

**TIBBİ ATIK YAKMA TESİSİ GAZ EMİSYONLARI  
VE KÜLLERİNİN KİMYASAL VE  
MİKROBİYOLOJİK AÇIDAN İNCELENMESİ;  
TOKSİSİTE VE MUTAJENİTE TAYİNLERİNİN  
YAPILMASI**

Semra MALKOÇ  
Doktora Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Mart – 2004

**"Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca kabul edilen AÜAF 01-0220 nolu proje kapsamında desteklenmiştir."**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Semra MALKOÇ'un "Tıbbi Atık Yakma Tesisi Gaz Emisyonları Ve Küllerinin Kimyasal Ve Mikrobiyolojik Açıdan İncelenmesi; Toksikite Ve Mutajenite Tayinlerinin Yapılması" başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Doktora tezi 19.03.2004 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı Soyadı

İmza

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

Üye : Prof. Dr. Merih KIVANÇ

Üye :Yrd. Doç. Dr. Neşe ÖZTÜRK

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun  
14.04.2004 tarih ve .....12/1.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Altuğ İFTAR  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Müdürü

## ÖZET

Doktora Tezi

### TIBBİ ATIK YAKMA TESİSİ GAZ EMİSYONLARI VE KÜLLERİNİN KİMYASAL VE MİKROBİYOLOJİK AÇIDAN İNCELENMESİ; TOKSİSİTE VE MUTAJENİTE TAYİNLERİNİN YAPILMASI

SEMRA MALKOÇ

Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Müfide BANAR  
2004, 146 sayfa

Bu çalışmada, laboratuvar ölçekli borsal bir insineratörde tıbbi atıkların yakılması işlemi fizikokimyasal ve mikrobiyolojik açıdan eşanlı incelenmiştir. Deneyler 500, 600, 700, 800 ve 900 °C'de gerçekleştirilmiş ve yakma sonrası oluşan dip ve uçucu küllerde ağır metal (Ag, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Ni, Pb ve Zn), kalsiyum, sodyum, potasyum, azot, karbon, hidrojen, kükürt ile gaz emisyonlarından çıkan HCl miktarı tayini, insineratörün dip külünde X ışınları difraktometre analizi, bakteriyolojik analizler [indikatör mikroorganizmalar tarafından (*Bacillus stearothermophilus*) izlenmesi], Ames Salmonella mutajenite testi çalışmaları, toksisite deneyleri, endüstriyel ölçekli bir tehlikeli atık insineratörünün dip külünde yapılan kimyasal analizler ve X ışınları difraktometre (XRD) analiz çalışmaları yapılmıştır. Dip ve uçucu küllerin fizikokimyasal ve mikrobiyolojik bulgularına bakıldığında, dip külündeki ağır metal derişimlerinin daha yüksek olduğu, gaz emisyonlarında HCl miktarının sıcaklığa bağlı olarak düştüğü, indikatör mikroorganizma olarak kullanılan *Bacillus stearothermophilus* sporlarının uygulanan yakma sıcaklıklarında yaşayamadıkları, AMES testi ile yapılan sitotoksosite sonuçlarına göre 500 °C'de yanma sonucu kalan dip külünün mutajenik bir genotoksik etkide ve tersinmez olduğu ve aynı zamanda akut letal toksisite düzeyinin düşük olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler:Tıbbi atıkların insinerasyonu, ağır metaller, *Bacillus stearothermophilus*, mutajenite ve toksisite, XRD

**ABSTRACT****PhD Thesis****CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL INVESTIGATION OF  
GAS EMISSIONS AND FLY/BOTTOM ASHES  
FROM MEDICAL WASTE INCINERATOR,  
PERFORMING TOXICITY AND MUTAGENICITY TESTS****SEMRA MALKOÇ****Anadolu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Environmental Engineering Program****Supervisor: Assist. Prof. Müfide BANAR  
2004, 146 pages**

**In this study, incineration of medical wastes in a laboratory scale tubular incinerator using physicochemical and microbiological tests were simultaneously investigated. Experiments were carried out at the temperatures of 500, 600, 700, 800 and 900 °C. Heavy metals (Ag, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Ni, Pb ve Zn), calcium, sodium, potassium, nitrogen, carbon, hydrogen and sulphur were analyzed in bottom and fly ashes from incineration. HCl was monitored from gas emissions. XRD analysis, bacteriological analysis (using indicator microorganism *Bacillus stearothermophilus*), Ames Salmonella mutagenicity tests, toxicity test were also performed in bottom ashes. Also, chemical and XRD analysis were done in the bottom ash of a industrial scale hazardous waste incinerator.**

**According to the physicochemical and microbiological results in bottom and fly ashes, concentration of heavy metals were higher in bottom ash than fly ash, increase in temperature resulted decrease in HCl levels from gas emissions, there were nothing any *Bacillus stearothermophilus* spores which was used as indicator microorganism alive under experimental studies. When the data obtained from AMES and cytotoxicity tests investigated, bottom ash at 500 °C had irreversible mutagenicity and genotoxicity effects and acute lethal toxicity level of this material was low.**

**Keywords:Incineration of medical waste, heavy metal, *Bacillus stearothermophilus*, Mutagenicity and toxicity, XRD**

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın başlangıcından itibaren her konuda desteğini, hoşgörüsünü ve yardımlarını esirmeyen ve bundan sonra da esirgemeyeceğine emin olduğum değerli danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Müfide BANAR'a;

Değerli vaktini benim için harcayan ve yapıcı eleştirileri, görüş ve önerileri ile çalışmama destek olan değerli hocam sayın Prof. Dr. Merih KIVANÇ'a;

Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi'nin olanaklarından yararlanmamda yardımcı olan değerli Müdürümüz sayın Prof. Dr. Ülker BAKIR ÖĞÜTVEREN ve Müdür yardımcımız Doç. Dr. A. Savaş KOPARAL'a;

Deneylerimin farklı basamaklarında yardımcı olan Prof. Dr. Yusuf ÖZTÜRK hocama, Yrd. Doç. Dr. Berrin AYAZ TÜYLÜ'ye ve Yrd. Doç. Dr. Seval KORKMAZ'a, Yrd. Doç. Dr. Gürsoy ARSLAN'a, Yrd. Doç. Dr. Zerrin AŞAN'a, Arş. Gör. Emel ÖZEL'e ve Havva ÜNLÜCE'ye;

Hiçbir yardım çağrımı cevapsız bırakmayan sevgili arkadaşlarım Yrd. Doç. Dr. Arzu ÇİÇEK, Okutman Yusuf YAVUZ, Araş. Gör. Aysun ÖZKAN, Araş. Gör. Serdar GÖNCÜ, Araş. Gör. Ebru ÖNDER, Araş. Gör. Özlem ÖZDEN, Araş. Gör. Zerrin ÇOKAYGİL'e;

Deneysel çalışmalarımın başlangıç aşamasında yardımını gördüğüm Bülent SEMERCİ ve diğer Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi'nin değerli elemanları Emel ÇELİKEL ve Kevser YILMAZLARDAN'a;

Bugüne kadar bana her türlü imkanı sağlayan ve büyük bir anlayışla yardımcı olan ve her durumda sevgileri ve destekleri ile yanımda olan sevgili aileme, çok değerli eşim Av. İbrahim MALKOÇ'a ve canım oğlum Onur Devlet MALKOÇ'a

en içten teşekkürlerimi sunarım.

Semra MALKOÇ

Mart 2004

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Amaç .....	<b>2</b>
<b>2. TIBBİ ATIKLAR</b> .....	<b>3</b>
2.1. Ulusal ve Uluslararası Mevzuat .....	<b>6</b>
2.1.1. Ulusal mevzuatın değerlendirilmesi ve Avrupa Birliği mevzuatı ile karşılaştırılması .....	<b>14</b>
2.1.1.1. Tıbbi atıkların insinerasyonu .....	<b>16</b>
2.1.1.2. Atıkların düzenli depolanması .....	<b>17</b>
2.1.1.3. Kurumsal yapıların gözden geçirilmesi .....	<b>18</b>
2.1.1.4. Yönetimsel ve finansal sorunlar .....	<b>20</b>
2.1.1.5. Tıbbi atıkların ayrı toplanmasındaki yanlış uygulamalar .....	<b>22</b>
<b>3. TIBBİ ATIKLARDAN KAYNAKLANAN RİSKLER</b> .....	<b>23</b>
3.1. Tıbbi Atıkların Çevresel Etkileri .....	<b>25</b>
3.2. Tıbbi Atıklardan Kaynaklanan Risklerle İlgili Yapılan Çalışmalar .....	<b>27</b>
3.3. Tıbbi Atık Yakma Tesislerinin Çevresel Etkileri .....	<b>31</b>
<b>4. TIBBİ ATIKLARIN ARITIM VE BERTARAF YÖNTEMLERİ</b> .....	<b>36</b>
4.1. Tıbbi Atıkların Azaltılması (Minimization).....	<b>38</b>
4.2. Ayırma (Segregation) .....	<b>38</b>

4.3. Geri Dönüşüm (Recycling).....	39
4.4. Düzenli Depolama (Landfill) .....	40
4.5. Diğer Yöntemler.....	40
4.5.1. Otoklavlama ve sıkıştırma sterilizasyonu .....	41
4.5.2. Mekanik ve kimyasal dezenfeksiyon .....	42
4.5.3. Mikrodalga sterilizasyonu.....	43
4.5.4. Isı inaktivasyonu .....	43
4.5.5. Işınlama (irradiation) .....	43
4.5.6. Öğütme ve Parçalama (Grinding and shredding).....	44
4.5.7. Kanalizasyona verme (Sewer disposal) .....	44
<b>5. TIBBİ ATIKLARIN İNSİNERASYONU .....</b>	<b>45</b>
5.1. Tasarım kriterleri.....	50
5.2. Tıbbi Atık İnsinerasyonunun Mikrobiyolojisi.....	56
5.3. Tıbbi Atık İnsineratörlerinde Baca Gazı Emisyonları .....	58
5.3.1. Tıbbi atıkların insinerasyonunda yanma olayları .....	63
5.3.2. Gaz emisyonlarının mikrobiyolojik ve mutajenik açıdan irdelenmesi.....	65
5.3.3. Gaz emisyonlarının toksisite açıdan irdelenmesi.....	69
5.4. Tıbbi Atık İnsineratörlerinde Kül ve Curuf Oluşumu .....	70
5.4.1. Kül ve curufların mikrobiyolojik ve mutajenik açıdan irdelenmesi.....	71
5.4.2. Kül ve curufların toksisite açıdan irdelenmesi.....	72
<b>6. MATERYAL VE METOD .....</b>	<b>73</b>
6.1 Deney Düzenineğinin Tanımlanması .....	73
6.1.1 Örneklerin hazırlanması.....	75
6.2 Deneysel Çalışmalar.....	75
6.2.1 İnsineratörün dip külü ve uçucu külünde yapılan kimyasal analizler.....	75
6.2.1.1. Ağır metallerin tayini.....	75
6.2.1.2. Kalsiyum, sodyum ve potasyum miktarının tayini .....	76

6.2.1.3. Elementel analizle azot, karbon, hidrojen ve kükürt tayinleri .....	76
6.2.2. Gaz emisyonlarından çıkan HCl miktarı tayini.....	77
6.2.3. İnsineratörün dip külünde X ışınları difraktometre analizi.....	77
6.2.4. Bakteriyolojik çalışmalar .....	78
6.2.4.1. Toplam bakteri aranması .....	78
6.2.4.2. İndikatör bakteri aranması .....	78
6.2.4.2.1. Fosfat tampon çözeltide spor canlılığı .....	79
6.2.4.2.2. Külde spor canlılığı.....	80
6.2.4.2.3. Külde <i>Bacillus stearothermophilus</i> aranması	81
6.2.5. Ames Salmonella mutajenite testi çalışmaları .....	81
6.2.5.1. Ames Salmonella mutajenite test örneklerinin hazırlanması.....	82
6.2.5.2. <i>Salmonella</i> suşlarının hazırlanması.....	83
6.2.5.3. Salmonella suşlarının genotip kontrolleri.....	83
6.2.5.4. Kullanılacak sıvı kültürdeki bakteri sayısının belirlenmesi .....	85
6.2.5.5. Kül numunelerinin sitotoksik etkilerinin saptanması.	85
6.2.5.6. Memeli karaciğer mikrozomlarının hazırlanması .....	85
6.2.5.7. Ames mutajenite testinin yapılması .....	86
6.2.6. Toksikite çalışmaları .....	87
6.2.6.1. Sitotoksikite testleri .....	87
6.2.6.1.1. Mitokondriyal aktiviteye dayalı testler ve MTT ölçümü.....	87
6.2.6.1.2. Lizozomal aktiviteye dayanan testler ve Neutral Red up-take (NR) ölçümü.....	89
6.2.6.1.3. Sitotoksikite testleri için ürünlerin hazırlanması.....	90
6.2.6.2. Akut toksikite testleri .....	90
6.2.7. Endüstriyel ölçekli bir tehlikeli atık insineratörünün dip külünde yapılan kimyasal analizler ve X ışınları difraktometresi.....	90

<b>7. DENEYSEL BULGULAR.....</b>	<b>91</b>
7.1. Deneysel Bulguların İstatistiksel Değerlendirmesi.....	120
<b>8.. SONUÇ .....</b>	<b>127</b>
<b>9. KAYNAKLAR.....</b>	<b>130</b>

## **EKLER**

EK A Terimler Sözlüğü .....	138
EK B Cıva Nitrat Metodu İle Cl <sup>-</sup> Analizi.....	140
EK C Ames Testi İçin Kullanılan Besiyerleri ve Kimyasallar .....	143

## ŞEKİLLER DİZİNİ

5.1. Bir model tıbbi atık insinerasyon sistemi diyagramı .....	48
5.2. Şematik olarak genel bir insineratör tesisi .....	52
5.3. Salıncak tipi ızgara .....	54
5.4. İleri geri hareketli ızgara.....	54
5.5. Konveyör tipi ızgara .....	55
5.6. Dairesel ızgara .....	55
6.1 Laboratuvar ölçekli tüp fırın insineratör.....	74
7.1. Demirin dip külünde sıcaklığa bağlı derişimi.....	98
7.2. Demirin uçucu külde sıcaklığa bağlı derişimi .....	98
7.3. Nikelin dip külünde sıcaklığa bağlı derişimi .....	99
7.4. Nikelin uçucu külde sıcaklığa bağlı derişimi.....	99
7.5. Çinkonun dip külünde sıcaklığa bağlı derişimi .....	100
7.6. Çinkonun uçucu külde sıcaklığa bağlı derişimi.....	100
7.7. Bakırın dip külünde sıcaklığa bağlı derişimi .....	101
7.8. Bakırın uçucu külde sıcaklığa bağlı derişimi.....	101
7.9. Kadmiyumun dip külünde sıcaklığa bağlı derişimi .....	102
7.10. Kadmiyumun uçucu külde sıcaklığa bağlı derişimi.....	102
7.11. Gümüşün dip külünde sıcaklığa bağlı derişimi .....	103
7.12. Gümüşün uçucu külde sıcaklığa bağlı derişimi .....	103
7.13. Magnezyumun dip külünde sıcaklığa bağlı derişimi .....	104
7.14. Magnezyumun uçucu külde sıcaklığa bağlı derişimi.....	104
7.15. Alüminyumun dip külünde sıcaklığa bağlı derişimi.....	105
7.16. Alüminyumun uçucu külde sıcaklığa bağlı derişimi .....	105
7.17. Kromun dip külünde sıcaklığa bağlı derişimi.....	106
7.18. Kurşunun dip külünde sıcaklığa bağlı derişimi .....	106
7.19. Potasyumun dip külünde sıcaklığa bağlı derişimi .....	107
7.20. Potasyumun uçucu külde sıcaklığa bağlı derişimi .....	107
7.21. Kalsiyumun dip külünde sıcaklığa bağlı derişimi.....	108
7.22. Kalsiyumun uçucu külde sıcaklığa bağlı derişimi .....	108

7.23. Dip külünde Cr, Fe, Ni, Zn, Ca, Mg, Al, Cd, Ag, Cd, Ag, Cu, K ve Pb derişimleri üzerine sıcaklıkların etkisi .....	109
7.24. Uçucu külde Zn, K, Mg, Al, Fe, Ni, Cu, Cd, Ag ve Ca derişimleri üzerine sıcaklıkların etkisi.....	110
7.25. Dip külünde elementel analiz sonucundaki Azot ve Karbon derişimleri üzerine sıcaklıkların etkisi.....	111
7.26. Gaz emisyonunda yapılan HCl derişimleri üzerine sıcaklıkların etkisi..	112
7.27. Dip külünde yapılan X ışınları difraktometre analizi grafiği.....	113
7.28. İzmit'te faaliyet gösteren bir tehlikeli atık insineratöründen alınan dip külünde yapılan kimyasal analiz sonuçları .....	114
7.29. İzmit'te faaliyet gösteren bir tehlikeli atık insineratöründen alınan dip külünde yapılan X ışınları difraktometre analizi grafiği .....	115
7.30. 500 °C'nin NIH3T3 hücrelerinde MTT ölçüm sonuçları .....	118
7.31. 500 °C'nin NIH3T3 hücrelerinde NR ölçüm sonuçları .....	118
7.32. 600 °C'nin NIH3T3 hücrelerinde MTT ölçüm sonuçları .....	119
7.32. 600 °C'nin NIH3T3 hücrelerinde NR ölçüm sonuçları .....	119

## ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1.	1995 ve 2001 verilerine göre kamu ve özel hastanelerin atık miktarları .....	5
2.2.	Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin genel yapısı.....	7
3.1.	Evsel ve tıbbi atıklarda bulunan patojenler ve diğer bazı organizmalar .....	29
3.2.	Tıbbi atık ve evsel atıklarda bakteriyal derişimlerinin karşılaştırılması (Aritmetik anlam/gram).....	32
4.1.	Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığı 2001 verilerine göre ayrı toplanan tıbbi atıkların bertaraf yöntemine göre miktarı.....	37
5.1.	Dünyada atık yakma tesislerinden kaynaklanan metallerin atmosferik emisyonları .....	63
5.2.	Ortalama tıbbi atık bileşimi.....	66
5.3.	Atık elle işleme tesislerinin havasında bulunan patojenler ve endotoksin üretenler .....	69
6.1.	Mavi hastane'nin yıllara göre hasta sayıları ve tıbbi atıkları..... miktarları .....	75
7.1.	Laboratuvar ölçekli tıbbi atık insineratöründe 500, 600, 700, 800 ve 900 °C sıcaklık değerlerinde yapılan deneysel çalışma koşulları ....	94
7.2.	Dip külü ağır metal derişimleri .....	95
7.3.	Uçucu kül ağır metal derişimleri .....	96
7.4.	Sodyum, kalsiyum ve potasyumun dip külü ve uçucu küldeki derişimleri.....	97
7.5.	Dip külünde yapılan elementel analiz sonuçları.....	111
7.6.	Gaz emisyonunda yapılan HCl analizi sonuçları.....	112
7.7.	İzmit'te faaliyet gösteren bir tehlikeli atık insineratöründen alınan dip külünde yapılan kimyasal analiz sonuçları .....	113
7.8.	Fosfat tampon çözelti canlılığı (2 M) deney sonuçları.....	116
7.9.a.	Fosfat tampon çözelti canlılığı (0,5 M) deney sonuçları .....	116
7.9.b.	Fosfat tampon çözelti canlılığı (0,5 M) deney sonuçları .....	116
7.10.a.	Külde spor canlılığı deney sonuçları .....	117

7.10.b. Külde spor canlılığı deney sonuçları .....	117
7.11. Dip külü analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi.....	122
7.12. Uçucu kül analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi .....	123
7.13. Fosfat tampon çözelti canlılığı (2 M) sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi .....	124
7.14.a. Fosfat tampon çözelti canlılığı (0,5 M) sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi .....	124
7.14.b. Fosfat tampon çözelti canlılığı (0,5 M) sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi.....	124
7.15.a. Külde spor canlılığı analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi	125
7.15.b. Külde spor canlılığı analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi	125
7.16. Test edilen maddelerin çeşitli dozlarda TA 98 ile verdikleri revertant koloni sayıları.....	126
7.17. Test edilen maddelerin çeşitli dozlarda TA 100 ile verdikleri revertant koloni sayıları.....	126

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
2AF	2-Aminofloren
Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
APC	Hava Kirliliği Kontrolü (Air Pollution Control)
As	Arsenik
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
CCL <sub>4</sub>	Karbon tetra klorür
Cd	Kadmiyum
CDC	Hastalık Kontrol Merkezleri (Centers for Disease Control)
CF	Klorofenol
Cfu	Koloni oluşturan bölüm (Colony Form Unit)
Cl <sub>2</sub>	Klor gazı
CO	Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksit
CP	Klorobenzen
Cr	Krom
Cu	Bakır
CuCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	Bakır klorür
CuO	Bakır oksit
CuSO <sub>4</sub>	Bakır sülfat
DBA	Alman Babcock Tesisi (Deutsche Babcock Anlagen)
DCM	Diklorometan
DİE	Devlet İstatistik Enstitüsü
DMSO	Dimetil sulfoksit

DNA	Deoksiribo nükleik asit
DRE	Bozunma ve Giderme Verimliliği (Destruction and Removal Efficiency)
EMD	Çevresel Yönetim Bölümü (Environmental Management Department)
EOM	Dünya Gözlem Dergisi (Earth Observation Magazine)
EPA	Çevre Koruma Acentası (Environmental Protection Agency)
ESP	Elektrostatik toplayıcı
F <sub>2</sub>	Flor gazı
FAO	Besin ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization)
Fe	Demir
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Demir (II) oksit
H	Hidrojen
H.K.K.Y.	Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği
H <sub>2</sub> O	Su
H <sub>2</sub> S	Hidrojen sülfür
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sülfürik asit
HB	Histidin Biyotin Agar
HBA	Histidin Biyotin Ampisilin Agar
HC	Hidro karbon
HCl	Hidrojen klorür
HF	Hidrojen florür
Hg	Cıva
Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Cıva nitrat
HgCl <sub>2</sub>	Cıva klorür
HKKD	Hava Kirliliği Kontrol Donanımı
HNO <sub>3</sub>	Nitrik asit
HMPWC	Hastane Tıbbi Patolojik Atık Yanma Birimi (Hospital Medical Pathological Waste Combustion)

K	Potasyum
KCl	Potasyum Klorür
KIT	Kamu İktisadi Teşebbüsü
Cl <sup>-</sup>	Klorür
KN	Kaynama Noktası
KOH	Potasyum hidroksit
KOK	Kalıcı organik kirletici
LD <sub>50</sub>	Letal Doz
Mg	Magnezyum
MGA	Minimal Glikoz Agar
Mn	Mangan
MRE	Mikrobiyal Giderme Verimliliği (Microbial Destruction Efficiency)
MSB	Milli Savunma Bakanlığı
MSDS	Madde Güvenlik Bilgi Kartları (Material Safety Data Sheets)
MSW	Belediye Katı Atığı (Municipal Solid Waste)
MTT	(3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difenil tetrazolyum bromür
MWC	Tıbbi Atık Yakma Birimi (Medical Waste Combustor)
MWMA	Tıbbi Atık Yönetim Yasası (Medical Waste Management Act)
N	Azot
NA	Nutrient Agar
Na	Sodyum
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sodyum sülfat
NaCl	Sodyum klorür
NaOH	Sodyum hidroksit
NB	Nutrient Broth
NH <sub>4</sub> OH	Amonyum hidroksit
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Amonyum sülfat

Ni	Nikel
NO	Azot monoksit
NO <sub>x</sub>	Azot oksitler
NPD	4-Nitro- <i>o</i> -Fenilendiamine
NR	Neutral red up-take
NSWMA	Ulusal Katı Atık Yönetim Birliği (National Solid Waste Management Association)
O <sub>2</sub>	Oksijen
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fosfor pentaoksit
PAH	Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon)
Pb	Kurşun
PBS	Fosfat tampon çözeltisi ( Phosphate Buffer Solution)
PCA	Plate Count Agar
PCB	Poliklorlu Bifeniller (Polychlorinated Biphenyl)
PCDD	Poliklorlu Dibenzo-p-dioksin
PCDF	Poliklorlu Dibenzofuran
PCT	Poliklorlu Trifenil
PE	Polietilen
PICs	Eksik yanma ürünleri
POHC	Başlıca Temel Organik Bileşen (Principal Organic Hazardous Constituent)
PVC	Polivinil klorür
RCRA	Kaynak Korunumu ve Geri Kazanım Kanunu (Resource Conservation and Recovery Act)
RDF	Atıktan Türetilmiş Yakıt (Refuse Derived Fuel)
S	Kükürt
SO <sub>2</sub>	Kükürt dioksit
SO <sub>3</sub>	Sülfit
SO <sub>x</sub>	Kükürt oksitler
SSK	Sosyal Sigortalar Kurumu
TbAKY	Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği

TCD	Termal iletkenlik dedektörü
TCDD	Tetra klorlu dibenzo-p-dioksin
TOK	Toplam Organik Karbon
TOL	Toluen
TSA	Triptoz Soy Agar
UV	Ultraviyole
VOC	Volatile Organic Compound
XRD	X ışınları difraktometresi (X Ray Diffraction)
Zn	Çinko

## 1. GİRİŞ

Üretiminden bertarafına dek planlı, sistematik, güvenli ve sürekli bir yönetim gerektiren tehlikeli atıklar ve bu atıklar kapsamında özel bir grup oluşturan tıbbi atıklar, çöp kavramına, alışlagelmişin dışında, daha farklı ve özenli bir bakış açısı gerektirirler. İçerdiği patolojik, radyoaktif, toksik, enfekte, korozif, yanıcı, kesici ve delici bileşenler nedeniyle diğer evsel ve endüstriyel atıklardan oldukça farklı olan tıbbi atıklar, kendi kendine yayılma / bulaşma ve aniden değişime uğrama gibi özelliklere sahiptirler (Banar ve Kara 1995, Banar 1998, Malkoç ve ark 1999). Ülkemizde, Sağlık Bakanlığı'nın 2001 yılı verilerine göre yılda ortalama 165.000 ton tıbbi atığın çıktığı tahmin edilmektedir ([http-1](http://)).

Tıbbi atıkların bertarafında, ekonomik olması açısından depolama yönteminin daha sık uygulanmasına karşın, yeryüzünde gömme ve depolama amacıyla kullanılabilmesi düşünülen sahaların kısıtlı olması nedeniyle atık miktarının en düşük seviyelere indirilmesi gerekir. Ancak, tıbbi atıklar için geri kazanım maliyetinin yüksek olması, tüm atıkların geri kazanımının mümkün olmaması ve geri kazanılan maddelerin fazla temiz ve saf olmaması, % 99,02'sinin yanabilir nitelikte, sadece % 0,97'sinin yanmayan atıktan oluşması, ısıl değerinin 3400-3900 kcal/kg olması ve hijyen gibi nedenlerle, çok fonksiyonlu bir ara giderim yöntemi olan insinerasyon işlemi tercih edilmektedir. Zira insinerasyonda, yüksek sıcaklıklarda enfekte maddeler bozunur, % 90'ın üzerinde hacim indirgenmesi gerçekleşir, düzenli depolama alanına gönderilecek atık miktarı azalır, diğer bertaraf yöntemlerine göre çok daha az bir ön işlem gerekir ve yerinde insinere edilme durumunda taşıma maliyetlerinde önemli bir kazanç sağlanır (Li ve Jenq 1993, Malkoç ve ark 1999).

İnsineratördeki 850-1000°C arasındaki sıcaklık seviyelerinde dahi herhangi bir organik veya canlı maddenin bulunma olasılığının son derece düşük olması ve bugüne değin gaz emisyonlarının bakteriyolojisiyle ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen bilgilerin azlığı nedeniyle insineratör etkinliğinin en önemli ölçütü olan DRE (Destruction and Removal Efficiency)'nin % 99,999 değerine ulaşmasının yanısıra MRE (Microbial Removal Efficiency)'nin de sağlanabilmesi için, insineratörün işletiminde fizikokimyasal ve mikrobiyolojik çalışmaların eşanlı yürütülmesi gerekir (Malkoç ve ark 1999).

## 1.1. Amaç

Ülkemizde, evsel atıkların yanında hiç de azımsanmayacak bir oranda (165.000 ton/yıl) ortaya çıkan tıbbi atıklar, içerikleri nedeniyle, hem mühendislik açısından hem de mikrobiyolojik açıdan dikkatle işletilen ve monitorlanan bir yakma tesisinde bertaraf edilmelidir. Ancak, yapılan literatür taramasında, insineratörlerin, fizikokimyasal ve mikrobiyolojik açıdan eşanlı incelendiği bütüncül bir çalışmaya rastlanılmamış ve konuya hem mühendislik hem de mikrobiyoloji disiplinleri açısından yaklaşma zorunluluğu doğmuştur.

Buradan hareketle, insineratörlerde yanmanın gerçekleştiği yüksek sıcaklıklarda bazı mikroorganizmaların nasıl yaşayabildiğini belirlemek amacıyla laboratuvar tipi bir borsal insineratör tasarlanmış ve kurulmuştur. Tıbbi atıkların insinerasyonu işleminde oluşan hava emisyonlarının ve kül/cürufun indikatör mikroorganizmalar tarafından (*Bacillus Stearothermophilus* gibi) izlenmesi, insineratörde (mühendislik açısından bir kütle ve enerji denkliği kurulması mümkün olduğu halde) biyolojik denkliklerin kurulmasındaki zorlukların izahı ve mikrobiyolojik monitorlamanın gerekliliği konuları bu çalışmanın diğer hedefleri arasında yer almıştır.

## 2. TIBBİ ATIKLAR

Ülkemizde birçok sağlık kuruluşunun enfekte ve tehlikeli özelliği olan bazı atıkları evsel nitelikli atıklarla birlikte toplanıp taşınmakta ve onlarla aynı şekilde bertaraf edilmek üzere çöp toplama araçlarına verilmektedir. Gelişi güzel bir şekilde çöplüklere atılan söz konusu atıklar başta çöp işçileri olmak üzere, çevre ve halk sağlığını tehlikeye atmaktadır.

Gerçekten de çevre ve halk sağlığı için ciddi tehlikeler oluşturan tıbbi atık, ülkemizde 1993 yılında yürürlüğe giren Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre; *“ünitelerden kaynaklanan patolojik ve patolojik olmayan enfekte, kimyasal ve farmasötik atıklar ile kesici delici malzemeler ve sıkıştırılmış kapları”* içerir.

Tıbbi atıklar, insan veya hayvanların tanı, tedavi ve bağışıklama uygulamalarından, enfeksiyon ajanları, serumlar, aşılar, antijen ve antitoksinlerle ilgili araştırmalarından ortaya çıkar ve içerisinde canlılara zarar verebilecek atıklar veya sivri sert köşeleri, kenarları veya kabarıklıkları olması nedeniyle kesebilecek, delebilecek atıkları (iğneler, enjektörler, bisturiler ve cam kırıkları) da barındırır (Atasoy 1997, Güler 1998).

Tıbbi atıklar içinde genel olarak şu bileşenler bulunur:

- Enfekte atıklar
- Patolojik atıklar
- Kimyasal ve biyolojik toksikler
- Laboratuvar kimyasalları
- Tehlikeli temizlik kimyasalları
- Tehlikeli anti-noeplastik bileşikler
- Kansere karşı sitotoksik ilaçlar
- Düşük seviyeli radyoaktif atıklar
- Genel tehlikeli olmayan atıklar (Anon 1994) (Ek Açıklamalar A).

Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıklar diğer atıklardan farklı kılan bazı özellikler vardır. Öncelikle bu atıklar potansiyel enfeksiyon kaynağıdır. Ancak hastaneden çıkan her atık da enfekte değildir. ABD'deki CDC (Center for Disease Control)'a göre hastane atıklarının ancak %5-10'unun enfekte atık olduğu belirtilmektedir. Çeşitli kuruluşların enfekte atık tanımında farklılıklar vardır.

Hatta EPA'nın 1986 ve 1989 yıllarındaki tanımlarında bile bilgi birikimine bağlı bazı değişiklikler olmuştur. Genel olarak mikrobiyolojik kültür ve stoklar, lanset, iğne, kırık camlar gibi kesici malzemeler, kan ve kan ürünleri, vücut sıvıları ve bunlarla yoğun bir şekilde kontamine olan materyaller enfekte atık olarak kabul edilebilir. Ameliyathanelerin patolojik atıkları enfekte atık olarak işlem görse de, bu atıklar içerikleri açısından önemlidir (Farber 1991).

Tüm dünyada, hastaneler arasında birim katı atık üretimi bakımından farklılıklar mevcuttur. Atık üretim miktarı yüksek olanlar genelde tıbbi araştırma merkezli üniversite hastaneleri olup bunu doğum hastaneleri, genel hastaneler ve akıl hastaneleri izlemektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan 400 hastanede yapılan araştırmalara göre, hastanelerden çıkan tüm atıkların %90'ından fazlası, kan, kesici-delici aletler, mikrobiyoloji, bulaşıcı hastalık, patoloji ve otopsi atıkları ile bulaşıcı atıklar kadar kontamine olan hayvan cesedi atıklarıdır. Hastaneden çıkan tıbbi atıkların % 80'den fazlası cerrahi ve laboratuvar atıklarıdır. Yine bu ülkede bir günde hasta başına üretilen 6,81 kg (15 pound) katı atığın %15'i bulaşıcı atıktır (1,0215 kg hasta başına/gün) (Lee ve ark. 1991, Streed 1992, Hershkowitz 1990, Anon 1999).

Tıbbi atıklar, özellikleri nedeniyle tüm dünyada önem arzeden ve üzerinde pek çok envanter çalışması yapılan atıklardır. Türkiye'de bu konuyla ilgili envanter çalışması ilk kez 1995 yılı Haziran ayında DİE tarafından yapılmış, çalışmada kamu hastanelerinden ve özel hastanelerden kaynaklanan katı atığın fiziksel kompozisyonunu (tıbbi atık, evsel atık, geri kazanılabilir madde) belirlemeye yönelik birtakım verilerin derlenmesi amaçlanmıştır. DİE tarafından Sağlık Bakanlığına bağlı 421 kamu ve 123 özel hastaneden, örnekleme yöntemiyle belirlenen 31 kamu ve 13 özel hastane olmak üzere toplam 47 hastanede bir hafta süresince 24 saatlik tıbbi, evsel ve geri kazanılabilir katı atıkların ayrı ayrı toplanması suretiyle yapılan ve Çizelge 2.1'de sonuçları verilen bu çalışmaya göre tıbbi katı atıklar, kamu hastanelerinde yatak başına toplam katı atık miktarının %80'ini, özel hastanelerde ise %46'sını oluşturmaktadır. Ayrıca yatak başına ve poliklinik başına günlük katı atık miktarının özel hastanelerde, kamu hastanelerine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 2.1. 1995 ve 2001 yılı verilerine göre kamu ve özel hastanelerin atık miktarları (Anonim 1995, http-1)

	Kamu Hastaneleri		SSK Hastaneleri		Üniversite Hastaneleri		KIT Hastaneleri		MSB Hastaneleri		Diğer Kamu Hastaneleri		Özel Hastaneler		Toplam	
	1995	2001	1995	2001	1995	2001	1995	2001	1995	2001	1995	2001	1995	2001	1995	2001
Hastane sayısı	843	751	115	118	-	43	-	8	-	42	-	11	166	267	1124	1240
Yatak kapasitesi	127.469	87.709	25.397	28.517	-	24.754	-	1.607	-	15.900	-	2.021	8.934	14.682	161.800	175.190
Tıbbi Atıklar (kg/yatak-gün)	1,92	1,92**	*	1,92**	-	1,92**	-	1,92**	-	1,92**	-	1,92**	2,01	2,01**		
Evsel Atıklar (kg/yatak-gün)	0,38	0,38**	*	0,38**	-	0,38**	-	0,38**	-	0,38**	-	0,38**	1,35	1,35**		
Geri Kazanılabilir Atık (kg/yatak-gün)	0,09	0,09**	*	0,09**	-	0,09**	-	0,09**	-	0,09**	-	0,09**	0,98	0,98**		
Ortalama Atık Miktarı (kg/yatak-gün)	2,39	2,39**	*	2,39**	-	2,39**	-	2,39**	-	2,39**	-	2,39**	4,34	4,34**		
Toplam Atık Miktarı (ton/yıl)	112.000	76.513***	22.155	24.877***	-	21.594***	-	1.402***	-	13.870***	-	1.763***	14.152	23.258***	148.307	163.277

\* SSK hastaneleri bu çalışma kapsamında yer almamıştır.  
\*\*1995 yılı verileridir.  
\*\*\* 2001 yılı verileri 1995 yılı atık miktarlarına bağlı olarak hesaplanmıştır.  
SSK: Sosyal Sigortalar Kurumu, KIT: Kamu İktisadi Teşebbüsü, MSB: Milli Savunma Bakanlığı

## 2.1. Ulusal ve Uluslararası Mevzuat

Ülkemizde tıbbi atıklarla ilgili ilk yasal düzenleme Özel Hastaneler Tüzüğü ile başlamıştır. Özel Hastaneler Tüzüğü'nün (10.1.1983 tarih ve 17924 no'lu Resmi Gazete) 13. Maddesinde, “Çevrenin artık ve çöplerle kirlenmesine imkan vermeyecek önlemlerin alınması zorunludur” denmektedir.

Yataklı Tedavi Kurumları İşletme Yönetmeliği'nin (13.1.1983 tarih ve 17927 nolu Resmi Gazete) P-Temizlik Hizmetleri Bölümü'ndeki 88. madde ise: “*Temizlik, poliklinik, servis, laboratuvar, ameliyathane, mutfak, çamaşırhane ve bahçe gibi hizmet birimlerinde ayrı ayrı ve bu birim personeli tarafından yapılır*” olarak yazılıdır. Yine aynı yönetmeliğe göre temizliğin; Baştabip yardımcısı, hastane müdürü, tabipler, hemşire ve hemşireler tarafından devamlı kontrol edilmesi, temizlik yaparken tuvaletlerin, banyoların enfekte ve steril bölümlerinin ayrı ve kendi koşullarına göre temizliklerinin yapılmasına itina edilmesi, periyodik olarak tuvaletlerin ve zeminlerin dezenfektan maddelerle genel temizliklerinin yapılması ve bunlarla ilgili gerekli önlemleri almak ve yöntemleri sağlamak için ilgili uzman başkanlığında başhemşire, hastane müdürü ve baştabibin lüzum göreceği diğer bir personelin katılması ile bir temizlik komitesi kurulması gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca, “*Yataklı tedavi kurumlarında temizlik hizmetleri yapılırken: Kokuların önlenmesi, çöplerin fenni şekilde yok edilmesi, haşeratın öldürülmesi gibi işler de birlikte yürütülür. Kurumun yakılabilecek atıklarının ayrı toplanmak suretiyle yakılması sağlanır*” ifadeleri de kullanılmaktadır (Gönüllü ve Goncaloğlu 1992).

Ülkemizde tıbbi atık yönetimiyle ilgili olarak yapılan en son düzenleme, 20.05.1993 (21586 sayılı) tarihinde yürürlüğe giren “Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”dir. Bu yönetmelik, sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıkların ayrı olarak toplanması, geçici depolanması, geri kazanılması, nihai bertaraf alanına taşınarak yakılması veya düzenli depolanması süreçlerinde uyulacak teknik ve idari esaslar ile bu esaslara göre yapılacak işlerin kimler tarafından ve nasıl yapılacağı ile ilgili kuralları kapsar. Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin genel yapısı Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin genel yapısı

<b>TIBBİ ATIKLARIN KONTROLÜ YÖNETMELİĞİ</b> Resmi Gazete: 20.05.1993 tarih ve 21586 sayı	
<b>BİRİNCİ BÖLÜM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amaç</li> <li>• Kapsam</li> <li>• Hukuki dayanak</li> <li>• Tanımlar</li> </ul>
<b>İKİNCİ BÖLÜM</b>	<p>Tıbbi atıkların yönetimi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tıbbi atık üretenlerin uyacakları esaslar</li> <li>• Tıbbi atıkların nihai bertarafında uygulanacak esaslar</li> </ul>
<b>ÜÇÜNCÜ BÖLÜM</b>	<p>Atıkların ünite içinde ayrılması ve taşınması</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evsel nitelikli atıklar</li> <li>• Tıbbi atıklar</li> <li>• Radyoaktif atıklar</li> <li>• Tehlikeli olmayan kimyasal maddelerin atıkları</li> <li>• Tehlikeli kimyasal maddelerin atıkları</li> <li>• Taşıma</li> </ul>
<b>DÖRDÜNCÜ BÖLÜM</b>	<p>Atıkların geçici depolanması</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Genel kural</li> <li>• Geçici atık depolarının özellikleri</li> <li>• Konteynerlerin kullanılması</li> <li>• Diğer sağlık kuruluşlarının atıkları ile ilgili hususlar</li> <li>• Geçici atık depolarına ruhsat alınması</li> <li>• Geçici atık depo yeri işletilmesi ve kontrolü</li> </ul>
<b>BEŞİNCİ BÖLÜM</b>	<p>Atıkların bertaraf alanına taşınması</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Belediyelerin sorumluluğu</li> <li>• Taşıma personelinin özel giysileri</li> <li>• Tıbbi atıkların taşınmasına ilişkin kurallar</li> <li>• Atık taşıma araçlarının teknik özellikleri</li> </ul>
<b>ALTINCI BÖLÜM</b>	<p>Tıbbi atıkların yakılması, yakma tesislerine ruhsat verilmesi ve denetlemesi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tıbbi atıkların yakılması</li> <li>• Yakma tesislerinin teknik özellikleri</li> <li>• Yakma tesislerine yer seçimi izni verilmesi</li> <li>• Yakma tesislerine inşaat ruhsatı verilmesi ve denetlenmesi</li> <li>• Yakma tesislerine işletme ruhsatı verilmesi ve denetlenmesi</li> <li>• Yakma tesislerinin işletme ruhsatının iptali</li> </ul>

### **YEDİNCİ BÖLÜM**

Tıbbi atıkların nihai depolanması

- Nihai depolama alanları
- Nihai depolama alanı yer seçimi kriterleri
- Yerleşme yasağı
- Depolama tesisi zemini
- Depolama tesisi tabanın teşkili
- Dren sistemi teşkili
- Depolama tesislerine dolgu yapılması
- Depolama tesisi üst örtüsünün teşkili
- Depo sahasının yeşillendirilmesi
- Depolama tesisine inşaat ruhsatı verilmesi ve denetlenmesi
- Depolama tesisine işletme ruhsatı verilmesi ve denetlenmesi
- Depolama tesisinin işletilmesi ve kontrolü

### **SEKİZİNCİ BÖLÜM**

Diğer hükümler

- Tıbbi atıkların izlenmesi
- Denetim
- Yaptırımlar
- Yürürlük
- Yürütme

Yönetmeliğe göre, tıbbi atık sorumluları, oluşan atıkların gerek üretildikleri yerdeki, gerekse dışındaki kişilerin sağlığına ve çevreye verebilecekleri zararları en aza indirmek için sınıflandırma, toplama, geçici depolama, ünite içinde taşıma, işleme ve nihai bertarafı aşamalarında;

- a) Tıbbi atıkların yönetimi ile ilgili personelin eğitiminden ve oluşan atıkların sınıflandırılarak toplanması, ünite içinde taşınması ve geçici depolanması işlerinin özel bir ekip tarafından yaptırılmasının sağlanmasından,
- b) Atıkları kaynağında en aza indirecek sistemin kurulmasından,
- c) Evsel nitelikli atıklardan ayrı olarak sınıflandırılma, toplama, taşıma ve işlenmesinden,
- d) Bu atıkların çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde geçici olarak depolanmasından,
- e) Emniyetli bir şekilde nihai bertaraf alanına taşınmalarının sağlandığının belgelenmesinden,

- f) Tıbbi atıkların insan sağlığı ve çevreye zarar vermeden bertaraf edildiğinin belgelenmesi ve bu bilgilerin her yıl Aralık ayı sonuna kadar Bakanlığa gönderilmesinden,

sorumludurlar.

Yine TbAKY'ne göre tıbbi atıkların nihai bertarafından, belediye ve mücavir alan sınırları içinde kalan ve büyükşehir belediyesi olan yerlerde büyükşehir belediyeleri, diğer yerlerde ise belediyeler ile yetkilerini devrettiği kişi ve kuruluşlar sorumludur. Belediye ve mücavir alan sınırları dışında kalan yerlerde ise mahallin en büyük mülki idare amiri bu atıkların bertarafı sırasında insanların ruh ve beden sağlığına, hayvan sağlığına, toprak, doğal bitki örtüsü ve yeşil alanlara, yer altı ve yüzeysel su alanları ile su rezerv sahalarına, toplumun düzeni ve emniyetine zarar vermeyecek, hava ve gürültü yönünden evre kirlenmesini önleyecek şekilde mevcut mevzuat doğrultusunda gerekli tedbirleri almakla yükümlüdür.

TbAKY'ne göre tıbbi atıkların kaynakları şu şekilde sıralanmaktadır.

- a) Hastaneler,
- b) Tıp, diş hekimliği ve veteriner hekimlik eğitimi veren ve araştırma yapan kuruluşlar
- c) Kan ve kan ürünleri ile ilgili çalışma yapan tüm merkez ve istasyonlar,
- d) Tıbbi tahlil laboratuvarları,
- e) Deney hayvanlarının kullanıldığı laboratuvarlar,
- f) Sağlık ocakları, atık çıkarıcı muayenehaneler ve poliklinikler, diş hekim klinikler ve revirler,
- g) Küçük ameliyat ve benzeri müdahalelerin yapıldığı tıp ve veteriner muayenehaneleri,
- h) Bulaşıcı hastalığı olanların tedavi oldukları veya diyaliz, aspiratör gibi aletlerin kullanıldığı klinikler,
- i) Benzeri tıbbi atıkların oluşabileceği seyyar sağlık birimleri,
- j) Eczane ve ilaç depoları,
- k) Benzer diğer kuruluşlar.

Uluslararası mevzuat açısından literatürde en dikkati çeken ABD’de “Medical Waste Management Act (MWMA)”’tir. Tıbbi atıkların bertarafının düzenlenmesi olarak bilinen Medical Waste Management Act 1 Ocak 1991 tarihinde yürürlüğe girmiş olup, 1 Nisan 1991’de uygulamaya başlanmıştır.

Bu düzenlemenin dikkate aldığı hususlar şöyledir:

1. Tüm tıbbi atıklar bertaraf edilmeden önce arıtılmalıdır.
2. Tehlikeli ve kesici atıkları içeren tıbbi atık; insan ve hayvanların tanı, teşhis ve tedaviler sonucu oluşan atıklardır ve enfekte ajanlar olabilirler.
3. Evsel ve çiftlik atıkları, kan ile bulaşmış kağıt havlu ve pamuk gibi tehlikeli olmayan atıklar ve enfekte ajanları içermeyen mikrobiyolojik kültürler tıbbi atıklar içerisine dahil değildirler.
4. Uygun bulunan arıtım yöntemleri sterilizasyon, insinerasyon, mikrodalga teknolojisi ya da gömmedir. İşletme atığını ya kendi ya da başka bir şirket tarafından arıtılmalıdır.
5. Tıbbi atık depoları 306.000 litre (400 yard) kapasitesinde olmalıdır. Tehlikeli ya da enfekte atıklar 0°C’nin üstünde 7 günden fazla depolanmamalıdır. Tehlikeli atıklar 0°C’nin altında 90 gün depolanabilirler.
6. Tıbbi atıkların taşınması ruhsatlı nakliye şirketleri tarafından yapılmalıdır.
7. Küçük miktarlardaki tıbbi atık üreticileri kendi atıklarını kendileri arıtırken, Çevre Yönetim Bölümü [Environmental Management Department (EMD)] denetimi altında olmalıdırlar. Kesicileri gömme yöntemi ile arıtan işletmeler için bu izne gerek yoktur.
8. Haftada 153.000 litre (200 yard) tıbbi atıktan fazla atık ortaya çıkaran üreticiler büyük kapasiteli üreticilerdir. Büyük miktarlardaki üreticiler de EMD denetimi altında bulunmak zorundadırlar.
9. İki ya da daha fazla üreticinin ortak kullandıkları depolar ve atıkların arıtımı EMD izni ile gerçekleşmelidir. Ancak yine kesicileri gömme yöntemi ile arıtan işletmeler için bu izne gerek yoktur.

10. Büyük miktarlardaki üreticiler ve atıklarını kendileri arıtan küçük miktarlardaki üreticiler aynı tıbbi atık yönetim planını izlemeli ve bilgilerini dosyalamalıdır (http-2).

Türkiye ve AB'deki tıbbi atıklarla ilgili mevzuatların ortak amacı sağlık kuruluşlarından kaynaklanan tıbbi atıkların halk sağlığına ve çevreye zarar vermeden ayrı olarak toplanması, geçici depolanması, geri kazanılması, taşınması ve nihai bertarafının sağlanmasına yönelik idari, teknik ve hukuki prensip, politika ve programların belirlenerek uygulanmasının sağlanmasıdır (Anonim 2001).

Direktif No: 99/31/EC (2000/738/EC, raporla ilgili düzenlemeler) kapsamında tıbbi atıklar toprağa gömülmesi sakıncalı atıklar içerisinde bulunmaktadır. Bu tür atıklar toprağa gömülmeden önce mutlaka işlemden geçirilmiş olacaklar ve türlerine uygun sahalara gömüleceklerdir (Anonim 2001).

Avrupa Birliği'ndeki uygulamalarda ise, tıbbi atıklarla ilgili mevzuatların temel amacı tıbbi atıklarla ilgili genel bir tanım hazırlamak ve bunun gibi atıkların düzenlenmesini sağlamaktır. Tehlikeli olarak gösterilen tıbbi atıkların özellikleri ve bileşenleri bu yönetmelik içerisinde yer almaktadır. Kendi atıklarının bertarafını gerçekleştiren kurumların ruhsata ihtiyacı vardır. Tıbbi atık yönetimi planları yetki sahibi olan otoritelerin elemanları tarafından veya genel atık yönetimi planlarının bir kısmından yararlanılarak yayımlanmıştır. Üye hükümetlerden tıbbi atıkların taşındığı her alanın tespiti ve kayıtlar, tıbbi atıklar toplandığında, taşındığında veya geçici olarak depolandığında, atıkların paketlenmesi ve etiketlenmesi işlemlerinin topluluğa ve uluslar arası standartlara uygun olarak talep edilmektedir. Yetkili kişiler, atıkların üretimi ve taşınmasını sağlayan donanımı denetlemek zorundadırlar.

Gözönüne alınması ve yerine getirilmesi gereken hususlar ise şöyle sıralanmaktadır.

1. Tıbbi atık yönetiminde atıklarla ilgili ruhsat ve işlemler kontrol edilmelidir.
2. Tıbbi atıkların sınıflandırılması ve tespiti için gerekli ulusal kurallar geliştirilmelidir.

3. Yetersiz geri kazanım ve acil durumlardan kaynaklanan bertaraf işlemlerinin riskinden sakınmak için teknik yeterlilik sağlanmalıdır.
4. Avrupa Birliği Komisyonu'na bilgi temin etmek amacıyla merkezileşmiş veri kümesi bu görevi yerine getirmek için yaratılmalıdır.

Tıbbi atıkların kaynakları ise şu şekilde sıralanmaktadır.

- Tıbbi merkezler
- Tıbbi laboratuvarlar
- Hastaneler
- Sanatoryumlar
- Poliklinikler
- Dispanserler
- Dış hekimliği muayenehaneleri
- Veteriner muayenehaneleri
- Eczaneler ve ilaç depoları

Avrupa Birliği'nde tıbbi atıkların yakılması ile ilgili direktifler, yeni ve var olan tehlikeli atık insineratörleri için emisyon sınırları ve işletme standartlarını tanımlamaktadır. Üye hükümetler bu şartlara uymak zorundadır. Bu şartlar, yakılacak olan tehlikeli tıbbi atıkların çeşitleri ve miktarlarını belirtmektedir. Bir yakma tesisinin dizayn edilebilmesi, donatılması ve işletilmesi; çevresel kirliliğinin önlenmesi ile ilgili olarak yönetimin kontrolü göz önüne alınarak emisyon sınırlarının bu direktifteki şartlara uyması gerekmektedir. Tehlikeli tıbbi atık insineratör tesisleri maksimum düzeyde atığın yakılmasının gerçekleşmesini sağlamak amacıyla işletilmelidir. İnsineratörlerin işletmecileri, tesise atıkları kabul etmeden önce atıklar hakkında kapsamlı bir tanım almak zorundadırlar. Atıksuların deşarj edilebilmesi için bazı limitlere uyulması gerekir. Yakma tesisi alanları da Avrupa Birliği Yüzey Suları Direktifleri'nin alanına dahil olmaktadır. Emisyon limit değerleri sınırları aşıyorsa gecikmesiz olarak yetkililere bildirilmelidir. Bunun sonucu olarak da ya yakılan atıklar azaltılmalı ya da tesis kapatılmalıdır.

Gözönüne alınması ve yerine getirilmesi gereken hususlar ise şöyledir:

1. Tehlikeli tıbbi atıklar için geliştirilmiş yeni yakma tesisleri, çevresel kalite hedefleri ve ulusal isteklere uymak amacıyla, ulusal atık yönetimi ve hava kalite stratejilerini tamamlamalıdır.
2. Raporda bölgesel şartlar dikkate alınarak, izinler direktiflerde bulunan minimum standartları sağlamalıdır.
3. Hükümetler, spesifik teknolojileri ve olası zararlı emisyonların raporlarını alarak emisyon standartlarını geliştirmelidirler.
4. Etkili atık yönetimi ve kontrol yöntemleri, uygunsuz veya yasal olmayan insineratörlerin kullanımının incelenmesini sağlamak amacıyla geliştirilmelidir. Farklı çeşitlerdeki hava, su ve toprak emisyonlarının kontrolünden sorumlu olan farklı yetkililerin başvuruları ve ortaklıkları için yöntem geliştirilmelidir.
5. Yetkililer yakma tesislerinde üretilen ısının kullanımı için planlar geliştirmelidirler.

Programlar var olan yakma tesisleri için talep edilen direktiflere uygunluk sağlaması amacıyla geliştirilmelidir.

