86-2		R 22 R 36 R 37 R 38		Stabil yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Yutulması zararlıdır Deride ve gözde ciddi tahrişe neden olur Uyuşturucudur Oral-Sıçan LD50= 815 mg/kg	
fenol		OHC_6H_5 Erime/Donma Nok.: 40,5°C Parlama Nok.: 79°C Tutuşma Nok.: 201°C Yoğunluk: 1,06 g/cm ³ Molekül Ağırlığı: 94,11	108-95-2	T	R 24/25 R 34	S 28A S 45	Stabil Nem tutucu ve ışığa duyarlı Güçlü oksitleyici ajanlar ve asitler ile uyumsuz	Zehirli Solunmasında öksükük, burun ve genizde yanma Nnefes darlığı Oral-Sıçan LD50= 317 mg/kg	Karbon monoksit ve karbondioksit ile tehlikeli ürünler ortaya çıkır.

Çizelge Ek2.1. (devamı)

	Sinonimleri	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	CAS No	Tehlike Sembolü	Risk Faktörü*	Emniyet Faktörü**	Stabilite ve Reaktivite	Toksikoloji	Kullanımı ve diğer özellikler
Diğer Bileşikler									
1,8-sineol	limonen oksit, 1,8-epoksi-p- mentan, 1,8-oksido-p- mentan, 1,3,3-trimetil- 2- oksabisiklo[2,2, 2]octan, sineol	$C_{10}H_{18}O$ Kaynama Nok: 177°C Erime Nok.: 2°C Parlama Nok.: 49°C Yoğunluk: 0,922 g/cm ³	470-82-6				Stabil Alevlenebilir Güçlü oksitleyici ajanlar ve asitler ile uyumsuz	Solunması ve yutulması zararlıdır	
1, 1' -bifenil	4-nitro-1,1'- difenil, 4-nitrodifenil, 4-nitrobifenil, 4-fenil- nitrobenzene, 1-nitro-4- fenilbenzen	$C_{12}H_9NO_2$ Kaynama Nok: 340°C Erime Nok.: 113,7°C	92-93-3				Stabil Mutajen Güçlü oksitleyici ajanlar ile uyumsuz	Laboratuvar hayvanlarında karsinojen etkiye sahiptir Oral-Sıçan LD50= 2230 mg/kg	1999' da üretimi yasaklanmıştır
kamfor	1,7,7- trimetilnor kamfor, 2-kamfonon, 2-kamfanon	$C_{10}H_{16}O$ Kaynama Nok: 204°C Erime Nok.: 177°C Parlama Nok.: 65°C (kapalı kapta)	76-22-2				Stabil Yanıcı Güçlü oksitleyici ajanlar ve organikler ile uyumsuz	Yutulması zararlı Göz, deri ve solunumu kısmi tahribata neden olur	BM No: 1325 Tehlike Sınıfı: 4.1
propionic asit esteri	izopropil propionat, propionic asit izopropil ester	$C_6H_{12}O_2$ Molekül Ağırlığı: 116,16 Yoğunluk: 0,87 g/cm ³	637-78-5		R 11	S 16 S 23 S 24 S 29 S 33			

Çizelge Ek2.2. Risk Faktörleri

R 10	Alevlenebilir
R 11	Kolay alevlenebilir
R 20	Solunması halinde sağlığa zararlıdır
R 21	Deri ile temasta sağlığa zararlıdır
R 22	Yutulduğunda sağlığa zararlıdır
R 23	Solunması halinde zehirlidir
R 24	Deri ile temasta zararlıdır
R 25	Yutulduğunda zehirlidir
R 34	Yanıklara neden olur
R 36	Gözleri tahriş edicidir
R 37	Solunum sistemini tahriş eder
R 38	Deriyi tahriş edicidir
R 40	Tedavisi mümkün olmayan etki oluşturma ihtimali
R 41	Ciddi göz hasarları tehlikesi
R 43	Deriyle temasta alerji yapabilir
R 45	Kanser yapabilir
R 48	Uzun süreli temaslarda sağlığa ciddi zarar tehlikesi
R 52	Sudaki organizmalar için zararlıdır
R 53	Su ortamında uzun süreli ters etkilere neden olabilir

Çizelge Ek2.3. Emniyet Faktörleri

S 7	Sıkı kapatılmış kaptaki muhafaza ediniz
S 16	Tutuşturucu kaynaklardan uzak tutunuz-sigara içilmez
S 23	Gaz/duman/buhar/aerosollerini solumayınız
S 24	Deriyle temasından sakınınız
S 25	Gözle temasından sakınınız
S 26	Göz ile temasında suyla iyice yıkayın ve doktora başvurun
S 27	Madde bulaşmış tüm giysileri derhal değiştirin
S 28	Deri ile temasında derhal bol .....ile iyice yıkayınız
S 29	Kanalizasyona atmayınız
S 33	Elektrostatik yüklenmelere karşı tedbir alınız
S 36	Uygun koruyucu giysi ile çalışınız
S 37	Uygun koruyucu eldiven takınız
S 39	Koruyucu gözlük/maske kullanınız
S 45	Kaza halinde veya kendinizi iyi hissetmediğinizde hemen doktor çağırınız