

166646

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZARARLI ATIKLARIN  
SOLİDİFİKASYON/STABİLİZASYON  
TEKNOLOJİSİ İLE YÖNETİMİ**

**DOKTORA TEZİ  
Y. Müh. Senem BAYAR  
(501972313)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Eylül 2004  
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Şubat 2005**

**Tez Danışmanı :**

**Prof. Dr. İlhan TALINLI**

**Diğer Jüri Üyeleri**

**Prof.Dr. M.Ali TAŞDEMİR (İ.T.Ü.)**

**Prof.Dr. Orhan YENİGÜN (B.Ü.)**

**Doç.Dr. Turgut T. ONAY (B.Ü.)**

**Doç.Dr. Kadir ALP (İ.T.Ü.)**

**ŞUBAT 2005**



Bizi hayata bağlayan en güzel duygular için...

## ÖNSÖZ

Doktora çalışmama değerli katkılarda bulunan, daha iyisini yapmam için beni teşvik eden Değerli Danışmanım Prof. Dr. İlhan Talınlı'ya destek ve yardımları için şükranlarımı sunarım.

Doktora ders aşamasında danışmanım olan, olumlu yaklaşımlarıyla her zaman beni teşvik eden Değerli Hocam Prof. Dr. Bilsen Beler Baykal'a, literatür araştırması için İngiltere'ye gitmeme destek olan İTÜ Vakfı'na, Newcastle Üniversitesi'ne beni davet eden Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. G. Ken Anderson'a ve araştırmalarımla ilgilenen Dr. Stephanie Glendinning'e, beni inşaat mühendisliği konularında yönlendiren emekli öğretim üyesi Sayın Hocam Prof. Dr. Erbil Öztekin'e, deneylerimi yürüttüğüm Yapkim Yapı Kimya Sanayi A.Ş. Beton Laboratuvarı'nda çalışmalarına yardımcı olan Ar-Ge ve Kalite Kontrol Müdürü Gülnihal Aykan'a ve Laboratuvar çalışanlarına, tez çalışmamda kullandığım numuneleri temin eden Chemetal A.Ş.'ye, tez çalışmamı yakından izleyen ve değerli önerileriyle katkıda bulunan Tez İzleme Komitesi Üyeleri Prof. Dr. Hasan Zuhuri Sarıkaya'ya ve Prof. Dr. Orhan Yenigün'e, deney çalışmalarım sırasında bana her istediğim zaman yardımcı olan kayınbiraderim K. Can Bayar'a şükranlarımı sunarım.

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü'nde çalışmam boyunca beni cesaretlendiren, yardımlarını esirgemeyen ve olanak sağlayan Sayın Hocalarım Bölüm Başkanı Prof. Dr. Mehmet Karpuzcu'ya ve Prof. Dr. Bülent Keskinler'e; sabırla tüm sorularıma yanıt veren Yrd. Doç. Dr. H. Cengiz Yatmaz'a, metal ölçümlerimi büyük bir titizlikle yapan Yrd. Doç. Dr. M. Salim Öncel'e, beni sürekli teşvik eden, destekleyen Yrd. Doç. Dr. Ahmet Karagündüz'e çalışmam sırasındaki değerli katkılarından dolayı şükranlarımı sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım ve tezin yazımı sırasında yardıma koşan değerli arkadaşlarım Tekniker İpek Akın'a, Araştırma Görevlisi Ayşe Pelin Yatmaz'a, Uzman Beyza Samuk'a şükranlarımı sunarım.

Manevi destekleriyle bana her zaman güç veren sevgili annem Müşerref Bulut'a ve sevgili halam Resmiye Bulut'a minnettarım.

Çalışmamı bitirme nedenim olan, hayatı paylaştığım sevgili eşim Emre Bayar'a ve biricik kızım Deniz Bayar'a teşekkür ederim.

Bana hiçbirşeyin tek başına başılamayacağını ve ancak böyle anlamlı olacağını öğreten doktora eğitimim sırasında yardımcı dokunan ve burada adını yazamadığım herkese teşekkür ederim.