Nihai bertaraf alanlarında ise Avrupa Birliği'ne göre parlamentoya ve konseye uyulmalıdır. Nihai bertaraf alanlarına getirilmeden önce tıbbi atıkların arıtımı talep edilmektedir. Nihai bertaraf alanında bertaraf fiyatları, bertaraf alanının kaplanmasına ve alanın en az 50 yıl korunmasını içeren maliyetleri kapsar. Bu direktifte nihai bertaraf alanlarında belirli tehlikeli, tehlikesiz tıbbi atıklar için bazı yasaklar mevcut olup, tehlikeli ve tehlikesiz tıbbi atıkların ayrı alanlarda olması talep edilmektedir. Bu tür atıkların bertarafından önce bazı koşullara uyulması gerekir. Direktifte (bazı durumlar hariç) tıbbi atıklar nihai bertaraf alanına konulmadan önce insan sağlığına ve çevreye olan etkilerinin azaltılması amacıyla arıtılmalıdır ve atık miktarı azaltılmalıdır, denmektedir.

### 2.1.1. Ulusal mevzuatın değerlendirilmesi ve Avrupa Birliği mevzuatı ile karşılaştırılması

20 Mayıs 1993 tarihinde yürürlüğe giren Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinin uygulanmasında karşılaşılan başlıca sorunlar şunlardır:

1. Tıbbi atıkların yönetimi için ayrılan bütçe oldukça sınırlıdır.
2. Sorumlu personele gerekli eğitim verilmemekte bu da Yönetmeliğinin uygulanmasında ve yönetimde başarısızlığa neden olmaktadır.
3. Oluşan atığın miktarına ve bileşimine dair ne kurumsal ne de toplam olarak güvenilir veriler mevcut değildir.
4. Sağlık kuruluşlarının çoğunda, tıbbi atıklar için geçici depolama odaları tasarlanmadığı gibi olanlar da düzenli olarak işletilmemektedir.
5. Tıbbi atıkların, arıtma tesisi veya nihai bertaraf sahasına götürülmek üzere toplanması ve taşınması verimli olmamakta ve Yönetmelik'le bağdaşmamaktadır.
6. Kesici aletler Yönetmelik'te belirtildiği gibi toplanmamakta ve atıkların toplanması ve taşınması sırasında kazalara neden olmaktadır.
7. Tıbbi atıklardan sorumlu olan hem sağlık kuruluşlarındaki yetkililer, hem de belediye çalışanları eğitimsizdir. Bu kişiler, tıbbi atıkların uygun şekilde yönetiminin önemi konusunda yeterli bilince sahip değildir.
8. Tıbbi atıkların, küçük sağlık kuruluşlarından, büyük hastanelere taşınması uygun olarak yapılmamaktadır.
9. Arıtılmasında veya bertarafında yüksek ücretler ödenmesi nedeniyle tıbbi atıklar, sağlık kuruluşlarının çoğunda türlerine göre ayrılmamaktadır (http-3).

TbAKY'de değiştirilmesi/iyileştirilmesi gereken maddeler ise şu şekilde ifade edilebilir:

**Madde 4** Atık sınıflandırma tanımı genişletilmelidir.

**Öneri** Tıbbi atıklar, 91/689/EC Direktifi'nde önerilen sınıflandırmaya göre sınıflandırılmalıdır.

- Madde 10a Kesici aletlerin toplanması ve bertarafı uygun biçimde verilmemiştir.
- Öneri Kesici aletler delinmeyen kapaklı konteynerlerde toplanmalıdır. Diğer enfekte atıklarla beraber kırmızı torbalara konulmalıdır.
- Madde 14 Enfekte atıkların sağlık kuruluşları içinde taşınması
- Öneri Enfekte atık torbaları, tekerlekli 240 litrelik kapaklı plastik konteynerlerde taşınmalıdır. Boşaltıldığı zamanlarda dezenfekte edilmelidir.
- Madde 17 Bu madde, sağlık kuruluşlarına, enfekte atıklarını geçici depolamaları için tek büyük konteynerleri kullanabilme iznini vermektedir.
- Öneri Bu madde tamamı ile iptal edilmeli ve geçici depolama odalarının yapılması zorunlu kılınmalıdır.
- Madde 18 Bu madde, özel tıp doktorlarını, diş doktorlarını ve hayvan hastanelerini kapsamamaktadır.
- Öneri Tıp doktorları, diş doktorları ve hayvan hastaneleri, uygulamaya geçmek için lisans almadan önce kendilerine en yakın hastane ile enfekte atıklarını depolama konusunda bir anlaşma yapmalıdırlar (http-3).

Avrupa yasalarında olmamasına rağmen Türk mevzuatında, çeşitli kategorilerdeki tıbbi atıkların, özel kimyasal isimler altında sınıflandırıldığı görülmüştür. Bu Yönetmeliğin olumlu bir yönü, sağlık kuruluşlarında kimyasalların yönetiminden sorumlu kişilerin, hangi kimyasalın tehlikeli olarak tanımlanacağı ve en uygun şekilde kullanımları konusunda bilgi sahibi olmalarıdır. Diğer yandan, yeni kimyasalların ya da benzer uygulamalara sahip aynı yapıdaki kimyasalların yönetimine ve tehlikeli kimyasallar olarak sınıflandırılmasına dair bir yapı yoktur. Bu son durum, yeni tehlikeli maddelerin yanlış olarak yönetilmesi potansiyeli yaratmaktadır. Yönetmelik gözden geçirilmeli ve teknolojik değişikliklere uyum bakımından Türk yetkililerince düzenli olarak güncelleştirilmelidir. Sağlık ünitelerinde bulunan tüm tehlikeli kimyasallar için yeni kategoriler oluşturulması tavsiye edilmelidir.

Avrupa mevzuatı ve kısmen de 91/689/EC Direktifi tarafından tehlikeli atıklar için konulan kriterler daha katı ve günceldir (http-3).

### **2.1.1.1. Tıbbi atıkların insinerasyonu**

TbAKY'nin 6. Bölümü'nde atıkların insinerasyonu, insinerasyon tesislerinin lisans alma ve kontrolü konuları yer almaktadır (25'den 31'e kadar olan maddeler). Evsel nitelikli atıkların yakılması için kullanılan yakma fırınları, tıbbi atıkların yakılması için kullanılamazlar. Yakma fırınındaki ilk bölme sıcaklığının 900°C olması ve son yakma bölgesindeki gazların 1200°C'de en az 1.5 saniye tutulması zorunludur. "Atıkların İnsinerasyonu"yla ilgili 2000/76/EC nolu Avrupa Direktifi, yakma gazının sıcaklığının 850°C'de iki saniye tutulması gerektiğini belirtmektedir. Atık içerisindeki halojenli organik madde (klor olarak tanımlanmaktadır) bileşimi, %1'i geçtiği takdirde, sıcaklık 1100°C'ye yükseltilmeli ve kalış süresi 2 saniyede sabit olarak tutulmalıdır. TbAKY'ne göre, fırınlardan çıkan küllerde yanabilen maddelerden tam yanmamış olanlar toplam kütleinin ağırlıkça %2'sini geçmemelidir. 2000/76/EC nolu Direktif'e göre ise bu değer kuru ağırlığın maksimum % 5'idir.

Yukarıda bahsedilen yasalar tarafından belirtilen emisyon seviyeleri, toplam partikül, HCl, HF, SO<sub>2</sub>, TOK ve furanlar gibi parametreler için verilmiştir. Ülkemizdeki yasalar NO<sub>x</sub>'ler konusunda daha sıkı olmasına rağmen, Avrupa mevzuatı baca gazındaki ağır metal konsantrasyonları için daha düşük sınır değerlere sahiptir. Ayarlanan sıcaklıktaki düşüşleri engellemek için otomatik olarak açılıp kapanan ek yakıcılar bulunmalıdır.

Bahsedilen iki mevzuata göre de, bir insineratörün işletilmesi için izin alınması ve bu tesislerde yönetimden sorumlu bir yetkilinin bulundurulması gerekmektedir (Türk mevzuatı, ilgili yetkilinin tesisin kapasitesine göre bulunması gerektiğinden bahsetmektedir). Yönetmeliğe uymayan bir durum varsa yetkili kişi her iki yönetmeliğe de uyum sağlamak için çaba göstermelidir.

2000/76/EC nolu Direktif'in ilave hükümlerinde, atıkların insineratöre ulaştırılması ve kabulü sürecinde izlenmesi gereken prosedürler verilmektedir. Ölçüm gereklilikleri, bilgiye ulaşma ve halkın katılımı, anormal işletme koşulları ve durumların gözden geçirilmesi, Avrupa mevzuatı tarafından kapsanan ilave

konulardır. Baca gazındaki daha sıkı ağır metal konsantrasyonu sınır değerleri ve ek yakıcı ile birlikte belirtilen hükümler, TbAKY'nin gelecekte yapılacak düzenlemelerinde dikkate alınmalıdır (http-3).

### 2.1.1.2. Atıkların düzenli depolanması

Son yasal düzenlemelere göre, Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ve atıkların düzenli depolanmasına dair 99/31/EC nolu Direktif arasındaki başlıca farklılık, enfekte atıkların hiçbir şekilde depolanmaması gerektiğidir.

İki mevzuatta da, düzenli depolama alanları için yeraltı su seviyesine (yss) olan minimum uzaklık gibi benzer yerleşim koşulları vardır. Özellikle, sahanın jeolojik ve hidrojeolojik durumu, yüzeysel sulara, su kanallarına vb. olduğu gibi yerleşim ve rekreasyon alanlarına da yakınlığı ile ilgili gereklilikler üzerine yoğunlaşmaktadır.

99/31/EC nolu Direktif'te belirtilen depolama sahasının özellikleri daha sıkıdır (2.5 metreye karşılık 5 metre mineral tabaka kalınlığı). Ayrıca Avrupa mevzuatında belirtilen drenaj tabakasının kalınlığı da daha fazladır (0.3 metreye karşılık 0.5 metre).

Depolama sahasının üst örtüsüyle ilgili iki mevzuatta da yapay ve mineral bir tabakanın kullanılması (1 metre kalınlığında üst örtü) öngörülmekte, TbAKY'de yapay ve mineral örtünün kalınlığı belirtilirken, Avrupa Direktifi'nde böyle bir belirleme bulunmamaktadır.

Son Direktif'te bulunan fakat TbAKY'de bulunmayan diğer hükümler şu şekildedir:

- Üst örtü için bir drenaj sisteminin döşenmesi,
- Gürültü, trafik, kuşlar, haşere ve böcekler, aerosoller, yangınlar, koku emisyonları ve toz v.b. nedenlerden kaynaklanan zararlı etkileri en aza indirmek için ölçümler,
- Sahaya girişleri engellemek için bariyerler,
- Atıkların kabulünde takip edilecek olan kabul kriter ve yöntemleri için kılavuzlar (TbAKY, atık beyan formunda verilen atık tanımının doğruluğunu onaylamak için alınan atığın kontrolünü öngörmektedir),

- İşletme ve kapatma sonrası yapılacak kontrol ve izleme prosedürleri

TbAKY, gelen atığın ve depolama sahasının kontrolünden sadece yetkili bir şirketin sorumlu olmasını öngörmekte, aynı zamanda oluşan sızıntı suyunun miktarını ve özelliklerini, işletmenin ilk gününden başlayıp sahanın kapatılmasından sonraki 10 yıla kadar test edilmesini gerektirmektedir. 99/31/EC nolu Direktif'e göre; Depolama sahasının kurulduğu alanın meteorolojisi ( yağış hacmi, sıcaklık, buharlaşma, nem, vb. ), sızıntı suyu (miktar ve özellik), yüzey suyu (miktar ve özellik), yeraltı suyu (seviye ve bileşim), sahanın topografyası, depolama sahası için alınması gereken izin içeriği, atık depolamanın maliyeti verilerin toplanması gerekmektedir:

Depolama sahası için izin başvuruları; başvuru adı, bertaraf edilecek atığın türü ve miktarı, önerilen işletim, monitorlama ve kapatma ve kapatma sonrası prosedürleri kapsayan kontrol planı gibi özellikleri içerir.

Dökümantasyonun kontrolü ve görsel denetim gibi atık kabul prosedürleri, iki mevzuat tarafından da kapsamaktadır. Fakat Avrupa mevzuatı, gerektiğinde, atığın orijini, miktarı ve ulaşma tarihi hakkında bilgilerin güncelleştirilerek, kayıtlara geçirilmesinin yanında atığın örneklenmesini ve analizini de öngörmektedir (<http-3>).

### **2.1.1.3. Kurumsal yapıların gözden geçirilmesi**

Avrupa Birliği mevzuatına göre eksikliklerin giderilmesi ve aktivitelerle bağlantının kurulması için, genel katı atık yönetimi ve dolayısıyla tıbbi atık yönetiminin kurumsal yapısında değişiklikler yapılmalıdır.

Güvenilir ve başarılı bir tıbbi atık yönetimi için mevcut durumun değerlendirilmesi gerekmektedir. Tıbbi atıklar, Türkiye için bir sorun teşkil etmektedir. Bu atıklar, evsel atıklarla birlikte toplanmakta ve vahşi depolama alanlarında beraber depolanmaktadırlar. Bu durum, birçok sağlık ve çevre problemlerine neden olmasına ve Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ni yayınlamasının üzerinden yıllar geçmesine rağmen çözülmemiştir. Çevresel duyarlılığın ve medya baskısının artmasıyla, en azından

büyük şehirlerde atıkların yönetmeliğe göre işlenmesi için çalışmalar başlatılmıştır.

Günümüzde kurumlardaki geri dönüşebilir ve evsel atıklar sırasıyla siyah ve mavi renkli torbalarda toplanırken, tıbbi atıklar, 150 mikron kalınlığında, üzerinde uluslararası “tıbbi atık logo”su ve “DİKKAT-Tıbbi Atık”ibaresi olan kırmızı torbalarda toplanmaktadır. Kesici aletler, metal kutulara (dolduğu zaman) koyulmadan önce bir çözelti içinde dezenfekte edilmeli ve kırıldıktan sonra, bu kutular enfekte atıklarla birlikte bertaraf/insinere edilecekleri kırmızı torbalara yerleştirilmelidir. Ne yazık ki sağlık kuruluşları çalışanları, atıkların ayrı olarak toplanacağı torbaların rengine dikkat etmemekte bu nedenle enfekte atıklar, evsel atıklar ve geri dönüşebilir atıklar renk kodu sistemi umursanmaksızın farklı renkteki torbalarda toplanmaktadır. Kesici aletler, kırılmadan veya dezenfekte edilmeden, cam veya plastik şişelere konulmakta ya da doğrudan çöp kovalarına atılıp sonra kırmızı torbalara alınmaktadır. Çoğu zaman bu durum, torbalarda deliklere ve torba içeriğinin bu deliklerden dışarı çıkmasına neden olmaktadır. Daha sonra kırmızı torbalar sıkıca bağlanmalı, geçici depolama odalarına tekerlekli arabalarla ya da konteynerle taşınmalıdır. Atıklarla ilgilenen kişiler özel elbise, ayakkabı vb. giymelidir. Ne yazık ki bir çok kuruluştta, bu torbalar, çalışanların, hastaların, ziyaretçilerin kullandığı asansörlerle ve normal günlük giysilerle elle toplanmaktadır (bu kişiler denetim yapılacağına dair bir bilgi aldıkları zaman özel elbiselerini, eldivenlerini ve ayakkabılarını giymektedirler).Yönetmeliklere göre, geçici depolama alanları, arazi bahçesinde insanların günlük trafiğinden uzakta konumlandırılmalıdır. Fakat bu gereklilik, sağlık kuruluşlarının çoğunda uygulanmamaktadır. Bazı sağlık kuruluşlarındaki geçici depolama alanları, halen hastane bahçesinde, insanların ve araçların yoğun olarak bulunduğu, atık toplama araçlarının rahatça giremeyeceği ve atıkların kolayca birikebileceği yerlerde bulunmaktadır. Bazı kuruluşların geçici depolama odaları hastane içinde bazen de mutfaktadır.

Bazı kuruluşlar bu atıkları taşımak için özel şirketlerle anlaşma yapmışlardır. Kuruluşlarda da özel şirketlerde de atıklarla ilgilenen kişiler eğitimsizdir. Bu nedenle bu kişilerin yoğun bir eğitime ihtiyaçları vardır.

Geçici depolama odalarının yapısı, standartlara uymamaktadır. Depolama odası, birisi evsel atıkların depolandığı diğeri ise enfekte atıkların depolandığı iki odadan oluşmalıdır. Enfekte atık odası, kuru temizleme sistemine sahip olmalıdır. Kaza ile dökülmüş sıvı atık, görünür toz ile absorbe edilmeli ve kirlenmiş toz, enfekte atıklarla beraber kırmızı torbaya konulmalıdır. Su, ancak başka temizleme alternatifi yoksa kullanılmalıdır. Daha sonra oluşacak olan atık su, çelik bir tankta toplanmalı ve şehrin tehlikeli atık su arıtma tesisine transfer edilmelidir. Fakat, kuruluşların çoğunun geçici depolama odaları su ile temizlenmekte ve oluşan atık su, şehir kanalizasyon sistemine deşarj edilmektedir. Bu depolama odalarının temizliği ve dezenfeksiyonu rutin olarak yapılmamaktadır.

Depolama odasının kapısı her zaman kapalı tutulmalı ve sadece yetkili insanlar bu odaya girmelidir. Kapıda, odada tıbbi atıkların depolandığına dair bir ibare bulunmalıdır. Fakat bu işlem düzgün olarak uygulanmamaktadır. Çoğu kuruluşta kapı açık bırakılmaktadır. Aynı zamanda bu odalarda, yönetmelik tarafından öngörülmesine rağmen havalandırma ve soğutma sistemi yoktur.

Bazı sağlık kuruluşları geçici depolama odası inşa etmemekte bunun yerine enfekte atık torbalarını depolamak için büyük konteynerler kullanmaktadır. Bu konteynerler, çoğu zaman yaya ve araç trafiğinin yoğun olarak bulunduğu yerlerde konumlandırılmaktadır. Genelde bu konteynerlerin kapakları açık olarak bırakıldığı için yayalar her tür atığı bunların içine atmakta ve böylece evsel, enfekte ve geri dönüşebilir atıklar bir karışım olarak depolanmaktadır.

Arıtma tesisinin işletilmesine dair en önemli nokta, enfekte atıkların ne transfer istasyonlarında ne de tesis arazisinde bekletilmiyor olmasıdır. İlk bakışta atıkların akışı, üretimden nihai bertarafa/arıtıma kadar mantıklı olarak görülse de, uygulamada düzenli ve etkin yapılmamakta, bu nedenle iyileştirilmesi gerekmektedir (http-3).

#### **2.1.1.4. Yönetimsel ve finansal sorunlar**

Sağlık kuruluşlarının tümünde, üst yönetim, hastane yöneticisi, baş hemşire vb. konunun önemine dair yetersiz bilgiye sahip olmaları ve de ilgisizlikleri nedeni ile tıbbi atıklar konusuna gereken önemi vermemektedirler.

Onlara göre tıbbi atık konusu onların esas görevi değildir. Sağlık kuruluşlarının çoğunda, tıbbi atıkların yönetiminden sorumlu bir kişi bulunmamaktadır.

Çoğu zaman, hastanelerde atıklardan sorumlu kişiler yasal gerekliliklerin farkında değildir. Üst yönetim de işlemlerden sorumlu yetkili kişilerin olmaması nedeniyle yasal dökümanları kendi uygulamalarına uyarlamamaktadır. Bu durum özellikle pek çok bölümün bulunduğu üniversite hastanelerinde gözlenmektedir.

Sağlık kuruluşlarının çoğunda atık toplama işi özelleştirilmiştir. Bu nedenle ne hastane yönetimi ne de belediye tarafından sıkı bir kontrol yapılmamaktadır. Bu işlemler, uygun olmayan kırmızı plastik torbalarla (150 mikrondan ince) en ucuz şekilde, eğitimsiz kişilerce yapılmaktadır.

TbAKY kuruluşların tıbbi atık işlemlerini nasıl finanse edeceklerini belirtmemiştir. Özellikle devlet hastaneleri, yeterli bütçeye ve bu hizmetler için görevlendirilecek çalışanlara sahip değildir.

Tıbbi atıkların depolanmasından kaynaklanan başlıca problemler ise şöyledir:

- Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan farklı atık türlerinin miktarına dair güvenilir bir bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle plan yapılması, geliştirilmesi ve uygun atık yönetim stratejilerinin uygulanması mümkün değildir.
- Sağlık kuruluşlarının çoğunda, yetkili kişilerin ve hastane yönetiminin bu konuda bir eğitimleri olmadığı için, atıkların ayrı toplanması ve taşınması konusunda duyarlı değildirler. Çok sayıda sağlık kuruluşu bilgisiz olunması ve yeterli bütçenin olmaması nedeniyle farklı türdeki atıklar için uygun torbalara ve konteynerlere sahip değildir.
- Ayrı olarak toplanması, depolanması ve taşınması gereken tıbbi atıkları da içeren atıklar aynı torbada/konteynerde toplanmakta ve atık toplama araçları gelene kadar birlikte depolanmaktadırlar. Bu bekleme süresi bazen bir haftayı bulmaktadır.
- Sağlık kuruluşlarının çoğunda farklı atık türlerine uygun renk kodlaması ve gerekli işaretlendirme yapılmamaktadır. Yanlış uygulamalar bunların çoğunda görülmektedir. Hasta bekleme odaları, ofisler, mutfak ve hastane koridorlarındaki çöp kutularına mavi torbalar yerine kırmızı torbalar geçirilmektedir. Diğer yandan bazı laboratuvarlardaki ve hasta muayene

odalarındaki konteynerlere de mavi torba geçirilmektedir. Böylece evsel, enfekte ve geri dönüşebilir tüm atıklar vb. aynı torbalarda toplanmaktadır (http-3).

#### **2.1.1.5. Tıbbi atıkların ayrı toplanmasındaki yanlış uygulamalar**

Kesici aletlerin, delinmeye karşı dayanıklı konteynerlerde toplanması gerekmesine rağmen (karton, plastik veya metal ), kullanılan kesiciler, enjektörler, iğneler, vb. özel sarı kutularda toplanmadan doğrudan kırmızı torbalara atılmaktadır. Yönetmelikte kesici aletlerin kutularda depolanmadan önce kırılması/deforme edilmesi gerektiği belirtilmesine rağmen gerekli malzemenin olmaması nedeni ile bu işlem hiçbir kuruluşta uygulanmamaktadır. Kesici aletlerin konulduğu sarı kutular nihai bertaraf için diğer tıbbi atıklarla birlikte kırmızı torbalara yerleştirilmelidir. Hastanelerin çoğu bütçe azlığından dolayı bunları tekrar tekrar kullanmaktadır. Birçok sağlık kurumunda, sarı kesici alet kutuları, ağızları sıkıca bağlanmadan kırmızı tıbbi atık torbalarına yerleştirilir, bu da torbaların delinmesine neden olmaktadır. Bazı durumlarda, enjektörler cam serum şişelerinin içine konulur. Bu şişeler insinerasyon tesisine zarar verebilir (http-3).

### 3. TIBBİ ATIKLARDAN KAYNAKLANAN RİSKLER

Ülkemizde hastanelerden ve benzeri kuruluşlardan kaynaklanan katı atıklar halk sağlığı açısından büyük tehlike oluşturmaktadır. Gelişigüzel bir şekilde depolama sahalarına atılan söz konusu atıklar pek çok hastalığın yayılmasına neden olmakta, başta enfeksiyon hastalıkları olmak üzere insanlara ve çevreye zarar verebilmektedir. Ayrıca bir hastane bahçesinde veya civarında insan vücudu parçalarının görülmesi, bunları kedi, köpek ve farelerin yemesi, bunların bulunduğu kapları insanların karıştırması, bunlara konan sineklerin etrafa yayılarak kirliliği dağıtması gibi olaylar, üzerinde durulması gereken önemli tehlikelerdir (Atasoy 1997).

Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan tıbbi atıklar, yerleşim merkezlerimiz için de önemli bir çevre sorunu oluşturmaktadır. Bir gün boyunca hastane içinde yer alan çeşitli işlemler, insan dolaşımı, kişi ve eşya temasları, çevredeki yüzeyler üzerinde bakteri birikimine yol açar. Buna, kötü havalandırma nedeniyle havada asılı kalan toz parçacıkları ve damlacıklar da eklenince, hava, temas ve eşya ile enfeksiyon oluşumu çok kolay ve yaygın hale gelir. Hastanede yatan, vücut direnci azalmış, her türlü çevresel etkiye karşı duyarlılığı artmış kişilerin dışkı, idrar, balgam gibi çeşitli vücut salgılarında pek çok zararlı etken bulunabildiği gibi tedaviler için kullanılan kimyasal ve radyoaktif maddelerin de çevre için çeşitli sakıncaları söz konusudur. Bu nedenle, tıbbi atıkların herhangi bir konut ya da kuruluşa kıyasla yaşamsal önemi daha fazladır. Öte yandan bir sanayi kuruluşunun inşası için yerleşim alanlarından uzak sanayi bölgeleri oluşturulurken, hastanelerin insanların kolayca ulaşabilmeleri amacıyla yerleşim alanlarının ortasında açılmış olması konunun önemini daha da arttırmaktadır (Atasoy 1997).

Tıbbi atıklar içerisinde oldukça önemli bir yüzdeye sahip olan enjektörler, canlı bir vücuttan sıvı almaya veya vücuda herhangi bir sıvıyı şırınga etmeye yarayan tıbbi aletlerdir. Kullanılıp atılan türdeki plastik enjektörlerin yapımında kullanılan malzeme polipropilendir. Bu maddenin zararsız olduğu iddia edilmekle birlikte enjektör içerisine pH'ı farklı sıvılar konulup bir süre bekletildiklerinde sonucun ne olacağı, henüz tam olarak saptanamamıştır. Ayrıca enjektörün sadece

gövdesi polipropilen olup, pistonu polietilen olanları da vardır. Pistonun ucundaki conta ise kauçuktan yapılmıştır ki bunun da insan sağlığına etkisi kesinlik kazanmış değildir. Kullanılıp atılan enjektörler için bazı ülkelerde kullanma talimatı olarak insineratörde yakma zorunluluğu konmuşken, ülkemizde, plastik enjektörler çöpe atılmakta, bunlar da çevreye dağılmaktadır (Atasoy 1997).

Tıbbi atıkların neden olabileceği risklerden en fazla etkilenen gruplar;

- Sağlık kuruluşlarındaki hastalar ve personel,
- Çamaşırhaneler, atık bertaraf sistemlerinde çalışan personel ve
- Ev dializi gibi evde bakım veya ilkyardım yapan personel,

şeklindedir (Atasoy 1997).

Özellikle, sağlık hizmetleri kuruluşlarında veya bunlarla ortak çalışan tüm personelin sağlığı ciddi anlamda risk altında olduğundan, bu risklere karşı bilinçli olmalarının sağlanması ve önleyici önlemler ve bertaraf işlemleri konusunda eğitilmeleri gereklidir. Sağlık personeliyle ilgili riskleri detaylandırmak gerekirse;

- Dializ ünitelerindeki hastalardan kan bulaşmış nesnelere içeren atığı eline alan personel, hepatit B'nin geçmesine karşı korunmalıdır. Bu atığın ayrılması, toplanması ve bertarafı için özel düzenlemeler gereklidir. Tanı durumu kesin olmayan hastaların bakımında son derece dikkatli olmak gerekir.
- Güvenli biçimde paketlenmemiş şırıngalar ve iğneleri içeren atıktaki kesicilerden dolayı bakıcı personel, yemek servisi yapanlar ve hizmetliler risk altında olabilirler.
- Yeterince serin tutulmamış patolojik atıklar özellikle de taşıma ve depolama torbaları delik veya yırtık ise, atığın bertarafı veya yakılması ile uğraşan personel tehlike altında kalabilir.
- Eczane personeli, farmasötikler veya çözücülerle kirlenmiş aerosollerden solunum veya deri yoluyla etkilenerek risk altında kalabilir.
- Bakım-onarım personelinin gaz kaçaqları veya fosseptikteki tıkanıklıklar veya sızıntılar nedeniyle, tehlike yaratan çözücülerle temas etmeleri halinde tehlike altında kalmaları söz konusu olabilir

(tıkanmış kanalizasyonlardan kaçan H<sub>2</sub>S'den etkilenme çok bilinen bir tehlikedir) (Atasoy 1997).

Tıbbi atıklarla birlikte ortaya çıkan mesleki sağlık risklerini en aza indirmek için;

- Tehlikeli açık kimyasal maddeler yerine güvenli veya daha az tehlikeli olanlarının kullanılması (kimyasalların MSDS formları yararlı olabilir),
- Buharlaşılabilen veya bir arada olması tehlike içeren maddelerin birbirinden ayrı ve kapalı depolarda depolanması,
- Belirlenen mesleki hijyen ilkeleriyle uyum içerisinde, uygun deşarjin sağlanmasının zorunlu kılınması
- Atık bertarafının değişik aşamalarında çalışan işçiler için dezenfekte edilmiş ve koruma önlemlerinin alındığı (maskeler de içinde) uygun koruyucu giysilerin sağlanması,
- Atığın ön-sınıflaması ve ayrımının gerekli olduğu yerde renkli kodlu- ve amblemli- etiketlerin ve kapların kullanımının zorunlu kılınması (renkler ve amblemler bunları kullanan kuruluşa her bakımdan uygun olmalıdır)

gibi önlemler alınabilir (Atasoy 1997).

Dünyada, tıbbi atıkların normal evsel atıklarla birlikte toplanması ve katı atıkların içinde tehlikeli tıbbi atıkların varlığının doğurduğu somut bir olay Brezilya'da meydana gelmiş, yeniden kullanım amacıyla çöplükte madeni eşya toplayan çocukların eline eski bir radyasyon terapisi cihazı geçmiş ve makinenin parçalarının ayrılması işlemi sırasında, içinden etrafa yayılan radyoaktif sezyum-137, 100'den fazla insanı hastanelik edip, 4 kişinin de ölümüne neden olmuştur (Atasoy 1997).

### **3.1. Tıbbi Atıkların Çevresel Etkileri**

Tüm dünyada tıbbi atıkların bertarafında sıkça başvurulan bir seçenek olan yakma sistemlerinin de pek çok olumsuz etkisi vardır. Ancak, yapılan literatür taramasında tıbbi atık yakma tesislerinin çevresel etkisiyle ilgili çalışmaların son

derece sınırlı olduğu gözlemlendiğinden, bu bölümde genel olarak atık yakma tesislerinin çevresel etkilerinden bahsedilmiştir.

Tıbbi atıkların, hastalar ve personele yönelik sağlık risklerinin yanı sıra, çevre üzerindeki etkileri de üzerinde önemle durulması gereken bir konudur. Özellikle, estetik etmenler içinde, halk üzerindeki olası etkilere ve hava, su ve toprak kirliliği risklerine dikkat edilmelidir. Bu dışsal sağlık ve çevre risklerini en aza indirmek için, kirleticilerin kaynağında azaltılması gereklidir. Bu amaçla atık, hastane içerisinde ayrılıp bir araya toplanmalı ve en uygun şekilde bertaraf işlemi gerçekleştirilmelidir (Atasoy 1997).

Ülkemizde tıbbi atıkların katı atık depolama alanlarına gelişigüzel bir şekilde dökülüp kendi hallerinde bırakılmaları ve hatta bazı kentlerde denize atılmaları gibi ilkel uygulamalar, estetik kirlenmenin ötesinde pek çok sakınca taşımaktadır. Düzensiz bir şekilde dökülen tıbbi atıkların hastalık yapıcı ve taşıyıcı canlılar için çok müsait bir üreme ortamı oluşturduğu atıklardan kontrolsüz bir şekilde yayılan tozlar ile yeraltına sızan sızıntı suyunun ciddi bir tehlike yarattığı bilinmektedir (Atasoy 1997).

Tıbbi atıkların doğrudan ve dolaylı sağlık etkileri; kansere yol açan etkiler, üreme sistemi hasarları, solunum yolu etkileri, merkezi sinir sistemi hasarları ve diğerleridir. Son zamanlarda, birçok gelişmiş ülke tıbbi atıkların yönetimini yasal yollarla denetlemektedirler. Uygunsuz atık depolanması, potansiyel halk sağlığı riski ve çevre yükünü arttırıcı bir etmendir.

Tıbbi atıkların çevresel etkileri ile ilgili bir olay 1987 yılının yazında ABD'de New Jersey'de meydana gelmiş, denize atılmış bazı çöpler 100 kilometrelik bir kumsala vurmuştur. Ancak tatil yapanları dehşete düşüren şey bu kez, karpuz kabuğu ve teneke kutular gibi basit çöpler değil, bu çöplerin içindeki serum şişeleri, enjektörler ve kirli sargı bezleridir. 1988 yazında ABD'nin kuzeydoğu kıyıları boyunca yinelenen bu olay, yılda yaklaşık 6 milyon kişiyi kıyılara çeken turizm ekonomisi hacminin 2.5 milyona düşmesine neden olmuştur (Rutala ve Weber 1991).

Esasen, tıbbi atıkların katı atık depolama sahasına gönderilmeden önce kaynakta giderilmeleri veya azaltılmaları gereklidir (Bkz. Bölüm 4). Katı formdaki tıbbi atıklar dışında sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıksular için de

çeşitli önlemler alınmalıdır. Eğer bir hastane, belediye atık su arıtım tesisine bağlı değilse, uygun bir yerde arıtımını gerçekleştirmeli ve buradan çıkacak olan çamur, evsel atık çamurunda olduğu gibi aynı işlemlerden geçirilmelidir.

Hastanelerde kullanılan kimyasallar da kanalizasyondan geçerek alıcı ortama karışan gizli kirlilik kaynaklarıdır. Etkin bir atık yönetim programının geliştirilmesinden önce yerinde kimyasal atık araştırması yapılmalı, kimyasal atıklar uygun şekilde bertaraf edilmeli ve çevresel etkileri en aza indirilmelidir.

Sağlık kuruluşlarında yoğun bir şekilde yararlanılan dezenfektanların kullanımı optimum olmalı, hastane mutfaklarından çıkan yiyecek atıkları çöp öğütücüler ile öğütülüp kanalizasyon sistemine verilmelidir. Karantina koşullarında hastalardan doğan dışkılar ve idrar da kanalizasyona verilmeden önce dezenfekte edilmelidir (Atasoy 1997).

### **3.2. Tıbbi Atıklardan Kaynaklanan Risklerle İlgili Yapılan Çalışmalar**

Evsel ve tıbbi atıklarla ilişkili epidemiyolojik çalışmaların çoğu A.B.D.'de yapılmış olup, araştırmalar ilginç bir şekilde (Garner & Favero 1985) (bakınız Collins ve Kennedy 1992) tıbbi atığın evsel atıktan daha enfeksiyon yapıcı olduğuna dair herhangi bir epidemiyolojik kanıtın olmadığını göstermiştir. Tıbbi atıkların neden olduğu çoğu yaralanmalar ve bazı enfeksiyonların, atığın elle teması sırasında iğneler tarafından oluştuğu ortaya çıkmıştır (Belani ve ark. 1984, Collins ve Kennedy 1987, Jagger ve ark. 1988, Anon 1990b, Sarri ve ark. 1991, Anon 1991b) (bakınız Collins ve Kennedy 1992).

Bununla birlikte atığın depolandığı, atıldığı ya da yakıldığı yerlerde havadaki endoksin üreticilerinin varlığı endişe vericidir. Nitekim, gram negatif endoksin üreticilerine maruz kalan kompost üretiminde çalışanlar arasında üst solunum yolu ve bağırsak semptomlarına yol açan hastalıklar tanımlanmıştır (Lundholm ve Rylanger 1980) (bakınız Collins ve Kennedy 1992).

Salkin ve Kennedy (2001)'nin yapmış oldukları araştırmaya göre, evsel atıkların, sağlık açısından daha tehlikeli olduğu düşünülen tıbbi atıklardan daha fazla sayıda mikroorganizma içerdiği tespit edilmiştir. Ancak, her iki tip atıkta da, mevcut enfeksiyonlu hastalardan kaynaklanan mikroorganizmaların çoğu deri,

bağırsak ve solunum sistemleri gibi üzerindeki çok büyük sayılardaki mikroorganizmaları besleyen insan vücudunun normal florasının bir parçasıdır. Cimino& Mamtami (1987) (bakınız Collins ve Kennedy 1992) evsel katı atık mikrobiyal florasının insan üst solunum sistemi ile benzer olduğunu vurgulamıştır. Bunların birkaçı, düşünülenin tam tersine, sağlıklı insanlarda enfeksiyonlara neden olur. Bunların çoğu aynı zamanda evlerden atılan kutular kadar, içilebilir suda, yiyeceklerde, sütte, sebzelerde ve meyvede büyük miktarlarda mevcuttur. Hatta Taylor (1988) (bakınız Collins ve Kennedy 1992) tıbbi atıkların mutfak bezlerinden bile daha tehlikeli olmadığını belirtmiştir.

Bertaraf öncesi ve sonrası evsel ve tıbbi atıkların mikrobiyal içerikleri ve evsel atıklarla karşılaştırılmalarına dair çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Althaus ve ark. (1983) tarafından yapılan bir çalışmada, (bakınız Collins ve Kennedy 1992) 21 evsel katı atık depolama sahası ve 264 hastane bölgesi incelenmiş olup, evsel atıkların tıbbi atıklardan daha fazla patojenler içerdiği bulunmuştur. Hatta, daha sonraları bazı örneklerde hiç mikroorganizmaya rastlanılmamıştır. Tıbbi atıklarda 21 adet patojen bakteri ve mantarlar tespit edilmiş, ancak bunların 12'sinin evsel atıklarda da mevcut olduğu belirlenmiştir. Virüsler için de testler negatiftir. Hastane atıklarında spesifik patojenlerin evsel atıklardan daha az sayıda bulunması ve evsel atık sahalarına gönderilen hastane atıklarının hijyen terimine uygun olup olmadığı tartışma konusudur.

Aynı yıllarda Kalnowski ve ark (1983) (bakınız Collins ve Kennedy 1992) cerrahi, yoğun bakım üniteleri, çocuk bölümünden çıkan ve evsel tipteki atıkları incelemişler ve tıbbi atıkların evsel atıklardan daha fazla kirletici olmadıklarını bulmuşlardır. Bu çalışmaya göre, evsel atığın, hastane atıklarından daha fazla bağırsaklara ait bakterileri (koliformlar) içerdiği ve tıbbi atıkların farklı tiplerindeki bakteri yükünün evsel atıktan 10 ile 100 000 kez daha az olduğu tespit edilmiştir.

Çeşitli bakteri ve mantarlar için Trost & Filip (1985a) (bakınız Collins ve Kennedy 1992), dermatolojik, kulak burun boğaz, hayvan hastalıkları ile ilgili, diş ve genel doktor odalarından çıkan atıkları incelemişlerdir. Fekal koliformlar, fekal streptococci ve anaerobik sporlu bakteriler, indikatör organizma olarak kullanılmış ve aynı zamanda pseudomonaslar, *Staphylococcus aureus* ve

salmonellalar incelenmiştir. Bakterilerin en yüksek sayıları, hayvan hastalıkları ile ilgili yerden alınan atıkta bulunmuştur. Muayene odalarından alınan örneklerde, evsel atıklardan daha az bakteri sayısı olduğu belirlenmiş ancak, fekal indikatör bakteri sayısının daha fazla olduğu görülmüştür.

Tıbbi atık bakteri içeriği Mose & Reinthaler (1985) (bakınız Collins ve Kennedy 1992) tarafından atık depolama sahası ile karşılaştırılmış, tıbbi atıkta daha geniş aralıkta ancak daha fazla sayıda bakteri olduğu, özellikle fekal bakterilerin evsel atıkta benzer miktarlarda bulunduğu görülmüştür. Hemen hemen tıbbi atığın üçte biri, çalışma koşulları altında hiç bakteri gelişimi göstermemiştir. Ancak, önemli bir gözlem, kanlı atık ve serum örneklerinin % 2'si radyoimmunoassay (radio-immunoassay) yöntemlerle test edildiğinde hepatit virüsler için pozitifdir.

Peterson (1971) (bakınız Collins ve Kennedy 1992) tarafından evsel atık, sadece patojenik mikroorganizmalar için araştırılmış evsel katı atığın yakıldığı 8 insineratör sahasında yapılan çalışmada gram başına canlı organizma sayısının  $4,0 \times 10^8$  ile  $6,8 \times 10^8$  arasında, toplam koliform sayısının  $3,4 \times 10^5$  ile  $5,1 \times 10^7$  arasında, fekal koliform sayısının ise  $1,5 \times 10^4$  ile  $8,1 \times 10^6$  arasında değiştiği bulunmuştur. Çizelge 3.1'de evsel ve tıbbi atıklarda bulunan patojenler ve diğer mikroorganizmalar verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Evsel ve tıbbi atıklarda bulunan patojenler ve diğer bazı organizmalar (Collins ve Kennedy 1992)

Patojenler	Diğer organizmalar
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	<i>Alkaligenes</i> spp.
<i>Aspergillus</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.
<i>Bacteroides melanogenicum</i>	<i>Clostridium</i> spp.
<i>Candida</i> spp.	<i>Citrobacter</i> spp.
<i>Escherichia coli</i>	Coliforms
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Enterobacter</i> spp.
<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Enterococcus</i> spp.
<i>Proteus</i> spp.	<i>Hafnia</i> spp.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Staphylococcus</i> spp.
<i>Salmonella serotypes</i>	Mayalar ve küçük mantarlar
<i>Serratia marcescens</i>	
<i>Staphylococcus aureus</i>	
<i>Streptococcus pyogenes</i>	
<i>Yersinia enterocolitica</i>	

Tıbbi atıkların depolama sahalarındaki risklerini belirlemek üzere Trost ve Filip (1985b) (bakınız Collins ve Kennedy 1992) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, tıbbi ve evsel atıkların 1:10 oranında karıştırıldığı bir model depolama sahası oluşturulmuş, oksijenli bakterilerin ve mantarların sayısının ilk 6 haftada ve 23 hafta sonra azaldığı ve indikatör bakterilerin (koliform basiller) tamamen kaybolduğu gözlemlenmiştir. *Pseudomonas aeruginosa* geçici olarak hızla artmıştır.

Rutala ve Mayhall (1992) yapmış oldukları araştırmada, herhangi bir tıbbi atık arıtım yöntemiyle ilişkilendirilebilecek bir enfeksiyon riski tespit etmemişlerdir. A.B.D. hastanelerinin yaklaşık üçte biri mikrobiyal atıklarını buhar sterilizasyonuna tabi tutarken, yine hastanelerin yaklaşık dörtte biri sıvı haldeki kanı kanalizasyon sistemine vermektedir. Kontrolsüz tıbbi atık, düzenli depolama alanına gönderilmektedir. Çalışmalara göre, bu arıtım ya da bertaraf prosedürlerinden hiçbiri sağlık tehlikesi göstermemektedir. Örneğin, uygun şekilde işletilen insineratörler steril kül oluşturmaktadırlar. Baca emisyonları ile dış ortamdaki hava bakterileri arasında hiç fark tespit edilmemiş ve *Bacillus subtilis* atıkla karıştırıldığı zaman bakteriler pasif hale gelmişlerdir. Birçok eyalet, kontrollü tıbbi atığın düzenli depolama sahasında bertarafını önlerken, veriler, çalışanlarla bu atıkların temasını önleyecek prosedürlerin sağlanması durumunda, arıtılmamış tıbbi atıkların düzenli depolama sahasında güvenli bir şekilde bertaraf edilebileceğini göstermektedir. Depolama sahalarından tıbbi atıkların hariç tutulmasının nedeni, patojenik mikroorganizmaların düzenli depolanmış katı atıklara, sızıntı suyuna ve yer altı kaynaklarına bulaşmaları ve sızıntı ile kirlenmiş suların içilmesiyle insanlarda hastalıklara neden olabileceği olasılığıdır. Katı atık ve bunların sızıntı sularındaki patojenik mikroorganizmaların yaşamaları ve taşınmaları ile ilgili laboratuvar ve alan çalışmalarında, enterik virüslerin ve bakterilerin düzenli depolanmış katı atıklarda büyük oranda adsorblandıkları ve pasif hale geldikleri, sızıntı suyunda nispeten düşük düzeylerde buldukları ve tersine topraktan yer altı sularına doğru akmadıkları belirlenmiştir.

Rutala ve Mayhall (1992) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, evsel atığın insanlar üzerindeki patojenik potansiyelinin, tıbbi atıktan daha fazla olduğu ve dolayısıyla daha fazla (ort. 100 kat) mikroorganizma içerdiği belirlenmiştir.

Çalışmada daha önce yapılan araştırmalara da yer verilmiş ve Çizelge 3.2’de belirtildiği gibi evsel atıklar ile tıbbi atıkların bakteriyel derişimleri karşılaştırılmıştır. Hatta, birçok araştırmacının insanlar için tıbbi atıkların patojenik potansiyelin, evsel atıklardan 100 kat daha fazla olduğunu bulduklarını da çalışmalarında belirtmişlerdir. Araştırmadaki bir başka bulgu da, dünyadaki her sekiz çalışmadan birinin evsel atığın ortalama olarak tıbbi atıktan daha fazla mikrobiyal kirletici olduğunu gösterdiği yönündedir. Zira, evsel atık, çok sayıda mikroorganizma içeren köpek ve kedi dışkılarını, tek kullanımlık çocuk bezlerini ve çürümüş gıdaları içermektedir.

Kalnowski ve ark (1983) (bakınız Rutala ve Mayhall 1992) dünyada yapılan çalışmalara paralel bir çalışma gerçekleştirerek, cerrahi bölümlerden oluşan tıbbi atık örneklerinin ve evsel atığın mikrobiyal kirliliğini incelemişler ve evsel atığın ortalama olarak tıbbi atıktan 10 ile 100,000 kez daha fazla mikrobiyal kirletici olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, yaygın patojenler olan *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella* türleri, *Enterobacter* türleri, *Proteus* türler ve D grubu streptococci tıbbi atıktan daha çok evsel atıkta bulunmuştur.

Mose ve Reinthaler’in yaptığı çalışmada da (1985) (bakınız Rutala ve Mayhall 1992) özellikle fekal bakteriler açısından, evsel atıkların daha kirli olduklarını ve tüm tıbbi atığın yaklaşık üçte birinin bakteriyel kirlilik göstermediğini bulmuşlardır.

### 3.3. Tıbbi Atık Yakma Tesislerinin Çevresel Etkileri

Atık yakma tesisi atıklarının çevre kirliliği ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin araştırılması da hem sınırlı sayıda yapılmakta, hem de dioksin ve ağır metal konusunda odaklanmaktadır. Araştırmalar göstermektedir ki eski ve yeni bütün atık yakma tesisleri, yerel toprak ve bitki örtüsünü dioksin ve ağır metallerle kirletmektedir. Benzer bir şekilde, bazı Avrupa ülkelerinde bu tesislerin civarındaki çiftliklerden elde edilen inek sütlerinde, kabul edilebilir standart seviyenin üstüne çıkan artmış dioksin seviyelerine rastlanılmıştır (http-4).

Atık Yakma tesisleri civarında yaşayan halk, bu tesislerden kaynaklanan kimyasallara, bu maddeler ile kirletilmiş havayı soluyarak, kirletilmiş yerel tarım

**Çizelge 3.2.** Tıbbi atık ve evsel atıkların bakteriyel derişimlerinin karşılaştırılması (Aritmetik ortalama/gram) (Rutala ve Mayhall 1992)

Yazarlar	Bakteri grupları	Evsel atık	Uygulama servisleri	Ayakta tedavi servisi	Yoğun bakım servisi	Ameliyathane	Dahiliye servisi	Kadın Hastalıkları servisi	Laboratuvar
Althaus ve ark 1983	Aerobik bakteriler	7,2x10 <sup>6</sup>	I*1,1x10 <sup>6</sup> II 8,8x10 <sup>3</sup>	I 3,1x10 <sup>4</sup> II 2,2x10 <sup>4</sup>	I 5,7x10 <sup>5</sup>	I 3,3x10 <sup>7</sup> II 2,8x10 <sup>5</sup>	II 2,6x10 <sup>6</sup> III 2,0x10 <sup>6</sup>	I 4,3x10 <sup>4</sup> II 1,0x10 <sup>6</sup>	I 1,7x10 <sup>6</sup> II 5,3x10 <sup>6</sup>
	Koliform bakteriler	8,4x10 <sup>5</sup>	I 5,3x10 <sup>5</sup> II 1,1x10 <sup>2</sup>	I 5,7x10 <sup>2</sup> II 3,1x10 <sup>4</sup>	I 3,7x10 <sup>5</sup>	I 4,2x10 <sup>5</sup> II 1,9x10 <sup>4</sup>	II 9,4x10 <sup>4</sup> III 1,2x10 <sup>5</sup>	I 6,6x10 <sup>3</sup> II 1,8x10 <sup>6</sup>	I 8,2x10 <sup>6</sup> II 1,2x10 <sup>6</sup>
	<i>E.coli</i>	1,3x10 <sup>5</sup>	I 3,3x10 <sup>5</sup> II 1,2x10 <sup>1</sup>	I 1,6x10 <sup>0</sup> II 1,8x10 <sup>5</sup>	I 3,5x10 <sup>4</sup>	I 8,0x10 <sup>4</sup> II 2,4x10 <sup>4</sup>	II 5,6x10 <sup>4</sup> III 6,9x10 <sup>4</sup>	I 3,7x10 <sup>3</sup> II 3,1x10 <sup>5</sup>	I 5,6x10 <sup>5</sup> II 1,5x10 <sup>6</sup>
Kalnowski ve ark 1983	Aerobik bakteriler	6,1x10 <sup>9</sup>	2,3x10 <sup>4</sup>	ND†	2,2x10 <sup>6</sup>	3,4x10 <sup>8</sup>	ND	ND	ND
	Gram negatif bakteriler	6,0x10 <sup>7</sup>	5,8x10 <sup>3</sup>	ND	7,2x10 <sup>4</sup>	2,8x10 <sup>7</sup>	ND	ND	ND
	Streptokok grup D	1,0x10 <sup>7</sup>	0	ND	2,9x10 <sup>5</sup>	1,2x10 <sup>6</sup>	ND	ND	ND
	Fakültatif anaerobik bakteriler	9,6x10 <sup>6</sup>	1,7x10 <sup>3</sup>	ND	2,1x10 <sup>6</sup>	2,6x10 <sup>7</sup>	ND	ND	ND
Jager ve ark 1989	Toplam bakteriler	2,5x10 <sup>8</sup>	IV‡2,0x10 <sup>6</sup> V 5,0x10 <sup>5</sup>	ND	IV 3,5x10 <sup>5</sup> (S)** IV 7,1x10 <sup>5</sup> (M) V 1,4x10 <sup>6</sup> (S)	IV 1,1x10 <sup>7</sup> V 1,1x10 <sup>7</sup>	IV 2,8x10 <sup>6</sup> V 7,9x10 <sup>6</sup>	ND	ND
	Streptokok grup D	1,0x10 <sup>7</sup>	IV 4,0x10 <sup>3</sup> V 4,0x10 <sup>1</sup>	ND	IV 2,0x10 <sup>3</sup> (S) IV 4,0x10 <sup>4</sup> (M) V 1,6x10 <sup>4</sup> (S)	IV 6,3x10 <sup>5</sup> V 1,0x10 <sup>6</sup>	IV 2,0x10 <sup>5</sup> V 7,9x10 <sup>4</sup>	ND	ND
	Gram negatif basiller	7,9x10 <sup>7</sup>	IV 6,3x10 <sup>3</sup> V 2,5x10 <sup>3</sup>	ND	IV 2,0x10 <sup>3</sup> (S) IV 5,0x10 <sup>4</sup> (M) V 2,5x10 <sup>4</sup> (S)	IV 2,0x10 <sup>6</sup> V 1,3x10 <sup>6</sup>	IV 1,3x10 <sup>6</sup> V 1,3x10 <sup>6</sup>	ND	ND
	Zorunlu fakültatif anaerobik bakteriler	2,0x10 <sup>3</sup>	IV 4,0x10 <sup>1</sup> V 1,0x10 <sup>1</sup>	ND	IV 6,3x10 <sup>2</sup> (S) IV 5,0x10 <sup>2</sup> (M) V 1,6x10 <sup>3</sup> (S)	IV 1,6x10 <sup>2</sup> V 4,0x10 <sup>2</sup>	IV 2,5x10 <sup>2</sup> V 4,0x10 <sup>2</sup>	ND	ND

\* I, II, III= farklı hastaneler \* †= değer elde edilememiş  
\* ‡ IV= büyük hastane (1300 yataklı); V= küçük hastane (250 yataklı) \* S= Cerrahi; M= Tıbbi

ürünlerini (sebzeler, yumurta ve süt) tüketerek veya kirletilmiş toprakla ten yoluyla temas ederek maruz kalmaktadır.

İngiltere, İspanya ve Japonya'da atık yakma tesisleri civarındaki halkın dokularında, yüksek olasılıkla böylesi temaslar sonucu önemli oranda dioksinlere rastlanmıştır. Japonya'da evsel atıkların içersinde fazla miktarlarda PVC bulunan bir evsel atık yakma tesisinin etrafındaki toprakta tespit edilen yüksek dioksin konsantrasyonlarının tesis civarındaki nüfusta görünen kanser vakalarındaki artışlar ile "oldukça ilişkili" olduğu bulunmuştur.

Hollanda ve Almanya'da yapılan iki araştırmada ise atık yakma tesisleri civarında oturan halkın dokularında dioksin artışı tespit edilememiştir. Almanya'da bir tehlikeli atık yakma tesisi yakınındaki çocukların kan tahlillerinde bazı PCB'lerin arttığı veya artan sıklıkta bulunduğu anlaşılmıştır. Bir grup doktor, Almanya'daki bazı atık yakma tesislerinin yakınında yaşayan kadınların sütünde yüksek seviyelerde KOK'lar bulunduğunu rapor etmişlerdir.

ABD'de ise, organoklorlu pestisitler olan 2,4-D ve 2,4,5-T üretimi atıklarının yakıldığı bir atık yakma tesisi civarında yaşayan kişilerin kan lipidlerindeki dioksin seviyeleri değerlendirmiş ve üç yıllık süre sonunda deneklerin %60'dan fazlasında en toksik dioksin türevi olan 2,3,7,8-TCDD seviyesinin %25 oranında artmış olduğu tespit edilmiştir.

İspanya'daki modern bir atık yakma tesisinin yakınındaki çocuklarda yapılan bir araştırma, çocukların idrarında zehirli madde ile teması işaret eden yüksek idrar thioeterleri bulgulanmıştır. İspanya'da yetkililer, iki yılı aşkın bir süre içinde evsel atıkların yakıldığı bir atık yakma tesisinin yakınında yaşayan kişilerin kan lipidlerindeki dioksin seviyelerinin %10-15 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Buna ilaveten, kan lipidlerindeki PCB seviyeleri %5 oranında artış göstermiştir.

FAO tarafından koordine edilmekte olan bir programda, gelişmiş ülkelerdeki tarihi geçmiş pestisitler Avrupa'daki atık yakma tesislerinde yakılmaktadır. Bu tesislerden birisi olan ve PCB'lerin ve diğer atıkların yakıldığı İngiltere'deki Rechem tesisinde yapılan çalışmalarda, havada, toprakta ve civardaki gıdalarda yüksek dioksin seviyelerine rastlanmıştır. Ördeklerin yumurtaları, sınır seviyeden 4,7 kat, tavukların yumurtaları ise 20 kat daha fazla dioksin ihtiva etmektedir. Yine tesis civarındaki bir evin etrafındaki havada sınır

değerden 3,5 kat, toprakta ise 3 kat daha fazla dioksin tespit edilmiş, aynı bölgede yetişen elmalarda ise atık yakma tesisinden taşınmış olan dioksin seviyeleri sınır seviyenin 2,3 katı bulunmuştur. Bilim adamları aynı bölgede yaşayan insanlarda, sütlerden 2,4 kat, patateslerden 1,3 kat ve topraktan 3,2 kat daha fazla dioksin saptamışlardır.

Finlandiya'da, yerel halkın saç dokularındaki cıva miktarının, olasılıkla atık yakma tesislerinden kaynaklandığı görülmüştür.

Atık yakma tesislerinde çalışanlar ve civarında oturanlar üzerinde yapılan araştırmalarda, geniş çaplı sağlık problemleri saptanmıştır. Eski ve yeni atık yakma tesislerinde çalışan işçilerin üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada da, dokulardaki dioksin ve/veya dioksin türevlerinin çoğaldığına işaret edilmektedir. Bunun, işyerindeki kirletilmiş kül ile temastan kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer çalışmalarda atık yakma tesisi işçilerinin dokularında yüksek miktarda klorlu fenol, kurşun, cıva ve arsenik de bulunmuştur (http-4).

Bütün bu örneklerden anlaşılacağı üzere, en gelişmiş ve yüksek yakma sıcaklıklarında çalışan atık yakma tesisleri dahi, havaya büyük miktarlarda ağır metaller, dioksinler ve organoklorlar (klorlu organik bileşikler) yaymakta, kirlilik kontrol sistemleri ne kadar verimli çalışırsa, tutulan küller o oranda toksik olmakta ve nihayet deponi alanlarına gömülen bu toksik küller eninde sonunda sızarak toprağı ve yeraltı su kaynaklarını zehirlenmektedir. Örneğin, 1 kilogram PVC'nin yakılması sonucu 50.000 laboratuvar denek hayvanında kansere sebebiyet verecek kadar dioksin üretilmektedir.

Tıbbi atık yakma tesislerinin de en zararlı emisyonlarının başında gelen dioksinlerin, sudaki çözünürlükleri son derece düşüktür ve yağ dokularında birikme özelliğı gösterirler. Dioksinler ve furanlar kanserojen maddeler olarak kabul edilmektedirler ve aynı zamanda hormonal sistemleri bozabildikleri bilinmektedir. Bunun sonucu olarak üreme ve gelişme sistemlerini olumsuz etkileyebilirler. ABD Çevre Koruma Ajansı'nın 1994 yılında yayınladığı bir araştırmaya göre dioksinler kanser yapmalarının yanında sinir, bağışıklık ve üreme sistemlerine (erkeklerde sperm sayısında düşüş dahil) zarar verebilmekte, doğmamış bebeklerde bozuk oluşumlara, sakatlıklara sebep olabilmekte ve endokrin sistemini bozabilmektedir.

Dioksinlere karşı en savunmasız grup anne sütü ile beslenen bebeklerdir. Çünkü, yağ dokuları esasına dayanan anne sütünü tüketirler. Gelişmekte olan fetus (anne rahmindeki bebek), kimyasallara karşı hassas olduğundan hamilelik esnasında çok ciddi etkiler ortaya çıkabilir. Kimyasallara maruz kalınması halinde kalıcı ve tahrip edici etkilerin görüleceği çok kritik, hayati gelişme aşamaları vardır.

Dioksinlerin üreme sistemi üzerindeki olumsuz etkilerine bir örnek olarak, İsrail’de 1980’li yıllarda organohalojen kirliliğine maruz kalmış erkeklerde üreme kabiliyetlerinde görülen düşüş verilebilir ([http-4](#)).

#### 4. TIBBİ ATIKLARIN ARITIM VE BERTARAF YÖNTEMLERİ

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de, tıbbi atıkların belli bir düzen içinde ele alınmaları ve yönetim sistemi olarak algılanmaları ancak son yıllarda gerçekleşmeye başlamıştır. Ülkemizde 1993 yılında yürürlüğe giren TbAKY de bu esaslar çerçevesindedir. Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan tıbbi atıkların giderilmesi için yönetim sisteminin, hastaların, personelin ve toplumun emniyetini ve rahatını sağlayacak şekilde ve her iki tarafın kabul edebileceği teknik ve ekonomik çözümleri ile ekolojik uyumu da sağlayacak şekilde kurulması gereklidir. Tüm katı atık yönetim sistemlerinde olduğu gibi tıbbi atık yönetiminde de her durum için uygun tek bir çözüm seçeneği yoktur. Çözüm yöntemlerinin tespit edilmesinde, bölgenin durum ve özellikleri de düşünülerek, mümkünse bölgesel çözümler aranmalıdır (Üçüncü ve Berkün 1995). 14.05.2003 tarihinde Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığı tarafından 2001 yılına ait belediye kati atık istatistikleri anketi yapılmış olup, tıbbi atıkların bertaraf yöntemlerine göre miktarları belirlenmiştir (Çizelge 4.1) ([http-5](http://5)).

Tıbbi atık üreten kuruluşlar için ilk olarak yapılması gereken işlem, oluşan atığın azaltılmasıdır. Ancak bu, oluşması doğal olarak ortaya çıkan çeşitli oluşum prosesleri nedeniyle sadece belirli bir oranda sağlanabilir (Lee ve ark. 1991).

Atık minimizasyonunu takiben yapılması gereken diğer işlem, tıbbi atıkların ayrılması ve geri dönüşümdür. Ancak bu strateji sağlık tedavi maliyetini etkilemekte ve kanda yaşayan patojenlerin taşınım riskini arttırabilmektedir. Diğer tıbbi atık arıtım ve bertaraf teknolojileri ise insinerasyon, otoklavlama, çamaşır suyu ya da hidrojen peroksit ile kimyasal dezenfeksiyon, etilen oksit ile gaz dezenfeksiyonu ve yeni bir teknoloji olan mikrodalga ve kobalt-60 ile radyasyonla arıtım yöntemlerini içerir. Tıbbi atık probleminin çözümünde pek çok alternatif arıtım teknolojisi önerilebilir. Ancak, bu teknolojilerin kullanımı birçok faktör sebebiyle sınırlıdır. Alternatif teknolojiler, atık kütlelerini azaltmadığı ve öğütme yada parçalama yapmadan atık tipini değiştirmedeği için tüm tıbbi atık türlerinde uygulanamabilir. Alternatif teknolojiler, nadiren tıbbi atıkların dezenfeksiyonunu sağlar ve atık akıntısındaki toksik ve tehlikeli kimyasalları bozamazlar. Alternatif teknolojilerin mesleki sağlık, güvenlik, enerji ve çevresel etkileri insinerasyonun etkileri kadar tam olarak araştırılmamıştır (Anon 1994).

**Çizelge 4.1.** Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığı 2001 verilerine göre ayrı toplanan tıbbi atıkların bertaraf yöntemine göre miktarı (http-4)

Nüfus grubu	Toplam belediye sayısı	Toplam		Bertaraf yöntemi															
				Büyükşehir belediyesi çöplüğü		Belediye çöplüğü		Başka belediye çöplüğü		Düzenli depolama		Yakma tesisi		Gömerek		Yakarak		Diğer (2)	
		A (1)	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
<b>Türkiye</b>	<b>3215</b>	<b>432</b>	<b>71095</b>	<b>29</b>	<b>6877</b>	<b>197</b>	<b>22057</b>	<b>13</b>	<b>351</b>	<b>11</b>	<b>12948</b>	<b>25</b>	<b>11011</b>	<b>71</b>	<b>12455</b>	<b>69</b>	<b>5354</b>	<b>5</b>	<b>42</b>
-2000	348	17	182	-	-	12	47	-	-	-	-	-	-	1	7	4	128	-	-
2001-5000	1650	102	5645	2	184	53	3600	5	106	-	-	-	-	16	362	24	1361	2	32
5001-10000	557	63	2004	3	15	32	1371	4	96	-	-	-	-	4	72	19	449	1	1
10001-25000	323	75	5529	10	154	36	2964	1	104	-	-	2	107	16	1916	8	275	2	9
25001-50000	132	56	6794	1	3	30	3987	2	8	1	292	1	60	16	2328	4	116	-	-
50001-100000	83	39	8177	1	37	18	3866	-	-	1	91	1	73	10	2363	7	1747	-	-
100001-500000	101	63	19902	8	3523	16	6222	1	37	3	566	18	3380	7	4896	3	1248	-	-
500001-1000000	16	12	4540	3	1683	-	-	-	-	3	1890	2	456	1	511	-	-	-	-
1000001-5000000	4	4	11387	1	1278	-	-	-	-	3	10109	-	-	-	-	-	-	-	-
5000000+	1	1	6935	-	-	-	-	-	-	-	-	1	6935	-	-	-	-	-	-

A. Belediye sayısı B. Tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

(1) Büyükşehir belediyeleri tarafından hizmet verilen ilçe belediyeleri sayıya dahil edilmiştir.

(2) Sağlık ocağı çöplüğünü, kalorifer kazanında yakılarak, kömür işleme dekapaj sahasını kapsamaktadır.

#### 4.1. Tıbbi Atıkların Azaltılması (Minimization)

Tıbbi atık üreten kurum, kuruluş veya diğer birimlerin, atıkları kaynağında en aza indirecek sistemi kurmaları halinde bertaraf edilme işlemi daha kolay olacaktır. Ayrıca, atık azaltımı hem ürünlerin kazanılması, hem de atık artım ve bertaraf maliyetinin azaltılması gibi nedenlerle genellikle atık üreticilerine fayda sağlar. Ancak, atığın üretim aşamasında azalması sağlanamıyorsa yeniden kullanılmalıdır. Güvenlik önlemlerini bozmamak kaydıyla, ambalaj kullanımının azaltılması, karton kutuların başka amaçlar için kullanılması, ilaçların son kullanma tarihi göz önünde bulundurulmadan aşırı alımına engel olunması gibi basit fakat etkili tedbirlerle önemli bir miktar atık azaltılmış olur (Anon 1999, Kokulu 2001).

İlaç ve kimyasal madde depolarının dikkatli yönetimi, günü geçmiş kimyasalların ya da farmasötiklerin aşırı miktarlarda birikmesini engeller ve konteynerlerde kalan atık ürünlerin miktarlarını azaltır. Kimyasal ve farmasötik atıkların büyük miktarlarının bertarafı pahalı ve özel arıtım isterken, küçük miktarları kolaylıkla ve ucuz bir şekilde bertaraf edilebilir.

#### 4.2. Ayırma (Segregation)

Tıbbi atıklar, evsel atıklarda olduğu gibi kaynağında ayrı toplama sistemiyle sınıflandırılabilir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, patolojik ve bulaşıcı atıkların ayrılmasıdır. Patolojik ve bulaşıcı atığı tanımlamak için renkli-kodlu torbalar ve kaplar kullanılmalı ve uygun sembollerle etiketlenmelidir. Kaplar taşınmadan önce kapatılmalı ve tasarlanan arıtım ve bertaraf yöntemleriyle uygunluk içerisinde olmalıdır. Torbalar iç ve dış mekanik zararlara dayanacak kadar sağlam olmalı ve yalnızca torbanın kolayca ve sıkıca kapatılmasına izin veren seviyeye kadar doldurulmalıdır (San ve İnci 1991).

Enfekte katı atıkların hastanelerde toplanırken yönetmelikçe belirlenmiş kırmızı renkli, 150 mikron kalınlığında, özel uyarıcı baskılı, sağlam torbalarla toplanması gerekir. Torbaların içine atık dolduğunda ağzı sıkıca bağlanmalıdır. Torbalar kesinlikle sıkıştırılmamalıdır.

Taşınma sırasında torbalarda delinme ve yırtılma riski doğuran enjektör, kanül, cerrahi alet, ampul gibi kesici atıkları uygun olarak etiketlenmiş, darbeye dayanıklı, sızdırmaz, plastik torbalarda toplanması uygundur.

Torbaların yırtılması ve sıvı özellikteki enfekte atıkların yerlere dökülmesi durumunda bu atıkların kuru sistemle temizlenerek dezenfekte edilmesi gerekir. Tüm enfekte atıklar buldukları yerden, bulaşmadan, lisanslı birimler tarafından hastane içinde kurulacak ara depolama alanına depolanır. Atıklar buradan özel nakliye önlemleri alınarak veya tıbbi atıklar için özel olarak tasarlanmış taşıyıcı araçlarla nihai bertaraf merkezine gönderilmelidir (Atasoy 1997).

### **4.3. Geri Dönüşüm (Recycling)**

Tıbbi atık yönetiminde, geri dönüştürülen ve kazanılabilen atıklar tercih sebebi olmalıdır ve bunlar yeniden kullanılacak kağıt, karton, cam şişeler, metal konteynerler, plastik ambalajlar geri kazanılabilen ve tıbbi atıklardan ayrılması gereken maddelerdir. Ancak geri kazanılabilen maddeler arasında bulunan serum ve ilaç şişeleri gibi cam malzemeler, dezenfekte edilerek siyah torbalarda toplanmak suretiyle tekrar kullanımlarının önlenmesi için kırılmalı ve hurda cam olarak değerlendirilmelidir. Tehlikeli olmayan kimyasal madde atıkları sınıfına giren şeker, amino asit, organik ve inorganik tuzların atıkları ile tehlikeli kimyasal atıklardan kromik asit, cıva film banyoları, perkloroetilen, yağlar, toluen, ksilen, aseton gibi maddeler de fiziksel ve kimyasal yöntemlerle geri kazanılması mümkün olan maddeler arasındadır (Kokulu 2001).

Sağlık kuruluşlarında kullanılan tıbbi ve diğer aletler sterilizasyon işleminden sonra yeniden kullanılabilirler. Yeniden kullanılacak malzemeler, bistüri, şırınga ve şırınga iğneleri gibi kesiciler, cam şişe ve kaplar olmak üzere sıralanabilir. Bunlar kullanıldıktan sonra, tekrar kullanılmayacak malzemelerden ayrı toplanmalı, dikkatli bir şekilde yıkanmalı ve uygun bir şekilde steril edilmelidirler. Şırınga iğnelerinin yeniden kullanımı pek önerilen bir yöntem olmamakla birlikte, kullanılıp atılabilen (disposable) şırınga ve iğnelerin bulunmadığı kuruluşlarda gerekli olabilir. Plastik şırınga ve kateterler ısı ya da kimyasal yolla steril edilemediklerinden, direkt olarak atılmalıdırlar. Kullanılan bazı konteyner tipleri dikkatlice yıkanır ve dezenfekte edilirse tekrar kullanılabilir.

Ancak, basınçlı gaz konteynerleri genellikle tekrar doldurulmak üzere özel merkezlere gönderilmelidir. Konteynerler bir kez deterjan ya da diğer sıvılarla doldurulmuş ise kesici atıklar için konteyner olarak kullanılabilirler (Atasoy 1997).

#### **4.4. Düzenli Depolama (Landfilling)**

Diğer tüm atık yönetim sistemlerinde olduğu gibi, tıbbi atık yönetiminde de son basamak düzenli depolamadır. Ancak, enfekte atıkların düzenli depolama alanında bertarafı sadece insinerasyon ve sterilizasyonu takiben önerilmektedir. Son veriler Amerika Birleşik Devletleri'ndeki hastanelerin %11'inin enfekte atıkları ön arıtım yapmaksızın direk olarak düzenli depolama alanlarında bertaraf ettiklerini göstermektedir (Lee ve ark. 1991, Lee ve Huffman 1996).

Yakma tesislerinden kaynaklanan kül problemi, yakma taraftarlarının sürekli saklamaya çalıştığı, inkar edilemez bir gerçeğe dikkati çekmektedir: atık yakma tesisleri küller ve by-pass atıklar için düzenli depolama alanlarına (landfill) ihtiyaç duymaktadır. Atık yakma taraftarlarının taktiklerinden birisi atık yakma tesislerini ilkel bir yöntem olan depolamaya (landfilling) karşılık çağdaş bir yöntem olarak göstermektir. Hiçbir şey gerçekten bu kadar uzak olamaz. Gerçekte atık yakma ürettiği büyük miktardaki artık küller ile düzenli depolama alanlarının (landfill) kullanılmasına sebep olmaktadır. Yakılan her üç ton atığa karşılık bir ton kül meydana getirildiği tespit edilmiştir. Ortaya çıkan küller, yakılacak toplam girdinin yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır ve bunların biriktirilmesi gerekmektedir (http-6).

#### **4.5. Diğer Yöntemler**

Tıbbi atıkların arıtım ve bertarafında, genel olarak uygulanan insinerasyon ve depolama seçeneklerinin yanında, son yıllarda geliştirilen ve tercih edilen otoklavlama, mikrodalga sterilizasyonu vb. yeni yöntemler de vardır.

#### 4.5.1. Otoklavlama ve sıkıştırma sterilizasyonu

Bu yöntemin temelinde, tıbbi malzemenin geri dönüştürülmesi ve tekrar kullanılmasını sağlayan buharlı sterilizasyon yatar. Otoklav makinaları dizüstünden, sanayi boyuna dek pek çok farklı büyüklükte satışa sunulmaktadır. Sistem temelde tıbbi atık torbalarının, basınçlı buhar bölümünde 120 ile 165°C derece arasındaki bir sıcaklıkta 30 ila 90 dakika pişirilmesinden oluşur. Buharın etkisi ile bakteriler ve patolojik mikroorganizmalar yok edilir. Atıklar hacimlerinin yaklaşık %75 ini kaybettikleri gibi, doğrudan ya da sıkıştırılarak gömülebilirler. Batı ülkelerinde bulunan hastanelerin mikroplu tıbbi atıklarının yaklaşık %45'i bu yöntemle tekrar kullanılabilir hale getirilmektedir.

Enfekte atıkların basınçlı kazan içinde buharla doyurulmak suretiyle dezenfekte edilerek, evsel atık haline dönüştürülmesi prensibine dayanmaktadır. Enfekte atıklar hidrolik olarak çalışan kaldırma ve boşaltma sistemi ile basınçlı dezenfeksiyon haznesine boşaltılır. Alternatif bir devre olan vakum sistemi ile hazne içindeki hava emilir ve buhar verilir. Böylece enfekte atıkların tümüne nüfuz edilmiş olunur ve %100 dezenfeksiyon sağlanır. Dezenfekte edilmiş atıklar hidrolik bir sürgü üzerinden parçalanma ünitesine gönderilir, böylece atıkların hacmi 1/6 oranında küçültülür. Parçalanmış atıklar daha sonra helozonlu taşıyıcı ile kurutulur ve bantlı bir konveyör üzerine dökülür. Bantlı konveyör atıkları tesisin dışındaki bir çöp konteynerine boşaltır. Dezenfeksiyon işlemi sırasında emilen hava ve buhar, bir filtre sistemi yardımıyla temizlenir. Bu sistem sabit ve hareketli olarak kurulabilir. Sistemin aşağıdaki avantajları nedeniyle son yıllarda tercih edilme oranı artmıştır:

- Enfekte atıklar kaynağında evsel atık haline getirilerek, taşıma sırasındaki riskleri en aza indirilir.
- Bir günde bir çok hastane ve sağlık kuruluşuna hizmet verilir, böylece tesis etkin bir şekilde kullanılmış olunur.
- Enfekte atıkların sağlık şartlarına uygun taşınması için gerekli soğutmalı özel araçlara gerek kalmaz. İşlem sonrası atıklar normal çöp torbalarıyla taşınır.
- Atıkların hacmi 1/6 oranında küçültülür. Böylece taşıma masrafları önemli ölçüde azalır. Aksi halde enfekte atıkların taşınması için mutlaka sıkıştırmasız

kamyonlara ihtiyaç vardır. Dolayısıyla bu atıkların hacmini azaltmak mümkün olmamaktadır (Atasoy 1997).

Tıbbi atıklar içinde arıtım ve bertaraf açısından en büyük riski taşıyan grup enfekte atıklardır. Nitekim, buhar sterilizasyonu (otoklavlama) mikrobiyolojik ve diğer laboratuvar atıklarının dekontaminasyonu için bertaraf öncesi geniş ölçüde kullanılmaktadır. Laboratuvar kültür petri kapları ve diğer materyaller genellikle plastik kaplarda toplanır, daha sonra çelik ya da polipropilen konteynerlere yerleştirilir ve otoklava yüklenir. Hastane sterilizasyonu için önerilen koşullar *Bacillus stearothermophilus*'un çok sayıdaki yaşayan sporlarında % 99,9999 azalmayı sağlamak için 12 dakika 121 °C'de doymuş buharla yapılan işlemdir. Ancak, araştırmacılar önerilen sıcaklıkta 15-20 dakika otoklav yapma işleminin dekontaminasyonu sağlamaya yeterli olmadığını göstermektedirler. Birçok araştırmacı otoklav kabında yer alan atık için işlem zamanının 45 dakika ya da daha fazla olmasını ve buhar geçişine yardım etmek için çelik konteynere su eklenmesini tavsiye etmektedir (Lee ve ark. 1991, http-7).

Otoklavın işlevi; atıkları yüksek vakumda emniyetli bir şekilde dezenfekte etmektir. Atıklar sonra katı atık doldurma silosunda veya katı atık taşımada kullanılan römorkta hidrolik presle preslenir. Otoklavlama-sıkıştırma prosesi atık hacmini %60 azaltır. Azaltmayı %80'e çıkartmak da mümkündür. Kağıt ve diğer işleme girecek materyaller atıktan ayrılmalıdır. Genellikle otoklavdan üretilen buharla enerji elde edilebilir. Ticari ve işletme maliyetleri yakma sistemlerinden genellikle azdır. Ünitelerin kullanma süresi 15 yıl olup, enfeksiyonu önlemek için atıkların düzenli ve dikkatli taşınması gerekir (Atasoy 1997).

#### **4.5.2. Mekanik ve kimyasal dezenfeksiyon**

Tıbbi atıkların, sıvı kimyasal dezenfektanlarla dezenfeksiyonunu içerir. Bu dezenfektan, organik maddeleri yıkar ve enfekte ajanları hasara uğratar. Atıklar, ilk önce kimyasal ajanların atıklara geçişini ve atıkların bertarafını sağlamak için toprağa gömülürler. Materyaller daha sonra kimyasal ajanlarla karıştırıldıkları küvete yerleştirilir. Sodyum perklorat benzeri bazı dezenfektanların doğrudan uygulandığında camı parçaladığı belirtilmektedir. Atık dezenfektan ajanları içeren

sıvılar kanalizasyon sistemine verilir, katı atıklar kurutulur ve düzenli depolama sahasında bertaraf edilir (Lee ve ark. 1991, Lee ve Huffman 1996, http-7).

#### **4.5.3. Mikrodalga sterilizasyonu**

Mikrodalga yöntemi, işletme ve yapım maliyetleri otoklavlama-sıkıştırma veya kimyasal-mekanik arıtma yöntemlerine göre yüksek olmasına karşın yakmaya göre maliyeti az, çok amaçlı ve Avrupa'da yapılan çalışmaların da gösterdiği gibi, iç ısıtma sistemi kapatıldığında dışarıya hiç emisyon vermeyen bir yöntemdir. Bu sistemle atık hacmi % 60-90 azaltılır ve arıtılan atıklar kesinlikle kullanılmaz. Bu nedenle de, ek olarak hiçbir kirlilik kontrolü cihazına ihtiyaç duymaz. Mikrodalga dezenfekte yöntemi, tıbbi atıkların 940 °C derecelik nemli yüksek ısı ve mikro dalgaya tabi tutulmasıdır. Kullanılan araçlar sabit ya da hareketli kullanıma uyumlu olarak, sökülüp tekrar takılabilmektedir. İşlem sonrasında hacmi %80 azalan atıklar kolayca gömülebilmektedir (http-7, http-8).

#### **4.5.4. Isı inaktivasyonu**

Enfekte ajanları yok edilebilecek sıcaklığa getirmek için atığı ısıtmayı içerir. Genel olarak bu yöntem sadece büyük miktarlardaki sıvı atıklar için kullanılmaktadır. Atıklar önceden saptanan sıcaklıkta ısıtılan kamaraya yerleştirilir, kamarada belirli bir zaman süresince tutulur ve daha sonra serbest bırakılır (Lee ve ark. 1991, Lee ve Huffman 1996).

#### **4.5.5. Işınlama (irradiation)**

Bu proses, enfekte ajanları yıkmak için kobalt 60 gibi bir kaynaktan iyonize radyasyonu kullanmayı içerir. Bu teknik, tıbbi malzemeler, besin ve diğer tüketici ürünlerini steril etmek için yaygın olarak kullanılan işlemle benzerdir. Sterilizasyondan sonra, atıklar genellikle toprağa gömülür, sıkıştırılır ve düzenli depolama sahasına taşınır (Lee ve ark. 1991, Lee ve Huffman 1996).

#### **4.5.6. Öğütme ve Parçalama (Grinding and shredding)**

Bu yöntem daha kolay işlenebilmesi için tıbbi atıkları homojen forma dönüştürmek için kullanılır. Bu proste, tıbbi atıklar konteynerler içine yerleştirilir ve fiziksel olarak daha küçük parçalara kırılır. Konteynerler bazen maddelerin araçtan dışarıya kaçmasını engellemek için negatif basınç sağlarlar. Öğütme ve parçalama, atıkların enfekte doğasını etkilemedikleri için, çoğunlukla diğer arıtım teknikleriyle birlikte kullanılmaktadır (Lee ve Huffman 1996).

#### **4.5.7. Kanalizasyona verme (Sewer disposal)**

A.B.D.'de bazı hastaneler ( %23) kan ve diğer vücut sıvılarını direk olarak kanalizasyona vermekte ve % 14'ü katı enfekte atıkları öğütmekte ve oluşan materyali düzenli kanalizasyon sistemine deşarj etmektedirler. Kullanılan cihaz, evlerdeki çöp öğütücülere benzemektedir (Lee ve Huffman 1996).

## 5. TIBBİ ATIKLARIN İNSİNERASYONU

Diğer atık giderme yöntemlerinde olduğu gibi tıbbi atıklarda da ana amaç geri kazanımdır. Ancak geri kazanım maliyeti, tüm atıkların geri kazanımının mümkün olmaması ve geri kazanılan maddelerin fazla temiz ve saf olmaması gibi nedenlerle çok fonksiyonlu bir nihai giderme yöntemi olan insinerasyon işlemi tercih edilmektedir. Tıbbi atık insinerasyonunda atık, enfeksiyon, zehirlilik ve benzeri bir zarara ve estetik bakış açısından herhangi bir eleştiriye meydan vermeyecek şekilde giderilmiş olmalıdır. Bilindiği gibi kimyasal bir proses tasarımında öncelikle prosesin kavramsal olarak çok iyi tanınması, incelenmesi gereklidir. Donanımın tasarımına, kapasite ve boyutların belirlenmesi aşamasına geçmeden önce akım şemasının geliştirilmesi ve kütle/enerji denklemlerinin kurulması gerekir. Ancak hastanelerin yatak sayıları, eğitim yapıp yapmadıkları, kabul ettikleri hastaların yaş ve cinsiyetleri, tedavi ettikleri hastalık/organ veya organ grupları, mevsim değişikliklerinden kaynaklanan hastalık ve hasta sayısı değişikliği gibi pek çok parametreyle ilişkili olduklarından, doğru ve gerçekçi bir yaklaşım için önce bu değişikliklerin belirlenmesi gereklidir. Zira çıkan atık türleri/miktarları bu kriterlere göre değişmekte ve seçilecek insineratör tipinin uygunluğu yine bu kriterlere bağlı olarak sağlanmaktadır (Ulrich 1984 ve Banar 1998).

Tıbbi atıkların içinde bulunan; kağıt, karton, plastik maddeler, suda çözünen ve çözünmeyen çözücüler, anatomik atıklar, cam şişeler, bez parçaları ve daha birçok maddenin çoğu kolayca yanabilecek türden maddelerdir. Buna rağmen atık maddeleri insineratörde belli bir yanma sıcaklığında yakmak için yakıt ilavesine ve tam yanmayı gerçekleştirmek için de aşırı havaya ihtiyaç duyulmaktadır. Aşağıda belli atık türlerinin ısı değerleri (kcal/kg) ve yanmaları için ihtiyaç duyulan stokiometrik hava miktarları (kg hava/kg atık) verilmiştir.

Polietilen	11000 kcal/kg	16 kg hava/ kg atık
Polisitrien	9100	13
Poliüretan	6200	9
PVC	5400	8
Kağıt	2800	4
Patolojik atık	560	1

(Göntüllü ve Goncaloğlu 1992).

Geleneksel olarak, evsel ve tıbbi atıkların çoğu düzenli depolama sahalarında, bazıları insinerasyon işlemi ile bertaraf edilmektedir. Ancak, bazı düzenli depolama sahaları aşırı yüklenmesi ve gelecek için yeterli sahaların bulunmasındaki zorluklar, çevresel riskler ve halk direnmeleri nedeniyle tıbbi atıkların düzenli depolanmaları seçeneği tercih edilen bir yöntem değildir. Buna karşın, insinerasyon, tıbbi atık bertarafı için en yaygın olarak kullanılan arıtım teknolojilerinden biridir ve önemli bir atık bertaraf seçeneğidir.

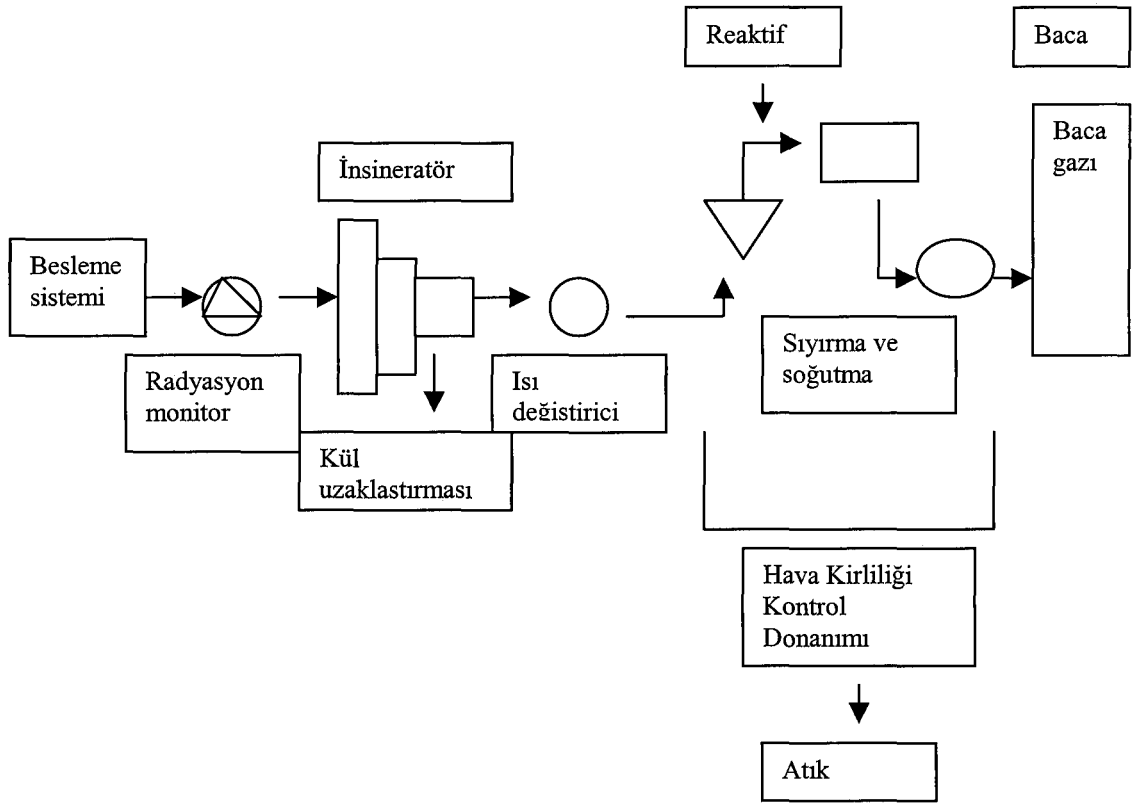
İnsinerasyonun en önemli avantajı materyal hacmini önemli derecede azaltması, patojen ve tehlikeli organikleri bozundurması ve atığı küle dönüştürmesidir. İnsinerasyonun dezavantajı ise, dioksin ve furan gibi eser miktardaki organik kirleticileri [polychlorodibenzo-*p*-dioxin (PCDD) ve polychlorodibenzofuran (PCDF)] ve eğer insineratör iyi tasarlanmamış ve işletilmemiş ise oluşacak metal partikülleri yayabilmesidir. Tıbbi atık insineratörlerinin atmosfere vermiş oldukları emisyonlar özellikle hastanelerin şehre yakınlığı nedeniyle özel öneme sahiptir (Chandler ve ark 1997).

Bir insineratör, uygulandığı atık kaynağının veya kaynaklarının büyüklüğüne göre çeşitli büyüklüklerde olabilir. İnsineratörler, tek başına hastaneler içinde olabileceği gibi, bir çok hastaneye hizmet verecek genel bir yerde de bulunabilir. Bir çok ülke 1980'li yılların başından beri tıbbi atıkların arazide depolanamayacağını kanun ve tüzüklerine koymuşlardır. Bu nedenle bazı ülkeler hastanelerde insineratör kurmaya başlamışlardır. İnsineratör tasarımı ve işletilmesi ile ilgili olarak her gün yeni bir gelişme olmaktadır. Bu gelişmelere neden olarak insanların hastane atıklarının etkin bir şekilde giderilmesini istemeleri ancak bu giderme ve bozundurma mekanizmalarını duymak, görmek veya koklamak istememelerinden kaynaklanmaktadır (Gönüllü ve Goncaloğlu 1992).

Yakma işlemi ile atık hacminin %90 oranında azaltıldığı çoğu zaman söylenmektedir. Ancak geride kalan küller hesaba katılırsa bu oranın %45'e kadar gerilediği görülecektir. Atık ağırlığının ise üçte bir oranında azaltıldığı öne sürülmektedir. Bu hesaplama sadece geriye kalan küller için yapılmıştır; şayet etrafa yayılan gaz ve küçük parçacıklar da göz önüne alınırsa bu oranın da gerileyeceği ortadadır. Özetleyecek olursak, atık yakma uygulamasının gazlar

dahil bütün çıktıları ölçülürse, toplam girdi külesinden daha fazla çıktı yaratıldığı görülecektir (http-4).

EPA'ya göre tıbbi atıkların on-site insinerasyonunun çok sayıda avantajı vardır. İnsinerasyon patojen atıkları steril eder; % 90-95 hacim ve kütle azalması sağlar; hayvan leşleri gibi kötü atıkları zararsız küle dönüştürür; atık ısı geri kazanımı sağlayabilir; ve bazı durumlarda eşanlı tehlikeli kimyasal ve düşük seviyeli radyoaktif atık bertarafı için kullanılabilir. Genel ve gelişmekte olan tıbbi atık yasaları on-site insinerasyon kullanımını cesaretlendirmektedir. Hava Kirliliği Kontrol Donanımlı modern bir tıbbi atık insineratörü enfekte ve toksik tıbbi atık bileşenleri yok eder, atık materyalin hacmini ve ağırlığını azaltır ve atmosfere verilen emisyonları etkili bir şekilde kontrol eder. Bugün Amerika Birleşik Devletleri'nde tıbbi atık insineratörlerinin çoğu üç sınıfa ayrılmaktadır; zorlanmış-hava modüler sistemler; aşırı hava-modüler sistemler (batch) ve döner fırın (Lee ve ark. 1991). İyi tasarlanmış bir insineratör sistemi, atıkları yok etmek için, kontrollü besleme oranını, hesaplanmış yakma havasını, yüksek sıcaklık, yakma için iyi yeterli türbülansı ve yeterli yakma zamanını kullanmalıdır. Hava Kirliliği Kontrol Donanımı etkin bir şekilde partikül maddeleri toplar, eser miktardaki metal ve organikleri tutar ve yanma prosesinde oluşan asidik gazları (HCl) nötr hale getirir. Şekil 5.1 bir model tıbbi atık insinerasyon sistemi diyagramını göstermektedir. Tıbbi atık insineratörleri tasarım açısından çeşitlidir, ancak tipik modern sistem çeşitli yanma safhalarından oluşmaktadır. Çoğu modern tıbbi atık insineratörleri kontrollü-havalı olarak tanımlanmaktadır. Birincil oda atığı yakar ve gazları uçuculaştırır. İkincil oda uçucu gazları karbondioksit ve su buharına dönüştürür. Tıbbi atıklar azaltılmış ya da yetersiz hava olarak bilinen pirolitik koşullar altında yakılır, aşırı havalı çok safhali yanma ile devam eder. İkincil oda gazları 1800 °F civarında yüksek sıcaklıklarda ve yanmamış bileşenlerin bozunmasını sağlamak için bir iki dakika bekleme süresiyle yakar. Çoğu insineratörler baca gazlarını soğutmak ve enerjiyi geri kazanmak için atık ısı kazanları kullanırlar (Anon 1994).



Şekil 5.1. Bir model tıbbi atık insinerasyon sistemi diyagramı (Anon 1994)

İnsinerasyon evsel katı atık arıtım için hacim ve ağırlık azalttığı ve ısı enerjisi ürettiği için ekonomik yöntemdir. Ancak, insinerasyon PCDD/F emisyonları ile ikincil kirlilik kaynağı olarak görülmektedir. Çeşitli tasarım ve uygulama parametreleri PCDD/F emisyonlarının tanımlanmasını etkilemektedir. Bunların arasında proses sıcaklığının en etkili parametre olduğuna inanılmaktadır. İnsinerasyon odasındaki sıcaklık, yanmamış hidrokarbonları yıkmaya yeterli derecede istenmektedir. Bu arada, elektrostatik toplayıcı (ESP) ya da atık ısı geri kazanım kazanı gibi off-gaz arıtım sistemlerindeki 250-450 °C arasındaki sıcaklık aralıkları PCDD/F oluşumu için yeterlidir. Toz ve partiküllerdeki metaller, PCDD/F oluşum reaksiyonlarını katalizleyebilir ve baca gazındaki toz konsantrasyonu PCDD/F emisyonları ile yakından ilişkilidir. Hala tartışmalı olan konu, çeşitli ölçüm çalışmalarındaki oksijenin, insinerasyon sisteminde karbon monoksit ve hidrojen klorür gibi gazların PCDD/F emisyonlarıyla zayıf korelasyonlu olup olmadığıdır (Benfenati ve ark. 1991, Brzuzy ve Hites 1996, Shin ve ark 1999, Liang ve ark 2000, Domindo ve ark. 2000, Gullett ve ark. 2000).

Atıkların bileşimi, ısı değeri, nem oranı vb. pek çok parametre ülkeden ülkeye bile değişiklik gösterir. Nitekim bir İsviçre firması tarafından zorlanmış hava (starved air)/piroliz birinci yakma odası tipinde bir tıbbi atık yakma insineratörü Güneydoğu Asya bölgesinde pazarlanmaya çalışılmış, ancak pek çok problem ortaya çıkmıştır. Atık tipinin Avrupa, Kuzey Amerika ve Japonya'daki atıklardan çok farklı olması ve yüksek nem içeriği dolayısıyla, özellikle Güneydoğu Asya bölgesinde zorlanmış hava (starved air)/piroliz yanma prensipli birimler tıbbi atık ve genel evsel atıkların tamamen bozunması için uygun değildir. Nitekim, tıbbi atıkların insinerasyonu konusunda dünyanın en tanınmış otoritesi olan Calvin Brunner, “starved air/piroliz” prosesinden kesinlikle kaçınılması gerektiğini, tıbbi atıklar için en uygun sistem olan “aşırı havalı” sistemlerin kullanılabileceğini söylemektedir. Özellikle atığın, yüksek nem içeriğine sahip olduğu durumunda zorlanmış hava yanması uygun olmadığı belirtilmektedir (Brunner ve Brown 1988).

Brunner ve Brown'a göre (1988) tıbbi atıkların yakılarak bertaraf edilmesi esastır. Yakma sistemleri, belediyeler veya belediyelerin yetkilerini devrettiği kişi ve kuruluşlar tarafından kurulur ve işletilebilir. Evsel nitelikli atıkların yakılması için kullanılan yakma fırınları atıkların yakılması için kullanılamaz. Yakma fırınındaki ilk bölme sıcaklığının 900 °C olması ve son yakma bölgesindeki gazların 1200 °C'de en az 1,5 saniye tutulması zorunludur.

İnsinerasyon işlemini kolaylaştırmak açısından tıbbi atıkların ve insineratörlerin sınıflandırılması işlemleri gerekebilir. Bu konuda ilk sınıflandırma şeması 1966 yılında Incinerator Institute of America tarafından yapılmış ve insineratörler için 7 tıbbi atıklar için de 6 tip sınıflandırma belirlenmiştir. Günümüzdeki A.B.D. yönetmeliklerinde mikroorganizmalı atıklar “kırmızı torbalar” ile toplanma mecburiyetindedir. Kanada'da ise atıklar içeriklerine göre; kırmızı (insan parçaları, plastik, temizlik bezi, absorbant, alkol, dezenfektanlar), portakal rengi (hasta hayvanlar ve parçaları, plastik, cam, yatak, talaş, kağıt, fekal maddeler), sarı (A3a: tül, yastık, temizlik bezi, giyim eşyası, kağıt, selüloz, plastik, PVC, şırınga, kesici, iğne, alkol ve dezenfektanlar; A3b: plastik, kesici, selülozik madde, sıvılar, artıklar, alkol, dezenfektan, cam; A3c: tül, yastık, temizlik bezi, plastik, petri kabı, kesici, cam, sıvılar) ve mavi (enfekte olmayan

maddeler, hayvan parçaları, plastik, cam, yatak, talaş, fekal maddeler) renkteki torbalarda toplanma mecburiyetindedir.

Son 10-15 yıl içinde tıbbi atık içindeki plastik oranı %10'dan %30'un üzerine çıktığından, plastiklerin yakılması sonucu oluşan insan ve hayvan sağlığı için de çok zararlı olan PCB'ler (poliklorürlü bifeniller), dioksinler (dibenzo-*p*-dioksinler) ve furanlar (dibenzofuranlar) büyük ilgi toplamaktadır. Bazı ülkelerde ve eyaletlerde tıbbi atık tehlikeli atık yönetmeliklerinde yer almaktadır. A.B.D.'nin birçok eyalet tüzüklerinde küçük kapasitedeki insineratörler için aşırı sıkı bir sınırlama söz konusu değildir. Ancak, istenen insineratör sıcaklıklarında ve sürelerinde değişiklikler söz konusudur. Sıcaklığın daha fazla olması gereken ikinci bölme için istenen en düşük sıcaklıklar 800 ile 1100 °C arasındadır ve bekletme süresi ise en az 0,3 ile 2 saniye arasında verilmiştir. Oluşan külün mecburen zararsız atık depolama sahasına verilmesinin gerekmesi nedeniyle, tıbbi atıkların hiçbir suretle zararsız atıklarla beraber yakılmaması da istenmektedir (Brunner ve Brown 1988 ).

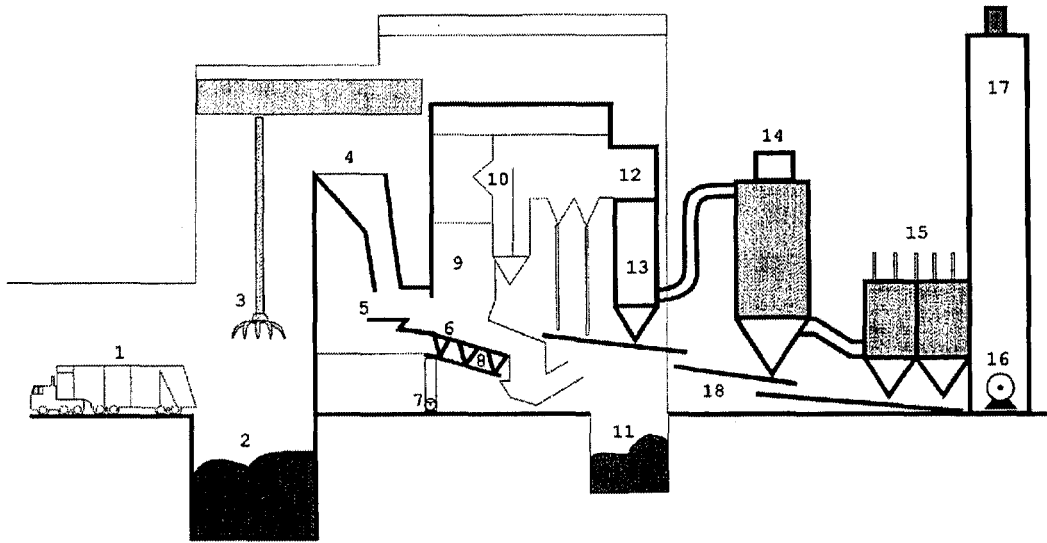
Tıbbi atık insinerasyonu, genellikle polietilen, polipropilen ve polivenil klorür gibi toplam atıkların % 20'sini oluşturan plastikleri içerdiği için özel bir durumdur. Kauppinen (1990) evsel katı atıklarda bu bileşiklerin yaklaşık dört kat daha fazla bulunduğunu tespit etmiştir. Bu yüzden oluşan hidrojen klorür emisyonları yüksek olabilir. Tıbbi atıklar genellikle evsel atıklardan daha küçük sistemlerde yakıldıkları için, hastane atık insinerasyonu için yüksek emisyon faktörlerinin ihtimalini daha da arttıran emisyon yönetmeliklerinin daha yumuşak olabileceği vurgulanmıştır.

### 5.1. Tasarım Kriterleri

İnsineratör tasarımında ızgaradaki atıkların karıştırılması ve ızgara altı ve ızgara üstü bölgelerde hava dağılımının kontrol edilmesi yanma veriminin istenen değere ulaşmasında ve organik madde emisyonunu minimize etmede önemli faktörlerdir. Fırın konfigürasyonu aynı zamanda, ızgaradan çıkan külün kalitesi ve yanmanın kontrol edilmesinde etkin bir rol oynar. Yanan atıkları terk ettikten sonra çıkan yanma gazları tam yanma ve uniformluğu sağlamada çok önemlidir. Fırınlar için birçok genel konfigürasyon vardır. Bunlar, fırındaki yanma

ürünlerinin atık akımına göre bağıl akış yönü ve ızgaraya göre fırın boğazının yerleşmesinin bir fonksiyonu olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırmalar, atıkların tiplerine göre geliştirilmiş fırın geometrilerinin çalışıldığı DBA (Deutsche Babcock Anlagen) (Alman Babcock Tesisi) ya dayanır. Paralel akış durumunda, ızgaranın kurutma kısmının üzerindeki kemer ya da örtünün varlığı nedeniyle atıkla birlikte gazlar da taşınır. Bu düzenleme yüksek oranda uçucu atıklar için önerilmiştir. Diğer taraftan zıt akış sisteminde, ızgaranın kurutma alanındaki uçuculaşma bölgesi akışında atıklardan sıcak gazlar açığa çıkar ve bu materyallerden nemin uzaklaşması artar. Ekstra kurutma kabiliyeti nedeniyle, yüksek kül içerikli atıklar ya da ıslak atıklar için zıt akış sistemi uygundur. Fırının kurutma etkisi, alttan tutuşturma alanına ısıtılmış hava ilavesi ile artırılabilir. Islak ve yüksek küllü atıklar paralel konfigürasyona uygun materyallerden daha düşük bir ısı değerine sahiptir. Merkezi akış düzenlemesi, uçucu ısıl bozunma bölgesinin üstüne yerleştirilmiş boğaza sahip diğer ikisinden daha esnektir. Yanma prosesini tamamlamak için yakıt yatağını terkeden gazlara ilave hava eklenmelidir. Tipik olarak alttan tutuşturma sisteminden fırına %60-80 ilave hava gelir. Sınırlı üstten tutuşturma havası ile, bu ilave, istenen karışıma ulaşmak için dikkatli olarak kontrol edilmelidir. APC'ye (Hava Kirliliği Kontrol) göre, atıkları ve baca gazındaki organik kirleticilerin kontrolünü ve uygun hava karışımını sağlamak için fırın boğazı ve üstten tutuşturma hava injeksiyon sistemi, uygun olarak tasarlanmalıdır. Boğaz, bir akış daralmasına neden olur, türbülans sağlar ve üstten tutuşturma havasının ve yanma ürünlerinin tam karışımının sağlanması için iyi bir yerleşime sahiptir. Düşük emisyonlara ulaşmak isteniyorsa, üstten verilen tutuşturma havasının kısa devre yapmaması ya da sıcaklık düşüşü yaratması önemlidir (Şekil 5.2) (Nasserzadeh 1991, Kerdsuwan 2000, Chandler ve ark 1997).

Izgara, fırının dibine yerleştirilir ve atığı fırının içine hareket ettirirken atığın yanma yatağını destekler. Izgara tasarımında, işletimi etkilemeyen ince küllere ve yüksek sıcaklıklara dikkat edilmelidir. Izgaranın içindeki hava akışı ızgara çubuklarını soğutma görevi yapar ve fırındaki yüksek sıcaklıklardan korur.



- |                        |                             |                       |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 1. Atık toplama aracı  | 7. Havalandırma             | 13. Tutucu            |
| 2. Atıp depolama alanı | 8. Izgara altı hava zonları | 14. Kuru Sıyırıcı     |
| 3. Atık taşıma vinci   | 9. Fırın                    | 15. Bez filtre tutucu |
| 4. Atık besleme hunisi | 10. Kazan                   | 16. Havalandırma      |
| 5. Atık besleyicisi    | 11. Kül ambarı              |                       |
| 6. Izgara              | 12. Isıtıcı                 |                       |

Şekil 5.2. Şematik olarak genel bir insineratör tesisi (Chandler ve ark 1997).

Tasarımına bakılmaksızın ızgaranın hareketi, çok ince materyallerin aşağıya doğru elenmesine neden olacaktır. Izgaranın tasarımına bağlı olarak, alttan verilen tutuşturma havası plenumlarına bu ince materyallerin hareket derecesi değişebilir. Izgaradan geçenler bu plenumlardan uzaklaştırılır ve kül ekstraksiyon sistemindeki dip külüyle birleştirilir. Izgara sistemlerinin verimliliği, döner ve sallamalı hareketlerle tüm atığa yanma havası sağlayabilmelerine bağlıdır. Üreticiler, ızgaranın içine hava akışını ayarlamak için çeşitli yöntemler uygular. Izgaranın tüm parçalarına eşit olarak havayı dağıtan ayarlanabilir damperler ve dağıtıcıların tedariki önemlidir. En önemlisi ızgaranın içinde iyi bir basınç düşüşünün sağlanmasıdır. İyi yanma verimliliğinin net sonucu dip külü atık akımında karbon seviyesinin azalmasıdır. Birçok ızgara sistemi üç çeşit ızgaradan birinin bazı varyasyonlarıdır: Salıncak ızgaralar, ileri geri hareketli ızgaralar veya konveyör tipi ızgaralar, ayrıca dairesel ızgaralar gibi başka alternatifler de mevcuttur.

**a) Salıncak Izgaralar:** Izgara bölümleri, fırının genişliği boyunca yerleştirilmiştir. Atığı ilerletmek, sallamak ve aşağı ve yukarı bir hareket sağlamak için karşılıklı sıralar, mekanik olarak bir eksen etrafında döner (Şekil 5.3).

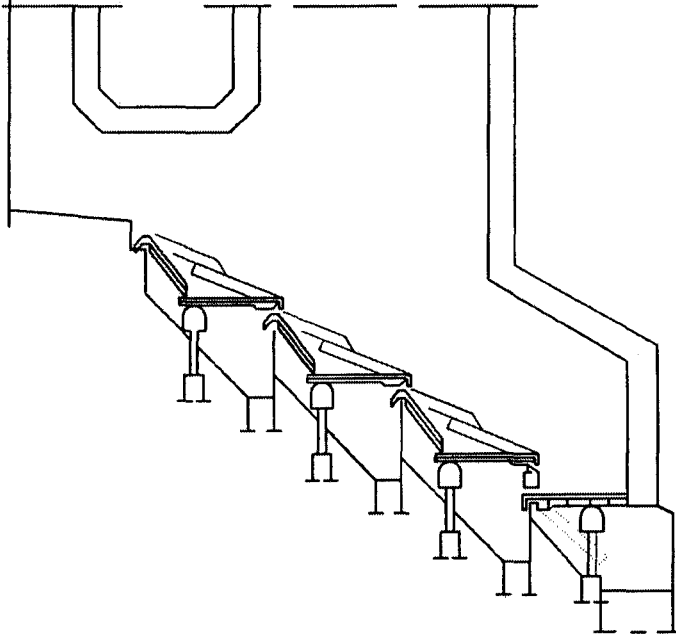
**b) İleri geri hareketli ızgaralar:** Bu tasarım, fırının genişliği boyunca yerleştirilmiştir ancak, her biri diğerinin üstüne istiflenmiştir. Karşılıklı ızgara bölümleri, bitişik bölümler sabit kalırken ileri ve geri hareket eder. Atık sabit kısımda yuvarlanır ve ızgara hareket ettikçe sallanır ve karışır. Daha sonra hareketli bölümler ya hep birlikte ya da döngüde farklı zamanlarda hareket ederler (Şekil 5.4).

**c) Konveyör tipi ızgaralar:** Sürekli bir metal kayış konveyör ya da birbirine geçmiş zincirler içeren konveyör tipi ızgaralar, fırının uzunluğu boyunca hareket eder. Bu tip ızgaralarda atıkların sallanma potansiyeli azalır, çünkü atıklar bir kayıştan bir sonrakine transfer edilirken sadece karışırlar, bu ızgara sistemleri modern tesislerde kullanılır (Şekil 5.5).