Şubat 2005

Senem Bayar

## İÇİNDEKİLER

<b>KISALTMALAR</b>	<b>vii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>viii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>x</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b>	<b>xii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>xiii</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>xv</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1. Amaç	2
1.2. Kapsam	3
<b>2. ZARARLI ATIKLARIN TANIM, TESPİT VE YÖNETİMİ</b>	<b>4</b>
2.1. Zararlı Atık Tanımları	4
2.2. Zararlı Atıkların Tespiti ve Sınıflandırılması	6
2.3. Zararlı Atık Tanım, Tespit ve Yönetiminde Derecelendirme Sistemi	8
2.4. Yasal İşleyiş	8
2.4.1. Tehlikeli Atıklar Kontrol Yönetmeliği	10
2.4.2. Tehlikeli Atıklar Kontrol Yönetmeliğinin Uygulanmasında Karşılaşılan Sorunlar	13
2.5. Türkiye’de Mevcut Atıklara İlişkin İstatistiksel Veriler	14
2.6. Zararlı Atık Yönetimi	18
2.7. Arıtma, Depolama ve Uzaklaştırma (TSD) Tesisleri	21
<b>3. SOLİDİFİKASYON/STABİLİZASYON PROSESLERİ</b>	<b>24</b>
3.1. Tanımlar	24
3.2. S/S Proseslerinin Amaçları	26
3.2.1. Araziye Uzaklaştırma (Düzenli Depolamadan Önce Atıkların Stabilizasyonu)	26
3.2.2. Kirlenmiş Zeminlerin İyileştirilmesi	27
3.2.3. Endüstriyel Atıkların Solidifikasyonu (Çamurlar Gibi Zararlı Olmayan Kararsız Atıkların Solidifikasyonu)	27
3.3. S/S Prosesinin Mekanizmaları	28

3.3.1.	Makroenkapsülasyon	28
3.3.2.	Mikroenkapsülasyon	29
3.3.3.	Absorpsiyon	29
3.3.4.	Adsorpsiyon	30
3.3.5.	Çökelme	30
3.3.6.	Detoksifikasyon	31
3.4.	S/S Proseslerinin Türleri	31
3.4.1.	Çimento Bazlı Prosesler	34
3.4.2.	Puzolan Bazlı Prosesler	39
3.4.3.	Kireç Bazlı Prosesler	41
3.4.4.	Fosfat Bazlı Prosesler	42
3.4.5.	Çeşitli Prosesler	42
3.4.6.	Katkı Maddeleri	44
3.4.7.	Termal ve Fiziksel Prosesler	45
3.5.	S/S Etkinliğinin Değerlendirilmesi İçin Deneysel Yöntemler ve İzleme	48
3.5.1.	Ekstraksiyon ve Sızma Deneyleri	48
3.5.2.	Sızıntı veya Ekstrakta Yapılan Analizler	58
3.5.3.	Fiziksel ve Mühendislik Özellik Deneyleri	61
3.6.	Arazi Uygulaması (Proses Tipleri)	70
3.6.1.	Ex Situ Yöntemler	70
3.6.2.	In Situ Yöntemler	73
3.7.	Zararlı Atıklar İçin Uygun S/S Teknolojilerinin Seçimi ve Arıtma Projelerinin Geliştirilmesi	74
3.7.1.	S/S Teknolojilerinin Seçimi	74
3.7.2.	S/S Arıtma Projelerinin Geliştirilmesi	77
<b>4.</b>	<b>DENEYSEL ÇALIŞMA</b>	<b>94</b>
4.1.	Deneysel Yaklaşım	94
4.2.	Numune Alma	96
4.3.	Zararlı Atık Tespit ve Karakterizasyonu	96
4.3.1.	Endüstrinin Tanımı	96
4.3.2.	Üretim ve Proses Bilgileri	96