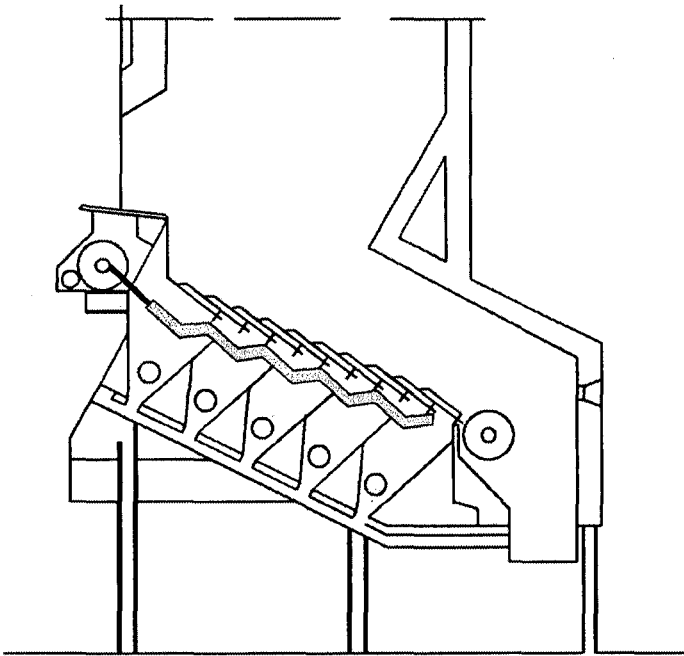
**d) Dairesel ızgaralar:** Silindir ızgara, ızgara alanının genişliği boyunca uzanan delikli silindirlerden oluşur. Atıklar silindirlerde yuvarlandığında bir karışma olayı gerçekleşir (Şekil 5.6).

Modern tesislerde en çok kullanılan ızgara sistemleri ileri geri hareket eden ızgaralardır ve bu sistemlerle ulaşılan yanma kalitesi çok iyidir. Uygun olmayan yükleme hızlarında dip külünde yüksek oranda yanabilir maddeler kalır.

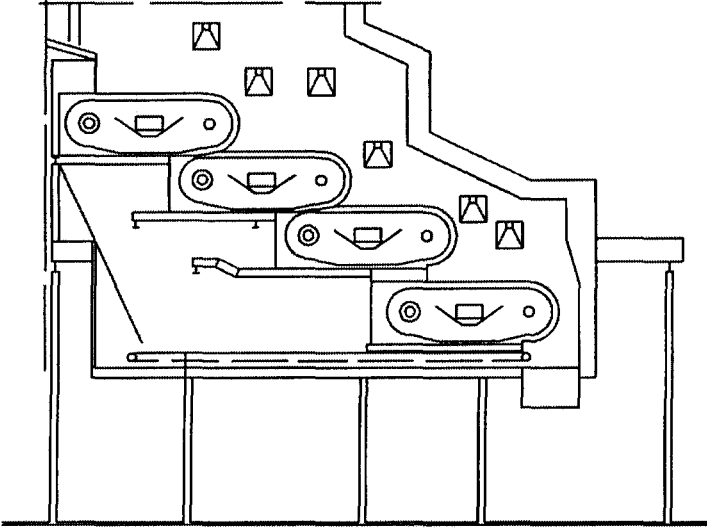
Farklı tipte tasarlanan ızgaralar, fırına atık materyalini beslemek için kullanılır. Atık genellikle bir oluktan fırına beslenir. Bu oluk, fırına infiltrasyonu minimize etmek için atığın hepsini tutar. Oluğun altındaki besleyici sistem fırına giren atığı ölçmek için kullanılır. Hem konveyör tip ızgaralarda hem de hidrolik tip ızgaralarda, atığın kalitesine göre belirlenen besleme hızıyla ızgaraya materyalin uniform bir beslenmesi sağlanır. Atık besleme ızgaraları hava temin sistemleri ile donatılmaz. Izgaranın sonundaki deşarjda, kül, fırının sonundaki deşarj için kullanılan bir su soğutma sistemine transfer edilir. Bazı üreticiler, cürufu ekstrakte etmek için ızgara sonunu modifiye etmiştir ve cüruf daha sonra soğutma tankına gönderilir; diğerlerinde materyal doğrudan soğutma tankına düşer (Chandler ve ark 1997).



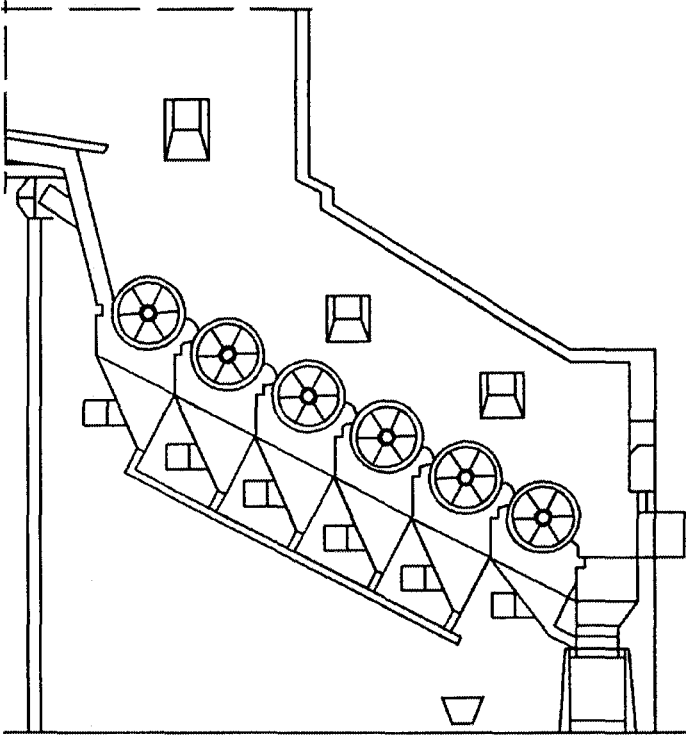
Şekil 5.3. Salıncak tipi ızgara (Chandler ve ark 1997).



Şekil 5.4. İleri geri hareketli ızgara (Chandler ve ark 1997).



Şekil 5.5. Konveyör tipi ızgara (Chandler ve ark 1997).



Şekil 5.6. Dairesel ızgara (Chandler ve ark 1997).

## 5.2. Tıbbi Atık İnsinerasyonun Mikrobiyolojisi

Tıbbi atık insinerasyonunda atık, enfeksiyon ve zehirlilik gibi bir zarara meydan veremeyecek şekilde giderilmiş olmalıdır. Nitekim, uygun tasarım edilmiş ve işletilen bir insinerasyonda ana amaç, RCRA (Resource Conservation and Recovery Act) standartları uyarınca tehlikeli atık için % 99.99 (veya dört dokuz) DRE, toksik atıklar içinse % 99.9999 (altı dokuz) DRE'yi sağlamaktır. Tıbbi atık insinerasyonunda DRE'nin % 99.9999 oranında olması ne denli önemliyse Mikrobiyolojik Giderme Verimliliği'nin yüksek olması da o denli önemlidir. Zira insinerasyonda atıkların hem hacimsel hem de kimyasal açıdan giderimi sözkonusu olmakla birlikte tıbbi atıklar gündeme geldiğinde patolojik, enfekte, toksik ve radyoaktif içerikleri nedeniyle giderimden sonra da çevreye zarar verebilecek birtakım bakteri ve mikroorganizmaların bulunmaması gereklidir (Banar 1998 ve Malkoç ve ark 1999).

Tıbbi atık insineratörlerinden gaz, sıvı ve kül şeklinde çıkan emisyonlardan özellikle gaz emisyonları diğer yanma proseslerinden açığa çıkan gaz emisyonlarından farklıdır. Bu gaz emisyonlarında pek çok analiz yapılmaktadır. Bunlar; dioksin, furan, poliaromatik HC'lar, poliklorlanmış bifeniller, klorfenoller ve klorbenzenler gibi yarı uçucu organikler ve bunlarla mutajenik aktivitenin belirlenmesi; uçucu organikler; partikül yüklenmesi, iz metaller; HCl, NO, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, toplam HC'lar; mikroorganizmalar, içerdikleri bakteri sayısı ve insineratördeki *Bacillus cereus* sporlarının izlenmesi; gaz emisyonlarında ve kül örneklerinde Ames Testi uygulaması şeklindedir.

Yapılan literatür taraması sonuçlarına göre incelenmesi gereken noktalar şöyle özetlenebilir:

- İnsineratörde yanma sıcaklığı 800-1200 °C arasında olup, HKKD sonrası baca gazı sıcaklığı 80 °C civarında olmaktadır. Yanmanın gerçekleştiği bu yüksek sıcaklıklarda birtakım bakterilerin nasıl yaşayabildiği, insinerasyon yerine gömme işlemi uygulanması halinde bakteriler ve mikroorganizmalar açısından durumun ne olacağı merak edilen ve araştırılmak istenilen noktalardır.
- Watts ve ark. (1992) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi farklı tipte (MWC ve HMPWC) insineratör emisyonlarında yapılan örnekleme, örnek

toplama yöntemleri, analitik ve örnek hazırlama yöntemleri ve biyolojik izleme (bioassay) yöntemleri, (mutajenite) geliştirilmesi gereken hususlardır.

- Segall (1991) tarafından yapılan bir çalışmada tıbbi atık insineratörlerinden çıkan hava emisyonları ve küldeki mikroorganizmaların durumunu izlemek üzere indikatör mikroorganizma olarak *Bacillus stearothermophilus* sporları kullanılmıştır. Emisyon toplama hattı su soğutmalı cam prob ve nötral fosfat çözeltilerinden oluşmaktadır. Alan testlerinde sporlar direkt olarak probun içine enjekte edilmiş ve sonuçta sporların ~ %60'ının geri kazanıldığı görülmüştür. Sporlar bir mikrobiyal membran filtre birimi kullanılarak uygun bir şekilde analiz edilmiştir. Laboratuvar deneyleri sporların pH nötral fosfat buffer çözeltilisinde 20 günden fazla stabil kalabildiğini göstermiştir. Örneklere ısı şok uygulandığında (20 dakikada 80 °C ısıtma) asidik veya bazik buffer içindeki spor sayısında azalma gözlenmiştir. Laboratuvar çalışmaları başlangıçta küle ilave edilen sporların 22 günden daha fazla bir süreden sonra %60-70'inin geri kazanıldığını da göstermiştir. Çalışma, tıbbi atık insineratörlerinde Mikrobiyal Giderme Verimliliğini test etmek için kullanılan bir yöntemi içermektedir.
- Bozunma ve giderme verimliliğinin yanında, tıbbi atık insineratörlerinde önemli bir faktör olan mikrobiyal giderme verimliliğinin tespitinde, biyokimya, mikrobiyoloji ve mühendislik bilimlerinin mikroorganizma veya organizmaların ve kültür hücrelerinin teknolojik uygulamasını yapan biyoteknoloji devreye girmektedir. Bu nedenle tıbbi atık insineratörlerinde biyolojik testler, toksisite testleri (LD<sub>50</sub> values rodents), enfekteliğin belirlenmesi (mikrobiyal sayım, ekotoksikolojik testler, genotoksiklik) gibi çalışmaların yapılması son derece önemlidir (Banar 1998).
- Atıkları steril etmekten çok dezenfekte eden yeni teknolojiler ise prosesin etkinliğinde yoğunluk ve nem içeriğinin garanti edilemediği monitorlamanın zorluklarını beraberinde getirir. Prosesin tipi fiziksel ve biyolojik testlerin seçimini etkileyecektir. Uygulamada, orijinal yüklemde hangi organizmanın belirlendiğini ve arıtma sonrasında kontaminant olarak hangilerinin olduğunu kanıtlamak zor olabilir. Belirli bakteriyel

indikatörlerin eksikliği genel olarak kabul edilmeyen tüm patojenlerin serbest olması anlamındadır. İndikatör mikroorganizmalar kadar sıcaklık ve zaman gibi fiziksel parametreler, prosesin etkinliği için önemlidir. Diğer bir yaklaşım, tesisin işleyiş safhaları sırasında kötü koşullar altında canlı bakterilerin toplam sayısında logaritmik azalmanın ölçümü ya da arıtma öncesi ve sonrası örneklerde indikatör bakteri ya da sporların sayısında logaritmik azalmanın değerlendirmesini içerir. Bu, farklı yöntemler için uygun biyolojik indikatörlerin seçimi ve konu ile ilgili proseste test altında ıslak ve kuru ısı gibi termal dayanıklılığı tanımlayan özellikler için önemlidir. Bu testler yetkili bir laboratuvarında uygun kalitedeki mikrobiyologların gözetimi altında tamamlanmalıdır. Biyolojik indikatör çalışmalarının sonuçları, gerçek-zaman (real-time) esasında tesisin etkinliğini sağlamak için tercih edilen proses kontrolüne dayanan mikrobiyolojik testler ve fiziksel parametreler ile ilişkili olmalıdır. Üreticiler prosesin etkin olduğunu göstermekle sorumludurlar ve her bir tesis kuruluşunda değişmektedir (Phillips, 1999).

### 5.3. Tıbbi Atık İnsineratörlerinde Baca Gazı Emisyonları

Tıbbi atık insineratörlerinden çıkan baca gazı emisyonlarından en dikkat çekenleri ve bunların etkileri şu şekildedir:

**Dioksinler:** “Dioksinler” bazı 75 klorludibenzo-dioksinler ve 135 klorludibenzo-furanlardan oluşan kimyasal olarak benzer bileşiklerin bir grubunu tanımlamak için kullanılan genel bir terimdir. Bu bileşiklerin 17’si 2, 3, 7 ve 8 konumunda tetra klorludur ve toksik etkileri bilinir. 2, 3, 7 ve 8 tetra klorlu dibenzo-*p*-dioksin grubu (yaygın olarak 2378 TCDD olarak bilinir) bilinen bir insan kanserojeni olarak sınıflandırılır. Erken tahminlerde tıbbi atıkların insinerasyonunun atmosfere yayılan toplam dioksin yükünün önemli bir miktarından sorumlu olduğu düşünülmüştür. Daha sonraki ve kapsamlı bir eleştiri tıbbi atık insineratörlerinden kaynaklanan dioksin emisyonlarının üretilen toplam dioksinin %2’sinden az olduğunu gösteren orijinal tahminin yanlış olduğunu göstermiştir. Plastikler (yaygın olarak kullanıldıktan sonra atılan maddeler) ve klorlu maddeler (kağıt ve mürekkep) dioksin emisyonunun ana kaynağıdır. Oluşum mekanizmaları atık akımındaki dioksinlerin yetersiz bozunması, uzun

zincirli organik bileşiklerin eksik bozunması ve düşük sıcaklıklarda katalitik reaksiyonlardır (Ferraz ve ark 2000). Yapılan kapsamlı araştırmalar, dioksinlerin geniş bir yelpazede zehirli etkileri olduğunu göstermiştir. Dioksinler dünyanın belli başlı kirleticilerinden biri olmuş ve bütün insanlığın dokularına bulaşmıştır. Sanayileşmiş ülkelerde bu oran öylesine artmıştır ki kadınların dokularındaki dioksin seviyesi doğacak bebeklerin bağışıklık ve sinir sistemlerinde kalıcı hasar ile dünyaya gelmelerine neden olabilmektedir. Atıkların yakılmasının, özellikle evsel (belediye) yakma tesislerinin, başlıca dioksin kaynakları olduğu 1980'lerde ve 1990'ların başında anlaşılmıştır. Çeşitli sanayileşmiş ülkelerde atmosfere yayılan dioksinlerin %40'ı ila %80'inin bu kaynaktan geldiği saptanmıştır. Atık yakma tesislerinden yayılan dioksinlerin ölçülmesinde bazı metodolojiden kaynaklanan hatalar olduğu için, gerçek değer bu belirtilenin de üstünde olduğu düşünülmektedir. Hava kirliliği kontrol teknolojilerindeki ilerlemeler neticesinde, 1990'larda yeni yapılan ve eski olup da yenilenen atık yakma tesislerinin aldığı önlemlerle, atmosfere yayılan dioksinlerin eskiye göre biraz azaltılması sağlanmakla birlikte, son araştırmalar göre atık yakma tesisleri halen en büyük dioksin kaynağıdır. İngiltere'deki atık yakma tesislerinin, dioksin emisyonunun %30-56'sından sorumlu olduğu bulunmuştur. Danimarka'da gerçekleştirilen yeni bir kütle dengesi çalışması atık yakma tesislerinin hem atmosferdeki, hem de düzenli depolama alanları (kül artıkları yoluyla) ile karadaki dioksin kirliliğinin başlıca sorumlusu olduğunu göstermektedir. Ayrıca kirlilik kontrol cihazlarındaki gelişmeler sonucunda, atmosfere yayılan dioksin miktarında azalma sağlanırken, tesiste ortaya çıkan kül artıklarındaki dioksinlerin miktarında artışa neden olmuştur. Bazı yeni veya yenilenmiş atık yakma tesislerinden alınan numunelerin ölçümleri AB yönetmeliklerinin oluşturduğu sınırların içerisinde kaldığını gösteriyorsa da diğer atık yakma tesisleri için bu söylenemez. AB kontrol limitlerine uyamayan atık yakma tesisleri içerisinde testleri çok yakın zaman önce yapılmış İspanya, Polonya, İsveç ve Belçika'daki tesisler de vardır. Belçika'daki yakma tesislerinde, dioksin miktarını sistemin birkaç yerinde izleyerek birkaç saat süreli "Nokta Ölçümler" alan rutin test yapılmıştır. Ancak iki hafta boyunca "Sürekli Ölçüm" testi yapıldığında neticeler kayda değer oranda değişmektedir. "Nokta Ölçümleme" testi, "Sürekli Ölçümleme"ye göre test sonuçlarını 30 veya 50'de bir seviyesinde düşük çıkartmaktadır. Bu nedenle bir çok atık yakma

tesislerinin Sürekli Ölçümleme yapmamalarından endişe duyulmaktadır. İlaveten yeni AB yönetmelikleri "Sürekli Ölçümleme" koşulu getirmediği için kullanılan "Nokta Ölçümlemesi" testlerinin havaya yayılan dioksini gerçeğinden çok daha düşük göstereceği beklenmelidir. Dioksinler ve furanlar, insanlarda chloracne'ye neden olduğu ve aşırı düşük dozlarda bile hayvanlarda öldürücü olduğu bulunan birbirleriyle ilişkili bileşiklerdir.

**Diğer Organik Bileşikler:** AB kontrol kolaylığı için, yayılan bütün organik kimyasallar gibi atmosfere salınan tüm organik karbonların da üst sınırını bir yönetmelik ile tanımlamış ve önermiştir. Ancak bu atık yakma tesislerinin bacalarından yayılan bilinen organik kimyasalların zehirliliğini ve sağlığa etkisini göz önüne almaktan uzaktır. Ayrıca bu yönetmelik, tam olarak tanımlanamayan kimyasallar, bunların zehirliliği ve bunların sağlık üzerindeki etkilerini tamamen gözardı etmektedir.

**Partiküller:** Her tür atık yakma tesisi atmosfere küçük parçacıklar salar. Bu partiküllerin çoğu çok küçük boyutlardadır. Atık yakma tesisleri bacalarında günümüzde kullanılan hava kirliliği ile kontrol donanımları ( $<2,5\mu\text{m}$ ) partiküllerin sadece %5 ila %30'unun havaya karışmasını önleyebilmekte, ama ultra küçük patiküller için ( $<0,1\mu\text{m}$ ) hiçbir etkileri olmamaktadır. Akciğerlerin en dip köşelerine kadar yayıldıkları için asıl bu küçük ve ultra küçük partiküllerin insan sağlığına zarar verebildikleri düşünülmektedir. Bu gözle bakıldığında atık yakma tesislerinin, insan sağlığına en zararlı bir tür hava kirliliğini, bu küçük partiküllerin yarattığı söylenebilir. Son araştırmalar ağır metal yüklü küçük partiküllerin daha da tehlikeli olduğunu göstermektedir (http-4). Partikül madde, yaklaşık 10 mikron boyutundadır. Partikül yanmamış organikler ya da küldür ve genellikle metalleri adsorbe ederler. Partiküllerin kontrolü elektrostatik çöktürme, torba filtre ya da kuru toz tutucular tarafından yapılmaktadır. Partikül maddelerin belirli bir kısmı ıslak yıkayıcı sistemler tarafından kontrol edilebilirken, organik madde hidrofobiktir ve su fazından akışa doğru geçecektir. Bu yüzden partiküllerin kontrolü için suyun kullanımı dikkatli değerlendirilmelidir (Brunner ve Brown 1988).

**Ağır Metaller:** Atık yakma tesislerinin bacalarından, aralarında kurşun ve kadmiyum da bulunan ağır metaller yayılır. Birçok ağır metal çok uzun ömürlüdür ve sağlığa etkileri son derece olumsuzdur. Hava kirliliğini önleme araçları

teknolojilerindeki ilerlemeler sayesinde, son yıllarda, cıva hariç, atık yakma tesisleri bacalarından yayılan ağır metallerde bir azalma gözlenmiştir. Her şeye rağmen yeni tesislerden de gene ağır metaller yayılmakta ve çevrede zaten bulunan miktarlara eklenerek çevre ve insanlarda birikmektedir. Dioksinlerde de olduğu gibi hava kirliliğini önleme donanımları ile yapılan mücadele sonucu atmosfere karışmayan ağır metaller, tesis küllerinde birikecek ve en sonunda bu küllerin depolama alanlarına atılması yoluyla çevre kirliliği yaratacaktır. Cıva, körlüğe, kas bozulmalarına, doğum deformasyonlarına ve ölüme neden olur. Arsenik, kanserojendir ve solunum yolu tahriş edicidir. Kadmiyum, kanserojendir, kardiyovasküler hastalıklara neden olur ve sucul hayata aşırı derecede toksiktir. Krom, aşırı hava varlığında altı değerlikli ve azalan hava miktarında üç değerlikli olarak oluşur. Altı değerlikli krom kanserojen olup, solunum yolu hastalıklarına ve deri tahribatına neden olurken, üç değerlikli kromun yaşam üzerinde belirgin bir hasarına rastlanmamıştır. Partikül maddeler gibi kontrol edilirler. Ancak, eğer belirli bir miktarda altı değerlikli krom külde bulunursa, bunu üç değerlikli forma dönüştürmek için ek bir prosese ihtiyaç vardır (Brunner ve Brown 1988).

Atık yakma tesisleri, özellikle tıbbi atık yakanlar, büyük miktarda cıva yayan kaynaklar olarak etiketlenmiştir. Örneğin ABD’de havadaki cıva emisyonunun %39’u atık yakma tesislerinden gelmektedir. Dünya ortalaması yaklaşık %29’dur. Cıva bir defa çevreye yayıldığında besin zincirine ve biyobirikime katılan metil cıvaya kolayca dönüşmektedir. Dünyada atmosfere verilen manganezin %21’inin, kurşunun %20,7’sinin, antimonun %19’unun, kalayın %15’inin ve de selenyumun %11’inin yakma tesislerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Yakma tesislerinde oluşan küller bazen asfalt ve yol yapımı için kullanılan çimento gibi maddelerle inşaat amaçları için kullanılmaktadır. Bu da ters bir şekilde çevreyi ve insan sağlığını etkilemektedir. Örneğin bu tür metaller konstrüksiyon maddelerinden sızabilmektedir. 1994 ve 1999 arasında İngiltere Newcastle’da evsel atık yakma tesisinden elde edilen küller bazı yerel arazilerde ve yollarda kullanılmıştır. Bunların daha sonra çok yüksek miktarda ağır metal içerdiğinin anlaşılması üzerine hepsi tekrar kaldırılmak zorunda kalmıştır (http-4). Çizelge 5.1.’de Dünyada atık yakma tesislerinden kaynaklanan metallerin atmosferik emisyonları verilmiştir.

**Cizelge 5.1.** Dünyada atık yakma tesislerinden kaynaklanan metallerin atmosferik emisyonları (http-4)

Metal	Atık Yakma Tesisinden Alınmış Atmosferik Emisyonlar	
	Yılda 1000 ton	Toplam emisyon içindeki yüzdesi
Antimon	0,67	19,0
Arsenik	0,31	3,0
Kadmiyum	0,75	9,0
Krom	0,84	2,0
Bakır	1,58	4,0
Kürsüm	2,37	20,7
Manganez	8,26	21,0
Çiya	1,16	32,0
Nikel	0,35	0,6
Selenyum	0,11	11,0
Kalay	0,81	15,0
Vanadyum	1,15	1,0
Çinکو	5,90	4,0

**Kükürt dioksitler:** Tesis hasarları gibi büyük atmosferik etkilere sahiptirler ve göz tahrişi ve amfizem ve bronşit gibi solunum hastalıklarına neden olabilirler. Bunlar alkali çözelti içinde ıslak yıkama ya da kuru sistemler ile kontrol edilebilirler.

**Azot oksitler:** Dumanlı sis gibi büyük atmosferik etkilere sahiptirler ve kanda oksijen eksikliğine neden olabilirler. Azot oksitler en iyi şekilde etkin yanma ya da amonyak bazlı injeksiyon sistemleri tarafından kontrol edilebilirler.

**Karbon monoksit:** Kırmızı kan hücrelerine saldırır. 1000 ppm seviyelerinde öldürücüdür. Karbon monoksit yakma prosesinin verimli kontrolü ile kontrol edilebilir.

**Poliklorlu bifeniller (PCBler):** Kanserojen olarak sınıflandırılırlar ve karaciğer hasarlarına neden olurlar. Verimli yanma ile kontrol edilebilirler. Kuru sistemler aynı zamanda bunları çıkış gaz akımından uzaklaştırır.

**Hidrojen klorür:** Akciğer ve göz tahribatçısıdır ve bitki hasarı gibi büyük atmosferik etkilere neden olur. İnsineratörün baca gazlarından ya ıslak ya da kuru yöntemler ile uzaklaştırılabilir (Brunner ve Brown 1988).

### 5.3.1. Tıbbi Atıkların İnsinerasyonunda Yanma Olayları

İnsineratörlerde yanma olayları sırasında (a) standart yanma gazları ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ) ve (b) yanmadan kaynaklanan kirleticilerin ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ) yanısıra atık bileşimindeki komponentlerin tür ve miktarına bağlı olarak oluşan (c) diğer inorganik asidik gazlar ( $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{F}_2$ ), (d) organikler (PCDD, PCDF, klorbenzen (CP), klorofenol (CF), PCB, PAH), (e) toksik nitelikli ağır metaller (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.....), (f) uçucu organikler (VOC), (g) toplam partikül içinde özel bileşenler (uçucu kül, duman ve yoğunlaşma ürünleri) olmak üzere gaz, buhar, aerosol ve partikül şeklindeki kirletici bileşenler de açığa çıkmaktadır. Bir ton atık yakıldığında ortalama 0,3 ton kül ve cüruf oluşmakta ve  $5000 \text{ m}^3$  baca gazı açığa çıkmaktadır (Brna ve Kilgroe 1990; Johnson ve Burnett 1978; Banar ve Kara 1995; Banar ve ark. 1997; Banar 1998).

İyi tasarlanan bir insineratörde, yüksek alev sıcaklıklarını sağlamak üzere, ilave yakıt kullanımıyla tam yanma sağlanabilir. Etkin bir insinerasyon işlemi atık bileşimindeki H, C, S ve N sırasıyla  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  ve  $\text{NO}_x$ 'a; klor,  $\text{HCl}$  veya  $\text{Cl}_2$ 'a; veya flor,  $\text{HF}$  veya  $\text{F}_2$ 'a; alkali metaller (Na, K gibi) hidroksitlerine ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ); alkali olmayan metaller (Cu, Fe) ise oksitlerine ( $\text{CuO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dönüştürülebilir. Gerçek uygulamada ise tam oksidasyon ürünleri yanında kısmen okside olmuş eksik yanma (PICs) ürünleri ( $\text{CO}$ , is, kurum ve sayısız diğer organikler) ile POHC emisyonlarını yükselten kısmi bozunma ürünleri de oluşur (Lee ve Huffman 1989; Banar 1998).

Partikül madde, yanmayan parçacıklardan ve katı veya aerosol şeklindeki yanma ürünlerinden oluşur. Baca gazında kontrol sisteminin bulunmadığı koşullarda partikül madde derişiminin  $1,14-11,4 \text{ g/m}^3$  ( $0,5-5 \text{ tane/ft}^3$ ) arasında değiştiği bilinmektedir (Santoleri 1994; Banar 1998). Evsel katı atıkların yakıldığı insineratörlerden kontrollü koşullarda atmosfere atılan partiküllerin derişim seviyeleri  $1-2,7 \text{ mg/m}^3$ , kütleli hızları  $21-188 \text{ kg/h}$ , emisyon faktörleri ise  $4-12,5 \text{ kg/ton}$  düzeyindedir. Partikül boyutları genellikle  $2-30 \text{ }\mu\text{m}$  arasında dağılım gösterir. Bazı insineratörlerden atılan partiküllerin boyutları,  $0-10\mu\text{m}$  arasında değişir (Klee 1984; Banar 1998). Kurum oluşumunu önlemek için, karıştırmanın, sıcaklığın ve kalış süresinin artırılması gerekir. İnsineratörde yanma sürecinde oluşan duman, distile organik maddeler ve uçucu ağır metaller (kurşun, çinko gibi), genellikle klorlu ve sülfatlı bileşikler halinde emisyonlara karışırlar.

Kanserojen polinükleer aromatik bileşikler, çeşitli hidrokarbonlar, hidrojen ve CO gibi yanabilen gazlar, kötü tasarım edilmiş insineratörlerin etkin olmayan işletiminden, oksidasyon sırasında atıkların düşük sıcaklığa maruz kalmasından, gerekli sıcaklıkla yeterinden daha kısa süreli temastan ve oksijen kullanılarak arttırılabilen yakma türbulansının yetersizliğinden kaynaklanır.

Klorlanmış HC'ların insinerasyonu, hidrojen klorür (HCl) ve az miktarlarda klor ( $Cl_2$ ) oluşumuna yol açar. Organik florür ve bromürlerin insinerasyonu sonucunda da benzer şekilde HF, HBr ve  $Br_2$  oluşur. İnsineratöre yüklenen atıkta ve ek yakıtta bulunan kükürt, baca gazında, büyük bir kısmı  $SO_2$ 'den oluşan, ancak % 1-50  $SO_3$  içeren kükürt oksitleri ( $SO_x$ ) karışımını meydana getirir (Richman 1991; Banar 1998).

Organofosfor bileşiklerinin yanma ürünü olarak açığa çıkan ve emisyonlara katılan  $P_2O_5$  de oldukça koroziftir. Atık materyal içindeki oksitler de yakma havası etkisiyle oluşan oksitlerle birlikte emisyonlara karışarak, süspanse partikül emisyonları, mineral oksit parçacıkları, mineral bileşenlerinden kaynaklanan tuzlar vs. şeklinde bacadan atılırlar. Atık ve ek yakıt içindeki organik bileşiklerin tam yanmaması sonucu oluşan çeşitli organik bileşikler baca gazıyla doğrudan atmosfere atılırlar (Richman 1991; Banar 1998).

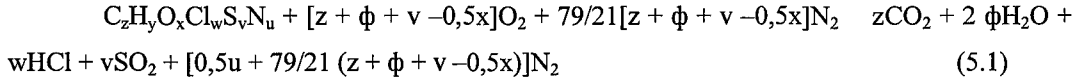
Havadaki veya atıktaki azotun oksijenle tepkimesi sırasında, özellikle yüksek sıcaklıkta yanma sonucunda oluşan azot oksitler, yanma sıcaklığının veya fazla havanın düşürülmesi ile azaltılabilirse de, bu kez tam yanmama sonucu açığa çıkabilecek diğer kirleticiler (CO, tam yanmamış HC'lar vd.) oluşabilir. Atık materyalde genellikle fazla azot bulunmaz. Ancak, atık bileşiminde azot içeren maddelerin bulunması (nitratlar, amonyak bileşikler vb.)  $NO_x$  emisyonlarını büyük ölçüde arttırır.

Pb, Cd, As, Ni, Cu ve Hg gibi metalik bileşenler, baca gazında özellikle oksitler ve klorür tuzları şeklinde bulunur. İnsinerasyon sisteminde metalik bileşenlerin çoğu 982 °C (1800 °F) civarında kaynama ve süblime olma özelliği gösterdiklerinden buhar fazındadır. Metalik bileşenler soğumuş baca gazında kondense olmaya yönelirler ve ince partiküllerin (genellikle mikron altı boyutta) üzerine adsorbe olmaya başlarlar. Bu arada, cıva ve kurşun gibi daha uçucu metaller, sıcaklığa bağlı buhar fazında kalabilirler (Santoleri 1994; Banar 1998).

İnsineratör verimi işletim ve bakım prosedürlerine bağlıdır. Yanlış uygulamalar ekipmanın kötüleşmesine ve proses veriminin düşmesine neden olur. Bu uygulamalar aşağıdaki uygun prosedürlerle düzeltilebilir.

Gaz çıkışlarında kirletici derişimini hesaplamada emisyon faktörleri üretilen yanma gazı hacmiyle ( $V_g$ ) çarpılır.

İdeal gaz davranışına göre yanma gazının teorik hacmi ( $V_{gth}$ ) Çizelge 5.2'deki tıbbi atık bileşimi ve aşağıdaki teorik yanma denklemi kullanılarak hesaplanır.



Tam yanmayı sağlamak için insinerasyon aşırı oksijenle yapılmalıdır. Aşırı hava ( $V_{excair}$ ) gerçek olarak üretilen yanma gazı hacmini hesaplamak için hesaba katılmalıdır.

$$V_g = V_{gth} + V_{excair} = \alpha \times V_{gth} \quad (5.2)$$

Gaz çıkışında bulunan oksijenin hacimce yüzdesi ( $V_{O_2}$ ) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır.

$$(V_{O_2}) (\%) = 0,21 \times (\alpha - 1 / \alpha) \times 100 \quad (5.3)$$

**Çizelge 5.2.** Ortalama tıbbi atık bileşimi (Ferraz ve ark. 2000)

	Ağırlık (g/kg <sub>atık</sub> )	Değişken
Karbon	511,0	z
Hidrojen	62,3	y
Oksijen	213,0	x
Azot	4,5	u
Kükürt	1,7	v
Klor	41,2	w
Nem	90,0	
Kül	76,2	

$y > w$  ise  $\phi = 0,25(y - w)$   $y = w$  ise  $\phi = 0$

### 5.3.2. Gaz emisyonlarının mikrobiyolojik ve mutajenik açıdan irdelenmesi

Enfekte atıklarda mevcut patojenler, bakteriler, mikrobakteriler, mantarlar, parazitler, virüsler ve riketsiyalardan oluşan kompleks bir yapıdır. Patojen mikroorganizmalar çok narindir ve insineratörler içinde oluşan sert koşullarda kolaylıkla bozunurlar. Sitotoksik yapılar genellikle kemoterapide kullanılan maddelerdir ve hücreler için yüksek toksik özelliindedir. Emisyonlardaki sitotoksik yapılar üzerine hiçbir veri bulunmamaktadır. Bu potansiyel kirleticilerden biri

patolojik mikroorganizmalardır. Ancak, insineratördeki hava emisyonları ile ilgili mikroorganizmaların ölçümleri için kabul edilmiş bir yöntem yoktur (Rutala ve Mayhall 1992).

Segall ve ark. (1991) çalışmalarında tıbbi atık insineratörlerinin patojen bozunma verimliliğini değerlendirmede bir test yöntemi geliştirmeyi tasarlamışlardır. Araştırmaların bir kısmı insineratörlerden mikrobiyal emisyonların ölçümleri için iki genel yaklaşımın olduğunu göstermiştir. Birincisi, baca gazında mevcut doğal türlerin toplanması, üretilmesi ve tanımlanması içindir. İkincisi ise indikatör mikroorganizma olarak tanımlanan yüksek sıcaklığa dayanıklı bakteri sporlarının insineratör atıkları ile karıştırılıp insineratöre verilmesidir. İkinci yaklaşım çeşitli nedenlerden dolayı mikrobiyal bozunma verimliliği test yönteminin temelini sağlaması için seçilmiştir. İnsineratöre en kötü koşulları simüle etmek amacıyla ısıya dirençli sporlar karıştırılsa bile, insineratör giderme verimliliğinin % 99,9999 olduğu gözlemlenebilmiştir. Ayrıca, indikatör sporların analizi için bazı patojen olan çeşitli türlerin tanımlanması ve üretilmesi istenmez. Daha ziyade, spor analizi örnek analiz yapanı koruyan ve kontaminasyonun az olduğu spesifik kültür yöntemleri ister. Sonuç olarak, örnek geri kazanımı ve işleme ihtiyaçları önceden bilinebilir.

Watts ve ark. (1992), çeşitli yanma kaynaklarına ait mutajenik emisyon faktörleri değerlerini verdikleri çalışmada, insineratörlerin biyolojik emisyon karakterleri hakkındaki incelemelerini yansıtmakta ve insineratör emisyonlarında ekstre edilebilir organiklerle (EOM) partiküller için derişim ve kütleli debi değerlerini sunmaktadırlar. Yaptıkları çalışmanın amacı; iki evsel ve bir tıbbi atık yakma sisteminden oluşan emisyon partikülleriyle birleşen organiklerin mutajenitesini belirlemek ve analitik ve mutajenik biyo izleme yöntemlerinin geliştirilmesinde kullanılmak üzere baca örnekleri toplamak ve iki tip yüksek hacimli kaynak azaltma örnekleyicilerini test etmek üzere araştırma yapmaktır. Elde edilen veriler, partikül yoğunlukları ve emisyon oranları, organik yoğunlukları ve emisyon oranları ve Salmonella (Ames) mutajenik potansiyeli ve emisyon oranlarını göstermektedir. Mutajenik emisyon oranları ve emisyon faktörleri diğer insineratörler ve yakma kaynaklarıyla karşılaştırılmıştır.

Modern insineratörlerin atıkları (kül ve baca)'nın bakteriyolojisi hakkında muhtemelen 850-1000 °C civarındaki yüksek sıcaklıkta hiçbir organik ve canlı

materyalin yaşayamayacağından dolayı çok az sayıda bilgi vardır. Bazı eski ve yetersiz insineratörler hala kullanımda olduğundan, bazı ilk çalışmaların eleştirileri bununla ilgilidir. Örneğin, Darlow, insineratör bacasından dışarı çıkan mikroorganizmaları kültür plaklarına geri kazanmıştır, Barbeito&Shapiro (1977) (bakınız Collins ve Kennedy 1992), 760 °C ve 870 °C birincil oda sıcaklığında *Bacillus globigii* sporlarına rastlamamışlardır. Ancak son çalışmada, Blenkarn & Oakland (1989), birincil odası 800 °C, ikincil odası 1000 °C'de uygulama için tasarlanan bir insineratör kullanmıştır. Normal uygulama koşullarında, bacanın dibindeki bir örnekleme noktasında baca gazı sıcaklıklarını 186-305 °C civarında bulmuşlardır (*Bacillus* spp., *Staphylococcus* spp. ve birkaç gram negatif basil) bu noktada 400 cfu/m<sup>3</sup> üzerinde bakteriler geri kazanılmıştır. Bacanın üstünden örnekleme yapmamışlardır. Diğer taraftan Allen ve ark. (1989), atığı *Bacillus subtilis* ile karıştırmış, insineratör baca gazında bakterileri tespit etmesine rağmen, bacanın dışından geri kazanmamıştır. Elde edilen sonuçlar baca gazı bakterilerinin kaynağının yanmamış atıklardan olduğunu göstermektedir. İnsineratör odasından alınan hava örnekleri, baca gazı bakterilerinin kaynağının muhtemelen yanma havası olduğunu göstermiştir.

Scott & Jones (1990) (bakınız Collins ve Kennedy 1992) İngiliz standartlarına uygun, canlı bakterilerin serbestçe dışarıya verildiği sıcaklığa göre üretilmiş diğer bir modern insineratör kurmuşlardır.

Baca gaz çıkışının atık insinerasyonu sırasında serbest bırakılan mikroorganizmaların tek potansiyel kaynağı olmadığını belirleyen Peterson (bakınız Collins ve Kennedy 1992) altı evsel insineratörün etrafındaki havadaki tozu incelenmiş ve 197 organizma/ft<sup>3</sup> sayılmıştır. *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae* ve *Klebsiella pneumoniae* az sayıda bulunmuştur. *E. coli* altı insineratörün beşinde bulunmuş ve altısının tümünde  $\alpha$ -haemolytic streptococci elde edilmiştir. Havanın mikrobiyal kalitesi ve insineratör çevresindeki toz, Glysson et al. (1974) (bakınız Collins ve Kennedy 1992) tarafından araştırılmıştır. Çok sayıda  $>75 \times 10^3$  cfu/m<sup>3</sup> mikroorganizma sayılmıştır. Çizelge 5.3 bu çevrelerden elde edilen potansiyel mikroorganizmaların bazılarını göstermektedir (Collins ve Kennedy 1992).

**Çizelge 5.3.** Atık işleme (handling) tesislerinin havasında bulunan patojenler ve endotoksin üretenler (Collins ve Kennedy 1992).

Patojenler	Endotoksin üretenler
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	<i>Enterobacter agglomerans</i>
<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Klebsiella oxytoca</i>
<i>Proteus spp.</i>	<i>Pseudomonas putida</i>
<i>Pseudomonas spp.</i>	
<i>Salmonella serotypes</i>	
<i>Serratia marcescens</i>	
<i>Staphylococcus aureus</i>	
<i>Streptococcus pyogenes</i>	
<i>Streptococcus pneumoniae</i>	

Rossi ve ark (1991) evsel ve endüstriyel katı atık insinerasyon tesisi ve bunların çevresinden aldıkları örnekleri genotoksisiteleri açısından analiz etmişlerdir. Test organizmaları olarak *Salmonella typhimurium* TA98 ve TA100 suşları ve *Saccharomyces cerevisiae* D7 diploit suşları kullanılmıştır. Pestisitler gibi diğer olası kirlenici kaynaklardan dolayı çeşitli mutajenik bileşenlerin orijini bulmak çok zordur. Ayrıca, hakim rüzgarlar, yağmurlar ve atmosfer basıncı ile mutajenik maddelerin bulunması arasında bağlantı kurmak mümkündür.

Rossi ve ark (1992) insinerasyon tesisi etrafındaki toprak örnekleri ile insineratör emisyonlarının mutajenitesi arasındaki ilişkiyi onaylamak ve tesis çalışmadığı zaman genotoksik maddelerin süreklilik zamanlarını değerlendirmek için bir yılda dört numune alarak araştırma yapmışlardır. Örnekler *Salmonella typhimurium* TA98 ve TA100 suşları ve *Saccharomyces cerevisiae* D7 diploit suşları ile ve metabolik aktivasyon olmaksızın test edilmişlerdir. Veri analizleri hem toprak örneği bölgesi, hem de örnekleme zamanıyla ilişkili test organizmaları üzerinde farklı etkilerin olduğunu göstermiştir.

Watts ve arkadaşlarının (1992) yaptıkları çalışmanın amacı; iki evsel ve bir tıbbi atık yakma sisteminden oluşan emisyon partikülleriyle birleşen organik maddelerin mutajenitesini belirlemek ve analitik ve mutajenik bioassay prosedürlerinin geliştirilmesinde kullanılmak üzere baca örnekleri toplamak ve iki tip yüksek hacimli kaynak azaltma örnekleyicilerini test etmek üzere araştırma yapmaktır. Elde edilen veriler, partikül yoğunlukları ve emisyon oranları, organik madde yoğunlukları ve emisyon oranları ve *Salmonella* (Ames) mutajenik potansiyeli ve emisyon oranlarını göstermektedir. Mutajenik emisyon oranları ve emisyon faktörleri diğer insineratörler ve yakma kaynaklarıyla karşılaştırılmıştır.

### 5.3.3. Gaz emisyonlarının toksisite açısından irdelenmesi

Theelen (1992), Hollanda'daki evsel atık insineratöründen çıkan emisyonların toksisitesini belirlemek için kısa süreli oral toksisite çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Çalışmada, erkek yaban domuzu ve sığırcılar baca külü örnekleriyle beslenmişlerdir. Baca külünde çeşitli metaller, dioksin ve furanların bulunduğu halojenli organik bileşikler tespit edilmiştir. Uçucu küldeki yüksek dozlu seviyelerde metallerin toksisiteyi çok daha açık görülürken, dioksin ve furandan dolayı düşük seviyelerde dahi toksik etkilerin görülebileceği ortaya çıkarılmıştır.

Silkowski ve ark (1992), Şikago'daki bir evsel katı atık insineratörünün hem dip külünde hem de uçucu külünden alınan örnekleri organik çözücüler, su veya asitlendirilmiş su ile ekstrakte etmişlerdir. Bu ekstraktlara *Salmonella typhimurium*'un TA98 ve TA100 suşları ile mutajenite ve toksisite tayinleri yapılmıştır. Organik ekstraktların küçük derişimlerini değerlendirebilmek için mikropreinkübasyon yöntemi kalibre edilmiş ve geliştirilmiştir. Direkt hareketli mutajenler olmamasına rağmen asitle muamele edilmiş sulu ekstraktlar toksiktir. Hepatik mikrosomal aktivasyondan sonra (S9) metilen klorür-metanol'le izole edilen maddeler mutajeniktir. Sulu ekstraktlar ne toksik ne de mutajeniktir. Bununla beraber asitle muamele edilmiş sulu ekstrakt TA100 suşunda mutajeniktir. Asidik ekstraktan izole edilmiş organik madde mutajenik potansiyele sahiptir. Organik çözücü ekstraktın mutajenitesi % 12 oranında geri döndürülmesine rağmen, elde edilen veriler asidik koşullar altında evsel katı atık insineratör külünün uygulanmasında iki tip promutajen olduğunu gösterir. Depolanan evsel katı atık insineratör külünün asit yağmurlarıyla perkolasyonu çevrede toksinlerin ve mutajenlerin hareketinin artmasına neden olabilir.

Demarini ve ark (1992), yükleme sırasında oluşan suboptimal koşullar altında çalışan fırında üretilen emisyonların biyolojik yapılarını ve kimyasal bileşimini incelemek için prototip/laboratuvar ölçekli döner fırını kullanmışlardır. Model atık polietilen (PE), polivinil klorür (PVC), toluen (TOL), karbon tetra klorür (CCL<sub>4</sub>), PE+PVC ve TOL+CCL<sub>4</sub> açısından değerlendirilmiştir. *Salmonella* (Ames) mutajenite yöntemi suş TA 98(+S9) kullanılarak uygulanmıştır.

Emisyonların mutajenik potansiyeli PE>TOL>PE+PVC>TOL+ CCl<sub>4</sub> şeklinde olup, PVC ve CCl<sub>4</sub> organik ekstraktlarının emisyonları mutajenik değildir.

#### 5.4. Tıbbi Atık İnsineratörlerinde Kül ve Cüruf Oluşumu

Atık yakma tesislerinin bacalarındaki hava kirliliği kontrol donanımında tutulan uçucu küller ve taban külleri dioksin ve ağır metaller gibi sayısız tehlikeli kimyasal barındırır. Bu potansiyel zehirliliğe rağmen AB, küllerdeki kalıcı organik kimyasallar ve ağır metaller için hiçbir sınırlama standardı getirmemiştir. Kirleticilerin bulaşmış olmasından dolayı tesis küllerinin ortadan kaldırılması, çevre kirliliği açısından önemli bir sorundur. Küllerin çoğu depolama alanlarına gömülür. Bu da toprağın alt katmanlarının ve yeraltı sularının kirlenmesine neden olabilir. Bazı vakalarda yeraltı sularının küllerden sızan kurşun ve kadmiyum gibi ağır metallerle kirlendiği tespit edilmiştir. Sızıntıyı azaltabilmek için ortadan kaldırılmadan önce küller bazen çimento ile karıştırılarak dengelenmeye çalışılmaktadır. Her ne kadar bu uygulama kısa vadede ağır metallerin ve zehirli kimyasalların sızıntısını önliyorsa da hava koşulları etkisinde eskime ve erozyon sonucu uzun vadede doğaya geri dönüş kaçınılmazdır. Son zamanlarda bazı Avrupa ülkelerinde dip ve/veya uçucu külleri, küllerin "emin" bir şekilde ortadan kaldırılmasının maliyetini azaltacak şekilde inşaatlarda kullanma eğilimi görülmektedir. Küller yol yapımında da kullanılabilir ancak bu kalıcı zehirli maddelerin uzun vadede erozyon nedeniyle tekrar çevreye ve oradan da insana bulaşması söz konusu olabilir. Örneğin: İngiltere'nin Newcastle şehrinde işletme halinde modern bir atık yakma tesisinin taban ve uçucu külleri 1994-1999 yılları arası hem yol yapımında hem de tarlalarda gübre olarak serpilerek kullanılmıştır. Tarlalardaki bu külün yapılan son analizi, yüksek oranlarda ağır metal ve dioksin varlığını göstermiştir. Atık yakma tesislerinden çıkan küllerin insan sağlığına potansiyel etkileri olduğu açıktır; ama böylesi uygulamalar ne AB ne de ulusal seviyede çıkartılan veya hazırlanan yönetmelikler veya yasalarla kontrol edilmemektedir ([http-4](http://4)).

Legiec ve ark (1989), leaching prosesinin kinetiklerini belirlemek ve sürekli ekstraksiyon prosesini tasarlamak için Kanada ve Massachusetts'de bulunan iki insineratörden aldıkları kül atıkları üzerinde çalışmışlardır. Yapılan

bir dizi ekstraksiyon çalışmalarında metallerin kül matrisinden ayrılması ve uzaklaştırılması üzerine ekstrakte edici çözeltinin verimi incelenmiştir. Kül olarak ya dip kül, uçucu kül ya da her ikisinin karışımı kullanılmıştır. Ekstrakte edilmek için kül 1,0 N NaCl ile karıştırılmış, ayrılan çözeltinin pH'ı 3'e HCl ile ayarlanmıştır. Bu ayırma çözeltisinin daha önceki deneylerde yüksek verim verdiği görülmüştür. Atık ekstraktın ağır metallerinin (Pb, Cd, Cr) çeşitli konsantrasyonları ve iletkenliği ölçülmüştür. Metallerin konsantrasyonu ve pH, sabit zaman periyodunda ölçülmüş ve bunların birbirleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu maddelerin tehlikeli metal olmaları, Pb, Cd ve Cr'un atık külden ayrılmasını ve geri kazanımını önemli hale getirmiştir.

#### **5.4.2. Kül ve cürufların mikrobiyolojik ve mutajenik açıdan irdelenmesi**

Birçok çalışma insineratör baca emisyonlarındaki mikroorganizmaların potansiyel serbest kalmalarını tahmin etmesine rağmen, neredeyse insineratör atıklarının (küllerin) mikrobiyal kontaminasyonuna önem vermemektedir.

Segall ve arkadaşlarının (1991) yaptığı çalışmanın amacı, tıbbi atık insineratörlerinin mikrobiyal bozunma verimliliğini belirlemek için bir yöntem geliştirmektir. Laboratuvar testleri; indikatör sporların sayımında için bir yöntem belirlemek ve gaz emisyonları ile kül örneklerinde spor stabilitesini test etmek için geliştirilmiştir. Spor geri kazanımında örneğin depolama süresinin etkisinin önemli olduğu bilindiğinden, kül örnekleri belirli bir süre bekletildikten sonra fosfat tampon çözelti içerisinde spor geri kazanımı deneyleri yapılmıştır. Örnek pH'ının etkisi insineratörlerin yüksek asit emisyonları potansiyellerinden dolayı araştırılmıştır. Bir başka etki olan heat shock (ısı şok) sporlu bakterilerin bozundurulması için kullanılmıştır. Alan testleri zemin kontaminasyonunun potansiyelini değerlendirmeyi ve tıbbi atık insineratörü ile birlikte kombine örneklemenin doğruluğunu belirleme testlerini ve analitik prosedürleri içermektedir.

Evsel katı atıkların düzenli depolama sahalarında bertarafına alternatif olan insinerasyonun, hacim azalması ve enerji üretimi gibi avantajları bulunmaktadır ancak, hem hava emisyonları hem de atık kül çevresel ve insan sağlığı tehlikeleri olarak ortaya çıkmaktadır. Uçucu ve dip küllerinin mutajenitesini belirlemek

amacıyla Shane ve ark (1993) iki insineratörden alınan küllerde Ames mutajenite yöntemini kullanmışlardır. İnsineratör A'dan alınan çoğu uçucu ve dip kül örneklerinde mutajenik bileşikler bulunurken, insineratör B'den alınan uçucu küllerin birkaçında mutajenik bileşikler bulunmuştur.

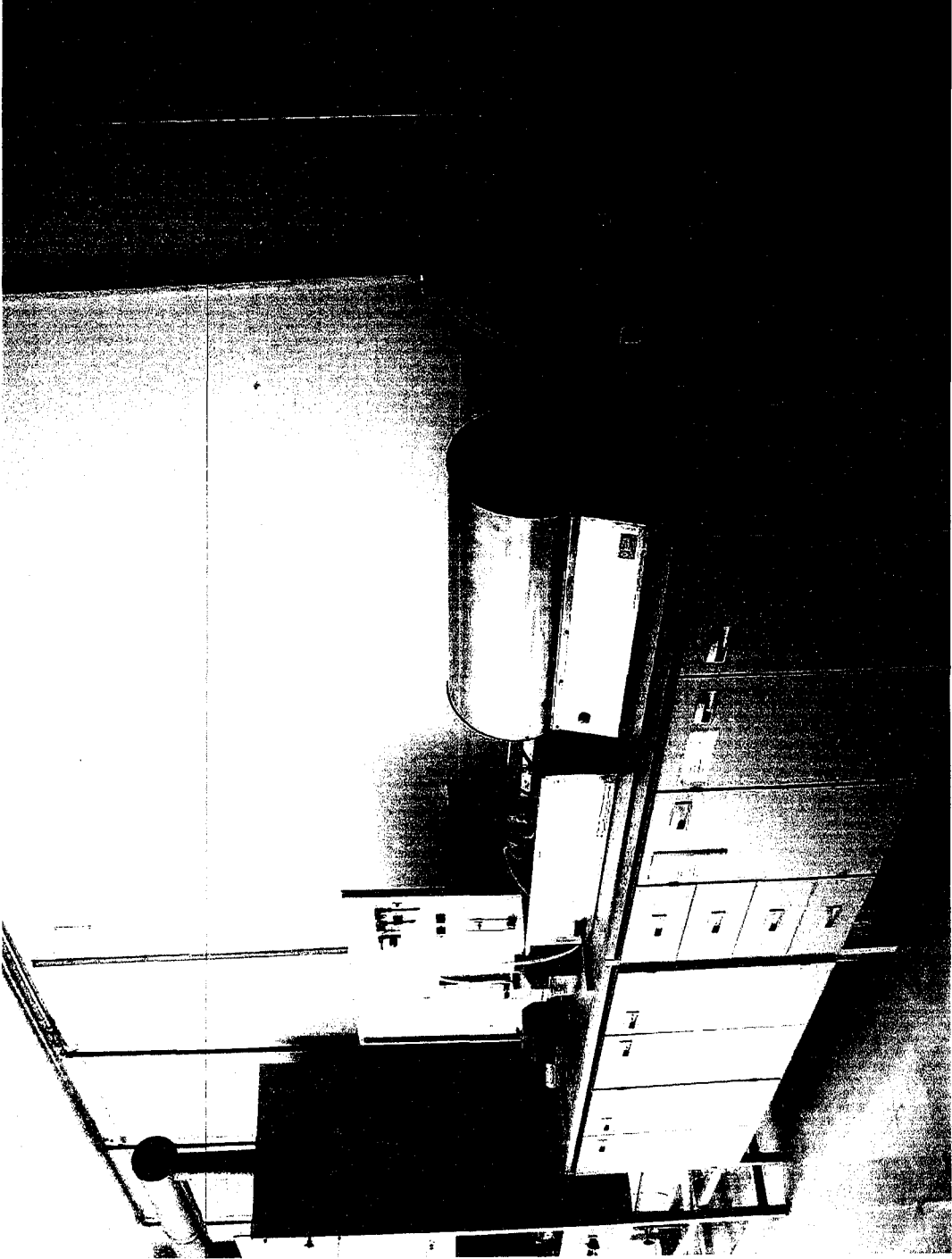
#### 5.4.3. Kül ve cürufların toksisite açıdan irdelenmesi

Shane ve ark (1990), A.B.D.'de evsel atık insineratörlerinden yaklaşık dördte birini oluşturan külleri organik toksikant ve mutajenlik aralıkları için analiz etmişlerdir. Dip kül ya da dip-uçucu kül karışımından oluşan kül örneklerinin % 30'u %20-74 organik madde içermektedir. Küllerin % 30'u direk-hareketli ve /veya *Salmonella typhimurium* TA98 yada TA100'ya dönen promutajenleri içermektedir. Küllerin % 60'ı 5 ng/g'dan daha fazla poliklorlu bifeniller içermektedir. Tetra- ve poliklorlu bifenillerin konsantrasyonu mono-, di-, hepta- ve oktaklorlu bifenillerden daha fazladır. Benzer dağılım, küllerde bulunan poliklorlu dibenzodioxinlerde de görülmektedir. Asıl N-nitroso bileşiklerden N-nitrosodimetilamin ve N-nitrosomorfolin küllerde bulunmaktadır. Küllerde bulunan diğer sınıf bileşikler klorlu benzenler, fitalatlar ve benzo(a)pyrenlerdir. Atık insinerasyonunun ana avantajı atık hacmini azaltmaktır. Ağır metaller gibi belirli toksikantların orantılı konsantrasyonun dip külün içerisinde yüksek değerlerde bulunmasından dolayı dip külün bertarafı problemlidir. Atığın eksik yanması sözkonusu olursa külde organik toksikantlar oluşması ve buna bağlı toksikolojik problemlerin ortaya çıkması olasıdır. Külün ne yapılacağı konusunda, bazı toksikantların mümkün olabilecek tehlikeli etkilerinin araştırılmasına gerek vardır. Külün bertarafı ile ilgili ikinci problem, düzenli depolama sahasına gönderilen külden bileşiklerin sızma ihtimalidir. İlerleyen zamanlarda bu problemleri çözmek için daha fazla çalışmalara gerek olduğu düşünülmüştür.

## 6. MATERYAL VE YÖNTEM

### 6.1. Deney Düzeneginin Tanımlanması

Bu çalışmanın deneysel kısmında kullanılan laboratuvar ölçekli borusal tipteki insineratörün tasarımında Chiang ve arkadaşları (1997) tarafından yapılan bir çalışma esas alınmıştır. Şekil 6.1'de gösterilen borusal reaktör 85 cm. uzunluğunda ve iç çapı 5,5 cm, dış çapı 34cm olan paslanmaz çelik malzemeden Eskişehir Organize Sanayii Bölgesi'nde faaliyet gösteren RETA Elektronik A.Ş.'ye yaptırılmıştır. Elektrikle ısıtılan reaktör, cam yünü ile yalıtılmış çelik olup, besleme, 45 cm. uzunluğunda, ucunda 15-20 g. örnek alabilen paslanmaz çelik çubuk (15 cm uzunluğunda) ile reaktörün tam merkezine gelecek şekilde yapılmaktadır. Reaktörün sıcaklığı üç ayrı noktada bulunan ısı çiftleriyle (thermocouple) kontrol panelinden gözlenmekte ve kontrol edilmektedir. Reaktörde yakma işlemi sonrası uçucu kül tayini için yüksek sıcaklıklara dayanabilen Teflon filtre kağıdı kullanılmış, gaz emisyonunda çıkan HCl tayini için de EPA Metod 5'e göre Şekil 6.1'de gösterilen örnekleme sistemi kurulmuştur. Örnekleme sistemindeki dört adet seri bağlanmış gaz yıkama şişelerinden birincisi emniyet için boş bırakılmış, ikinci ve üçüncü şişelere ise klorlu bileşikleri tutmak için 0,1 N NaOH çözeltisi ilave edilmiş, son yıkama şişesi de gazlardan herhangi bir nemli bileşik gelmemesi için silika jel ile doldurulmuştur. Yakma havası 1 atmosfer basınç altında, oda sıcaklığında dakikada 6 litre hava veren vakum pompası ile sağlanmıştır. Yakma sıcaklığı olarak ise 500, 600, 700, 800, 900 °C sıcaklıklar kullanılmıştır.



Şekil 6.1. Laboratuvar ölçekli borusal fırın insineratör

### 6.1.1. Örneklerin hazırlanması

Deneysel çalışmada kullanılan tıbbi atık örnekleri Anadolu Üniversitesi bünyesinde yer alan Mavi Hastane'deki Biyokimya laboratuvarından alınmış, örnekler içinde yoğunlukla kanlı pamuk, şırınga ve şırınga iğnelerinin olduğu görülmüştür. Mavi Hastane'nin yıllara göre hasta sayıları ve tıbbi atık miktarları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

**Çizelge 6.1.** Mavi Hastane'nin yıllara göre hasta sayıları ve tıbbi atık miktarları

Yıllar	Yatan Hasta Sayısı	Ayakta Tedavi Edilen Hasta Sayısı	Tıbbi Atık Miktarları (kg)	Yıllık kişi başına düşen atık miktarı kg/kişi-yıl
2000	2422	112654	4566	1,039
2001	2661	129407	6669	0,050
2002	2459	126338	7049	0,054
2003	1985	125853	8059	0,063

### 6.2. Deneysel Çalışmalar

Bu tezin deneysel çalışma kısmı 7 Bölümden oluşmaktadır.

- I. İnsineratörün dip külü ve uçucu külünde yapılan kimyasal analizler,
- II. Gaz emisyonlarında çıkan HCl miktarı tayini,
- III. İnsineratörün dip külünde X ışınları difraktometre analizi,
- IV. Bakteriyolojik çalışmalar,
- V. Ames Salmonella Mutajenite Testi çalışmaları,
- VI. Toksikite çalışmaları,
- VII. Endüstriyel ölçekli bir tehlikeli atık insineratörünün dip külünde yapılan kimyasal analizler ve X ışınları difraktometre analizi

#### 6.2.1. İnsineratörün dip külü ve uçucu külünde yapılan kimyasal analizler

##### 6.2.1.1. Ağır metallerin tayini

Kimyasal analizler çerçevesinde uçucu külleri tutmak amacıyla Teflon filtre kağıdı kullanılmıştır. Metal analizleri dip ve uçucu küllerde gerçekleştirilmiştir. 5 gr örnek yakılmış, elde edilen küller, 3:1 oranındaki 21 ml

HNO<sub>3</sub>:HCl karışımı ile DIN 38406-E22 yöntemine göre analiz edilmiş ve daha sonra numunelerdeki ağır metal miktarları (Ag, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) mg/100 ml olarak Çevre Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Varian marka Flame Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazında ölçülmüş, sonuçlar mg/kg birimine çevrilerek verilmiştir. Ayrıca Al, Cr, Mg ve Pb değerleri Orman Toprak Tahlil Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer marka 3110 model Flame Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazında ölçülmüş, sonuçlar mg/kg birimine çevrilerek verilmiştir.

#### **6.2.1.2. Kalsiyum, sodyum ve potasyum miktarının tayini**

Ca, Na ve K tayinleri için de ağır metal tayinindeki örnekler kullanılmıştır. Ca değerleri Orman Toprak Tahlil Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer marka 3110 model Flame Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazında ölçülmüş, sonuçlar mg/kg birimine çevrilerek verilmiştir. Örneklerdeki Na ve K miktarları Orman Toprak Tahlil Laboratuvarında bulunan JENWAY PFP7 marka flame fotometre cihazında ölçülmüş, sonuçlar mg/kg birimine çevrilerek verilmiştir.

#### **6.2.1.3. Elementel analizle azot, karbon, hidrojen ve kükürt tayinleri**

Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan EA 1108 model Fisons marka elementel analiz cihazında, nem miktarı tayini yapılmış ve 250µm boyut aralığında elenmiş tıbbi atık kül numunesinde C, H, N, S ve O tayinleri yapılmıştır. Elementel analiz cihazıyla, oldukça geniş bir aralıktaki organik ve inorganik örneklerin analizinin yapılması mümkündür. Cihaza yerleştirilen örnek 1800 °C'de "flash combustion" yapıldıktan sonra tüm organik ve inorganik maddeler yanma ürünlerine dönüşürler. Çıkan yanma gazları bir indirgeme fırından geçer ve helyum taşıyıcı gazıyla birlikte kromatografik kolonun içine gönderilirler. Buradaki termal iletkenlik dedektörü (TCD) yardımıyla yanma gazları bileşenlerine ayrılır ve herbirinin derişimleri belirlenir.

### 6.2.2. Gaz emisyonlarında çıkan HCl miktarı tayini

Çözünmüş haldeki Cl<sup>-</sup>lar difenil karbozonelbromfenolmavisi karışık indikatörü kullanılarak seyreltik Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ile titre edilmektedir. Cl<sup>-</sup> iyonları, Hg<sup>++</sup> iyonlarıyla genellikle iyonlaşmayan HgCl<sub>2</sub> bileşiğini oluşturmaktadır. Cl<sup>-</sup>ün tümü titre edildikten sonra da Hg<sup>++</sup>'nın aşırısı difenil karbozon ile mor renkli (Blue-violet) bir kompleks oluşturmaktadır. Ayrıca bu yöntem 2 ppm'den daha az Cl<sup>-</sup> içeren sulu çözeltilere uygulanabilmektedir. Gaz şeklindeki klor iyonları, gaz yıkama şişelerinde (impinger), partikül halindeki klor iyonları ise filtrasyonla elektrostatik filtre de tutulabilir.

HCl miktarı tayini Cıva Nitrat yöntemi ile (12203-01-68T) yapılmıştır (EK B). Örneklerin HCl içeriği aşağıdaki formüllerle hesaplanmış ve derişimler ppm HCl ve mgHCl/m<sup>3</sup> cinsinden belirlenmiştir.

$$ppm \text{ HCl}(\text{hacimce}) = \frac{62400 * (A - B) * N * M * (273 + t)}{v * p * m} \quad (6.1)$$

$$mg \text{ HCl} / m^3(25^\circ \text{ C}'da) = \frac{90500 * (A - B) * N * M * (273 + t)}{v * p * m} \quad (6.2)$$

- (A-B) :örnek veya çözelti için net titrasyon hacmi  
 N : Hg (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>'in normalitesi  
 M : Toplam örnek hacmi  
 m : Çözelti hacmi  
 t : Örnekleme sıcaklığı (°C)  
 v : Örneklenen hava hacmi (lt)  
 p : Örnekleme basıncı (torr)

### 6.2.3. İnsineratörün dip külünde X ışınları difraktometre analizi

Çalışmada, farklı sıcaklıklarda yakılan tıbbi atıklardan elde edilen kül numunelerinin X-ışınları difraktometre analizi, Anadolu Üniversitesi Malzeme Mühendisliği laboratuvarı bünyesindeki XRD Rigaku marka cihazda CuK<sub>α</sub> radyasyonu ile ölçülmüştür. Ganyometre tarama hızı 2°/dakika'dır.

## 6.2.4. Bakteriyolojik çalışmalar

### 6.2.4.1. Toplam bakteri aranması

Tıbbi atık örneğinin başlangıçtaki toplam bakteri sayısını belirlemek için steril erlene 5 gr. numune konulmuş ve üzerine yine steril 20 ml % 1'lik peptonlu su ilave edilerek çalkalanmıştır. Bu ortamdan 4 adet petriye 5'er ml. aktararak üzerine Plate Count Agar (PCA) dökülerek karıştırılmıştır. Besiyeri katılaştıktan sonra petri kutuları 37 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmışlardır. İnkübasyondan sonra oluşan koloniler sayılarak toplam bakteri sayısı belirlenmiştir. Bu işlem aynı grup numune ile üç kez tekrarlanmıştır (Gürgün ve Halkman 1990).

Aynı grup numuneden 5 gr. numune tartılmış ve daha önce belirlenen sıcaklıklarda (500, 600, 700, 800 ve 900 °C) yakılmış, elde edilen küller yine steril erlen içine alınmış ve 20 ml %1'lik peptonlu su içine karıştırılmıştır. Bu ortamdan 4 adet petriye 5'er ml. aktararak üzerine Plate Count Agar (PCA) dökülerek karıştırılmıştır. Besiyeri katılaştıktan sonra petri kutuları 37 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmışlardır. İnkübasyondan sonra oluşan koloniler sayılarak toplam bakteri sayısı belirlenmiştir. Bu işlem aynı grup numune ile üç kez tekrarlanmıştır.

Aynı işlemler yakma sırasında kullanılan filtre kağıtlarına da uygulanmış, 20 ml %1'lik peptonlu su içinden 4 adet petriye 5'er ml. alınarak aynı grup numune ile deney iki kez tekrarlanmıştır.

Tıbbi atık örneğinin başlangıçtaki toplam bakteri sayısı ortalama  $6,35 \times 10^2$  adet olarak bulunmuşken, yakma sonrası herhangi bir bakteri tespit edilememiştir.

### 6.2.4.2. İndikatör bakteri çalışması

Bu çalışmada indikatör mikroorganizma olarak, *Bacillus stearothermophilus* seçilmiştir. *B. stearothermophilus* patojenik mikroorganizma olmaması, çalışanlar için daha az risk taşıması, patojenik mikroorganizmalara göre yüksek ısıya dirençli olması ve en kötü koşullarda dahi test yapmaya izin verebilmesi, kolaylıkla kültüre edilebilmesi (geliştirilebilmesi) ve birçok mikroorganizmanın haricinde yüksek gelişme sıcaklığına sahip olması gibi nedenlerden dolayı tercih edilmiştir (Segall ve ark. 1991).

Bu tezde, pH, sıcaklık ve zamanın *B. stearothermophilus* sporlarının canlılığı üzerindeki etkisini görmek amacıyla önce fosfat tampon çözeltide deneyler yapılmış, daha sonra küldeki kararlılıklarıyla ilgili çalışmalara geçilmiştir.

#### 6.2.4.2.1. Fosfat tampon çözeltide spor canlılığı

Fosfat tampon çözeltiye belirli miktar asit ilave edilmeden önce ve edildikten sonra sporların yaşayabilirliğini değerlendirmek için bu yöntem kullanılmıştır. Bu deneyde, fosfat tampon çözeltinin (2,0 M, pH 6,9) pH'sı spor eklenmeden önce HCl ile 5,7'ye ayarlanmış ve yaklaşık olarak 80 °C'de 20 dak. bekletilmiş ml'de  $1,63 \times 10^7$  *B. stearothermophilus* sporları karıştırılmıştır. Sporlarla karıştırılmış fosfat tampon çözeltilerin uygun şekilde dilüsyonları hazırlanmış, ve Trypticase Soy Agar (TSA) dökülerek karıştırılmıştır. Besiyeri katılaştıktan sonra petri kutuları 55 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmışlardır. İnkübasyondan sonra oluşan koloniler sayılarak toplam bakteri sayısı belirlenmiştir. Bu işlem aynı grup numune ile üç kez tekrarlanmıştır. Hazırlanan tampon çözeltiler oda sıcaklığında bekletilmiş, aynı işlemler 1,3, 7 ve 22. günlerde tekrarlanmıştır.

Ayrıca, pH'ın ve ısı şokunun etkisini belirlemek için 2,9; 5,3; 6,6; 9,0 ve 11,3 pH değerlerinde ısı şoklu/şoksuz şeklinde deneyler yapılmıştır. Hazırlanan 0,5 M'lık fosfat tampon çözeltisinin pH'ı 1N'lik HCl ve NaOH ile ayarlanarak 5 ayrı çözelti oluşturulmuştur. 200 ml'lik şişelere, her bir çözeltiden 90 ml konulmuş ve 20 dak. 121 °C sıcaklıkta otoklavlanmıştır. Şişeler oda sıcaklığında soğutulduktan sonra, her bir şişeye ml 'de  $1,05 \times 10^7$  *B. stearothermophilus* sporları eklenmiştir. Sporlar eklendikten sonra herbirine 10 ml deionize su eklendikten sonra pH'su ölçülmüştür. Bu işlemden sonra, beş fosfat tampon çözeltinin başlangıç pH'larının spor ilavesinden sonra değişmediği belirlenmiştir.

Sporlar eklendikten hemen sonra ve 1,3,7 ve 20. günlerde şişelerdeki spor/fosfat tampon içeren çözeltiler ve  $1,05 \times 10^7$  spor/ml'lik sulu çözelti analiz edilmiştir. Her bir çözeltiden 5 ml sıvı alınmış ve 80 °C'de 20 dakika bekletilmiştir. Her bir çözeltiden 1 ml sıvı alınmış, yine TSA dökülerek karıştırılmıştır. Besiyeri katılaştıktan sonra petri kutuları 55 °C'de 24 saat

inkübasyona bırakılmışlardır. İnkübasyondan sonra oluşan koloniler sayılarak toplam bakteri sayısı belirlenmiştir. Bu işlem aynı grup numune ile üç kez tekrarlanmıştır. Aynı günlerde, ısı muamelesi görmemiş çözeltilere de aynı işlemler yapılmış, çözeltiler oda sıcaklığında (22-25 °C) saklanmış ve her bir çözeltinin pH'ı 20 gün sonunda tekrar ölçülmüştür. Tüm deneyler  $1,63 \times 10^7$  adet spor/0,5 ml'lik sulu çözelti için tekrarlanmıştır.

#### 6.2.4.2.2. Külde spor canlılığı

Yakma sonrası kalan dip külünde indikatör mikroorganizmaların sporlarının canlılığını belirlemek amacıyla yapılan deneylerde, 200 g küle ihtiyaç duyulmuştur. İzmit'te faaliyet gösteren endüstriyel ölçekli bir tehlikeli atık insineratörünün dip külü kullanılmıştır.

Dolayısıyla, bu bölümde, deneyde 50 g kuru kül ml'de  $6,0 \times 10^5$  sporlarla karıştırılmıştır. Otoklavlanmış ve otoklavlanmamış kül örneklerine 50 ml saf su eklenmiştir. Bunun 1 ml'si ile TSA dökülerek karıştırılmıştır. Besiyeri katılaştıktan sonra petri kutuları 55 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmışlardır. İnkübasyondan sonra oluşan koloniler sayılarak toplam bakteri sayısı belirlenmiştir. Bu işlem aynı grup numune ile üç kez tekrarlanmıştır. Aynı zamanda saf su yerine 0,5 M fosfat tampon çözelti ile çalışılmış, aynı işlemler 1, 8 ve 22 ve 42. günlerde tekrarlanmıştır.

İkinci bir deney, küldeki sporların canlılığını belirlemek amacıyla, külün oda sıcaklığında 22 gün bekletilmesinden sonra yapılmıştır. Başlangıçtaki mevcut mikroorganizmaları uzaklaştırmak için 22 gün sonunda kuru kül üç gün arkaya 121 °C'de 20 dakika otoklavlanmıştır. Otoklavlanmış 1 g kül numunesi hem saf su (100 ml) hem de 0,5 M fosfat tampon çözeltisi (100 ml) ile süspansiyon yapılmış ve bunun 1 ml'si TSA dökülerek karıştırılmıştır. Besiyeri katılaştıktan sonra petri kutuları 55 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmışlardır. İnkübasyondan sonra oluşan koloniler sayılarak toplam bakteri sayısı belirlenmiştir. Bu işlem aynı grup numune ile üç kez tekrarlanmıştır. Kül örneklerindeki sporlar karıştırıldıktan sonra ve 1, 8, 22 ve 42. günlerde tekrar analiz edilmiştir. Bu süspansiyonlar oda sıcaklığında 22-25 °C'de saklanmıştır.

### 6.2.4.2.3. *Bacillus stearothermophilus* aranması

Tıbbi atık numunelerinden 5 gr. tartılmış, sıcaklık sırasına göre  $9,8 \times 10^7$ ,  $1,02 \times 10^8$ ,  $8,5 \times 10^7$ ,  $9,2 \times 10^7$  ve  $8,3 \times 10^7$  adet *B. stearothermophilus* sporlarından eklenerek 500, 600, 700, 800 ve 900 °C sıcaklıklarda yakılmış, yakma sonrası elde edilen küller yine steril erlen içine alınarak 20 ml %1'lik peptonlu su içine karıştırılmıştır. Bu ortamdan 4 adet petriye 5'er ml. alınmış, TSA dökülerek karıştırılmıştır. Besiyeri katılaştıktan sonra petri kutuları 55 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmışlardır. İnkübasyondan sonra oluşan koloniler sayılarak toplam bakteri sayısı belirlenmiştir. Bu işlem aynı grup numune ile iki kez tekrarlanmıştır. Yakma sonrası elde edilen küllerin hiç birinde bakteriye rastlanılmamıştır.

Aynı işlemler yakma sırasında kullanılan filtre kağıtlarına da uygulanmış, 20 ml %1'lik peptonlu su içinden 4 adet petriye 5'er ml. alınarak aynı grup numune ile deney iki kez tekrarlanmıştır. Yakma sonrası filtre kağıtlarının hiç birinde bakteriye rastlanılmamıştır.

Bu yakma işlemleri sırasında yıkama şişelerinin içerisine 200 ml. triptoz soy broth konulmuş, yakma işlemi sonrasında her bir 100 ml.'lik numune Sartorius NKS sisteminden 0,2 µm selüloz nitrat filtre kağıdından süzölmüş ve filtre kağıdı daha önce dökölüp dondurulmuş TSA plaklar üzerine konulup, 55 °C'de 24 saat inkübasyon sonrasında gözlemlenmiştir. İnkübasyon sonucunda bakteriye rastlanılmamıştır.

### 6.2.5. Ames Salmonella mutajenite testi çalışmaları

Ames tarafından geliştirilmiş olan ve Ames testi olarak da adlandırılan Salmonella/Mikrozom test sistemi, kimyasal maddelerin mutajenik etkilerinin araştırılmasında en yaygın olarak kullanılan kısa zamanlı bakteriyel testlerden birisidir. Bu testin temeli, yapay mutasyon oluşturulmuş olan *Salmonella typhimurium*'un histidin sentezleme yeteneklerini kaybetmiş (His<sup>-</sup>=oksotrof) olan suşlarının test bileşeni ile muamelesinden sonra tekrar bir mutasyon geçirip His<sup>+</sup> (prototrof) haline dönüşmesi esasına dayanır. Geri dönüşen (revertant) bakteri kolonileri sayılarak değerlendirilir. Fakat normal olarak mutajenlere maruz

kalmadan spontan olarak geri dönüşebilen bakteriler de olmaktadır. Mutajenik etkiden söz edebilmek için spontan revertant sayısından daha fazla sayıda revertant koloni sayılması gerekmektedir. *S. typhimurium* TA 98 suşu için kendiliğinden geriye dönen koloni sayısı 30-50, TA 100 suşu için ise 120-200 koloni arasında bulunmuştur. Kullanılan bu suşların genetik bazı özellikleri şunlardır:

**Histidin Mutasyonu:** Her test suşu, histidin operonunun değişik bölgelerinde çeşitli mutasyonlar içermektedir. Bunlar, ya DNA'daki tek bir bazın değişmesi ile ortaya çıkan baz değişimleri ya da bir bazın eklenmesi veya çıkarılması ile kendini gösteren çerçeve kayması mutasyonlarıdır. Test edilen bileşiğin neden olduğu mutasyonun esas mekanizması, moleküler düzeyde bu suşlarla gösterilebilir. Başlangıçta geliştirilen His<sup>-</sup> mutantlarının çeşitli kimyasallara karşı duyarlılığını arttırmak üzere, bu suşlara bazı mutasyonlar daha eklenmiştir.

**Rfa Mutasyonu:** Bu mutasyon, bakteri hücre duvarının lipopolisakkarit tabakasını kodlayan genlerde meydana gelir. Hücre duvarının lipopolisakkarit bariyerinin kısmen yok olmasını sağlayan rfa mutasyonu sonucu normalde hücre duvarından geçemeyen büyük moleküllerin hücre içine girişi kolaylaştırılmıştır.

**UvrB Mutasyonu:** Bu mutasyon, DNA onarım sisteminde kesip çıkarma görevini üstlenen enzimi kodlayan *uvrB* genindeki delesyon sonucu oluşturulmuştur. UvrB mutasyonu, birçok mutajenin ortaya çıkarılmasında duyarlılığın artmasına neden olur. Ancak, teknik nedenlerden dolayı *uvrB* geninin kesilerek uzaklaştırılması sırasında bu delesyon, biotin (bio) genine kadar uzanmaktadır. Bu nedenle, bakteriler üreyebilmeleri için histidinin yanı sıra biotine de gereksinim duyarlar.

**R Faktörü:** Mutajenlerin daha iyi tayin edebilmeleri amacıyla *S. typhimurium* TA1538 ve TA1535 suşlarına, ampisilin antibiyotiğine karşı dirençlilik geni taşıyan pKM 101 R faktörü plazmidin eklenmesiyle *S. typhimurium* TA98 ve TA100 suşları elde edilmiştir (Maron ve Ames 1983, İşcan 2002).

#### **6.2.5.1. Ames Salmonella mutajenite test örneklerinin hazırlanması**

Yakma sonrası kalan dip külünde Ames Salmonella mutajenite testinin yapılması amacıyla, 500 ve 600 °C sıcaklıklarda yakılan tıbbi atıklar kül numunelerinden 25 gr alınmış, çözücü olarak 250 ml. diklorometan (DCM)

(KN=40 °C) kullanılarak 24 saat Soxhlet ekstraksiyonu yapılmıştır. Ekstraksiyonu takiben rotaevaporator'da diklorometan uzaklaştırılmıştır. Kalan kuru madde tartıldıktan sonra (500 °C'de 0,61 gr., 600 °C'de 0,41 gr.) üzerine çözüne kadar (10 ml) dimetil sulfoksit (DMSO) ilave edilmiş ve 0,45 µm steril naylon filtreden geçirildikten sonra Ames Salmonella mutajenite testi yapılmıştır.

### 6.2.5.2. *Salmonella* suşlarının hazırlanması

Hacettepe Üniversitesi Moleküler Biyoloji bölümünden elde edilen *Salmonella typhimurium* TA98 ve TA100 suşları içlerinde 2'şer ml Nutrient Broth (NB) (No:2) bulunan tüplere alınarak 37 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda Histidin Biotin Amphisilin (HBA) plaklarına (EK C) çizgi ekimleri yapıp 37 °C'de 48 saat inkübasyona bırakılmış ve saf bakteri kültürleri elde edilmiştir. Elde edilen master plaklar +4 °C'de iki ay süre ile kullanıma hazır tutulmuştur. Test suşlarının mutant özelliklerini koruyabilmeleri ve uzun zaman canlı kalabilmeleri için kültürler stoklanmıştır. Bunun için HBA agarda üremiş olan *Salmonella* suşlarından iyi izole olmuş, normal büyüklükteki bir koloni öze ile alınıp 2 ml Nutrient Broth (NB) (EK C) içeren tüplerde süspanse edilerek 37 °C'de, bir gece inkübe edilmiştir. Bu sürenin sonunda steril ependorf tüp içine 1 ml sıvı bakteri kültürü ve 0,09 ml dimetil sulfoksit (DMSO) ilave edilmiş ve -20 °C'de donması sağlandıktan sonra -80 °C'de saklanmıştır.

### 6.2.5.3. *Salmonella* suşlarının genotip kontrolleri

Testin güvenilirliği açısından test suşlarının orijinal mutasyonlara sahip olup olmadığını bilmek gerekir. Bu nedenle bakterilerin genetik özellikleri bazı testlerle kontrol edilmiştir (Maron ve Ames 1983).

**Histidin gereksinimi kontrolü:** Bakteriler Minimal Glikoz Agar (MGA) (EK C) plaklarına ekilerek his<sup>-</sup> bakteriler his<sup>+</sup> lardan ayırt edilebilir. Bu amaçla NB'da, bir gece üretilen bakterilerden histidin bulunmayan MGA ve içinde histidin bulunan Histidin Biotin Agar (HB) (EK C) plaklarına çizgi ekim yapılmış ve 37 °C'de 48-72 saat süreyle inkübe edilmiştir. Bu sürenin sonunda HB ve MGA plaklarında üremenin varlığı ya da yokluğu gözlenmiştir.

**uvrB mutasyonu kontrolü:** Bu mutasyon ile bakteriler, Ultraviyole (UV) ışınlarının neden olduğu replikasyon hatalarının düzeltilmesi için gerekli olan DNA onarım mekanizması engellenmiş ve bu mutasyonun varlığı UV ışınlarına duyarlılık testi ile tespit edilmiştir. Bu test için, NB'da bir gece geliştirilen bakteri kültüründen 1 öze dolusu alınıp Nutrient Agar (NA) (EK C) plağının tamamına paralel ekim yapılmıştır. Plağın yarısı (çizgileri kesecek şekilde) plastik bir plaka ile kapatılıp 15 Watt gücünde bir UV lambası ile 33 cm yüksekten 8 sn süre ile ışınlanmıştır. Işınlamadan sonra petri kapakları kapatılıp 37 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda UV'ye maruz bırakılan kısımda üremenin varlığına bakılmıştır.

**Rfa mutasyonu kontrolü:** Bu mutasyon bakteri hücre zarının lipopolisakkarit yapısında oluşturulmuş ve hücre zarının geçirgenliği artırılmıştır. Varlığı kristal viyoleye duyarlılık testi ile tespit edilmiştir. Bu test için bakteri kültürü NB'da bir gece büyütülen 0,1 ml sıvı kültür 45 °C su banyosunda ısıtılmış 2 ml top agar (EKC ) üzerine ilave edilip daha sonra NA plaklarına dökülerek plaklara 8 işareti yaptırılmıştır. 10 dk. donması beklendikten sonra plağın ortasına 0,5 cm çaplı steril filtre kağıdı diski yerleştirilip, diskin ortasına % 0,1'lik kristal viyole karışımından 10 µl damlatılmıştır. Kağıdın boyayı emmesi beklenilmiş, sonra plaklar 37 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda disk çevresindeki üreme durumu değerlendirilmiştir.

**R faktör varlığının kontrolü:** Test bakterilerinin içerdiği, R faktör taşıyan pKM101 plazmidlerinin kaybolup kaybolmadıkları, ampisiline dirençliliğinin ölçülmesi ile tespit edilmiştir. Bu amaçla, NB içinde geliştirilen bakteri kültürü, (% 0,8 ampisilin/0,02 M NaOH) ampisilin (EK C ) içeren HBA plaklarına çizgi ekim yapılarak 37 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda bakterilerin plazmid taşıyıp taşımadıkları, ampisilinli ortamdaki gelişmelerine göre değerlendirilmiştir.

**Spontan olarak geriye dönüş sıklığının kontrolü:** Mutant bakteri suşlarının kendiliğinden his<sup>-</sup> durumundan his<sup>+</sup> durumuna dönüşmesi, belirli sınırlar içinde mümkündür. Kendiliğinden geriye dönen kolonilerin sayısını bulmak amacıyla NB'da bir gecelik kültürü yapılan bakterilerden 0,1 ml alınıp, 45 °C'deki su banyosunda ısıtılan 2 ml top agar üzerine ilave edilmiştir. Daha sonra 0,2 ml 0,5 M histidin-biyotin çözeltisi de (EK C) eklenip test tüpü yavaşça çalkalanarak

MGA plaklarına yayılmış ve 37 °C'de 48 saat inkübe edilerek, bu süre sonunda oluşan koloniler sayılmıştır. *S. typhimurium* TA98 suşu için kendiliğinden geriye dönen koloni sayısı 30-50, TA100 suşu için ise 120-200 arasında koloni sayısı normal kabul edilmektedir (Maron ve Ames 1983).

#### **6.2.5.4. Kullanılacak sıvı kültürdeki bakteri sayısının belirlenmesi**

Deneyde kullanılan gecelik kültürün ml'sinde bulunan bakteri sayısını bulmak için HBA plaklarından bir koloni alınarak NB içinde süspanse edilmiş, çalkalamalı inkübatörde 37 °C'de bir gece inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda, gecelik kültürün bir dizi seyreltmeleri hazırlanmıştır. Bu seyreltmelerden NA plaklarına damla ekim yapıp 37 °C'de 24 saat inkübe edildikten sonra plaklardaki koloniler sayılmış ve bakteri sıvı kültürünün ml'sinde yaklaşık  $1 \times 10^9$  bakteri olduğu belirlenmiştir (Maron ve Ames 1983).

#### **6.2.5.5. Kül numunelerinin sitotoksik etkilerinin saptanması**

Bu test, Ames testi için seçilen iki test maddesinin, test bakterileri için öldürücü dozunu saptayabilmek için yapılmıştır. 45 °C'deki top agar içine 1 gecelik bakteri kültüründen 0,1'er ml ve test maddelerinin farklı üç dozundan 0,1'er ml eklenmiş daha sonra yumuşak haldeki top agar, NA plaklarına dökülerek plaklar 37 °C'de 24 saat inkübe edilmiş, inkübasyondan sonra plaklardaki koloniler sayılmış ve kontrol plakları (kimyasal eklenmeyen) ile karşılaştırılarak toksik ve toksik olmayan dozlar belirlenmiştir.

#### **6.2.5.6. Memeli karaciğer mikrozoamlarının hazırlanması**

Test maddelerinin metabolik ürünlerinin mutajen olup olmadığını araştırmak için kullanılması gereken mikrozoam ekstresi Wistar cinsi ratlar'dan hazırlanmıştır. Bunun için ratlara, öldürülmeden 5 gün önce 80 mg/kg olacak şekilde intraperitoneal olarak 3-metilkolontren enjekte edilerek mikrozoamal enzim artışı uyarılmıştır (Maron ve Ames 1983).

Mikrozoam izolasyonuna başlamadan önce kullanılan tüm malzemeler steril edilmiş ve 0-2 °C'de muhafaza edilmiştir. Deneyde kullanılmak üzere 3-metilkolontren enjekte edilmiş olan 200 gr ağırlığında genç erkek ratlar 5 günlük

süre sonunda boynu kırılarak (servical dislocation) öldürülmüştür. Ratlar diseksiyon masasında açıldıktan sonra karaciğer zedelenmeden çıkarılmış ve net ağırlığı bulunmuştur. 1 gr karaciğere 1 ml olacak şekilde soğuk 0,15 M Potasyum klorür (KCl) (EK C) ile karaciğer yıkandıktan sonra 1 gr karaciğere 3ml olacak şekilde soğuk 0,15 KCl eklenmiştir. Karaciğer steril pens ve makas yardımı ile küçük parçalara ayrılarak 'Junge kunkel ultra turrax' marka homojenizatör tüpüne alınıp aynı marka homojenizatör ile 24000 rpm'de homojenize edilerek koyu pembe renk görülene kadar bu işlem tekrar edilmiştir. Homojenat, 9000 G'de 0-2 °C'de 10 dakika 'Varifüje 20RF' marka santrifüjde santrifüj edildikten sonra, süpernatant kısım soğuk steril ependorf tüplere aktarılmıştır. Kontaminasyonu önlemek amacı ile homojenat 0,25 µm çaplı selüloz filtreler ile filtre edilmiştir. Sterilite kontrolü için mikrozomal fraksiyondan 0,1 ml alıp NA ve HBA plaklarına yayma ekim yapılarak plaklara 37 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir.

#### 6.2.5.7. Ames Mutajenite testinin yapılması

Bu deneyin amacı, daha önceden gelişebilmesi için histidin amino asidine gereksinim duyan oksotrofik bakteri suşların, kullanılan test maddeleri ile tekrar histidin sentezleyebilir (prototrofik) hale dönüşüp dönüşmediğinin belirlenmesidir (Maron ve Ames 1983).

**S9'suz (-) deney:** Bu amaçla, içlerine 0,2 ml histidin-biyotin çözeltisi ilave edilmiş 2'şer ml'lik top agar içeren deney tüpleri 45 °C'lik su banyosunda ısıtılıp 0,1 ml test maddesi ve 0,1 ml 12-16 saatlik bakteri kültürü eklenmiştir. Tüpler çalkalanarak 37 °C'ye ısıtılmış MGA plaklarına dökülmüş, plaklara hızla 8 işareti yaptırılarak top agarın plak üzerine homojen dağılması sağlanmıştır. 15 dk. donması beklendikten sonra plaklar ters çevirilip 37 °C'lik etüvde 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda petrilerdeki koloniler sayılarak kaydedilmiştir. Deney, her test maddesi dozu için 3 paralel olacak şekilde yapılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi için aynı zamanda, spontan kontroller, çözücü kontrolü (DMSO) ve pozitif (diagnostik) kontroller yapılmıştır. Pozitif kontrol olarak standart bir mutajen olan 4-Nitro-*o*-fenilendiamin kullanılmıştır (EK C) (Maron ve Ames 1983).

**S9'lu (+) deney:** Deney için, tablet başına 3 ml mikrozomal enzim olacak şekilde S9 karışımı hazırlanmış ve buz içinde bekletilmiştir. Deneyde 45 °C'lik su banyosunda bulunan ve 0,2 ml histidin-biyotin çözeltisi içeren 2 ml'lik top agar tüplerine 0,1 ml test maddesi, 0,1 ml gecelik bakteri kültürü ve 0,5 ml buzda bekletilen S9 karışımından ilave edilmiştir. Tüpler çalkalanarak önceden 37 °C'ye ısıtılmış MGA plaklarına dökülmüştür. 15 dk. donması beklendikten sonra 37 °C'lik etüvde 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda his<sup>+</sup> kolonilerin sayımı yapılmış ve kaydedilmiştir. Ayrıca deneye paralel olarak TA98 ve TA100 suşlarının spontan mutasyon kontrolü, çözücü (DMSO) kontrolü ve pozitif kontrolleri yapılmıştır. Pozitif kontrol için, 1/100g/μl 2-Aminofluoren kullanılmıştır (Maron ve Ames 1983).

## 6.2.6. Toksikite çalışmaları

### 6.2.6.1. Sitotoksiste testleri

#### 6.2.6.1.1. Mitokondriyal aktiviteye dayalı testler ve MTT ölçümü

*İn vitro* çalışmalarda sitotoksitenin ifade edilmesini sağlayan farklı biyolojik ölçümler vardır. MTT ölçümü hücre proliferasyonunu, canlılığını ve sitotoksisiyeyi ölçmekte kullanılan kantitatif kolorimetrik bir yöntemdir (Holst-Hansen ve Brünner 1998). Bu tekniğin mitokondriyal enzim sistemleri tarafından katalize edilen tetrazolium tuzlarının indirgenmesine dayandığı ve hücre büyümesi ve ksenobiyotik sitotoksitesini yansıttığı bildirilmiştir. Her ne kadar kolay, uygulanabilir ve kolaylıkla otomatize edilebilir olsa da belirli artifaktlar tarafından etkilenmektedir.

Yaşayan hücreler bazı vital boyalar kullanılarak boyanabilmektedir, ancak yıkama basamakları hem süreyi uzatmakta, hem de hata payını arttırmaktadır. ELISA cihazı (çok kuyucuklu plaka okuyucu) çok miktarda örneği, yüksek oranda doğrulukla okuyabilir, böylece kullanılan renk reaksiyonunu yaşayan hücre sayısı olarak değerlendirebilme imkanı sağlar. Bu tür kolorimetrik ölçümlerde ideal olan renksiz substratlar kullanarak yaşayan hücrelerde renkli ürünler elde etmektir. Tetrazolyum tuzları bu amaçla kullanılan, substrat olarak renksiz, yaşayan

hücrelerin aktif mitokondrilerinde renkli ürünler veren maddelerdir. MTT (3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difenil tetrazolyum bromür) bu amaçla kullanılan bir tetrazolyum tuzudur ve substrat olarak sarı renkte olmasına rağmen yaşayan hücrelerin mitokondrilerinde süksinat-dehidrojenaz enzimine spesifik olarak bağlandığında suda çözünmeyen mavi-mor formazan tuzları oluşturur. Formazan tuzları organik çözücülerde (DMSO, izopropanol gibi) kolayca çözünürler. Çözücüde çözünen materyalin optik yoğunluğu, çözünmüş olan boyanın konsantrasyonunun verdiği absorbansa göre spektrofotometrik olarak ölçülebilir. Ölçülen değer direkt olarak kültürdeki hücrelerin metabolik aktivitelerini verir, bu değer de yaşayan hücre sayısı ile ilişkilendirilir (Mosmann, 1983; Denizot ve Lang 1986, Carmichael ve ark. 1987). Bu yöntem hızlı kolay ve çalışma basamaklarının az olması ve 96 kuyucuklu plaka ile çalışma imkanı olması açısından hızlı kolay ve çok sayıda örneğin çalışılmasına imkan veren bir testtir (Reile ve ark. 1990, Kueng ve ark. 1989 ve Senaratne ve ark. 2000).

Süksinat dehidrojenaz, Krebs siklusunun mitokondri membranında olan tek enzimdir ve süksinatı fumarata katalizler. Krebs siklusunun diğer tüm enzimleri çözünen fazdadır. Yapısal analogu olan malonat, süksinat dehidrojenazın kompetitif inhibitörüdür (Voet ve Voet 1995, Alberts ve ark. 1994).

MTT 5 mg/ml olacak şekilde PBS içinde çözüldürülerek stok çözelti hazırlanmıştır. Stok çözelti  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 6 ay bekleyebilmektedir. Çalışma çözeltisi stok çözüldürülden 1 kısım stok çözelti ve 9 kısım besiyeri olarak taze hazırlanmıştır (0,5 mg/ml MTT ) (bir plaka için 10 ml). Her bir kuyucuğa 0,1 ml MTT çalışma çözeltisi ilave edilerek karbondioksit inkübatöründe 3-4 saat inkübasyona bırakılmış, bu süre sonunda plakalar alınıp besiyerleri uzaklaştırılmış ve 0,1 ml DMSO ilave edilmiştir. Plakalardaki hücrelerin optik yoğunlukları ELISA cihazında 540 nm dalga boyunda okutulmuştur. Bu deneyin her aşaması boya ışıkta bozulduğu için mümkün olduğunca karanlıkta yapılmalıdır (Mosmann 1983, Denizot ve Lang 1986, Holst-Hansen ve Brünner 1998, Tedone ve ark. 1996, Alley ve ark. 1988, Horakova ve ark. 2001, Reile ve ark. 1990 ve Korkmaz ve ark. 2001).

### 6.2.6.1.2. Lizozomal aktiviteye dayanan testler ve Neutral red up-take (NR) ölçümü

Borenfreund ve Puerner (2000) tarafından tanımlanan ve çok yaygın olarak kullanılan bu teknik, lizozomlar tarafından katyonik boya (Neutral Red) uptake'ine dayanır. Supravital bir boya olan neutral red up-take zayıf katyonik bir boyadır ve noniyonik yayınma ile hücre membranından penetre olarak lizozomlarda birikir ve lizozomal matriksin anyonik bölgelerine bağlanır. Hücre yüzeyinde veya lizozomal membranda meydana gelen değişiklikler lizozomal hassaslığa ve diğer tersinmez değişimlere önderlik ederler. Ksenobiyotiklerin aktivasyonu ile meydana gelen bu değişimler NR'in bağlanmasında veya uptake'inde azalmaya sebep olur. Bu nedenle yaşayan- sağlıklı, hasarlı-ölü hücreler boyayı almaları farklı olur ki, bu da yöntemin temelini oluşturmaktadır. Uygulanabilirliği yüksek ve duyarlı olan bu test otomatik hale getirilebilir ve diğer sitotoksiste testleri ile kombine edilebilir. Hücrelerin metabolik aktivitesi farklı düzeylerde tespit edilebilir. Ksenobiyotiklerin etkisi hücre fizyolojisi ve spesifik makromoleküllerin sentezini baz alan tekniklerle ölçülebilir (Horakova ve ark. 2001, Shen 1998 ve Xie ve ark. 1999).

Test maddeleri ile gerekli süre bekletilen hücreler alınmış, besiyerleri uzaklaştırılmış ve hücreler 37°C'ye getirilmiş PBS ile yıkanmıştır. Neutral red uptake stok çözeltisi 1: 100 oranında besiyeri ile karıştırılarak çalışma çözeltisi hazırlanmış ve her bir kuyucuğa 0,1 ml ilave edilerek 37 °C'de 3-4 saat inkübe edilmiştir. Bu süre sonunda boyama çözeltisi uzaklaştırılarak taze hazırlanmış formaldehit-kalsiyum klorür fiksatif/yıkama çözeltisinden 100'er ml ilave edilerek yıkanmış ve çözelti dökülmüş plakalar ters çevrilerek kurutma kağıdı üzerinde bir gün bekletilerek kurutulmuş ve asetik asit-etanol çözeltisi her bir kuyucuğa 0,1 ml ilave edilerek 15 dakika oda ısısında bekletilmiş ve 30 dakika çalkalayıcıda çalkalanarak boya homojen hale getirilmiştir. Plakalardaki hücrelerin optik yoğunlukları ELISA cihazında 540 nm dalga boyunda okutulmuştur. Bu deneyin her aşaması boya ışıktaki bozulduğu için mümkün olduğunca karanlıkta yapılmalıdır. Bu test 6 kez tekrar edilmiştir (Horakova 2001, Shen 1998 ve Xie 1999).

### 6.2.6.1.3. Sitotoksisite testleri için ürünlerin hazırlanması

500 ve 600 °C'de yakma ile elde edilen toz ürünler tartılarak DMSO (Dimetilsülfoksit) içinde 0,16- 0,8- 4- 20 ve 100 mg/ml dozları hazırlanmıştır.

NIH3T3 fibroblast hücreleri 96 well plate'lere 10 000 hücre/well olacak şekilde ekilmiştir. Ekimi takip eden 24. saatte hücreler üzerindeki besi yerleri uzaklaştırılarak 1 ml %10 Fetal Calf Serum içeren DMEM (Dulbecco's Modification Eagles Medium) içine ürünlerin hazırlanan dozlarından 1ul ilave edilmiş (%0,1 oranında) ve bu işlem ile ürünlerin besiyeri içindeki final konsantrasyonları; 0,16-0,8-4-20 ve 100 µg'a getirilmiştir. Plakalar 24, 48, 72 ve 96. saatler sonunda alınarak, MTT ve NR testleri uygulanmıştır. Elde edilen değerler, kontrole göre % olarak değerlendirilmiş ve SPSS istatistik programında One-way ANOVA ve post-hoc olarak da Tukey testleri ile anlamlılıkları günler ve yöntemlere göre değerlendirilmiştir.

### 6.2.6.2. Akut toksisite testleri

Akut toksisite deneylerinde her bir numune için (500°C ve 600°C) üçer adet Swiss albino fareden oluşan 3 grup hayvan kullanılmıştır. Dimetilsülfoksit (DMSO) içinde çözülen numuneler intraperitoneal yoldan 10, 100 ve 1000 mg/kg dozlarda her bir doz bir hayvan grubuna olmak üzere injekte edilmiştir. Kontrol grubuna ise aynı uygulama yolundan sadece DMSO verilmiş olup, deneklere uygulanan sıvı hacimlerinin 0.1 ml'yi aşmamasına özen gösterilmiştir. Hayvanlar 48 saat gözlem altında tutularak bu sürenin sonunda gruplarda ölen hayvan olup olmadığı not edilmiştir (Lorke 1983, Scales 1992 ve Beis 2000).

### 6.2.7. Endüstriyel ölçekli bir tehlikeli atık insineratörünün dip külünde yapılan kimyasal analizler ve X ışınları difraktometre analizi

İzmit'te faaliyet gösteren 35000 ton/gün kapasiteli bir döner fırın tipi tehlikeli atık insineratöründen alınan dip külünde, laboratuvar ölçekli insineratörün dip külüne uygulanan tüm kimyasal analizler ile XRD tayini yapılmıştır.

## 7. DENEYSEL BULGULAR

Laboratuvar ölçekli tıbbi atık insineratöründe 500, 600, 700, 800 ve 900 °C sıcaklık değerlerinde yapılan deneysel çalışma sonuçları Çizelge 7.1'de verilmiştir. Buna göre insineratörlerin en önemli avantajlarından birisi olan hacimce azalma yüzdesinin çizelgeden de görüleceği gibi sıcaklıkla birlikte arttığı dikkat çekmektedir.

Beş ayrı sıcaklıkta dip külünde yapılan deneyler sonucunda bulunan ağır metal derişimleri Çizelge 7.2'de, uçucu küldeki ağır metal derişimleri, Çizelge 7.3'de, Dip külü ve uçucu külde bulunan Ca, Na ve K sonuçları Çizelge 7.4'de verilmiştir. Dip külü uçucu kül numunelerinde Na'a rastlanılmamıştır.

Tüm ağır metaller ve Ca, Na ve K derişimlerinin sıcaklığa bağlı değişimleri ise Şekil 7.1-7.24'de gösterilmiştir.

Dip külünde Cr, Fe, Ni, Cu, Cd, Mg ve Al derişimleri 700 °C'ye kadar azalmış, 800 °C'de artmış ve daha sonra tekrar 900 °C'de azalmaya başlamıştır. Pb derişimi 700 °C'ye kadar artarken 800 °C'den itibaren azalmıştır. Zn derişimi 500 ve 600 °C'de artmış, 700 °C'den sonra azalmış, Ag ise 600 °C'ye kadar azalıp, 700 °C'den sonra artmıştır.

Uçucu külde ise, Fe, Zn ve Cd derişimleri 800 °C'ye kadar artarken, 900 °C'de azalmıştır. Ni derişimi ise 600 °C'ye kadar artmış, 700 °C'de azalmış, 800 °C'de tekrar artmış ve 900 °C'de tekrar azalmıştır. Ag ve Al derişimleri 600 °C'ye kadar azalmış, tekrar 800 °C'de artmış ve 900 °C'de yine azalmıştır. Mg derişimi 600 °C'ye kadar azalmış, 700 °C'den sonra artmaya başlamıştır. Cu derişimi ise 900 °C'ye kadar artmıştır. Uçucu külde Cr ve Pb derişimlerine rastlanılmamıştır.

Dip ve uçucu küllerde Na derişimlerine rastlanılmazken, dip külünde K derişimi 700 °C'ye kadar artarken, uçucu külde azalmış, dip külde 800 °C'de azalırken uçucu külde artmış ve tekrar dip külde 900 °C'de artarken uçucu külde azalmıştır. Ca derişimi ise dip külünde 700 °C'ye kadar azalmış, 800 °C'de artmış ve sonra 900 °C'de azalmıştır. Uçucu külde 800 °C'ye kadar artmış, ancak 900 °C'de azalmıştır.

Dip külünde elementel analiz ile bulunan azot, karbon, hidrojen ve kükürt değerleri Çizelge 7.5'de, sıcaklığa bağlı değişimleri ise Şekil 7.25'de

gösterilmiştir. Dip küllerinin elementel analizleri sonucunda ise sadece azot ve karbon değerleri elde edilirken, hidrojen ve kükürte rastlanmamıştır.

Gaz emisyonunda yapılan HCl analizi sonuçları Çizelge 7.6'da, sıcaklığa bağlı değişimleri ise Şekil 7.26'da gösterilmiştir. Beklenildiği gibi sıcaklık artarken HCl derişiminin azaldığı görülmektedir.

Dip külünde yapılan X ışınları difraktometre analizi grafiği Şekil 7.27'de gösterilmiş olup dip külü numunelerinde yoğun olarak Nikel karbit (NiCx) ve kalsit (CaCO<sub>3</sub>) bulunmuştur.

İzmit'te faaliyet gösteren endüstriyel ölçekli bir tehlikeli atık insineratöründen alınan dip külünde yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 7.7'de, grafikleri ise Şekil 7.28'de verilmiştir. X ışınları difraktometre analizi grafiği ise Şekil 7.29'da verilen kül numunesinde ağırlıklı olarak demir sülfür (FeS) olabileceği düşünülmüştür.

Bakteriyolojik çalışma sonuçlarına bakıldığında, 2 M'lık fosfat tampon çözeltideki spor canlılığı Çizelge 7.8'de, 0,5 M'lık fosfat tampon çözeltideki spor canlılığı Çizelge 7.9 a ve b'de, külde spor canlılığı ise Çizelge 7.10 a ve b'de gösterilmiştir.

Külde spor canlılığı deneylerinde yüksek oranda kül (50/50) bulunan süspansiyonlardaki bakteri sayılarının, düşük oranda kül (1/100) bulunan bakteri sayılarına göre daha hızlı bir şekilde kaybolduğu görülmüştür, bunun külün kimyasal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tıbbi atığın başlangıçtaki toplam bakteri sayımını belirlemek için yapılan deneyde ortalama  $6,35 \times 10^2$  adet toplam bakteri sayılmış, 500, 600, 700, 800 ve 900 °C sıcaklıklarda yapılan yakma işleminden sonra dip ve uçucu kül örneklerinin hiçbirinde bakteriye rastlanılmamıştır.

*Bacillus stearothermophilus* aranması ile ilgili deneyde ise yaklaşık olarak sıcaklık sırasına göre  $9,8 \times 10^7$ ,  $1,02 \times 10^7$ ,  $8,5 \times 10^7$ ,  $9,2 \times 10^7$  ve  $8,3 \times 10^7$  adet spor eklenmiş, yakılan tıbbi atık numunelerinin dip ve uçucu kül örneklerinin hiçbirinde bakteri sporuna rastlanılmamıştır. Eşanlı triptoz soy broth yapılan deneyde de bakteri sporu görülmemiştir.

Sitotoksik ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde, 500 °C'de yanma ile elde edilen ürün 0,16 -100 µg arası konsantrasyonlarda doza ve zamana bağımlı olarak sitotoksik etki göstermiştir. MTT sonuçlarında, dördüncü günde de etkinin

devam etmesi genotoksik ve tersinmez bir etkiyi ifade ediyor olabilir. Geçici bir etki olduğu takdirde maddenin bir kez uygulanması ile genotoksisitenin olmadığı durumlarda hücre siklus süresine bağlı olarak etki bir siklus süresi sonunda (NIH3T3 hücrelerinde 26-32 saat) kalkmaktadır. Ancak bu ürün ile elde edilen verilerde bu etkinin bir siklus süresini aştığı gözlenmiştir. AMES testi sonuçlarında elde edilen değerler bunun mutajenik bir genotoksik etki olduğunu ve tersinmez olduğunu desteklemektedir. Hücre metabolizmasında, hücrenin yaşam kalitesi hakkında fikir veren MTT ölçümlerinde azalma gözlenirken, lizozomal enzimlerde artış olması apoptotik etki ile ilişkilendirilebilir (Terman ve ark., 2002). Ürünün MTT ve NR ölçüm sonuçlarında elde edilen değerler (Şekil 7.30 ve 7.31) doğrultusunda ve AMES testi değerleri paralelinde, insan vücudunda %83 oranında en bol olarak bulunan fibroblastlar üzerine genotoksik etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

600 °C yanma ile elde edilen MTT ölçüm sonuçlarında en yüksek sitotoksisiteye ikinci gün ulaşılmış ancak üçüncü günde ürünün hücreler üzerindeki sitotoksik etkisinin azalmaya başladığı gözlenmektedir. Lizozomal enzim aktivitesi üçüncü günde artmış görülmektedir, bu süre MTT ölçümlerinde sitotoksisitenin azalmaya başladığı süredir. Dördüncü gün MTT ve NR ölçümlerinde sitotoksik etkinin devam etmemesi etkinin geçici olduğunu göstermektedir (Şekil 7.32 ve 7.33).

500 °C'de yanma ile elde edilen ürün fibroblastlar üzerine genotoksik bulunmuş, ancak 600 °C'de yanma ile elde edilen ürün sitotoksik etkisi gözlenmesine rağmen etkinin geçici olması sebebi ile diğer üründen daha az toksik bulunmuştur.

Akut toksisite testleri sonucunda numunelerin uygulandığı hayvanların hiç birisi 48 saatlik dönem sonunda ölmemiştir. Her bir numune için  $LD_{50} > 1000$  mg/kg olarak ifade edilebilir. Bu durum numunelerin akut letal toksisitesinin düşük olduğunu göstermektedir. Kırksekiz saat boyunca gözlemlenen hayvanlardan sadece 600 °C numunesinden 1000 mg/kg injekte edilen hayvanlarda, injeksiyonu izleyen 1-2 saatlik dönemde perspirasyon (terleme) gözlemlendi ve daha sonraki saatlerde bu durum normale dönmüştür.

**Çizelge 7.1.** Laboratuvar ölçekli tıbbi atık insineratöründe 500, 600, 700, 800 ve 900 °C sıcaklık değerlerinde yapılan deneysel çalışma koşulları

Deney no	Sayaç farkı (m <sup>3</sup> )	Çalışma süresi (dk)	Reaktör başlangıç sıcaklığı (°C)	Reaktör çalışma sıcaklığı (°C)	Ortam sıcaklığı (°C)	Numune ilk miktar	Numune son miktar	Filtre kağıdı son tartım	Filtre kağıdı ilk tartım	Hacimce azalma (%)
500 A	0,574	65	19	500	21	5,1119	0,8081	0,6823	0,3203	77,12
500 B	0,4703	60	50	500	22	5,0306	0,4059	0,7053	0,3261	84,39
500 C	0,565	64	19	500	21	5,0386	0,4362	0,7185	0,3645	84,32
500 D	0,442	58	50	500	22	5,046	0,4475	0,7789	0,3588	82,81
600 A	0,6759	80	21	600	21	5,0351	0,659	0,7729	0,345	78,42
600 B	0,7048	78	50	600	22	5,2206	0,7395	0,6818	0,3446	79,38
600 C	0,6862	81	21	600	21	5,0751	0,4086	0,7724	0,359	83,81
600 D	0,4836	80	50	600	22	5,1378	0,2291	0,7484	0,372	88,22
700 A	0,899	95	21	700	21	5,1375	0,7736	0,5782	0,317	79,86
700 B	0,8178	96	20	700	22	5,188	0,6959	0,5668	0,3272	81,97
700 C	0,6582	92	21	700	21	5,004	0,3586	0,6179	0,3635	87,75
700 D	0,6898	93	50	700	20	5,0227	0,3864	0,6275	0,3703	87,19
800 A	1,093	103	20	800	21	5,0164	0,4101	0,4782	0,3294	88,86
800 B	0,959	101	35	800	22	5,1105	0,3261	0,4204	0,319	91,64
800 C	0,8901	100	20	800	21	5,2215	0,346	0,4431	0,3534	91,66
800 D	0,8602	99	49	800	17	5,0506	0,2938	0,4716	0,3634	92,05
900 A	1,0055	110	50	900	23	5,1354	0,7371	0,393	0,3116	93,8
900 B	1,1317	120	21	900	23	5,2512	0,3863	0,4031	0,335	91,35
900 C	0,977	114	20	900	20	5,0536	0,2986	0,4414	0,3249	91,79

**Çizelge 7.3. Uçucu kütl ağır metal derişimleri**

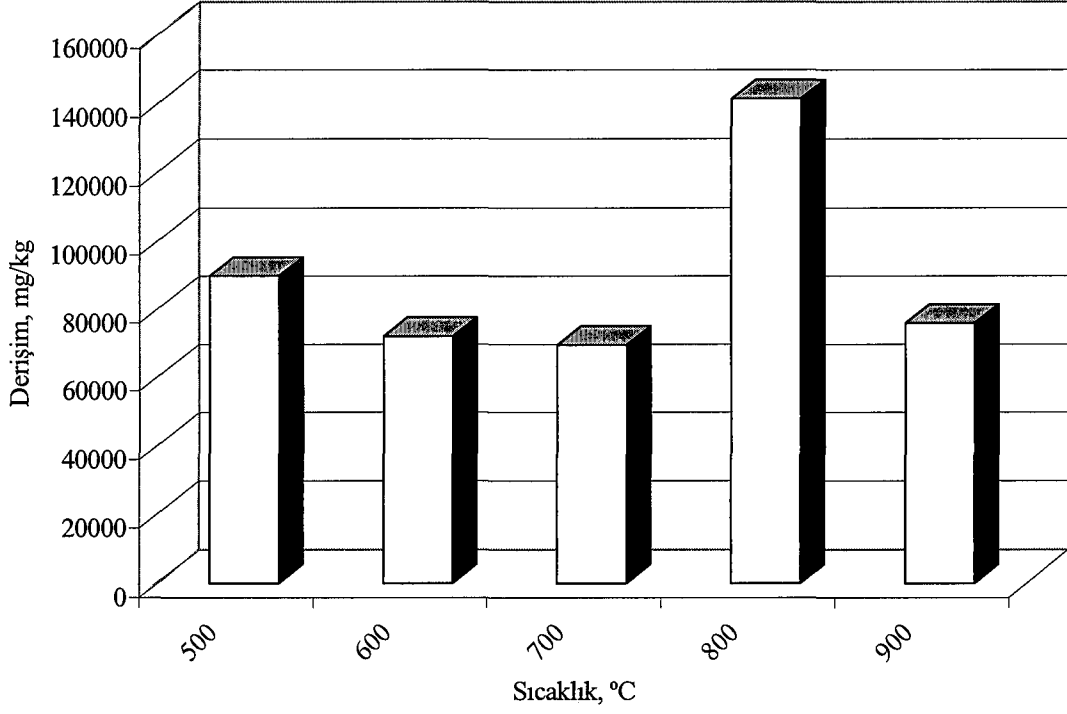
	Krom (Cr) (mg/kg)	Demir (Fe) (mg/kg)	Kurşun (Pb) (mg/kg)	Nikel (Ni) (mg/kg)	Çinko (Zn) (mg/kg)	Bakır (Cu) (mg/kg)	Magnezyum (Mg) (mg/kg)	Aliminyum (Al) (mg/kg)	Kadmiyum (Cd) (mg/kg)	Gümüş (Ag) (mg/kg)
500 A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500 B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500 A-B ORT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500 C	-	127,12	-	22,59	265,53	8,47	225,98	237,28	2,82	118,64
500 D	-	14,28	-	19,04	223,75	7,14	604,61	166,62	2,38	95,21
500 C-D ORT	-	70,70	-	20,82	244,64	7,81	415,30	201,95	2,60	106,92
600 A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
600 B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
600 A-B ORT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
600 C	-	89,50	-	26,61	449,92	8,95	174,16	74,98	2,41	38,70
600 D	-	281,61	-	45,16	401,16	8,76	297,55	92,98	2,65	21,25
600 C-D ORT	-	185,55	-	35,88	425,54	8,85	235,86	83,98	2,53	29,97
700 A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
700 B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
700 A-B ORT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
700 C	-	455,97	-	40,88	1643,08	15,33	385,22	546,38	3,93	74,68
700 D	-	155,52	-	19,05	346,03	8,94	1629,08	330,48	3,88	46,65
700 C-D ORT	-	305,74	-	29,96	994,55	12,13	1007,15	438,43	3,90	60,67
800 A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
800 B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
800 A-B ORT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
800 C	-	691,19	-	103,67	3511,71	54,62	13,05	1705,68	11,14	245,26
800 D	-	351,20	-	28,65	1737,52	10,16	2837,33	1256,93	9,24	92,42
800 C-D ORT	-	521,19	-	66,16	2624,61	32,39	1425,19	1481,30	10,19	168,84
900 A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
900 B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
900 A-B ORT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
900 C	-	557,93	-	45,49	2583,69	26,61	2489,27	935,62	8,58	17,16
900 D	-	248,11	-	43,14	1477,88	46,38	852,21	884,57	10,78	10,78
900 C-D ORT	-	403,02	-	44,32	2030,78	39,49	1670,74	910,09	9,68	13,97

Çizelge 7.2. Dip kütlü ağır metal derişimleri

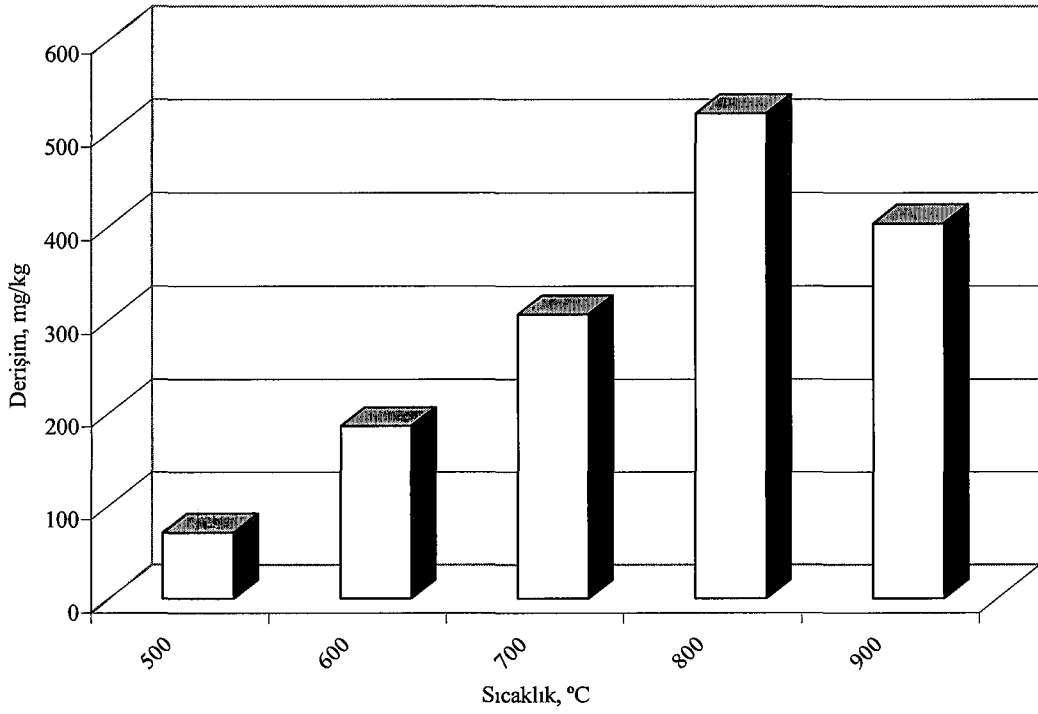
	Krom (Cr) (mg/kg)	Demir (Fe) (mg/kg)	Kurşun (Pb) (mg/kg)	Nikel (Ni) (mg/kg)	Çinko (Zn) (mg/kg)	Bakır (Cu) (mg/kg)	Magnezyum (Mg) (mg/kg)	Aliminyum (Al) (mg/kg)	Kadmilyum (Cd) (mg/kg)	Gümtüş (Ag) (mg/kg)
500 A	18314,57	72577,65	97,76	10790,74	27162,48	383,62	-	-	-	-
500 B	28455,28	110372	73,91	15865,98	30795,76	189,71	-	-	-	-
500 A-B ORT	23384,92	91474,83	85,84	13328,36	28979,12	286,65	-	-	-	-
500 C	17579,53	65624,25	-	10212,87	5166,23	235,58	623,05	520,21	5,97	124,37
500 D	27541,9	110614,5	-	15955,31	7664,80	310,61	1778,77	826,81	6,71	60,33
500 C-D ORT	22560,71	88119,38	-	13084,08	6415,51	273,10	1200,91	673,51	6,34	92,35
600 A	10925,64	56449,17	259,48	6874,05	50075,87	88,01	-	-	-	-
600 B	20622,04	82082,49	227,18	11548,34	44151,45	539,55	-	-	-	-
600 A-B ORT	15773,84	69265,92	243,33	9211,19	47113,66	313,78	-	-	-	-
600 C	15841,81	78553,81	-	10622,88	6799,26	280,60	795,55	624,42	6,16	50,87
600 D	28048,28	71217,94	-	9642,02	6597,17	204,36	532,162	246,87	4,11	23,32
600 C-D ORT	21945,04	74885,87	-	10132,45	6698,21	242,48	663,86	435,65	5,14	37,09
700 A	20036,19	83376,42	250,77	12409,51	41946,74	413,65	-	-	-	-
700 B	8118,98	46845,81	244,28	4354,07	44331,08	163,82	-	-	-	-
700 A-B ORT	14077,5	65111,11	247,53	8381,79	43138,91	288,73	-	-	-	-
700 C	18191,41	71018,98	-	9240,70	5167,41	203,01	557,61	444,23	5,27	208,27
700 D	20068,47	76668,12	-	10780,89	5885,78	215,61	1289,33	528,84	4,37	17,48
700 C-D ORT	19129,93	73843,55	-	10010,79	5526,59	209,31	923,47	486,54	4,82	112,88
800 A	38039,5	143989,3	48,76	20238,97	26578,88	1014,38	-	-	-	-
800 B	14719,41	79116,84	119,59	8770,31	21159,15	159,46	-	-	-	-
800 A-B ORT	26379,45	111553,05	84,18	14504,64	23869,01	586,92	-	-	-	-
800 C	40173,41	164378,6	-	21127,17	5057,80	575,14	2485,54	1471,09	11,56	199,42
800 D	43907,42	177927,2	-	24234,17	4560,92	527,56	3042,88	1061,94	10,21	105,51
800 C-D ORT	42040,42	171152,88	-	22680,67	4809,36	551,35	2764,21	1266,52	10,88	152,46
900 A	7190,34	34323,7	92,25	3486,63	8140,01	255,05	-	-	-	-
900 B	12555,01	36111,83	10,35	8490,81	3106,39	401,24	-	-	-	-
900 A-B ORT	9872,67	35217,76	51,30	5988,72	5623,20	328,15	-	-	-	-
900 C	20046,78	81887,84	-	11927,83	3524,89	312,39	751,75	606,41	6,68	220,51
900 D	34983,41	151064,7	-	18888,27	4286,50	436,94	1368,91	619,46	5,53	80,19
900 C-D ORT	27515,09	116476,27	-	15408,05	3905,69	374,67	1060,33	612,94	6,11	150,35

Çizelge 7.4. Sodyum, kalsiyum ve potasyumun Dip külü ve uçucu küldeki derişimleri

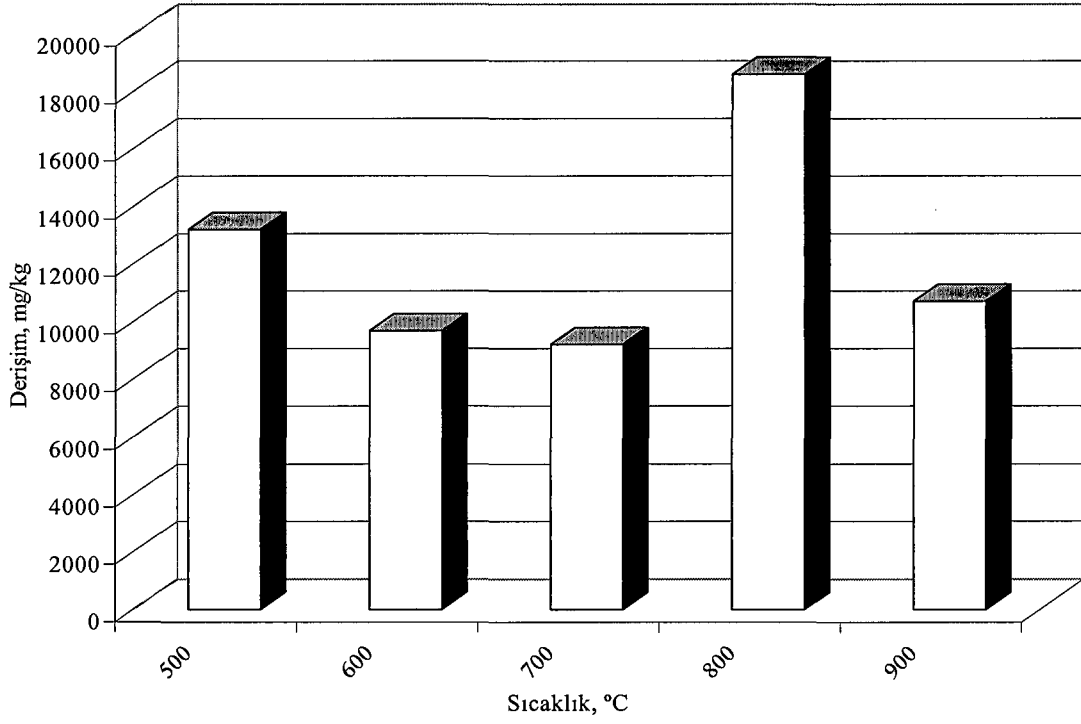
	Sodyum (Na) (mg/kg)		Kalsiyum (Ca) (mg/kg)		Potasyum (K) (mg/kg)	
	Dip kül	Uçucu kül	Dip kül	Uçucu kül	Dip kül	Uçucu kül
500 A	-	-	-	-	3217,42	-
500 B	-	-	-	-	4311,40	-
500 A-B ORT	-	-	-	-	3764,41	-
500 C	-	-	10163,84	24008,47	597,94	706,21
500 D	-	-	18462,57	19666,74	1117,31	357,05
500 C-D ORT	-	-	14313,20	21837,61	857,63	531,63
600 A	-	-	-	-	6828,52	-
600 B	-	-	-	-	6355,64	-
600 A-B ORT	-	-	-	-	6592,08	-
600 C	-	-	12611,78	19787,13	1002,15	483,79
600 D	-	-	10748,87	20820,94	822,93	398,51
600 C-D ORT	-	-	11680,32	20304,03	912,54	441,15
700 A	-	-	-	-	7497,41	-
700 B	-	-	-	-	8334,53	-
700 A-B ORT	-	-	-	-	7915,97	-
700 C	-	-	10652,52	31764,94	856,84	786,16
700 D	-	-	12164,92	32465,01	1019,81	583,20
700 C-D ORT	-	-	11408,71	32114,97	938,32	684,68
800 A	-	-	-	-	2804,19	-
800 B	-	-	-	-	3526,52	-
800 A-B ORT	-	-	-	-	3165,35	-
800 C	-	-	23390,17	90222,97	867,05	2229,65
800 D	-	-	27648,06	75073,94	850,91	1386,32
800 C-D ORT	-	-	25519,11	82648,45	858,98	1807,98
900 A	-	-	-	-	5494,50	-
900 B	-	-	-	-	2718,09	-
900 A-B ORT	-	-	-	-	4106,30	-
900 C	-	-	13245,91	68060,09	835,28	1287,55
900 D	-	-	21479,54	83786,41	1106,19	1618,12
900 C-D ORT	-	-	17362,72	75923,24	970,73	1452,83



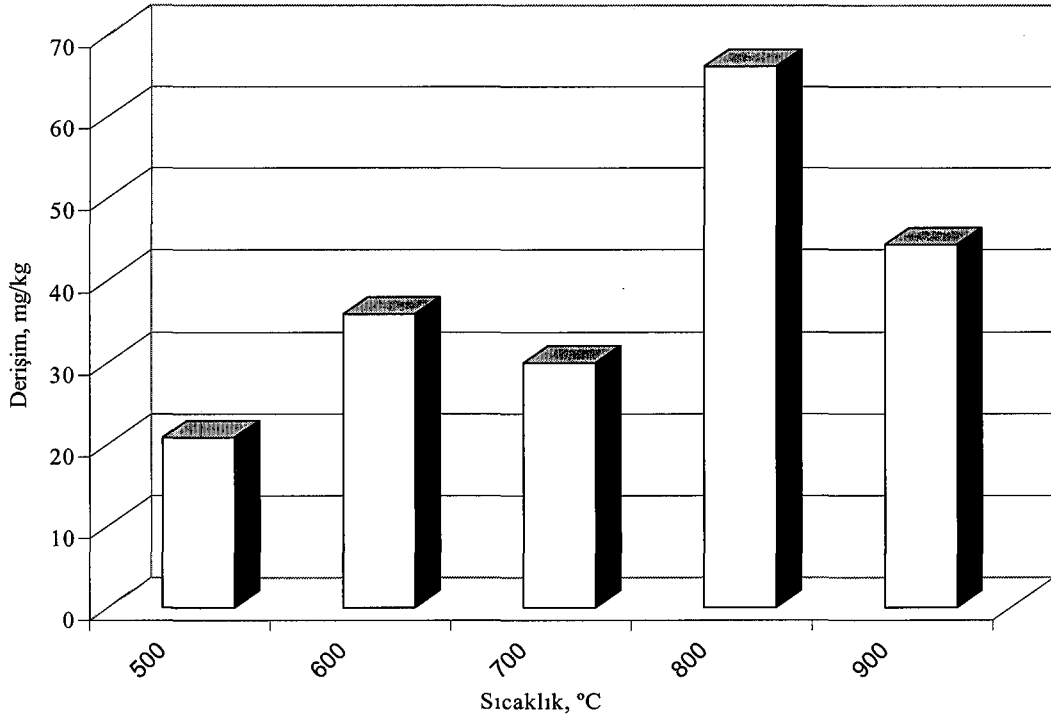
Şekil 7.1. Demirin dip kültünde sıcaklığa bağlı değişimi



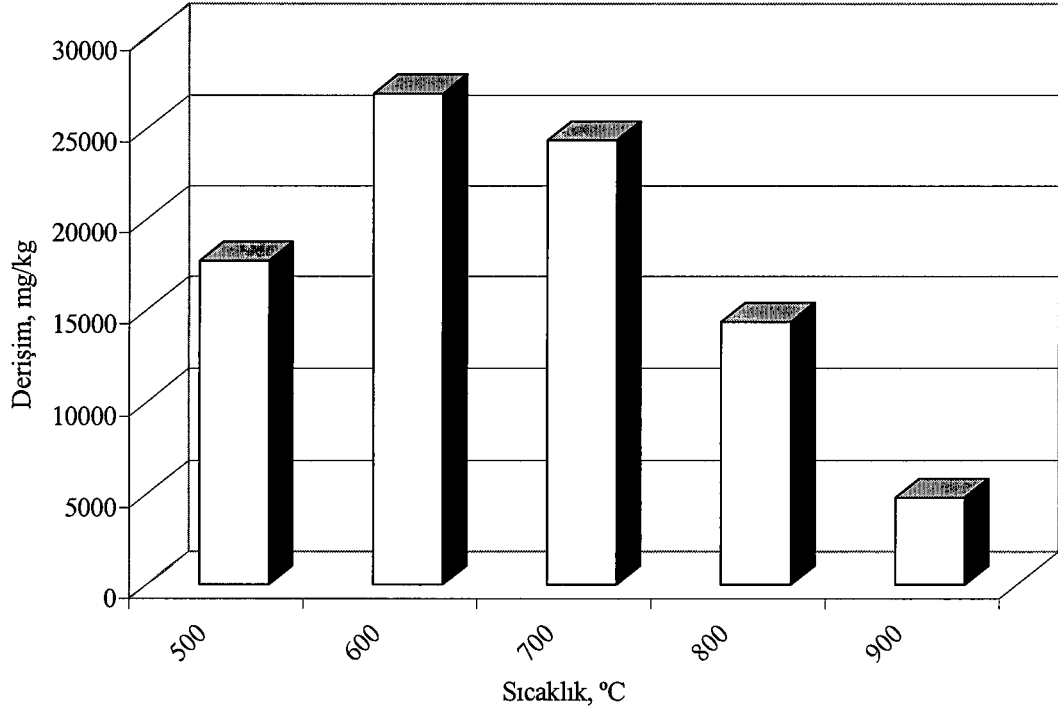
Şekil 7.2. Demirin uçucu kültünde sıcaklığa bağlı değişimi



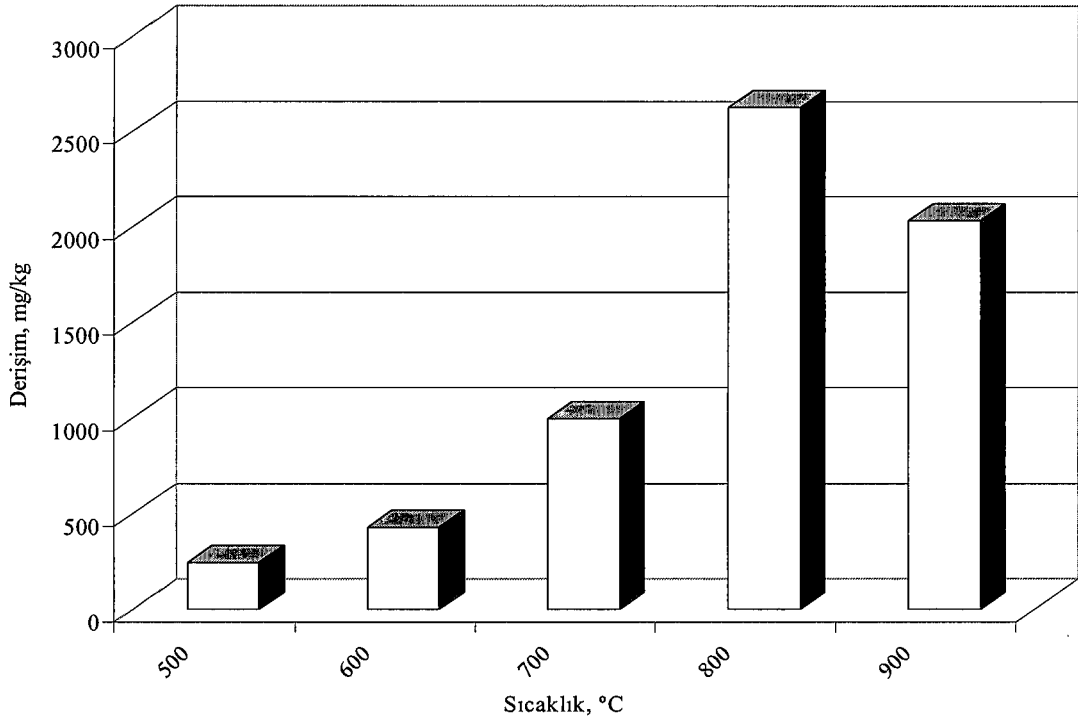
Şekil 7.3. Nikelin dip külünde sıcaklığa bağlı değişimi



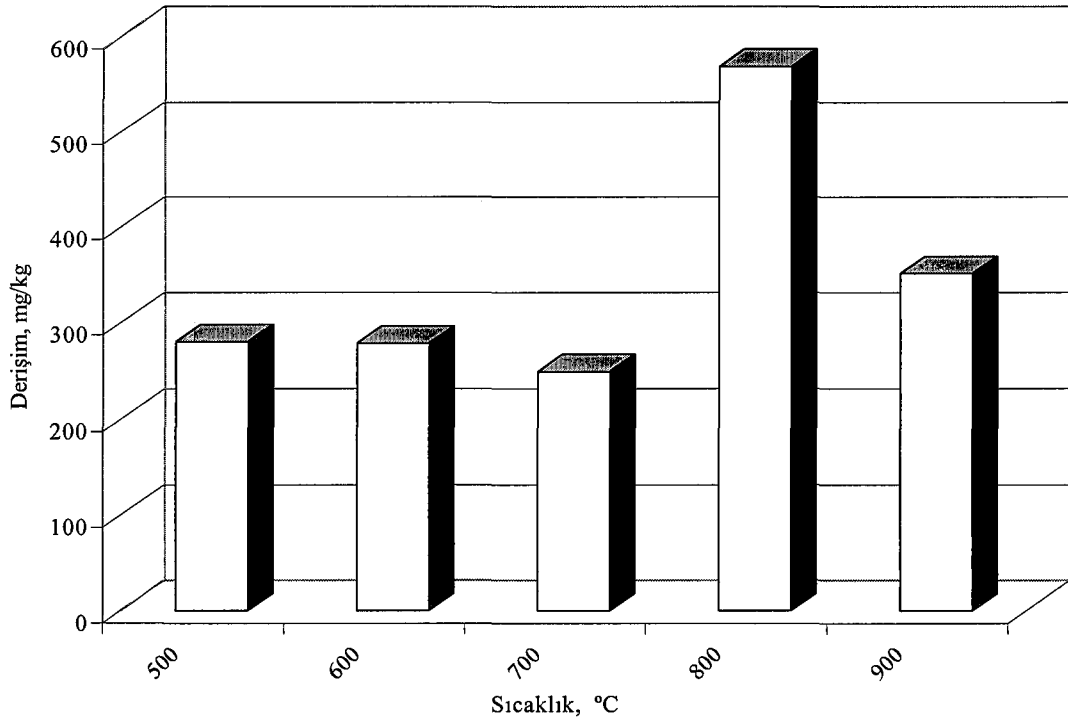
Şekil 7.4. Nikelin uçucu külde sıcaklığa bağlı değişimi



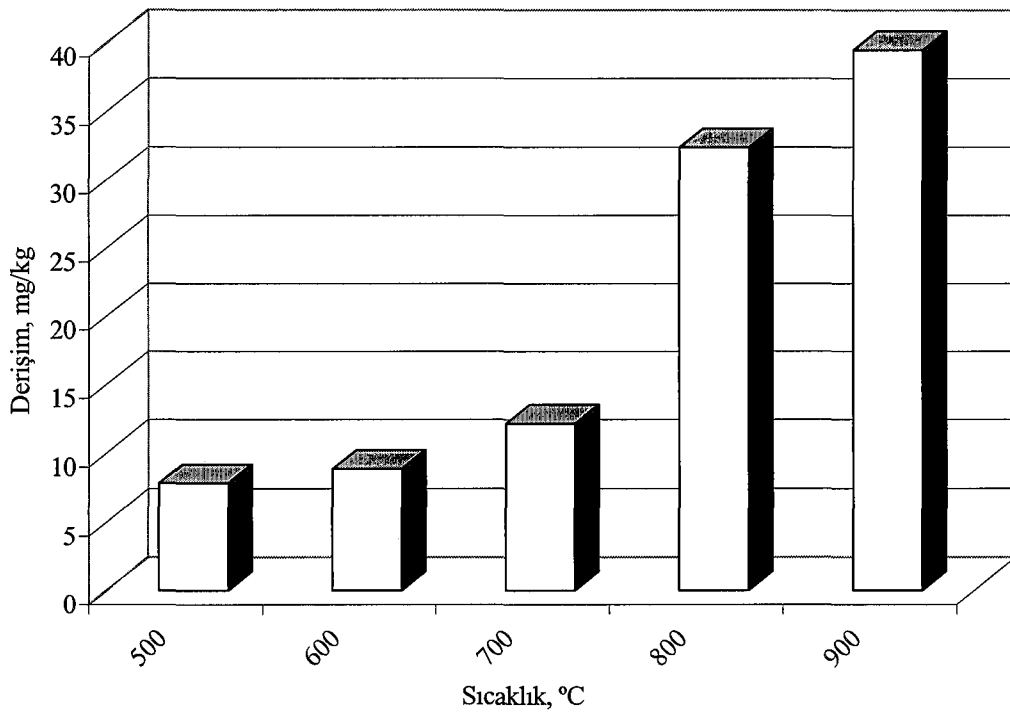
Şekil 7.5. Çinkonun dip külünde sıcaklığa bağlı değışimi



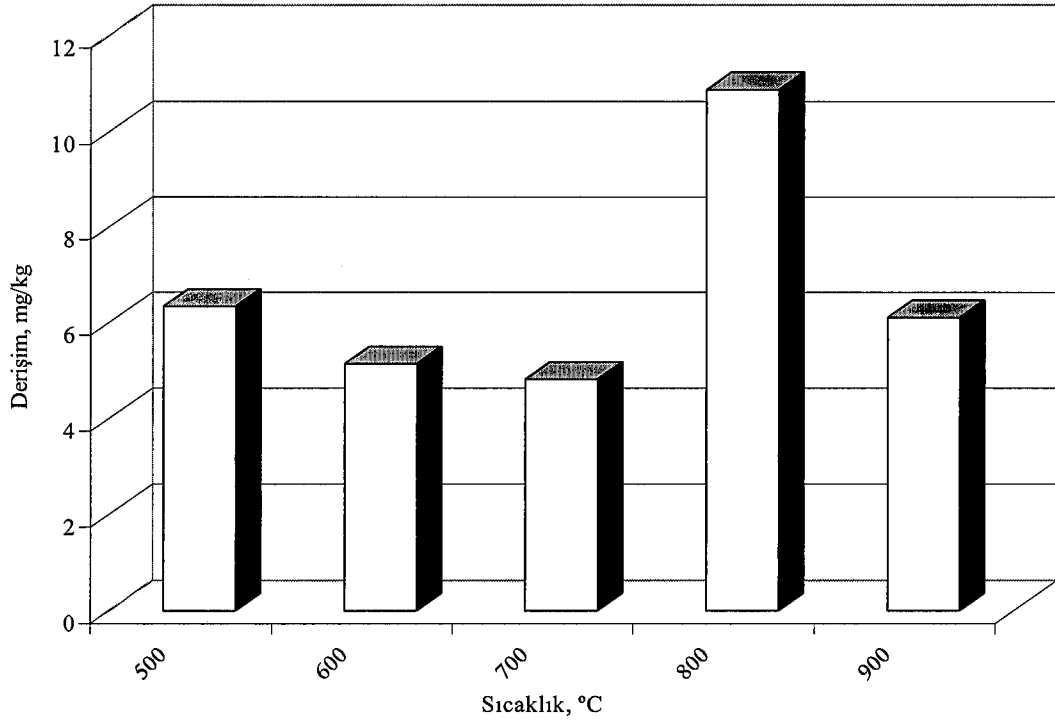
Şekil 7.6. Çinkonun uçucu külde sıcaklığa bağlı değışimi



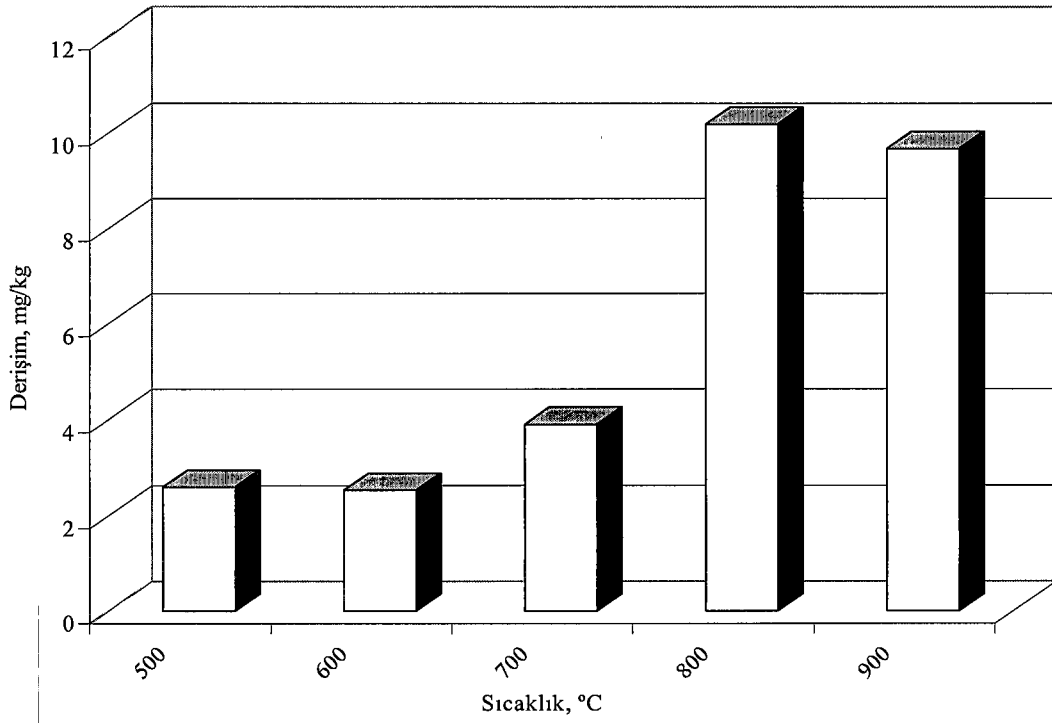
Şekil 7.7. Bakırın dip külünde sıcaklığa bağlı değişimi



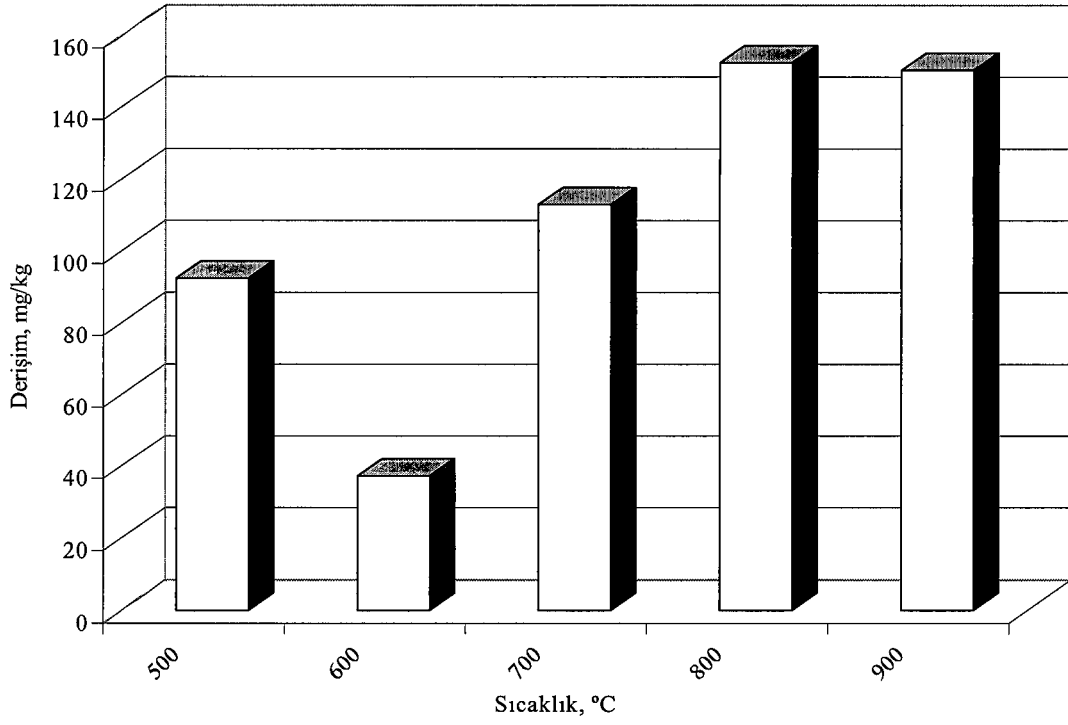
Şekil 7.8. Bakırın uçucu külde sıcaklığa bağlı değişimi



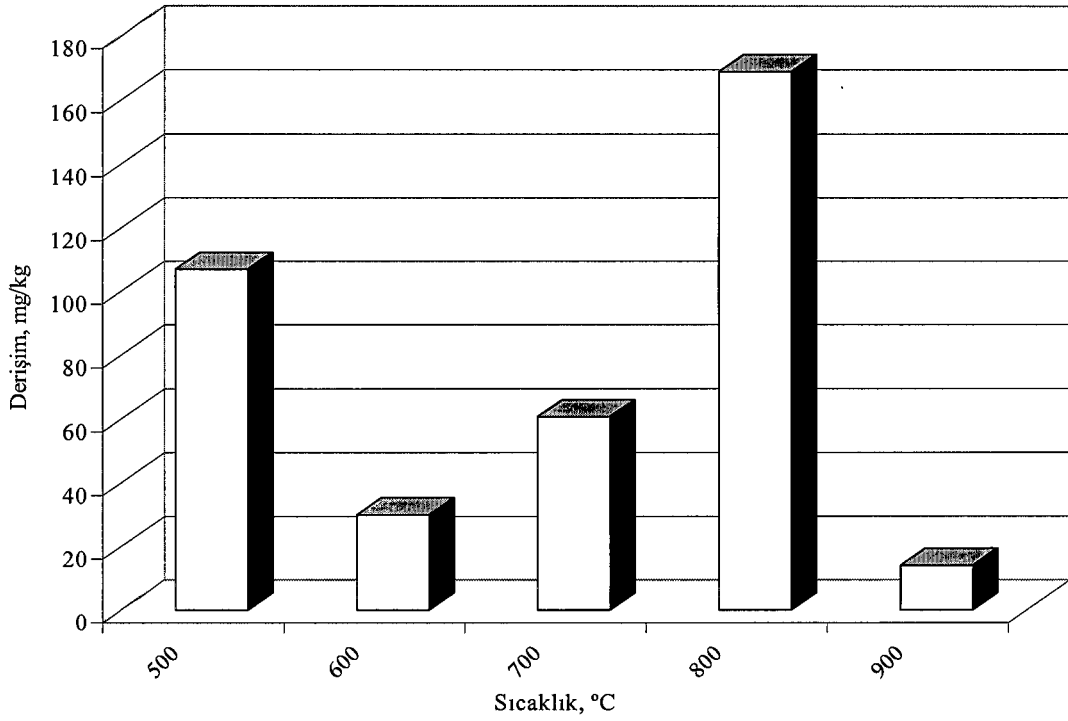
Şekil 7.9. Kadmiyumun dip küllünde sıcaklığa bağlı değişimi



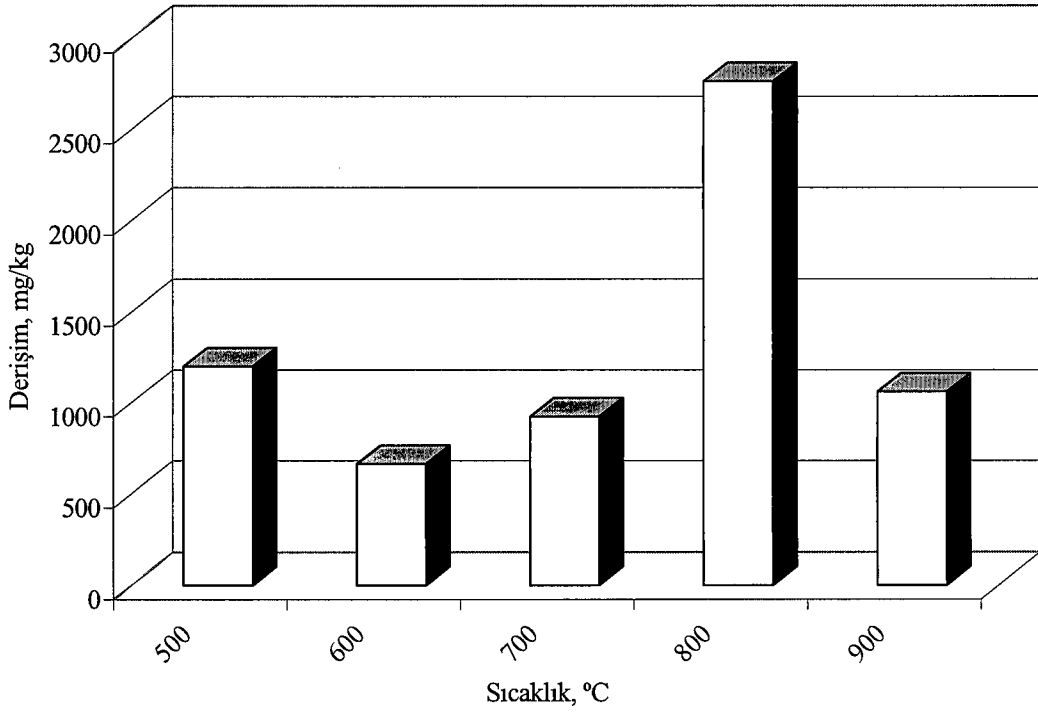
Şekil 7.10. Kadmiyumun uçucu küllde sıcaklığa bağlı değişimi



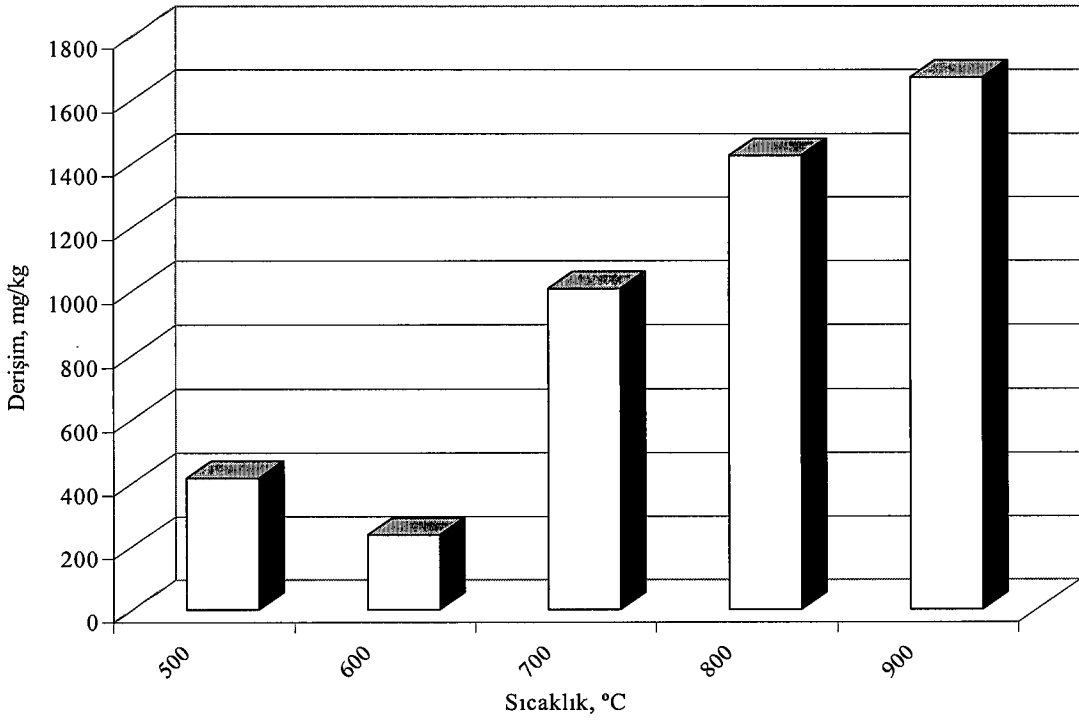
Şekil 7.11. Gümüşün dip külünde sıcaklığa bağlı değişimi



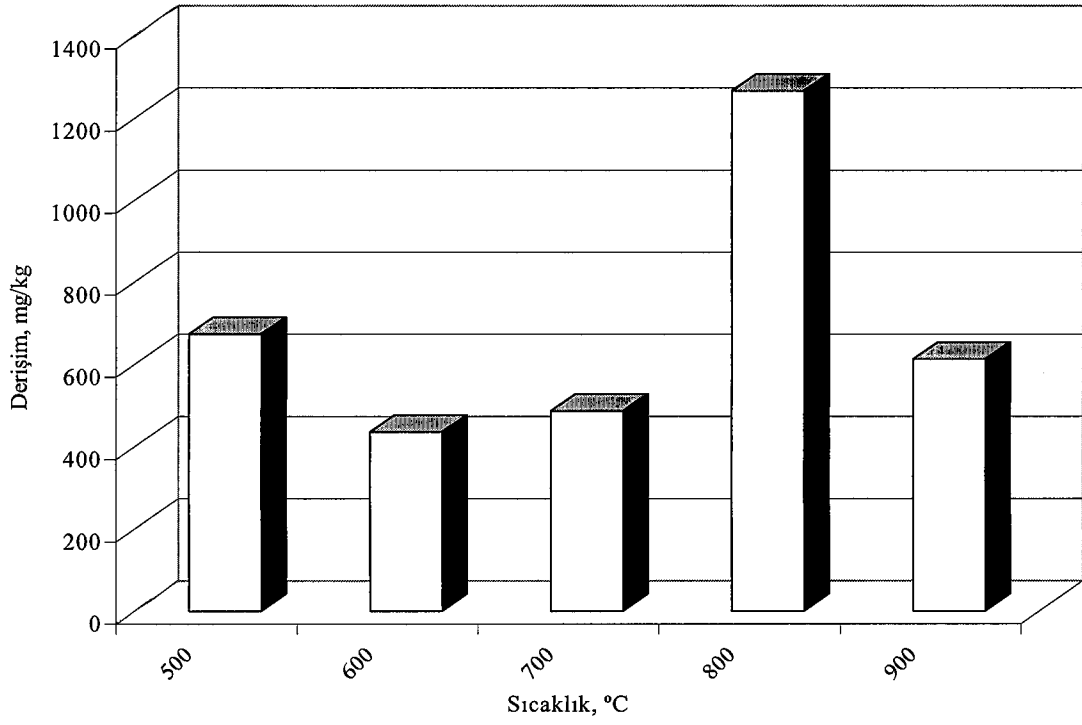
Şekil 7.12. Gümüşün uçucu külde sıcaklığa bağlı değişimi



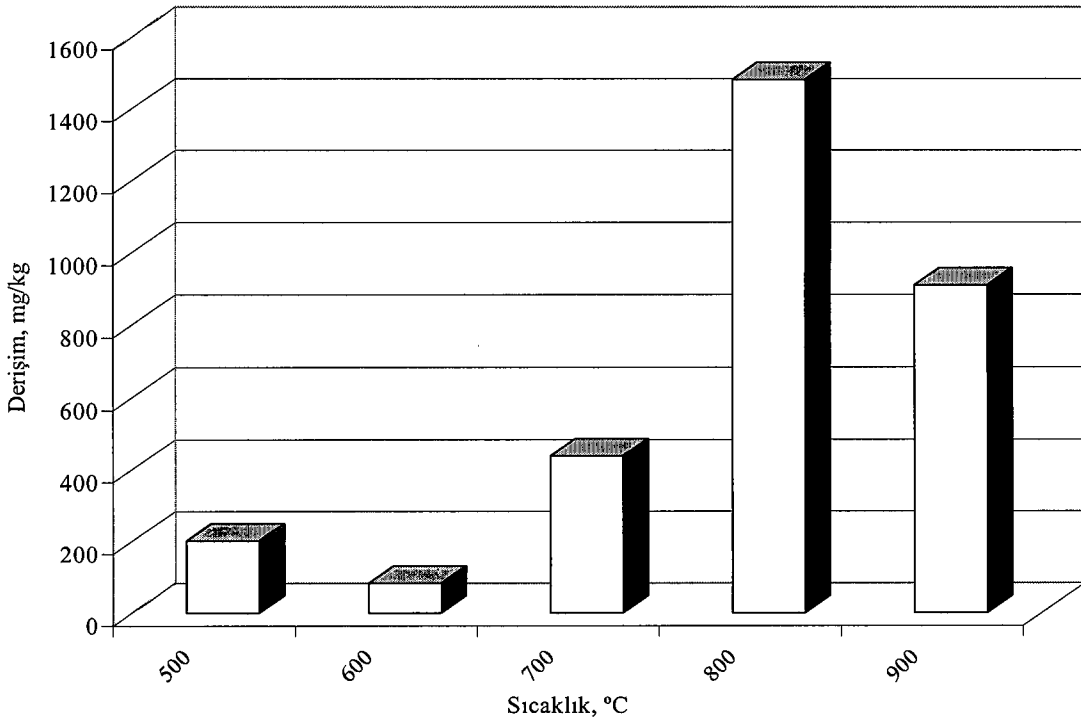
Şekil 7.13. Magnezyumun dip külünde sıcaklığa bağlı değişimi



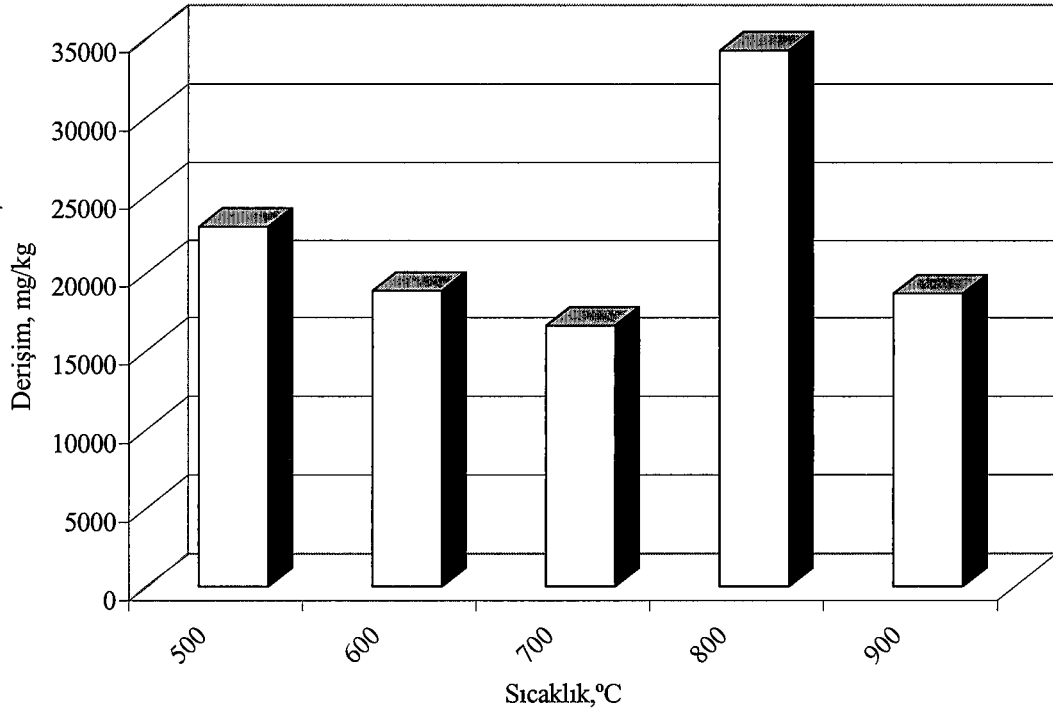
Şekil 7.14. Magnezyumun uçucu külde sıcaklığa bağlı değişimi



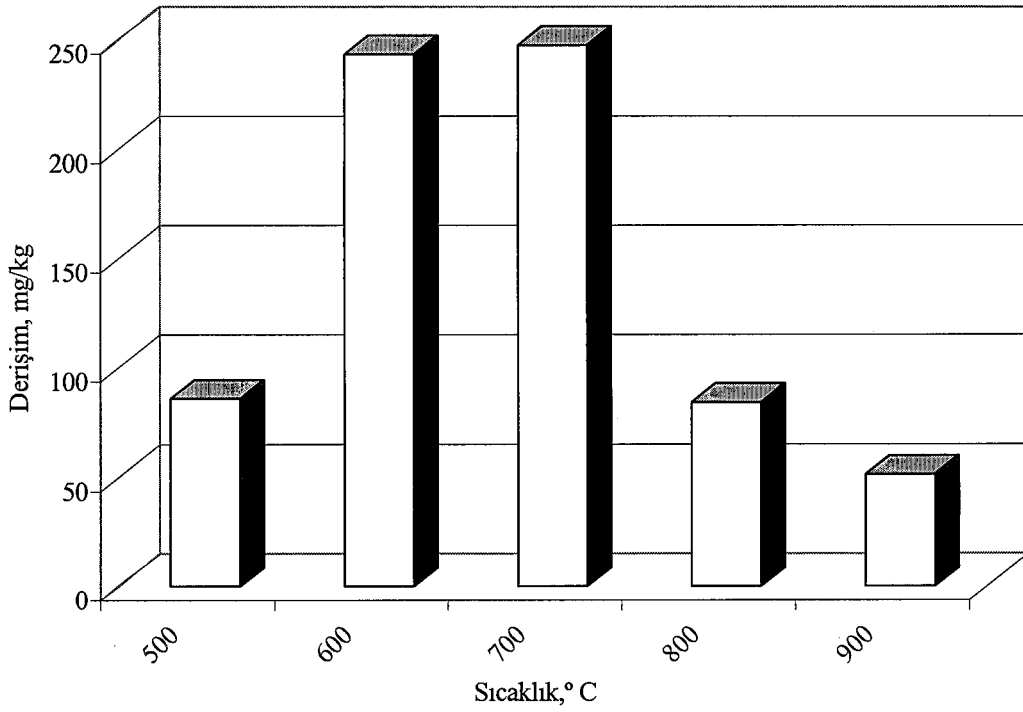
Şekil 7.15. Alüminyumun dip külünde sıcaklığa bağlı değişimi



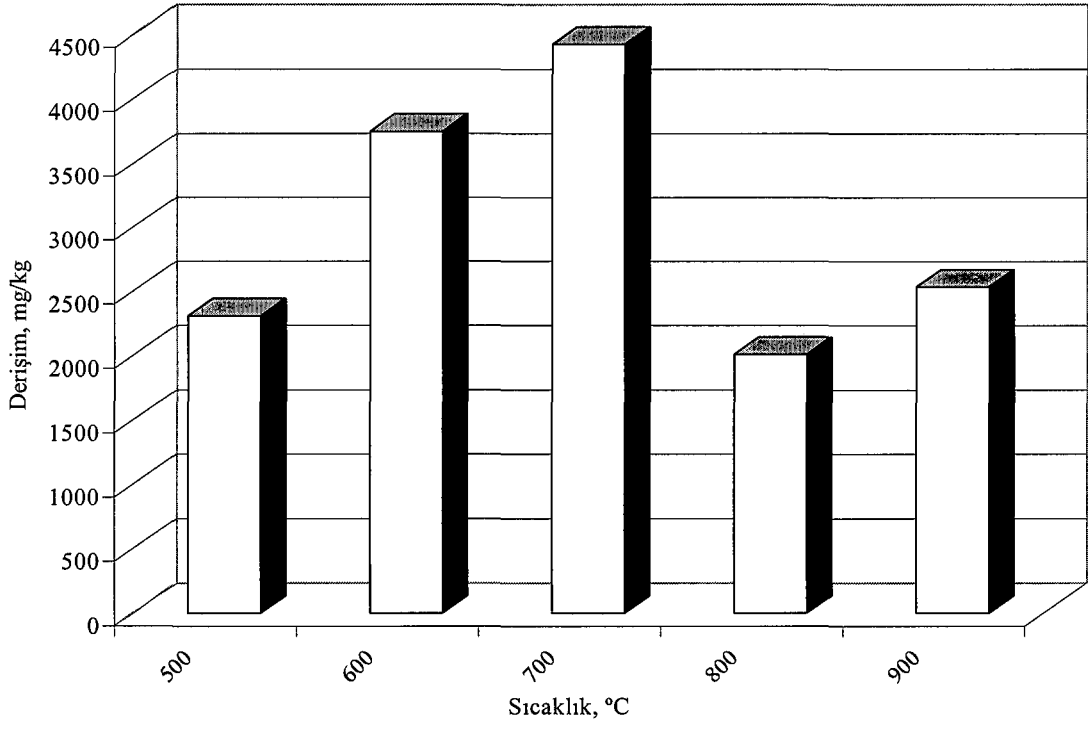
Şekil 7.16. Alüminyumun uçucu külde sıcaklığa bağlı değişimi



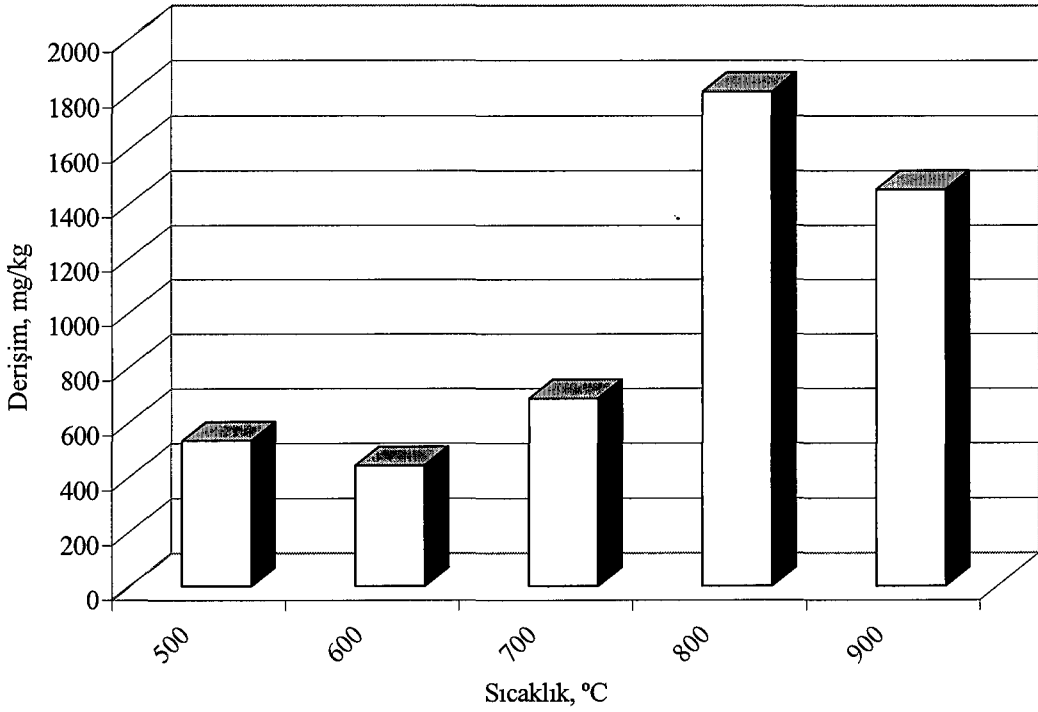
Şekil 7.17. Kromun dip külünde sıcaklığa bağlı değişimi



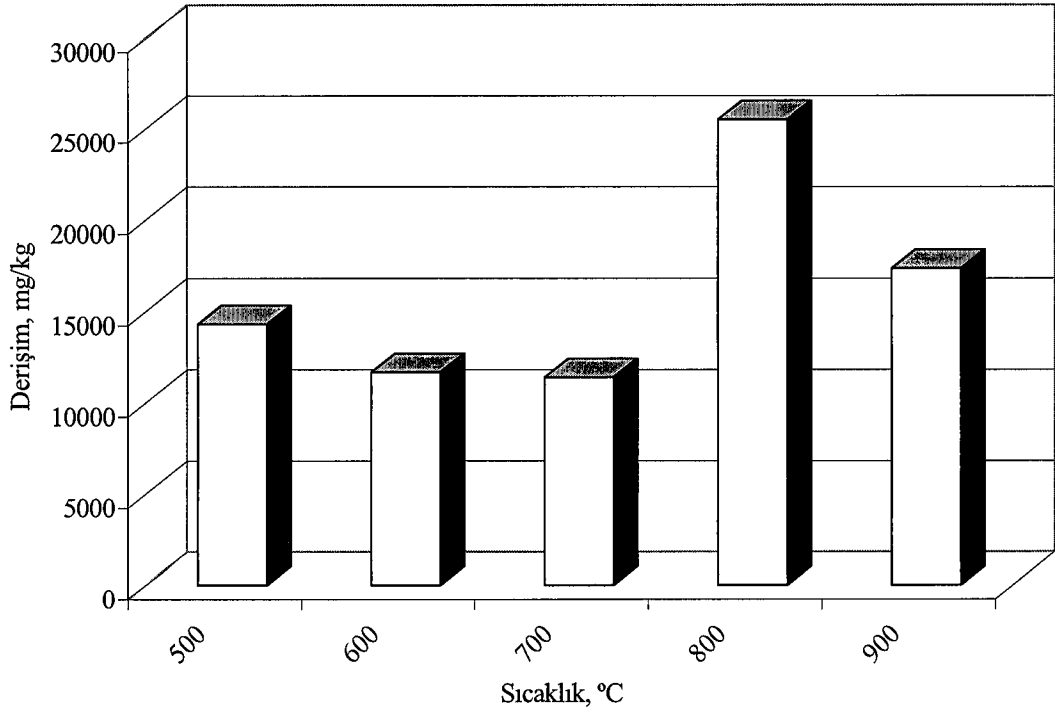
Şekil 7.18. Kurşunun dip külünde sıcaklığa bağlı değişimi



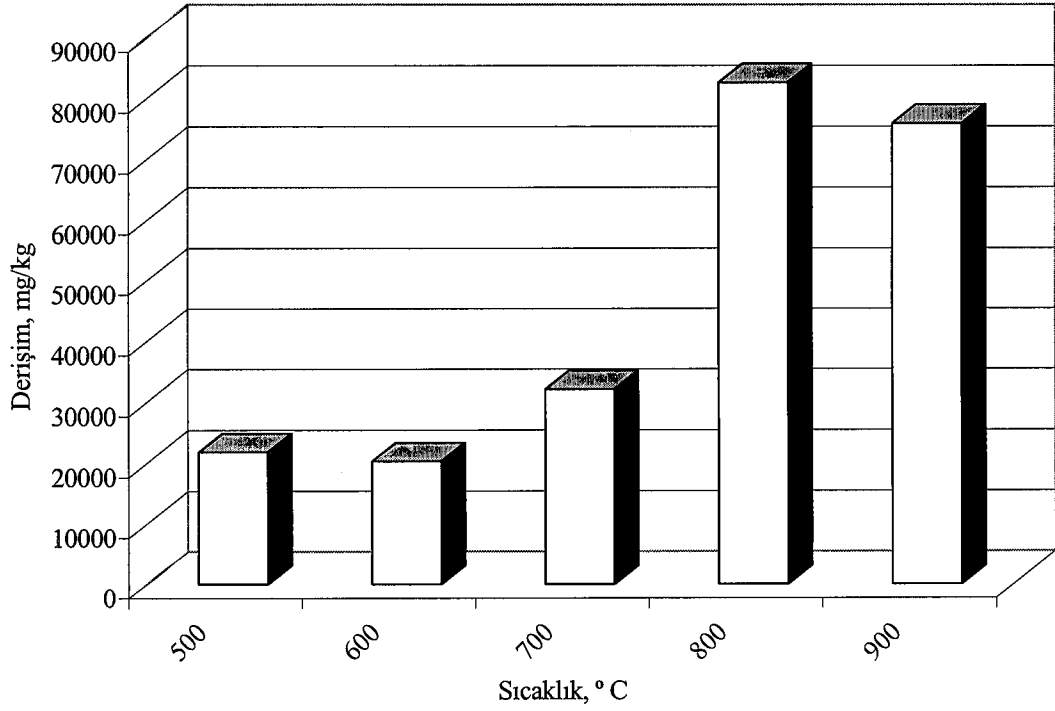
Şekil 7.19. Potasyumun dip kültünde sıcaklığa bağlı değişimi



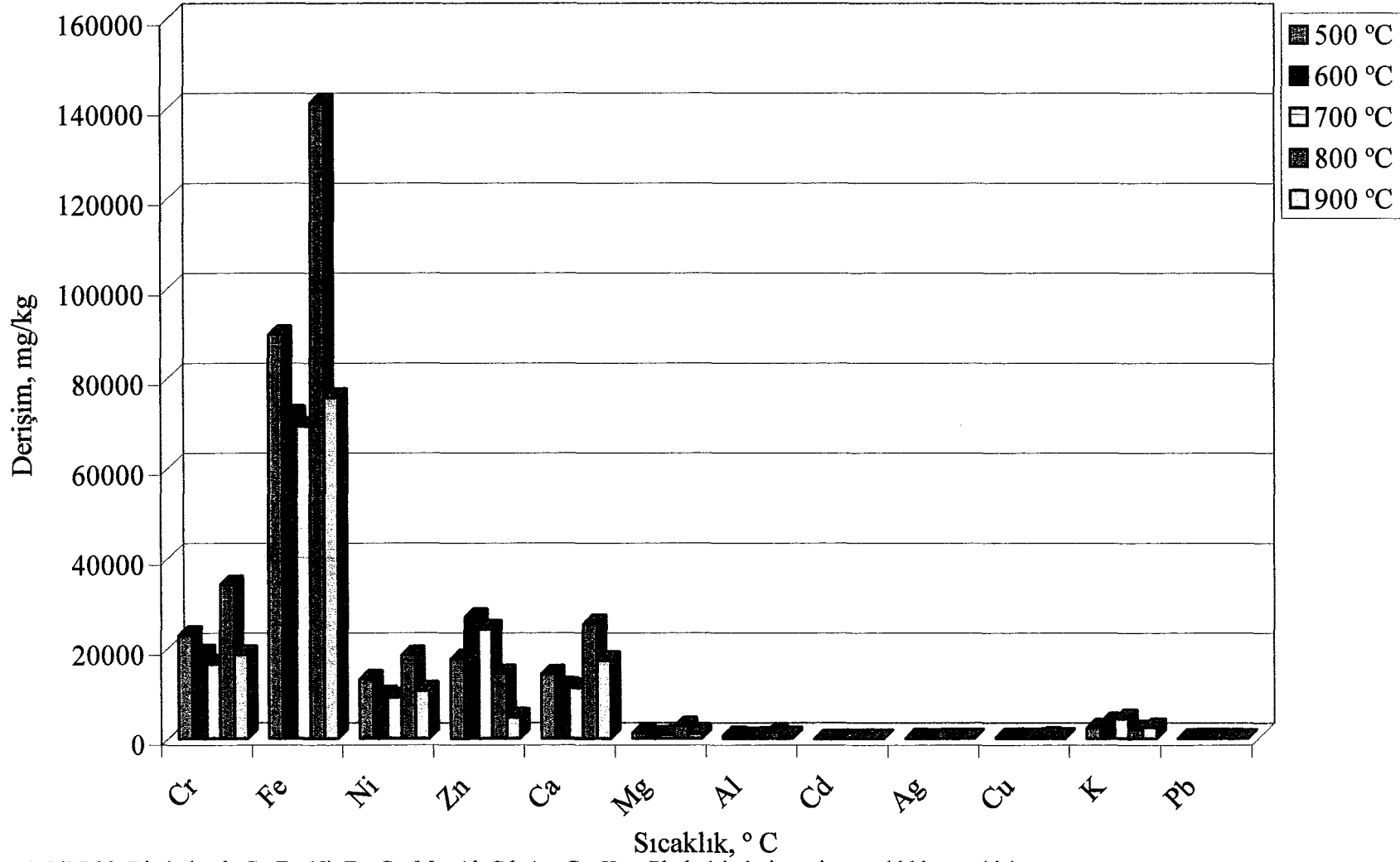
Şekil 7.20. Potasyumun uçucu külde sıcaklığa bağlı değişimi



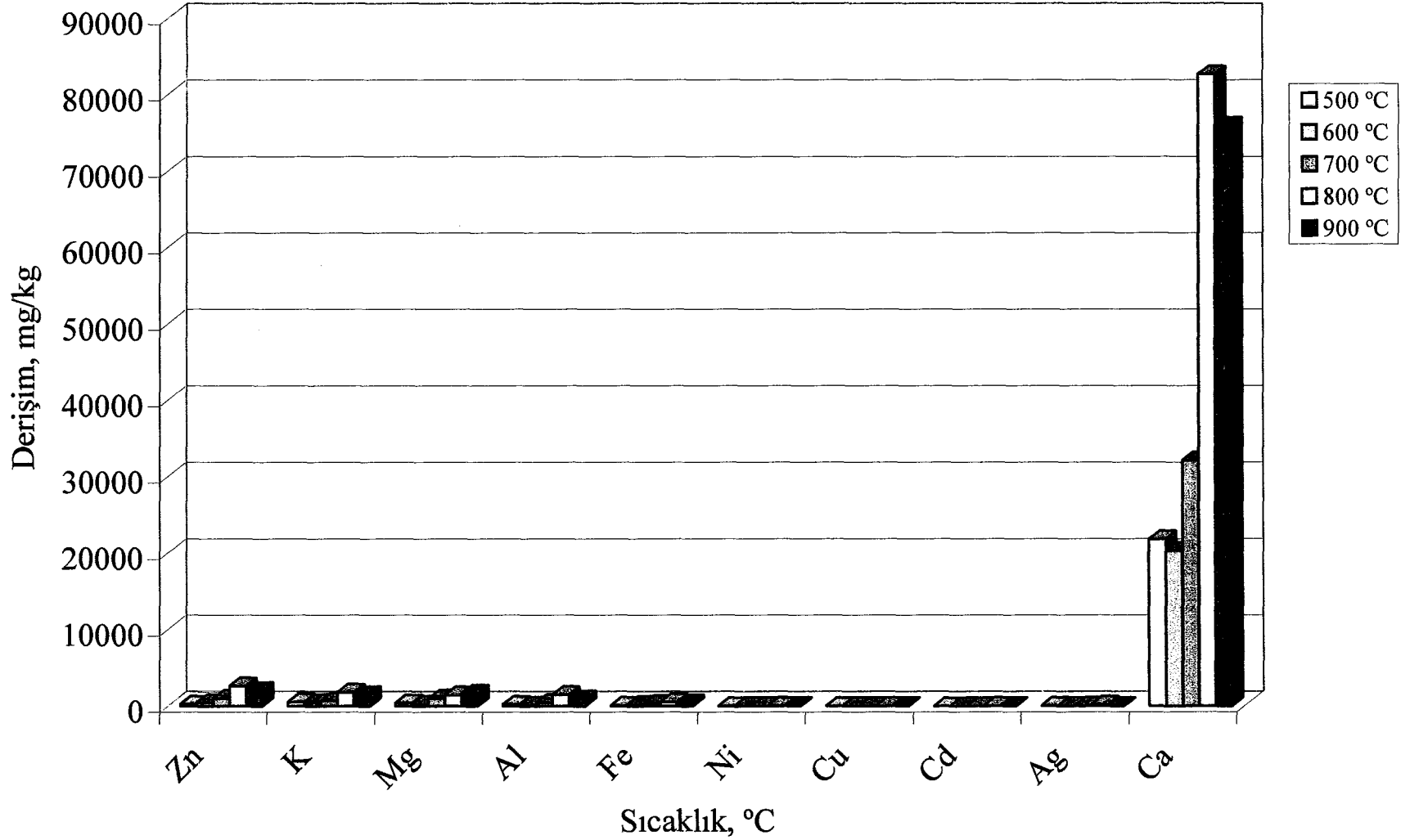
Şekil 7.21. Kalsiyumun dip külünde sıcaklığa bağlı değişimi



Şekil 7.22. Kalsiyumun uçucu külde sıcaklığa bağlı değişimi



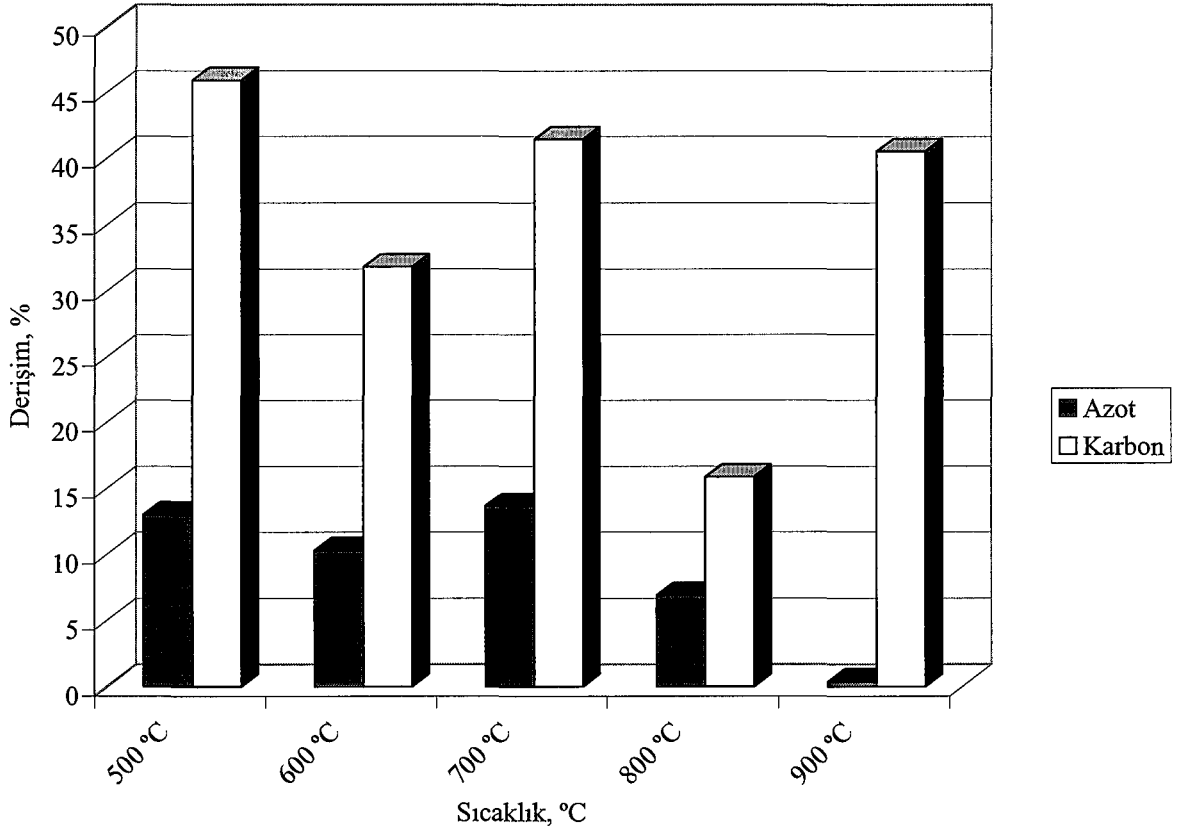
Şekil 7.23. Dip kültürde Cr, Fe, Ni, Zn, Ca, Mg, Al, Cd, Ag, Cu, K ve Pb derişimleri üzerine sıcaklıkların etkisi



Şekil 7.24.Uçucu külde Zn, K, Mg, Al, Fe, Ni, Cu, Cd, Ag ve Ca derişimleri üzerine sıcaklıkların etkisi

**Çizelge 7.5.** Dip külünde yapılan elementel analiz sonuçları

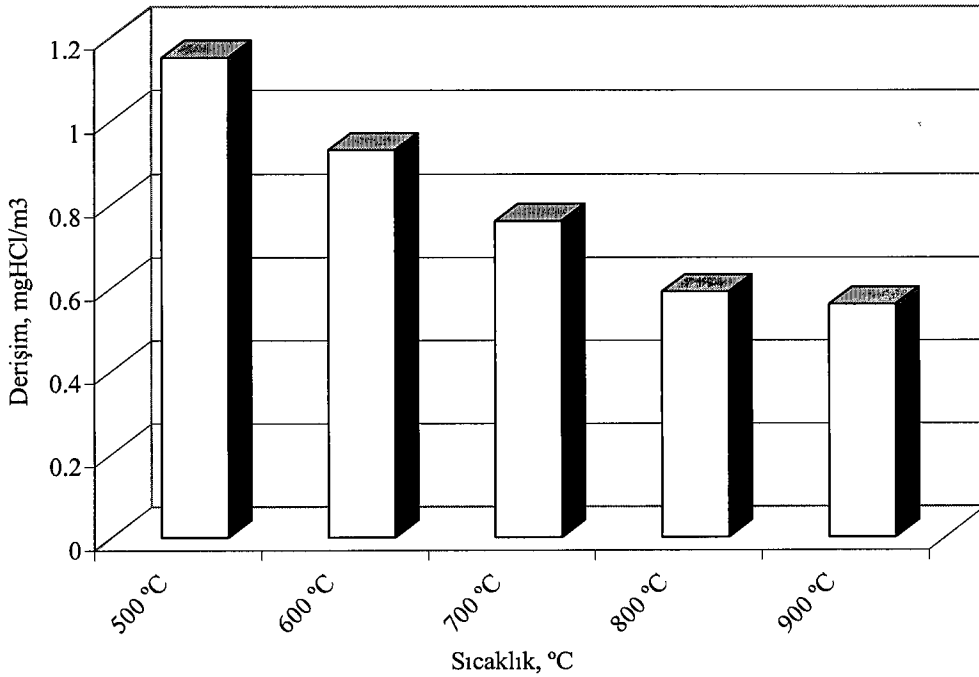
	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C
Azot (%)	13,000	10,294	13,652	6,9	8,324
Karbon (%)	45,939	31,856	41,443	15,869	40,52
Hidrojen (%)	-	-	-	-	-
Kükürt (%)	-	-	-	-	-



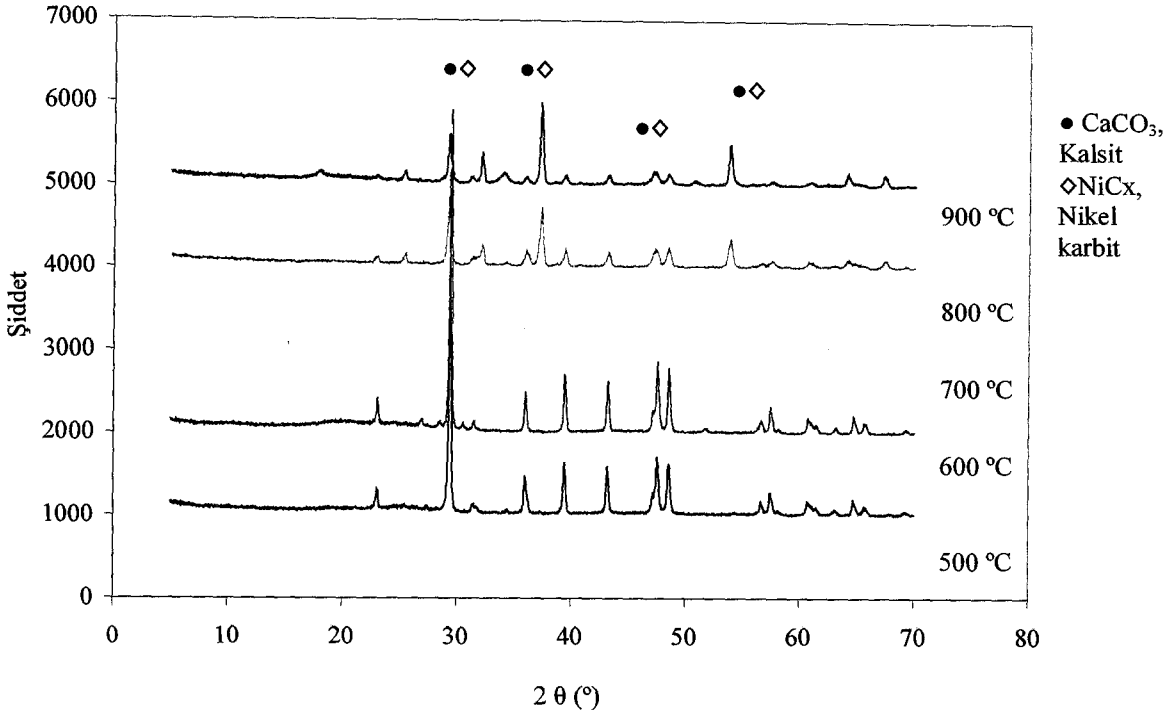
**Şekil 7.25.** Dip külünde elementel analiz sonucundaki azot ve karbon derişimleri üzerine sıcaklığın etkisi

Cizelge 7.6. Gaz emisyonunda yapılan HCl analizi sonuçları

	ppm HCl	mg HCl/m <sup>3</sup>
500 A	0,69	1,01
500 B	0,85	1,23
500 A-B ORT	0,77	1,12
500 C	0,71	1,02
500 D	0,91	1,31
500 C-D ORT	0,81	1,17
600 A	0,59	0,85
600 B	0,56	0,82
600 A-B ORT	0,58	0,84
600 C	0,58	0,84
600 D	0,82	1,20
600 C-D ORT	0,71	1,02
700 A	0,44	0,64
700 B	0,49	0,71
700 A-B ORT	0,46	0,67
700 C	0,61	0,88
700 D	0,57	0,83
700 C-D ORT	0,59	0,85
800 A	0,36	0,53
800 B	0,41	0,60
800 A-B ORT	0,39	0,56
800 C	0,41	0,60
800 D	0,44	0,64
800 C-D ORT	0,42	0,62
900 A	0,41	0,58
900 B	0,35	0,51
900 A-B ORT	0,37	0,54
900 C	0,41	0,59
900 D	0,41	0,60
900 C-D ORT	0,41	0,59



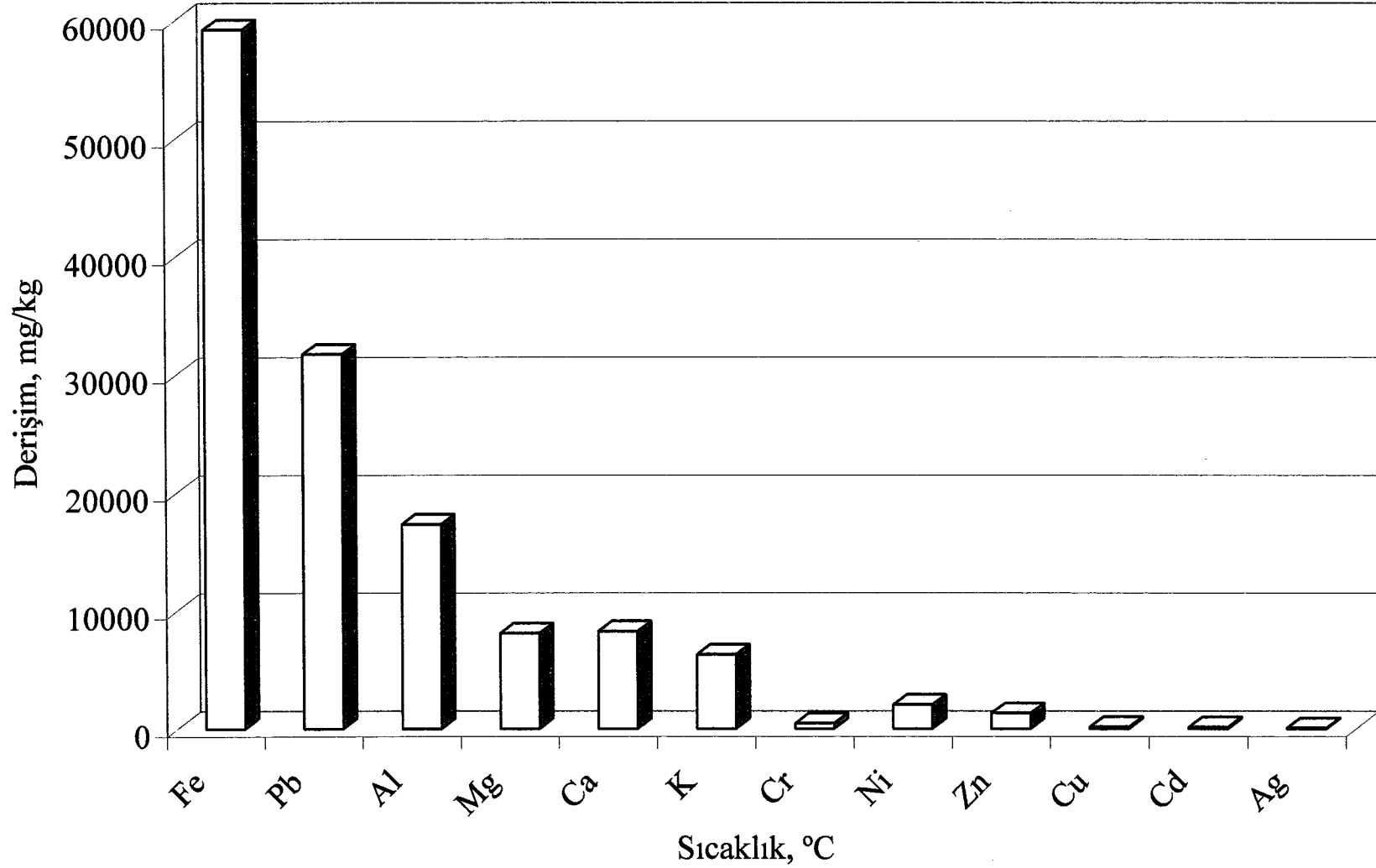
Şekil 7.26. Gaz emisyonunda yapılan HCl derişimleri üzerine sıcaklıkların etkisi



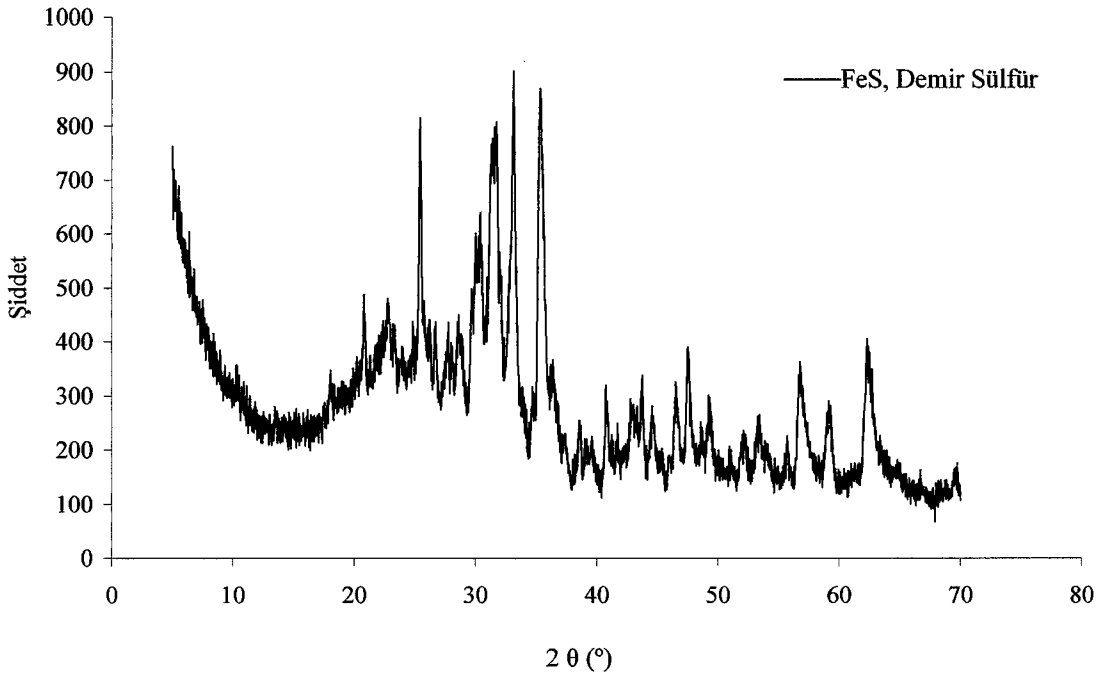
Şekil 7.27. Dip külünde yapılan X ışınları difraktometre analizi grafiği

Çizelge 7.7. İzmit'te faaliyet gösteren bir tehlikeli atık insineratöründen alınan dip külünde yapılan kimyasal analiz sonuçları

	Derişim (mg/kg)
Demir (Fe)	59287,5
Kurşun (Pb)	31762,5
Alüminyum (Al)	17325
Magnezyum (Mg)	8105
Kalsiyum (Ca)	8280,5
Potasyum (K)	6300
Krom (Cr)	475
Nikel (Ni)	2050
Çinko (Zn)	1325
Bakır (Cu)	171,5
Kadmiyum (Cd)	149,5
Gümüş (Ag)	79



Şekil 7.28. İzmit'te faaliyet gösteren bir tehlikeli atık insineratöründen alınan dip küllünde yapılan kimyasal analiz grafiği



**Şekil 7.29.** İzmit'te faaliyet gösteren bir tehlikeli atık insineartöründen alınan dip külde yapılan X ışınları difraktometre analizi grafiği

**Çizelge 7.8.** Fosfat tampon çözelti canlılığı (2 M) deney sonuçları

		Zaman (gün)					
pH	5,7		0	1	3	7	22
		Isı şoklu	$4,7 \times 10^2$	$1,18 \times 10^2$	$2,93 \times 10^2$	$1,34 \times 10^2$	0
	Isı şoksuz	$4,9 \times 10^2$	$5,33 \times 10^2$	$3,5 \times 10^2$	$2,27 \times 10^2$	0	
	6,9	Isı şoklu	$3,7 \times 10^2$	$2,27 \times 10^2$	$3,6 \times 10^2$	$1,22 \times 10^2$	48
		Isı şoksuz	$5,3 \times 10^2$	$4,46 \times 10^2$	$6,53 \times 10^2$	$2,92 \times 10^2$	110,3

**Çizelge 7.9.a.** Fosfat tampon çözelti canlılığı (0,5 M) deney sonuçları

		Zaman (gün)					
pH	2,9		0	1	3	7	20
		Isı şoklu	$9,0 \times 10^2$	$4,3 \times 10^2$	73	$6,73 \times 10^2$	16
	Isı şoksuz	$4,22 \times 10^3$	$2,63 \times 10^3$	$2,61 \times 10^3$	$6,46 \times 10^2$	$8,46 \times 10^2$	
	5,3	Isı şoklu	$4,56 \times 10^3$	$2,8 \times 10^3$	$3,2 \times 10^3$	$5,4 \times 10^2$	$2,93 \times 10^3$
		Isı şoksuz	$6,8 \times 10^3$	$5,86 \times 10^3$	$6,2 \times 10^3$	$7,16 \times 10^2$	$4,06 \times 10^3$
	6,6	Isı şoklu	$3,73 \times 10^3$	$2,56 \times 10^3$	$2,6 \times 10^3$	$4,03 \times 10^2$	$3,35 \times 10^3$
		Isı şoksuz	$6,03 \times 10^3$	$4,66 \times 10^3$	$4,6 \times 10^3$	$5,96 \times 10^2$	$4,83 \times 10^2$
	9,0	Isı şoklu	$1,57 \times 10^3$	$56,5 \times 10^2$	$1,5 \times 10^3$	$3,73 \times 10^2$	$1,22 \times 10^3$
		Isı şoksuz	$3,3 \times 10^3$	$1,44 \times 10^3$	$2,1 \times 10^3$	$1,31 \times 10^3$	$2,57 \times 10^3$
	11,3	Isı şoklu	$5,13 \times 10^2$	$1,36 \times 10^2$	130	50,6	$3,3 \times 10^2$
		Isı şoksuz	$1,97 \times 10^3$	$1,41 \times 10^3$	$1,1 \times 10^3$	178,3	$7,16 \times 10^2$

**Çizelge 7.9.b.** Fosfat tampon çözelti canlılığı (0,5 M) deney sonuçları

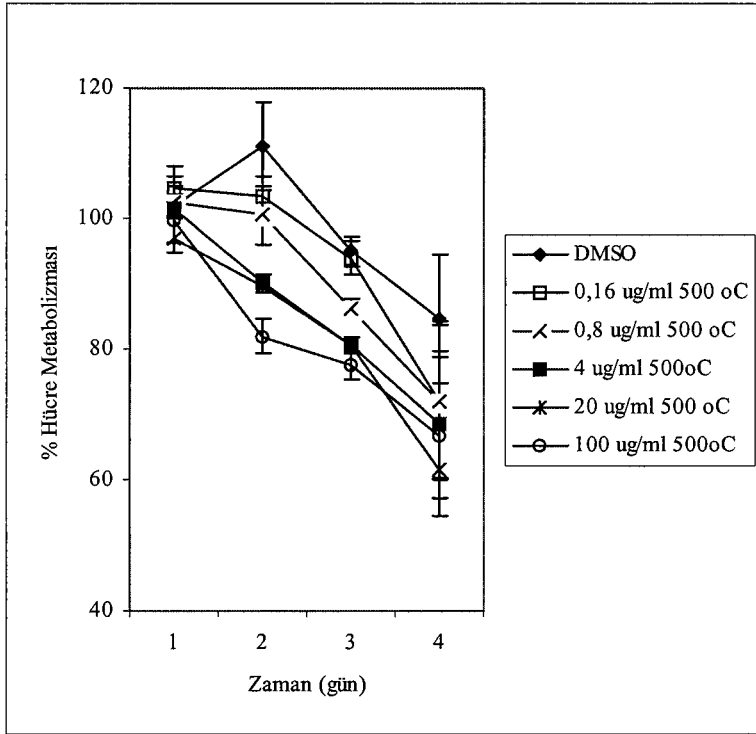
		Zaman (gün)					
pH	2,9		0	1	3	7	20
		Isı şoklu	$1,04 \times 10^3$	$1,81 \times 10^2$	$3,73 \times 10^1$	$5,5 \times 10^1$	0
	Isı şoksuz	$1,55 \times 10^3$	$3,56 \times 10^2$	$5,4 \times 10^1$	$1,46 \times 10^2$	7	
	5,3	Isı şoklu	$1,86 \times 10^3$	$3,11 \times 10^2$	$5,23 \times 10^2$	$1,23 \times 10^2$	$4,5 \times 10^1$
		Isı şoksuz	$2,91 \times 10^3$	$5,43 \times 10^2$	$4,2 \times 10^2$	$3,66 \times 10^2$	108,3
	6,6	Isı şoklu	$1,82 \times 10^3$	$3,14 \times 10^2$	$2,67 \times 10^2$	$2,29 \times 10^2$	10,3
		Isı şoksuz	$3,31 \times 10^3$	$7,06 \times 10^2$	$3,16 \times 10^2$	$3,8 \times 10^2$	17,6
	9,0	Isı şoklu	$6,6 \times 10^2$	$2,78 \times 10^2$	$5,8 \times 10^2$	$1,67 \times 10^2$	186,3
		Isı şoksuz	$1,15 \times 10^3$	$8,2 \times 10^2$	$4,86 \times 10^2$	$3,8 \times 10^2$	246,6
	11,3	Isı şoklu	$1,2 \times 10^2$	$1,47 \times 10^2$	$1,28 \times 10^2$	$2,6 \times 10^1$	3,6
		Isı şoksuz	$6,5 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$	$5,96 \times 10^2$	$7,03 \times 10^1$	7,3

**Çizelge 7.10.a.** Külde spor canlılığı deney sonuçları

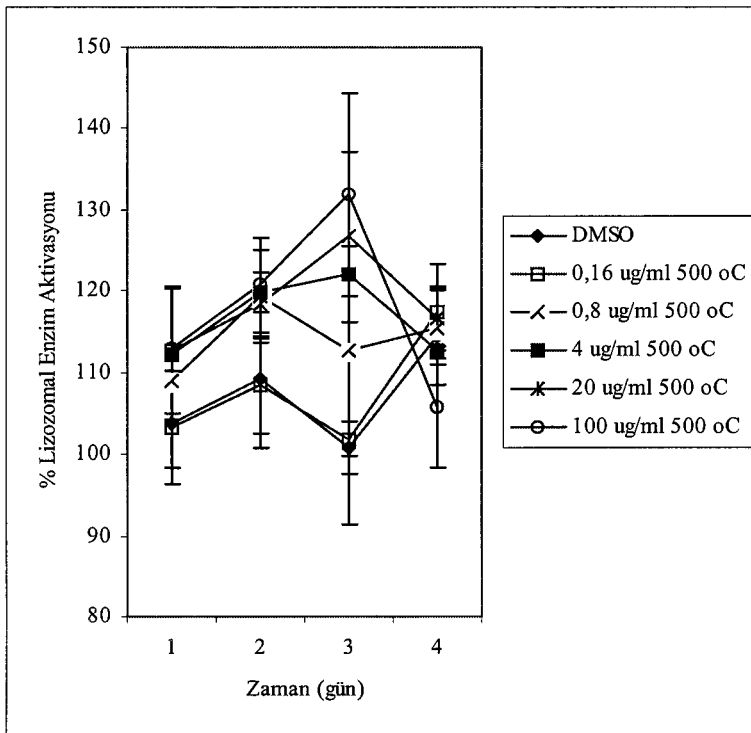
	Otoklavlanmamış Kül + 0,5 M fosfat tampon (50/50)	Otoklavlanmamış Kül +saf su (50/50)	Otoklavlanmış Kül + 0,5 M fosfat tampon (50/50)	Otoklavlanmış Kül +saf su (50/50)
Zaman (gün)				
0	$5,7 \times 10^2$	$3,8 \times 10^2$	$5,9 \times 10^2$	$2,9 \times 10^2$
1	0	0	0	0
8	0	0	0	0
22	0	0	0	0
42	0	0	0	0

**Çizelge 7.10.b.** Külde spor canlılığı deney sonuçları

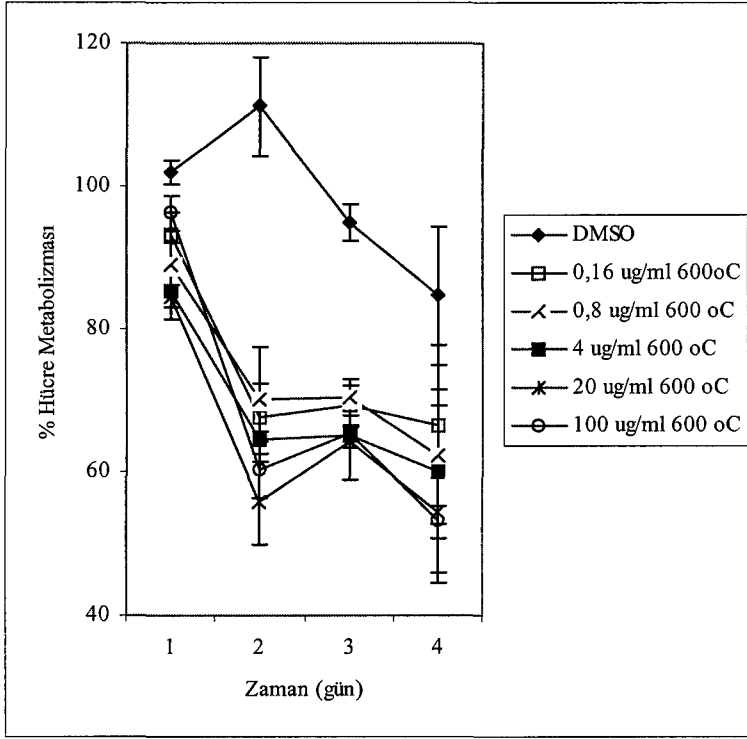
	Otoklavlanmamış Kül + 0,5 M fosfat tampon (1/100)	Otoklavlanmamış Kül +saf su (1/100)	Otoklavlanmış Kül + 0,5 M fosfat tampon (1/100)	Otoklavlanmış Kül +saf su (1/100)
Zaman (gün)				
0	$9,8 \times 10^2$	$5,3 \times 10^2$	$10,4 \times 10^2$	$4,8 \times 10^2$
1	$0,9 \times 10^2$	$0,5 \times 10^2$	$1,1 \times 10^2$	$0,4 \times 10^2$
8	0	0	0	0
22	0	0	0	0
42	0	0	0	0



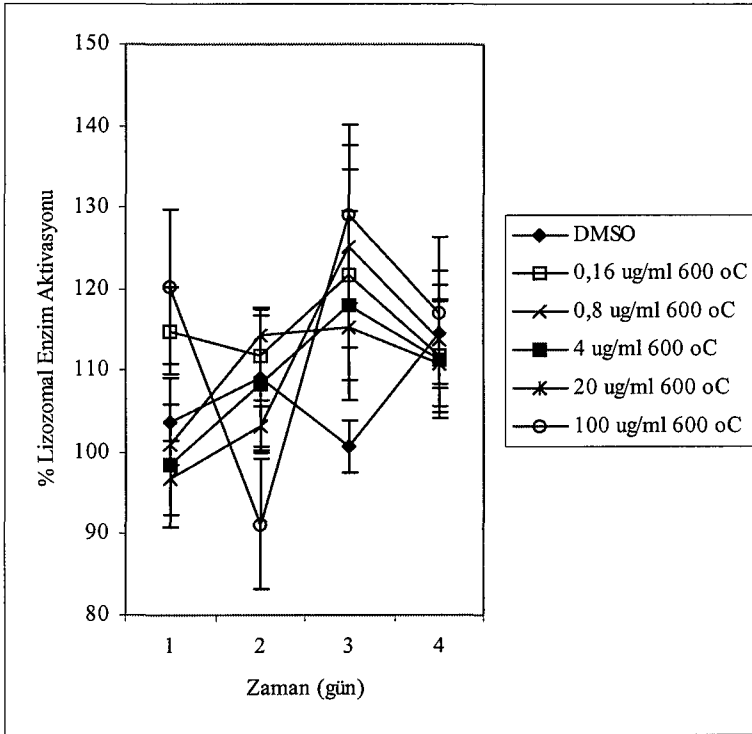
Şekil 7.30. 500 °C'nin NIH3T3 hücrelerinde MTT ölçüm sonuçları



Şekil 7.31. 500 °C'nin NIH3T3 hücrelerinde NR ölçüm sonuçları



Şekil 7.32. 600 °C'nin NIH3T3 hücrelerinde MTT ölçüm sonuçları



Şekil 7.33. 600 °C'nin NIH3T3 hücrelerinde NR ölçüm sonuçları

## 7.1. Deneysel Bulguların İstatistiksel Değerlendirmesi

Çalışmanın son bölümünde, elde edilen kimyasal analiz verilerinin istatistiksel olarak anlamlandırılabilmesi amacıyla SPSS 10.0 paket programı kullanılarak Pearson korelasyonu yapılmıştır. Normal dağılmış X ve Y değişkenleri arasındaki doğrusal bağımlılığın bir ölçüsü olan Pearson Korelasyonuna göre aralarında doğrusal bağımlılık bulunan parametreler Çizelge 7.11 ve 12’de koyu harflerle belirtilmiştir.

Bakteriyolojik çalışma sonucunda elde edilen değerler ise, yine SPSS 10.0 paket programı kullanılarak “*Anova testi*”ne tabi tutulmuştur. Anova test sonuçları Çizelge 7.13-7.15’de gösterilmiştir. Fosfat tampon çözelti içerisinde spor canlılığı deneyinde pH 2,9, 9,0 ve 11,3 değerlerinde 20 gün sonunda spor sayılarında belirgin bir azalma görülmüş, ısı şoklu ve ısı şoksuz sonuçlar karşılaştırıldığında, ısı şoklu deneyde hem asidik hem de bazik ortamların sporların gelişmesini engellediği düşünülmüştür. Anova testi sonucunda ise ilk verilen bakteri sayısı ile deney günleri elde edilen bakteri sayıları arasında istatistiksel açıdan anlamlılık elde edilmiş, pH değeri, ısı ve zamanın bakteri gelişimi üzerine bir etkisinin olduğu kanısına varılmıştır.

2 M fosfat tampon çözeltisi içerisinde spor canlılığı deneyi sonucunda, pH 5,7 değerinin hem ısı şoklu hem de ısı şoksuz deney ile elde edilen bakteri sonuçlarının pH 6,9 değerine göre belirgin derece az olduğu, buna bağlı olarak asidik koşulların bakteri gelişimini engellediği Anova testi ile desteklenmiş, pH değerinin, sıcaklık ve zamanın, bakteri gelişimi üzerinde etkili olduğu kanısına varılmıştır.

Ames Salmonella mutajenite test deneyleri her iki suş için S9 mikrozomal fraksiyon yokluğunda ve varlığında olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. 500 °C’de yakılan külün 61000, 30500, 15250µg/ml dozları ve 600 °C’de yakılan külün 41000, 20500, 10250µg/ml derişimleri TA98 ve TA100 suşlarına karşı denenmiş ve sonuçlar standart hataları ile birlikte ortalamaları alınarak istatistiksel açıdan anlamlandırılabilmesi amacıyla SPSS 10.0 paket programı kullanılarak “*Anova testi*” ile, çözücü kontrolü olan DMSO sonuçlarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. TA98 için olan sonuçlar Çizelge 7.16’da, TA100 için olan sonuçlar ise Çizelge 7.17’de verilmiştir. Çizelgelerde, test maddelerinin her doz

için revertant koloni sayılarının ortalamaları “ortalama  $\pm$  standart hata” şeklinde gösterilmiştir. Her deneyde paralel olarak spontan revertant kontrol, çözücü kontrolü ve pozitif kontroller yapılmıştır.

Çizelge 7.16 ve 7.17’de görüldüğü gibi 500 °C’de yakılan kül numunesinin S9(-) deneylerinin sonucunda TA98 için 61000  $\mu\text{g/ml}$ , 30500  $\mu\text{g/ml}$  ve 15250 ( $P<0,01$ ) konsantrasyonlarına anlamlı değerler elde edilirken, S9(+) deneylerinin sonucunda ise 61000  $\mu\text{g/ml}$  ( $P<0,05$ ) konsantrasyonunda anlamlı sonuç elde edilmiştir. 600 °C’de yakılan kül numunesinin S9(-) deneylerinin sonucunda ise TA98 için 41000  $\mu\text{g/ml}$  ( $P<0,01$ ) konsantrasyonunda anlamlı sonuç elde edilmiştir.

**Çizelge 7.11.** Dip küllü analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi

Değişkenler	Krom	Demir	Kurşun	Nikel	Çinko	Bakır	Magnezyum	Alüminyum	Kadmium	Gümüş	Kalsiyum	Potasyum
Krom												
Demir	<b>0,952</b>											
Kurşun	-0,409	-0,402										
Nikel	<b>0,962</b>	<b>0,971</b>	<b>-0,461</b>									
Çinko	-0,289	-0,211	0,418	-0,249								
Bakır	<b>0,638</b>	<b>0,611</b>	-0,425	<b>0,669</b>	-0,022							
Magnezyum	<b>0,565</b>	<b>0,655</b>	<b>-0,464</b>	<b>0,609</b>	-0,143	0,378						
Alüminyum	<b>0,577</b>	<b>0,668</b>	<b>-0,538</b>	<b>0,635</b>	-0,141	<b>0,558</b>	<b>0,860</b>					
Kadmium	<b>0,557</b>	<b>0,645</b>	<b>-0,503</b>	<b>0,608</b>	-0,162	<b>0,547</b>	<b>0,829</b>	<b>0,955</b>				
Gümüş	0,123	0,153	-0,312	0,160	-0,217	0,360	0,044	0,352	0,463			
Kalsiyum	<b>0,567</b>	<b>0,645</b>	<b>-0,621</b>	<b>0,620</b>	-0,249	0,419	<b>0,937</b>	<b>0,804</b>	<b>0,789</b>	0,097		
Potasyum	<b>-0,498</b>	-0,411	0,351	<b>-0,459</b>	<b>0,885</b>	-0,128	-0,200	-0,226	-0,244	-0,107	-0,253	

\* Çizelgedeki sayılar iki değişken arasındaki ilişkinin derecesini gösterir. Bu katsayı negatif ise ilişki ters yönlüdür (bir değişkenin değeri artarken diğerinin değeri azalır), pozitif işaretli ise değişkenlerin değerleri birlikte artıyor yada 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.

**Çizelge 7.12.** Uçucu kül analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi

Değişkenler	Demir	Nikel	Çinko	Bakır	Magnezyum	Alüminyum	Kadmiyum	Gümüş	Kalsiyum	Potasyum
Demir										
Nikel	<b>0,827</b>									
Çinko	<b>0,939</b>	<b>0,829</b>								
Bakır	<b>0,658</b>	<b>0,824</b>	<b>0,787</b>							
Magnezyum	0,174	-0,267	0,216	-0,123						
Alüminyum	<b>0,806</b>	<b>0,732</b>	<b>0,921</b>	<b>0,761</b>	0,334					
Kadmiyum	<b>0,690</b>	<b>0,632</b>	<b>0,838</b>	<b>0,836</b>	0,388	<b>0,929</b>				
Gümüş	0,430	<b>0,620</b>	<b>0,474</b>	0,384	-0,319	<b>0,547</b>	0,275			
Kalsiyum	<b>0,696</b>	<b>0,637</b>	<b>0,844</b>	<b>0,829</b>	0,393	<b>0,940</b>	<b>0,999</b>	0,302		
Potasyum	<b>0,759</b>	<b>0,776</b>	<b>0,895</b>	<b>0,891</b>	0,181	<b>0,959</b>	<b>0,957</b>	<b>0,504</b>	<b>0,962</b>	

\* Çizelgedeki sayılar iki değişken arasındaki ilişkinin derecesini gösterir. Bu katsayı negatif ise ilişki ters yönlüdür (bir değişkenin değeri artarken diğerinin değeri azalır), pozitif işaretli ise değişkenlerin değerleri birlikte artıyor yada 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.

**Çizelge 7.13.** Fosfat tampon çözelti canlılığı (2 M) sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi

	pH=5,7 ısı şoklu	pH=6,9 ısı şoklu	pH=5,7 ısı şoksuz	pH=6,9 ısı şoksuz
0. gün	313,33±48,41*	373,33±34,80*	470±52,91*	530±35,11*
1. gün	118,33±16,12*	227,33±12,19*	533,33±29,05*	446,66±38,44*
3. gün	350±35,11*	360±36,05*	293,33±33,82*	653,33±60,64*
7. gün	134,66±5,36*	122,66±2,33*	227±18,92*	292,66±13,61*
22.gün	1±0,57*	48±5,50*	0,3333±0,33*	110,33±15,34*

Her deney, üç paralel plak olarak test edilmiş ve sonuçların ortalamaları alınarak (ort±st.h) çizelgeye kaydedilmiştir (\* P<0,05)

**Çizelge 7.14.a.** Fosfat tampon çözelti canlılığı (0,5 M) sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi

Isı Şoklu					
	pH=2,9	pH=5,3	pH=6,6	pH=9,0	pH=11,3
0. gün	900±208,16*	4566,66±523,87*	3733,33±317,97*	1570±105,83*	513,33±17,63*
1. gün	430±45,82*	2800±458,25*	2566,66±290,59*	650±55,67*	136,66±8,81*
3. gün	68,66±7,53*	3163,33±73,10*	2583,33±128,11*	1516,66±135,44*	130±14,01*
7. gün	673,33±23,33*	540±90,73*	403,33±18,55*	373,33±58,4*	178,33±10,03*
20.gün	16±2,64*	2933,33±158,98*	1226,66±112,89*	356,66±74,46*	330±25,16*
Isı Şoksuz					
	pH=2,9*	pH=5,3	pH=6,6	pH=9,0	pH=11,3
0. gün	4266,66±392,99*	6800±1410,67*	6033,33±384,41*	3300±608,27*	1966,66±688,79*
1. gün	2633,33±176,38*	5866,66±1217,1*	4666,66±517,47*	1543,33±102,68*	1416,66±243,05*
3. gün	2616,66±101,70*	6233,33±202,75*	4566,66±712,58*	2060±98,14*	1030±20,81*
7. gün	646,66±86,85*	716,66±120,18*	596,66±89,51*	1313,33±194,27*	506,66±31,79*
20.gün	846,66±20,27*	4066,66±202,75*	4833,33±202,75*	2576,66±104,93*	716,66±38,44*

Her deney, üç paralel plak olarak test edilmiş ve sonuçların ortalamaları alınarak (ort±st.h) çizelgeye kaydedilmiştir (\* P<0,05)

**Çizelge 7.14.b.**Fosfat tampon çözelti canlılığı (0,5 M) analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi

Isı Şoklu					
	pH=2,9	pH=5,3	pH=6,6	pH=9,0	pH=11,3
0. gün	1043,33±40,96*	1866,66±61,19*	1823,33±89,69*	663,33±8,81*	128±8,96*
1. gün	181,66±8,95*	311±7,21*	314,66±9,24*	278,33±7,79*	147,33±10,03*
3. gün	37,33±6,22*	523,33±26,03*	267,66±38,68*	580±36,05*	128±17,03*
7. gün	55±3,51*	123±12,22*	229±15,39*	167,66±12,81*	27±0,57*
20.gün	0,33±0,33*	45±7,50*	10,33±0,33*	186,33±7,53*	3,66±0,88*
Isı Şoksuz					
	pH=2,9	pH=5,3	pH=6,6	pH=9,0	pH=11,3
0. gün	1553,33±121,15*	2910±196,55*	3310±96,43*	1153,33±95,62*	650±51,31*
1. gün	356,66±41,76*	543,33±29,05*	706,66±28,48*	82±17,32*	613,33±74,46*
3. gün	54±7,37*	420±36,05*	316,66±23,33*	503,33±18,55*	596,66±43,33*
7. gün	146,66±8,98*	366,66±26,03*	486,66±17,63*	380±17,32*	70,33±4,37*
20.gün	7±2,3*	108,33±7,88*	17,66±1,85*	246,66±11,28*	7,33±2,6*

Her deney, üç paralel plak olarak test edilmiş ve sonuçların ortalamaları alınarak (ort±st.h) çizelgeye kaydedilmiştir (\* P<0,05)

**Çizelge 7.15.a.** Külde spor canlılığı analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi

	Otoklavlanmış Kül + 0,5 M fosfat tampon (50/50)	Otoklavlanmış Kül + saf su (50/50)	Otoklavlanmamış Kül + 0,5 M fosfat tampon (50/50)	Otoklavlanmamış Kül + saf su (50/50)
0. gün	570,00±10,11*	346,66±55,42*	590,00±7,93*	290,00±8,32*
1. gün	0	0	0	0
8. gün	0	0	0	0
22. gün	0	0	0	0
42.gün	0	0	0	0

Her deney, üç paralel plak olarak test edilmiş ve sonuçların ortalamaları alınarak (ort±st.h) çizelgeye kaydedilmiştir (\* P<0,05)

**Çizelge 7.15.b.** Külde spor canlılığı analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi

	Otoklavlanmış Kül + 0,5 M fosfat tampon (1/100)	Otoklavlanmış Kül +saf su (1/100)	Otoklavlanmamış Kül + 0,5 M fosfat tampon (1/100)	Otoklavlanmamış Kül +saf su (1/100)
0. gün	1040,00±75,16*	480,00±67,26*	980,00±24,66*	530,00±67,72*
1. gün	110,00±10,69*	40,00±6,24*	90,00±6,80*	50,00±6,24*
8. gün	0	0	0	0
22. gün	0	0	0	0
42.gün	0	0	0	0

Her deney, üç paralel plak olarak test edilmiş ve sonuçların ortalamaları alınarak (ort±st.h) çizelgeye kaydedilmiştir (\* P<0,05)

**Çizelge 7.16.** Test edilen maddelerin çeşitli dozlarda TA 98 ile verdikleri revertant koloni sayıları

Test bileşikleri	Uygulanan doz (µg/ml)	Revertant Koloni sayısı (TA98)	
		S9(-)	S9 (+)
500 (1)	61000	119,5±3,5**	123,5±10,5*
500 (2)	30500	103,0±7,0**	109,0±3,0
500 (3)	15250	97,5±15,5**	94,5±7,5
600 (1)	41000	94,0±12,0**	66,0±5,0
600 (2)	20500	68,5±9,5	49,5±3,5
600 (3)	10250	52,0±13,0	32,5±5,5
Spontan Kontrolü	-	21,5±1,5	35,0±3,0
DMSO Kontrolü	100 µl/plak	35±4,0	43,5±11,5
NPD	1000 µg/plak	472±8,0	-
2AF		-	516,5±48,5

4-Nitro-*o*-Fenilendiamine (NPD) S9'suz deneyde, 2-Aminofloren (2AF) S9'lu deneylerde TA98 suşu için pozitif kontrol olarak kullanılırken, DMSO çözücü kontrolü olarak kullanılmıştır. Her doz, üç paralel plak olarak test edilmiş ve sonuçların ortalamaları alınarak (ort±st.h) çizelgeye kaydedilmiştir (\*\* P<0,01, \* P<0,05)

**Çizelge 7.17.** Test edilen maddelerin çeşitli dozlarda TA 100 ile verdikleri revertant koloni sayıları

Test bileşikleri	Uygulanan doz (µg/ml)	Revertant Koloni sayısı (TA100)	
		S9(-)	S9 (+)
500 (1)	61000	155,5±4,5	127,5±6,5
500 (2)	30500	143,0±3,0	122,5±5,5
500 (3)	15250	138,5±2,5	116,5±2,5
600 (1)	41000	143,5±0,5	94,5±7,5
600 (2)	20500	134,5±0,5	100,5±0,5
600 (3)	10250	109,5±1,5	80,5±3,5
Spontan Kontrolü	-	86,0±14	96,0±1,0
DMSO Kontrolü	100 µl/plak	100,0±20,0	106,5±1,5
NPD	1000 µg/plak	806,5,5±53,5	-
2AF		-	1033,5±98,5

4-Nitro-*o*-Fenilendiamine (NPD) S9'suz deneyde, 2-Aminofloren (2AF) S9'lu deneylerde TA98 suşu için pozitif kontrol olarak kullanılırken, DMSO çözücü kontrolü olarak kullanılmıştır. Her doz, üç paralel plak olarak test edilmiş ve sonuçların ortalamaları alınarak (ort±st.h) çizelgeye kaydedilmiştir.

## 8. SONUÇ

Bu çalışmada, insan ve çevre sağlığı açısından son derece önemli bir yeri olan tıbbi atıkların bertaraf yöntemlerinden insinerasyon sistemleri incelenmiştir.

Atıkların yakma yoluyla bertarafı, avantajlarına rağmen dezavantajlarının fazlalığı nedeniyle dünyada genellikle eleştirilen bir yöntemdir. Söz konusu tıbbi atıklar olunca konu daha da önem kazanmaktadır. Ülkemizde gelecekte tıbbi atıkların bertarafı ile ilgili bir planlama yapılırken, insinerasyonla bertaraf konusuna önemli açılımlar kazandırdığı düşünülen bu çalışmada, hacimce indirgenmenin yanı sıra, mikrobiyolojik açıdan da gidermenin olup olmadığına dair ciddi bulgular elde edilmiştir.

Tüm dünyada tıbbi atıkların insinerasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle bir disiplin üzerine kurulmuştur. Nitekim bu çalışmayı farklı kılan daha önceki araştırmalarda eşanlı yapılmamış olan fizikokimyasal ve mikrobiyolojik çalışmaların birlikte yürütülmesidir.

Proseste hangi yöntem seçilirse seçilsin, düzenli depolama alanına atığın kabul edilebilmesi için tehlikeli atık olmaması gerekir. Laboratuvar atıkları, özellikle mikrobiyal kültürler, insan dokuları ve kesiciler yanma olmayan prosesler için muhtemelen büyük bir sorun oluşturmaktadır. Yeni teknolojilerin çoğu, büyük metal objelerin prosesi için uygun değildir, çünkü cihazlara zarar verebilir. Bu materyallerin sterilizasyonu ve metallerin geri dönüşümü, bunların temiz bir şekilde tanımlanmasını sağlamak içindir. Kalp pilleri yakılmamalı ya da patlama riskinden dolayı diğer alternatif arıtım yöntemlerine yönelmek gereklidir. Yani genel anlamda tıbbi atık olarak tanımlanan grubun bütünü için tek bir yöntem uygulanmak durumunda değildir. Dolayısıyla sağlık kuruluşlarından çıkan atıkların entegre bir sistemle arıtımları ve bertarafları gerekir. Bu sistemi kurarken de aslolan sağlıklı bir veri tabanına sahip olmak ve optimum sonuca bu şekilde ulaşmaktır.

Dip külü ve uçucu külde ağır metal bulgularına bakıldığında, dip külündeki derişimlerin daha yüksek olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu, insinerasyonun en önemli dezavantajlarından olan baca gazında ağır metal oksitlerinin bulunması durumunun uygun hava kirliliği kontrol donanımıyla kontrol edilebileceği, hatta geri kazanılabileceği anlamına gelmekte, zannedildiği kadar yüksek derişimlerin söz konusu olmadığını göstermektedir. Ancak, dip

külünde yoğun bir metal birikimi olması hala bir sorun oluşturmaktadır. Bu da, genel yönetim biçimi içerisinde enfekte özelliklerini giderici bir proseten geçirildikten sonra metal içeren atıkların geri dönüşümüyle giderilebilecek bir sorundur. Aksi takdirde, birer tehlikeli atık formundaki küller düzenli depolama sahalarında yer işgal edecek ve çevre sağlığı için risk oluşturacaktır.

Çalışmanın çıkış noktasını oluşturan, yakma sonrası bazı bakterilerin giderilememesi sorunu detaylı bir şekilde incelenmiş ve tıbbi atıkların bünyelerinde bulunan bakterilerin yakma sonrasında bulunmadığı tespit edilmiştir. Hatta termofilik bakteri olarak bilinen indikatör mikroorganizma olarak kullanılan *Bacillus stearothermophilus* sporlarının bile kullanılan yakma sıcaklıklarında yaşayamadıkları görülmüştür.

Çalışmada test edilen dip küllerinden 500 °C'de yakılan örneğin, S9 (-) deneyinde, TA98 suşu için her üç doz için yüksek sayıda revertant kolonilere sahip olduğu gözlenirken, S9(+) için ise sadece 61000 µg/ml'lik doz için revertant koloni sayısı olduğu belirlenmiştir. Doza bağlı olarak etkili sonuç alınmıştır. TA98 suşu çerçeve kayması mutasyonlara neden olmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında test edilen külün çerçeve kayması mutasyonlara neden olan mutajen bir madde olabileceğini göstermektedir. Aynı külün TA100 suşuna karşı herhangi bir mutajenik etkisi görülmemiştir. Çalışmada kullanılan diğer numune olan 600 °C'de yakılan örneğin, S9 (-) deneyinde, TA98 suşu için sadece 41000 µg/ml'lik doz için yüksek sayıda revertant kolonilere sahip olduğu gözlenirken, S9(+) için herhangi bir mutajenik etki görülmemiştir. Yine aynı külün TA100 suşu için de herhangi bir mutajenik etki görülmemiştir.

Hücre metabolizmasında, hücrenin yaşam kalitesi hakkında fikir veren MTT ölçümlerinde azalma gözlenirken, lizozomal enzimlerde artış olması apoptotik etki ile ilişkilendirilebilir. Ürünün MTT ve NR ölçüm sonuçlarında elde edilen değerler doğrultusunda ve AMES testi değerleri paralelinde, insan vücudunda %83 oranında en bol olarak bulunan fibroblastlar üzerine genotoksik etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

500 °C'de yanma ile elde edilen ürün fibroblastlar üzerine genotoksik bulunmuş, ancak 600 °C'de yanma ile elde edilen ürün sitotoksik etkisi gözlenmesine rağmen etkinin geçici olması sebebi ile diğer üründen daha az toksik bulunmuştur.

AMES testi ile sitotoksisite sonuçlarında elde edilen değerler karşılaştırıldığında 500 °C'de yanma ile elde edilen ürünün mutajenik bir genotoksik etkide ve tersinmez olduğu görülmektedir.

Akut toksisite deneyleri sonucunda, numunelerin uygulandığı hayvanların hiç birisi 48 saatlik dönem sonunda ölmemiştir. Bu durum numunelerin akut letal toksisitesinin düşük olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak; uygun tasarım yapıldığında, hem kimyasal hem de mikrobiyolojik olarak insinerasyonla tıbbi atıkların bertarafı mümkün olabilir. Ancak, insinerasyon hiçbir zaman ilk çare değildir ve son derece dikkatli yürütülmesi gereken bir mühendislik prosesidir. Tıbbi atık yönetiminde atıklar, diğer atık yönetim sistemlerinde olduğu gibi kaynağından bertarafına kadar titizlikle takip edilmeli ve çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan yapılacak bir fayda-maliyet analizi sonrasında optimum seçenek belirlenmelidir.

## 9. KAYNAKLAR

ALBERTS, B., BRAY, D., LEWIS, J., RAFF, M., ROBERTS, K. ve WATSON, J.D., *Molecular Biology of the Cell*. Garland Publishing Inc., New York (1994).

ALLEN, R.G., BREMIMAN, P., LOGUE, R.R. ve STRAND, V.A., *Emission of airborne bacteria from a hospital incinerator*, Journal of the Air Pollution Control Association , **39**, 164-168 (1989).

ALLEY, M.C., SCUDIERO, D.A., MONKS, A., HURSEY, M.L., CZERWINSKI, M.J., FINE, D.L., ABBOTTU B.J., MAYO, J.G., SHOEMAKER, R.H. ve BOYD, M. R., *Feasibility of drug screening with panels of human tumor cell lines using a microculture tetrazolium assay*, Cancer Research **48**, 589-601 (1988).

ANONİM, DIE enstitüsü Haber Bülteni (1995).

ANONİM, Avrupa birliği'nde ve türkiye'de çevre mevzuatı, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, 316-317, (2001).

ANONYMOUS, Medical waste disposal, medical waste Committee (WT-3) Technical Council Air&Waste Management Association (1994).

ANONYMOUS, *International seminar and workshop on management of wastes from healthcare activities*, Organised by, Turkish National Committee on Solid Wastes, The Ministry of Environment of Turkey, International Solid Waste Association, The Ministry of Health of Turkey, 188 p., İstanbul, September 9 (1999).

ATASOY, E., *Tıbbi atık yönetimi*, Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Katı Atık Yönetimi Ders Proje Raporu, Eskişehir, 69 s. (1997).

BANAR, M. ve KARA, S., *Tehlikeli atık yönetiminde çevre uyumlu insinerasyon teknolojileri*, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü II.Ulusal Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 11-13 Eylül 1995, ODTÜ, Ankara, Türkiye, 108-122 (1995).

BANAR, M., DÖĞEROĞLU, T. ve KARA, S., *İnsineratör sistemleri, art-yakma ve hava kirliliği kontrol donanımları*, Isparta'da Hava Kirliliği ve Doğal Gaz'97 Sempozyumu, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Süleyman Demirel Üniversitesi Oditoryumu, Isparta, 14s. (1997).

BANAR, M., *Atıkların yönetiminde yanma ve art-yakma mühendisliği; avantaj ve sorunlar*, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (1998).

BEİS, R., *Tastromin'in farmakolojik etkileri*, Doktora tezi, Anadolu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, (2000).

BENFENATI, E., MARIANI, G., FANELLI, R. ve FARNETI, A., *Synthesis and destruction of pcdd and pcdf inside a municipal solid-waste incinerator*, Chemosphere, **23**, 715-722 (1991 ).

BLENKHARN, J.I. ve OAKLAND, D., *Emission of viable bacteria in the exhaust flue gases from a hospital incinerator*, Journal of Hospital Infection, **14**, 73-78 (1989).

BORENFREUND, E. Laboratory Animal Research Center, The Rockefeller University 1230 New York Avenue, New York, NY 10021-6399, USA (2000).

BRNA, T.G. ve KILGROE, J.D., *Control of PCDD/PCDF emissions from municipal waste combustion systems*, Chemosphere, Vol.28, No.10-12, 1875-1882 (1990).

BRUNNER, C.R. ve BROWN, C.H., *Hospital waste disposal by incineration*, JAPCA, Vol.38, **10**, 1297-1305 (1988).

BRZUZY, L.P. ve HITES, R.A., *Global mass balance for polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans*, Environmental Science and Technology, Vol.30, No.6, 1797-1804 (1996).

CARMICHAEL, J., DEGRAFF, W., GAZDAR., MINNA, J.D. ve MITCHELL, J.B.: Evaluation of a tetrazolium-based semiautomated colorimetric assay: assessment of chemosensitivity testing. *Cancer Research* **47**: 936-942 (1987).

CHANDLER, J.A., EIGHMY, T.T., HARTLEN, J., HJELMAR, O., KOSSON, D.S., SAWELL, S.E., VAN DER SLOOT, H.A. ve VEHLLOW, J., *Municipal solid waste incinerator residues*, p.974, (1997).

CHIANG, K.Y., WANG, K.S. ve LIN, F.L., *The effects of inorganic chloride on the partitioning and speciation of heavy metals in a laboratory incinerator*, For Presentation at the Air & Waste Management Association's 90<sup>th</sup> Annual Meeting & Exhibition, Toronto, Ontario, Canada, June 8-13 (1997).

COLLINS, C.H. ve KENNEDY, D.A., *The microbiological hazards of municipal and clinical wastes*, Journal of Applied Bacteriology, **73**, 1-6 (1992).

DEMARINI, D.M., WILLIAMS, R.W., PERRY, E., LEMIEUX, P.M. ve LINAK, W.P., *Bioassay-directed chemical analysis of organic extracts of emissions from a laboratory-scale incinerator: combustion of surrogate compounds*, Combust. Sci. and Tech., **85**, 437-453 (1992).

DENIZOT, F. ve LANG, R., *Rapid colorimetric assay for cell growth and survival modifications to the tetrazolium dye procedure giving improved sensitivity and reliability*, Journal of Immunological Methods, **89**, 271-77 (1986).

DOMINDO, J.L., SCHUHMACHER, M., MULLER, L., RIVERA, J., GRANERO, S. ve LLOBET, J.M., *Evaluating the environmental impact of an old municipal waste incinerator: pcdd/f levels in soil and vegetation samples*, Journal of Hazardous Materials, **A76**, 1-12 (2000).

FARBER, B.F., *Disposal of medical waste: the new york experience under the medical tracking act*, Infection Control and Hospital Epidemiology, Vol. 12, No.4, 251-257 (1991).

FERRAZ, M.C.M.A., CARDOSO, J.I.B. ve PONTES, S.L.R., *Concentration of atmospheric pollutants in the gaseous emissions of medical waste incinerators*, Journal of Air & Waste Management Association, **50**, 131-136 (2000).

GÖNÜLLÜ, M.T. ve GONCALOĞLU, B., *Hastane atıklarının bertarafı*, İTÜ 3. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu'92, 325-336 (1992).

GULLETT, B.K., DUNN, J.E. ve RAGHUNATHAN, K., *Effect of cofiring coal on formation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans during waste combustion*, Environmental Science and Technology, Vol.34, No.2, 282-290 (2000).

GÜLER, Ç., *Tıbbi atık yönetimi*, TMMOB Çevre Mühendisliği Odası, Katı Atık Yönetimi Semineri, 114-144, Ankara (1998).

GÜRGÜN, V. ve HALKMAN, A.K., *Mikrobiyolojide sayım yöntemleri*, Gıda Teknolojisi Derneği yayın no:7, Ankara (1990).

HERSHKOWITZ, A., *Without a trace handling medical waste safely*, Technology Review, Vol.93, No:6 (1990).

HOLST-HANSEN, C. ve BRÜNNER, N., *MTT cell proliferation assay*, Cell Biology. A Laboratory Handbook. Edt: Celis, J.E., pp: 16-18, Academic press, San Diego, (1998).

HORAKOVA, K., SOVCIKOVA, A., SEEMANNOVA, Z., SYROVA, D., BUSANYOVA, K., DROBNA, Z. ve FERENCIK, M., *Detection of drug-induced, superoxide-mediated cell damage and its prevention by antioxidants*, Free Radical Biology & Medicine, **30**, 650-64, (2001).

http-1: <http://www.saglik.gov.tr/extras/istatistikler/ytkiy2001/g1-2.pdf>

http-2: [http://www.co.el-dorado.ca.us/emd/solidwaste/med\\_waste\\_mgmt\\_act.html](http://www.co.el-dorado.ca.us/emd/solidwaste/med_waste_mgmt_act.html)

http-3: Integrated Healthcare Waste Management in Istanbul LIFE 00 / TCY / TR / 000054

http-4: <http://www.temizuretim.org/dokuman.html>

http-5: <http://www.die.gov.tr/TURKISH/SONIST/CEVRE/14052003t4.htm>

http-6: <http://www.petrolunsonu.org/toksik/news/izaydas/At%FDkYakmaNeden.doc>

http-7: <http://greenpeace.org>

http-8: <http://www.petrolunsonu.org/toksik/alternatifyakma.htm>

İŞCAN, G., Umbelliferae familyasına ait bazı bitki türlerinin uçucu yağlarının antimikrobiyal aktivitelerinin araştırılması, Yüksek Lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2002).

JOHNSON, H.B. ve BURNETT, J.M., *Incineration of refuse*, Industrial Air Pollution Handbook, McGraw-Hill, 578-597 (1978).

KERDSUWAN, S., *Design of 50 kg/hr controlled-air hospital waste incinerator*, A&WMA's 93<sup>rd</sup> Annual Conference & Exhibition, Salt Lake City, UTAH, p.13 (18-22 June 2000).

KLEE, A.J., *New approaches to estimation of solid-waste quantity and composition*, J. of Environmental Engineering, Vol.119, No.2, March-April, 248-261 (1993).

KOKULU, E.D., *Tibbi atık yönetimi ve mevzuattaki yeri*, 1. Ulusal Katı Atık Kongresi, Bildiriler Kitabı, 18-21 Nisan, İzmir, Türkiye, 4. Oturum, 1-7 (2001).

KORKMAZ, S., ÖZTÜRK, Y. ve BAŞER, K.H.C.: *Antioxidant and proliferative effects of carvacrol on NIH3T3 fibroblast cell lines*, 4<sup>th</sup> International

Symposium on the Chemistry of Natural Compounds. (SCNC-2001 - P3), Eğirdir-Isparta-Turkey, 6-8 June (2001).

KUENG, W., SILBER, E. ve EPPENBERGER, U., *Quantification of cells cultured on 96-well plates*, *Analytical Biochemistry* **182**, 16-19 (1989).

LEE, C.C. ve HUFFMAN, G.L., *Incineration of solid waste*, *Environmental Progress*, Vol.8, No.3, 143-151 (1989).

LEE, C.C., HUFFMAN, G.L. ve NALESNIK, R.P., *Medical waste management-the state-of-art*, *Environmental Science and Technology*, **25**, 360-363 (1991).

LEE, C.C. ve HUFFMAN, G.L., *Medical waste management/incineration*, *Journal of Hazardous Materials*, 48, No.1-3, 1-30 (1996).

LEGIEC, I.A., HAYES, C.A. ve KOSSON, D.S., *Continuous recovery of heavy metals from msw incinerator ashes*, *Environmental Progress*, Vol.8, No.3, 212-216 (1989).

LI, C.S. ve JENQ, F.T., *Physical and chemical composition of hospital waste*, *Infection Control and Hospital Epidemiology*, **3**, 145-150 (1993).

LIANG, X., WANG, W., SCHRAMM, K.W., ZHANG, Q., OXYNOS, K., LINDNER, G., JENKINS, A.C., McCORMACK, J. ve ADRIAN, R.C., *Dioxins and furans in emissions from medical waste incinerators*, *Chemosphere*, Vol.20, No.10-12, 1793-1800 (1990).

LIANG, X., WANG, W., SCHRAMM, K.W., ZHANG, Q., OXYNOS, K., HENKELMANN, B. ve KETTRUP, A., *A new method of predicting of gas chromatographic retention indices for polychlorinated dibenzofurans (PCDFs)*, *Chemosphere*, **41**, 1889-1895 (2000).

LORKE, D., *A new approach to practical acute toxicity testing*, *Arch. Toxicol.*, **54**, 275-287 (1983).

MALKOÇ, S., BANAR ,M. ve KARA, S., *Tıbbi Atık İnsineratör Atıklarının Mutajenik Ve Mikrobiyolojik Açıdan Değerlendirilmesi*, *Türkiye’de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III Bildiriler kitabı*, , 906-916, Gebze-Kocaeli, 18-19 Kasım (1999).

MARON, D.M. ve AMES, B.N., *Revised methods for the Salmonella mutagenicity test*, *Mut. Rs.*, **113**, 173-215 (1983).

MOSMANN, T., *Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: Application to proliferation and cytotoxicity assays*, *Journal of Immunological Methods*, **65**, 55-63 (1983).

NASSERZADEH, V., SWITHENBANK, J., SCOTT, D. ve JONES, B., *Design optimization of a large municipal solid waste incinerator*, *Waste Management*, **11**, 249-261 (1991).

PHILIPPS, G., *Microbiological aspects of clinical waste*, *Journal of Hospital Infection*, **41**, 1-6 (1999).

REILE, H., BIRNBOCK H., BERNHARDT, G., SPRUSS, T. Ve SCHONENBERGER, H., *Computerized determination of growth kinetic curves and doubling times from cells in microculture*, *Analytical Biochemistry*, **187**, 262-267 (1990).

RICHMAN, W.S., *Handbook of incineration of hazardous wastes*, CRC Press, USA, 592p. (1991).

ROSSI, C., POLI, P., BUSCHINI, A., CASSONI, F., GALLI, A., VELLOSI, R. ve DEL CARRATORE, R., *Genetic activity of samples collected from a waste incinerator and its neighboring areas*, *Toxicological and Environmental Chemistry*, **30**, 51-61 (1991).

ROSSI, C., POLI, P., BUSCHINI, A., CAMPANINI, N., VETTORI, M.V. ve CASSONI, F., *Persistence of genotoxicity in the area surrounding an incineration plant*, *Toxicological and Environmental Chemistry*, **36**, 75-87 (1992).

RUTALA, W.A. ve WEBER, D.J., *Sounding board, infectious waste*, *The New England Journal of Medicine*, Vol.325, No. 8, 578-582 (1991).

RUTALA, W.A. ve MAYHALL, C.G., *Medical waste*, *Infection Control and Hospital Epidemiology*, **13**, 38-48 (1992).

SALKIN, I.R. ve KENNEDY, M.E., *Review of health impacts from microbiological hazards in health-care wastes*, *Department of Blood Safety and Clinical Technology and Department of Protection of the Human Environment*, World Health Organization, Geneva (2001).

SAN, F. ve İNCİ, Ö. *Hastane atıklarının eğitim el kitabı*, T.C. Çevre Bakanlığı İzmir İli Çevre Koruma Vakfı Müdürlüğü, İzmir, 4-37 (1991).

SANTOLERI, J.J., *Incineration technology overview*, (Ders notları), USA (1994).

SCALES, M.D.C., *Implications of recommendations from the International Conference on Harmonization (ICH) for the safety evaluation of new medicines involving animal studies for the industry*, *Adverse Drug React.Toxicol.Rev.*, **11**, 5-12 (1992).

SENARATNE, S.G., PIRIANOV, G., MANSI, J.L., ARNETT, T.R. ve COLSTON, K.W., *Bisphosphonates induce apoptosis in human breast cancer cell lines*, *British Journal of Cancer*, **82**, 1459-1468 (2000).

SEGALL, R.R., BLANSCHAN, G.C., DEWESS, W.G., HENDRY, K.M., LEESE, K.E., WILLIAMS, L.G., CURTIS, F., SHIGARA, R.T. ve ROMESBERG, L.J., *Development and evaluation of a method to determine indicator microorganisms in air emissions and residue from medical waste incinerators*, *Journal of Air & Waste Management Association*, **41**, 1454-1460 (1991).

SHANE, B.S., HENRY, C.B., HOTCHKISS, J.H., KLAUSNER, K.A., GUTENMANN, W.H. ve LISK, D.J., *Organic toxicants and mutagens in ashes from eighteen municipal refuse incinerators*, *Arch. Environ. Contam.*, **19**, 665-673 (1990).

SHANE, B.S., GUTENMANN, W.H. ve LISK, D.J., *Variability over time in the mutagenicity of ashes from municipal solid-waste incinerators*, *Mutation Research*, **301**, 39-43 (1993).

SHEN, Y., *In vitro cytotoxicity of BTEX Metabolites in HeLa cells*, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **34**, 229-234 (1998).

SHIN, D., CHOI, S., OH, J.E. ve CHANG, Y.S., *Evaluation of polychlorinated dibenzo-p-dioxin/dibenzofuran (PCDD/F) emission in municipal solid waste incinerators*, *Environmental Science and Technology*, **33**, No.15, 2657-2666 (1999).

SILKOWSKI, M.A., SMITH, S.R. ve PLEWA, M.J., *Analysis of the genotoxicity of municipal solid waste incinerator ash*, *The Science of the Total Environment*, **111**, 109-124 (1992).

STREED, S.A., *The medical waste conundrum revisited*, *Infection Control and Hospital Epidemiology*, Vol.13, No.7, 385-386 (1992).

TEDONE, T., CORREALE, M., PARADISO, A. ve RESHKIN, S. J., *Differential responsiveness of proliferation and cytokeratin release to stripped*

*serum and oestrogen in the human breast cancer cell line, MCF-7*, European Journal of Cancer, **32A**, 849-856 (1996).

TERMAN, A., NEUZIL, J., KAGEDAL, K., ÖLLINGER, K. ve BRUNK, U.T., *Decreased apoptotic response of inclusion-cell diseases fibroblasts: a consequence of lysosomal enzymes missorting?*, Experimental Cell Research **274**, 9-15 ,(2002).

THEELEN, R.M.C., *Toxicity of flue ash emissions from waste incinerators*, Chemosphere, Num. 6, **24**, 753-761 (1992).

ULRICH, G.D., *A guide to chemical engineering process design and economics*, John Wiley & Sons, USA, 472 p. (1984).

ÜÇÜNCÜ, O. ve BERKUN, M., *Hastahane atıklarının giderilmesinin optimizasyonu için yeni bir işletme yöntemi tasarımı*, Çevre Sempozyumu, 18-20 Eylül, Erzurum, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 306-310 (1995).

VOET, D.ve VOET, J.G., Biochemistry. S: 553-554, John Wiley & Sons, Inc., New York (1995).

WATTS, R.R., LEMIEUX, P.M., GROTE, R.A., LOWANS, W., WILLIAMS, R.W., BROOKS, L.R., WARREN, S.H., DEMARINI, D.M., BELL, D.A. ve LEWTAS, J., *Development of source testing, analytical, and mutagenicity, bioassay procedures for evaluating emissions from municipal and hospital waste combustors*, Environmental Health Perspectives, **98**, 227-234 (1992).

XIE, S. P., PIRIANOVI G.ve COLSTON, K. W., *Vitamin D analogues suppress IGF-1 signalling and promote apoptosis in breast cancer cells*, European Journal of Cancer, **35**, 1717-1723 (1999).

## EKA

### TERİMLER SÖZLÜĞÜ

**Enfekte atıklar:** Enfeksiyon ile sonuçlanan bir hastalığa neden olabilen atıklardır. EPA'ya göre, minimum olası patojen ajanları içeren, derişimi ve miktarı atığa maruz kalan kişilerde hastalığa sebep olabilecek bütün atıklardır. İnsan doku ve organları, idrar kapları, kan ve plesanta bulaşmış atıklar, hastalarla temas etmiş eşya ve yemek atıkları, bakteri kültürleri, intaniye atıkları ve acil servis atıkları, yemek atıkları, bakteri ve virüs tutucu hava filtreleri, dışkı ve bunlara bulaşmış eşyalar, kullanılmış ya da tarihi geçmiş ilaçlar, araştırma amacıyla kullanılan deney hayvanlarının leşleri, karantinadaki hastaların atıkları enfekte atık kapsamına girer. Genel olarak tıbbi atıkların %10-25'ini bu tür atıklar oluşturur. Enfekte atıklarda bulunan en yaygın ve tehlikeli hastalıklar H.B.V. (Hepatit B virüsü) ve H.İ.V. (İnsanın bağışıklık sistemini yok eden virüs) dir.

**Evsel nitelikli tıbbi atıklar:** ambalaj malzemeleri, enfekte olmamış mutfak atığı, bahçe atığı, büro atığı, şişe ve benzeri maddelerden oluşan atıklar. Bu tür atıklar idari binalar veya kurumlar, hasta, doktor ve hemşire odaları, yemekhane ve kafeterya ve hasta bakım ünitelerinden kaynaklanır.

**Kimyasal nitelikli tıbbi atıklar:** Katı, sıvı ve gaz halindeki atıklardır. Bu atıklar genel olarak; laboratuvar atıkları ve burada kullanılan kimyasal madde atıkları, farmasötik atıklar, eski ilaçlar, eritici ve mikrop öldürücü, temizlikte kullanılan maddeler, anesteziye kullanılan gazın kalıntıları, sterilizasyon için kullanılan gazların kalıntıları, mineral ve sentetik yağlar ve pillerdir. Kimyasal nitelikli tıbbi atıkların toplanması, taşınması ve depolanması yalnızca olduğu kuruluşlar içerisindeki muhtemel sağlık risklerinden dolayı değil, aynı zamanda dışarıda taşınma ve bertaraf aşamasında olabilecek çevresel tehlikelerden dolayı da özel önlemler almayı gerektirir. Sağlık kuruluşlarından oluşan kimyasal atıklardan şeker, aminoasit, organik ve inorganik tuzların atıkları tehlikeli olmayan kimyasallardır. Ancak bunun yanında toksik, korozif, yanıcı-parlayıcı, reaktif, ekstraksiyon ürünü toksik olanlar, geri kazanılabilecek tehlikeli kimyasallar ve kolaylıkla tehlikeli reaksiyon verebilen kimyasal maddeler TbAKY'ne göre tehlikeli kimyasal atıklar sınıfındadır.

**Normal katı atıklar:** Evsel katı atık özelliğine sahip mutfak atığı, bahçe atığı, ambalaj malzemeleri, enfekte olmamış şişe ve benzeri maddelerden oluşan atıklar.

**Radyoaktif nitelikli tıbbi atıklar:** Tipine ve aktivitesine göre yüksek düzeyli, düşük düzeyli olmak üzere ikiye ayrılan radyoaktif atıklar özellikle nükleer tıp ünitesi olan sağlık kurumlarında sıkça ortaya çıkan atıklardır. Yüksek düzeyli radyoaktif atıkta milyarbecerel (**GBq**) ve yukarısı etki alanı iken düşük düzeyli radyoaktif atıkta etki **1 MBq**'in altındadır. Sağlık kuruluşlarından çıkan radyoaktif atıkların çoğu ışın tedavisi sırasında, daha az etkili olanları ise tanı çalışmaları süresince üretilir. İyodun radyoaktif izotopunun (iyot 123, iyot 131, talium 201) terapötik uygulaması sık olmamakla birlikte, etki alanı geniştir (yaklaşık 1 MBq). Bu nedenle atık yüksek radyoaktiviteli olabilir. Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan radyoaktif atık kaynakları;

- önemli oranda  $^{14}\text{C}$  ve  $^3\text{H}$  kullanan ve geniş miktarlarda düşük aktiviteli radyoaktif madde kullanan doğrudan araştırma üniteleri,
- düşük aktiviteli radyoaktif madde kullanan röntgen üniteleri içeren tıbbiler,
- düşük oranlarda olmakla birlikte yukarıdaki iki kaynaktan daha yüksek radyoaktiviteli atık ortaya çıkaran nükleer tıp merkezleridir.

**Tehlikeli katı atıklar:** Patolojik, toksik, genotoksik, enfekte, korozif, yanıcı, kesici, delici ve benzeri özelliklere sahip her türlü atık veya hasta ile temas etmiş olan enjektör, pansuman malzemesi vb. maddelerden oluşan atıklardır. Tehlikeli atıklar, teknolojik gelişmenin en önemli sonuçlarından biri olup, zehirli ve çevreye diğer önemli zararlı etkileri olan atıkların, kaynak, miktar ve miktarlarının hızla artışı ve bu özellikteki atıkların ayrıca ele alınıp değerlendirilmesi zorunluluğu karşısında geliştirilen bir kavramdır. En genel anlamda, tehlikeli atıklar, insan sağlığına ve çevreye zararlı etkisi veya tehlike potansiyeli olan atıklardır.

## EK B

### CIVA NİTRAT METODUYLA KLOR (Cl) ANALİZİ

- a) Metodun temeli: çözülmüş haldeki Cl<sup>-</sup>ler difenil karbozonbromfenol mavisi karışık indikatörü kullanarak seyreltik Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ile titre edilmektedir. Cl<sup>-</sup> iyonları, Hg<sup>++</sup> iyonlarıyla genellikle iyonlaşmayan HgCl<sub>2</sub> bileşimini oluşturmaktadır. Cl<sup>-</sup>'ün tümü titre edildikten sonra da Hg<sup>++</sup> aşırısı difenilkarbazon ile mavimsi mor renkli (blue-violet) bir kompleks oluşturmaktadır. Ayrıca bu yöntem 2 ppm den daha az Cl<sup>-</sup> içeren sulu çözeltilere uygulanabilmektedir. Gaz şeklindeki klor iyonları, gaz yıkama şişelerinde (impinger), partikül halindeki klor iyonları ise filtrasyonla elektrostatik filtre de tutulabilir.
- b) Hassasiyeti ve ölçüm aralığı: 2 ppm Cl<sup>-</sup> (0,1 mg Cl<sup>-</sup>%50 ml) tayin etmek üzere kullanılmaktadır. 0,001 mg-12 mg Cl<sup>-</sup> içeren yaklaşık aynı hacimdeki çözeltiler alınarak Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> çözeltisi ile titre edilir (25 ml'lik büret kullanılması uygundur).
- Çok düşük değerlerin tesbiti için mikrobüret kullanılması uygundur. Ayrıca dönüm noktasının 525 nm'de fotometrik yöntemle kesin tesbiti de yapılabilmektedir. Ayrıca seyreltik örnekleri deriştirmek amacıyla buharlaştırma veya iyon değiştirme işlemleri de uygulamaktadır.
- c) Girişimler: ağır metal iyonları dönüm noktasındaki çözeltinin rengini değiştirebilirler. Girişimleri önlemek üzere hidrojen veya sodyum çevriminde kation değiştirme işlemi kullanılmaktadır.
- Kromatın ve demir iyonlarının bulunduğu (2,5 mg'dan daha fazla miktarda) durumda 2 ml taze hazırlanmış hidrokinon (hydroquinone) çözeltisi ilave edilerek işleme devam edilmektedir.
- Sülfid ve sülfidlerin bulunduğu durumda örnek 50 ml'ye seyreltilerek 0,5 ml %30'luk H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çözeltisi ilave edilerek 1 dakika beklendikten sonra işleme devam edilmektedir.
- İyot, brom, siyanür, tiyosiyana varsa bunlar da titre edilerek klor varmış gibi işlem görmektedir.
- d) Doğruluk derecesi ve sonuçların kesinliği: 0,1 ppm hatayla işlem yapılmaktadır (yaklaşık bağıl hata %2'dir).

e) Kullanılan araç ve gereçler: yaygın olarak kullanılan cam laboratuvar malzemeleri.

f) Çözelti ve ayıraçlar:

**Cıva nitrat çözeltisi (0,014 N)** 2,42 gr  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 25 ml su, 0,25 ml derişik  $\text{HNO}_3$  içinde çözümlenerek saf su ile 1 lt'ye tamamlanacak ve iyice karıştırılacaktır. Bu çözeltinin 1 ml'si 0,5 mg Cl'la eşdeğerdir. Çözeltinin standardizasyonu için 10 ml 0,025 N'lik NaCl çözeltisi ile titrasyon yapılarak,  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  çözeltisinin derişimi kesin olarak belirlenmelidir.

$$N = \text{ml. NaCl} * \text{NaCl normalitesi} / \text{ml. Hg}(\text{NO}_3)_2$$

**Standart NaCl çözeltisi (0,025 N)** 110 °C'da 2 saat etüvde tutularak kurutulmuş NaCl'ün 1,4613 gramı su içinde çözümlenerek, 1lt'ye saf su ile tamamlanır.

**Karışık indikatörler:** 0,50 gr difenil karbozon, 0,5 gr bromfenolmavisi, 100 ml metanol içinde çözümlenerek hazırlanmaktadır. Çözelti, koyu renkli şişe içinde ve buzdolabında saklanmalı ve en az 6 ay kararlı olarak kalabilmektedir.

**Nitrik asit, seyreltik çözeltisi** 3 ml  $\text{HNO}_3$  alınarak, saf su ile 1 lt'ye tamamlanarak hazırlanır.

**Sodyum hidroksit seyreltik çözeltisi:** 10 gr NaOH alınarak saf su ile 1 lt'ye tamamlanır.

**Hidrokinon çözeltisi:** 1 gr hidrokinon alınarak 100 ml saf su içinde çözümlenir.

**Hidrojen peroksit çözeltisi:** %30'luk  $\text{H}_2\text{O}_2$  çözeltisi

g) İşlem:

1. Örnek veya analiz edilecek çözelti, 250 ml'lik erlene alınarak gerekirse 50 ml'ye seyreltilir (örnek hacmi 50 ml'den fazla olmamalı veya 12 mg'dan fazla Cl içermemelidir).
2. Beş damla karışık indikatör damlatılarak karıştırılır.
3. Çözelti kırmızı veya mor (blue-violet) ise seyreltik  $\text{HNO}_3$  çözeltisi renk sarı oluncaya kadar ilave edilmeli, 1ml'den aşırı konmalıdır (bu durumda pH 3-3,5 olmalıdır)
4. Çözelti sarı veya turuncu ise seyreltik NaOH çözeltisinden renk mor oluncaya kadar damla damla ilave edilmeli, ardından seyreltik asit

çözeltisinde, renk sarı oluncaya kadar ilave edilmeli ve 1 ml'den fazlası konulmalıdır.

5. Standart Hg (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> çözeltisiyle mor renk ( blue-violet) dönüşüne kadar titre edilmelidir (A: örnek için yapılan Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sarfiyatı)
6. Aynı titrasyon çözeltilerinin hazırlanmasında kullanılan saf su içinde yapılır (B: saf su için yapılan Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sarfiyatı)

h) Hesaplama:

$$ppm \text{ HCl}(\text{hacimce}) = \frac{62400 * (A - B) * N * M * (273 + t)}{v * p * m}$$

$$mg \text{ HCl} / m3(25 \text{ oC}'da) = \frac{90500 * (A - B) * N * M * (273 + t)}{v * p * m}$$

(A-B) :örnek veya çözelti için net titrasyon hacmi

N : Hg (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>'in normalitesi

M : Toplam örnek hacmi

m : Çözelti hacmi

M/m : Çözelti faktörü

t : Örnekleme sıcaklığı (°C)

v : Örneklenen hava hacmi (lt)

p : Örnekleme basıncı (torr)

## EK C

### AMES TESTİ İÇİN KULLANILAN BESİYERLERİ VE KİMYASALLAR

#### (50X) Vogel Bonner Medium

MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O.....	10 gr
Sitrikasit monohidrat.....	100 gr
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .....	500 gr
NaH <sub>2</sub> NH <sub>4</sub> (PO <sub>4</sub> .4H <sub>2</sub> O).....	175 gr
Distile su (45 °C).....	670 ml

Maddeler sırasıyla, manyetik karıştırıcı üzerinde, suya ilave edilerek çözümlenir ve hacim 1 litreye tamamlanır. 121 C de 15 dakika süreyle otoklavlanarak steril edilir. Oda sıcaklığında muhafaza edilir.

#### Histidin/Biyotin çözeltisi (0,5 mM)

D-Biyotin (Merck).....	30,9 mg
L-Histidin. HCl (Fluka).....	24,0 mg
Distile su.....	250 ml

D-Biyotin suyun kaynama noktasına kadar ısıtılarak çözülür, daha sonra L-Histidin ilave edilip otoklavlanır. +4 °C'de saklanır.

#### Ampisilin çözeltisi

Ampisilin trihidrat.....	0,8 g
0,02 M NaOH.....	100 ml

Ampisilin trihidrat, 0,02 M NaOH içinde çözülür ve sterilizasyon için 0,22 µm çaplı filtreden geçirilir ve +4 °C'de saklanır.

#### Kristal viyole çözeltisi (%0,1)

Kristal viyole.....	0,1 g
Distile su.....	100 ml

Kristal viyole ve su karıştırılır ve çözelti ışık geçirmeyen bir kaba konup +4 °C'de saklanır.

**Biyotin çözeltisi (%0,13)**

D-Biyotin.....0,65 mg

Distile su.....50 ml

D-Biyotin suyun kaynama noktasına kadar ısıtılarak çözülür ve otoklavda steril edilir. +4 °C’de saklanır.

**Histidin çözeltisi (%0,5)**

L-Histidin .....2 gr

Distile su.....400 ml

L-Histidin suyun kaynama noktasına kadar ısıtılarak çözülür ve otoklavda steril edilir. +4 °C’de saklanır.

**Glikoz çözeltisi (%40)**

Glikoz .....40 gr

Distile su.....100 ml

Glikoz distile su içinde otoklav edilir ve +4 °C’de saklanır.

**3-Metilkolantren**

3-Metilkolantren.....64 mg

Mısır yağı .....1 ml

Mısır yağında çözülerek 0,5 ml intraperitoneal olarak enjekte edilir.

**KCl çözeltisi**

KCl .....11,275 gr

Distile su.....1000 ml

KCl, bir miktar distile suda çözülür ve toplam hacim 1000 ml’ye tamamlanarak otoklav edilir ve +4 °C’de saklanır.

**Top agar**

Agar .....6 gr

NaCl .....5 gr

Distile su.....1000 ml

Maddeler su içinde çözülerek, 121 °C’de 20 dk otoklavlanarak steril edilir.

**Histidin/Biyotin Agar (HB Agar)**

Agar.....	15 gr
%40 glikoz.....	50 ml
Histidin çözeltisi.....	10 ml
Biyotin çözeltisi.....	6 ml
Distile su.....	914 ml

Agar ve su karıştırıldıktan sonra otoklav edilir. 45 °C'ye soğutulup % 40 glikoz, 50xVB tuzları ve histidin çözeltisi eklenir. Son olarak biyotin çözeltisi eklenir, karışım steril petri kutularına dökülür.

**Histidin/Biyotin/Ampisilin Agar (HBA Agar)**

Agar.....	15 gr
Distile su.....	910 ml
50xVB tuzları.....	20 ml
%40 glikoz.....	50 ml
Histidin çözeltisi.....	10 ml
Biyotin çözeltisi.....	6 ml
Ampisilin çözeltisi.....	3,15 ml

Agar ve su otoklavlanır, 45 °C'ye soğutulup % 40 glikoz, 50xVB tuzları ve histidin çözeltisi eklenerek karıştırılır. Son olarak biyotin ve ampisilin çözeltileri eklenerek, karışım steril petrilere dökülür. Bu plaklar +4 °C'de 2 ay süreyle saklanabilir.

**Minimal Glikoz Agar (MGA)**

Agar.....	15 gr
Distile su.....	930 ml
50xVB tuzu.....	20 ml
%40 glikoz.....	50 ml

Agar ve distile su otoklavlandıktan sonra 45 °C'ye soğutulur. % 40 glikoz ve 50xVB tuzları eklendikten sonra iyice karıştırılarak steril petri kaplarına dökülür.

**Nutrient Agar**

Oxoid Broth No:2.....25 gr

Agar.....15 gr

Distile su.....930 ml

Agar, broth ve distile su karıştırılarak otoklavlanır ve petri kutularına dökülür.

**Nutrient Broth**

Oxoid Broth No:2.....5 gr

Distile su.....200 ml

Broth ve distile su karıştırılarak otoklavlanır ve +4 °C'de saklanır.

**4-Nitro-*o*-Fenilendiamin (NPD)**

200 µg/petri olmak üzere DMSO'da çözülerek kullanılır. Oda ısısında saklanır.

**2-Aminofluoren (2AF)**

1,0 mg/petri başına olmak üzere DMSO'da çözülerek kullanılır. 0-4 °C'de saklanır.

**S9 karışımı**

Ticari olarak alınan S9 mutajenite tabletleri (Boehringer Mannheim) 14 ml distile su içinde (1 tablet için) çözülür ve 3 ml rat mikrozomu ilave edilerek toplam hacim 20 ml'ye tamamlanır. Buz içinde (0-2 °C) kullanıma kadar muhafaza edilir (kullanılacağı zaman hazırlanıp hemen tüketilir).