4.3.3.	Su Kullanımı ve Atıksu Karakterizasyonu	97
4.3.4.	Aritma Çamuru Karakterizasyonu	100
4.3.5.	Zararlı Atık Tespiti ve Karakterizasyonu	101
4.4.	Beton Numunelerinin Hazırlanması	107
4.4.1.	Hazır Beton Denemeleri	107
4.4.2.	Priz Testi	108
4.4.3.	Karışımların Hazırlanması	109
4.4.4.	Karışımların Kalıplara Dökülmesi	112
4.4.5.	Numunelerin Kalıplardan Çıkarılıp Kür Edilmesi	112
4.5.	Kullanılan Materyal ve Yöntemler	112
4.5.1.	Kullanılan Materyaller	112
4.5.2.	Beton Numunelerine Uygulanan Test Yöntemleri	114
4.6.	Ekstrakt, Eluat ve Çözelti Numuneleri	116
4.7.	Kullanılan Cihazlar	116
<b>5.</b>	<b>DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ</b>	<b>119</b>
5.1.	Basınç Dayanım Deneilerinin Sonuçları	119
5.2.	Sızma Deneilerinin Sonuçları	125
5.2.1.	TOC Ölçüm Sonuçları	127
5.2.2.	Metal Ölçüm Sonuçları	131
<b>6.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER</b>	<b>142</b>
	<b>KAYNAKLAR</b>	<b>145</b>
	<b>EKLER</b>	<b>153</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>184</b>

## KISALTMALAR

<b>S/S</b>	: Solidifikasyon/Stabilizasyon
<b>TCLP</b>	: Toxicity Characteristic Leaching Procedure
<b>UNEP</b>	: United Nations Environment Program
<b>DİE</b>	: Devlet İstatistik Enstitüsü
<b>TSD</b>	: Treatment Storage Disposal
<b>USEPA</b>	: United States Environmental Protection Agency
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>EPTOX</b>	: Extraction Procedure Toxicity Characteristics
<b>DIN</b>	: Deutsches Institut für Normung
<b>ANS</b>	: American Nuclear Society
<b>TSDF</b>	: Treatment Storage Disposal Facility
<b>ASTM</b>	: American Society for Testing and Materials
<b>AAS</b>	: Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
<b>FTIR</b>	: Fourier Transform Infrared Spektra
<b>GC/MS</b>	: Gaz Kromatograf/Kütle Spektrometresi
<b>SW</b>	: Solid Waste
<b>BNA</b>	: Bazik, Nötr ve Asidik Organik Bileşikler
<b>SEM</b>	: Scanning Electron Microscopy
<b>UCS</b>	: Unconfined Compressive Strength Test
<b>ARAR</b>	: Applicable or Relevant and Appropriate Requirement
<b>WET</b>	: Waste Extraction Test
<b>SKKY</b>	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
<b>TAKY</b>	: Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
<b>PÇ</b>	: Portland çimentosu

## TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
<b>Tablo 2.1</b>	Sanayi grubu kullanım ve bertaraf durumuna göre endüstriyel katı atık miktarı, 1996.....	15
<b>Tablo 2.2</b>	Sanayi grubu ve bertaraf yöntemine göre katı atık miktarı, 1996..	16
<b>Tablo 2.3</b>	Yaratılan toplam arıtma çamurunun bertaraf yöntemine göre işyeri sayısı ve arıtma çamur miktarı, 1996.....	17
<b>Tablo 3.1</b>	EP toksisite karakteristikleri, kirletici konsantrasyon standartları.	52
<b>Tablo 3.2</b>	Toksisite karakteristik sızma prosedürü için sınır değerler.....	53
<b>Tablo 3.3</b>	Stabilize/solidifiye edilmiş atıklara uygulanabilen genel analitik test metodları.....	60
<b>Tablo 3.4</b>	Fiziksel, mühendislik ve dayanıklılık deneyleri.....	61
<b>Tablo 3.5</b>	Stabilizasyon/solidifikasyondan önce ve sonra atıkları karakterize etmek için fiziksel testler.....	63
<b>Tablo 3.6</b>	S/S arıtma yöntemi için test edilen bazı metal atık örnekleri.....	79
<b>Tablo 3.7</b>	Solidifikasyon/Stabilizasyon arıtma yöntemi için test edilmiş, bazı metal ve organik madde karışımı içeren örnekler.....	81
<b>Tablo 3.8</b>	Solidifikasyon/stabilizasyon arıtması için denenmiş bazı organik atıklar.....	82
<b>Tablo 3.9</b>	S/S arıtma yöntemi için denenmiş bazı inorganik atıklar.....	83
<b>Tablo 3.10</b>	Performans deney seviyelerini değerlendirmek için risk faktörleri.....	91
<b>Tablo 3.11</b>	Performans deney ve örnek deney gereksinimlerinin seviyeleri....	92
<b>Tablo 4.1</b>	Endüstriyel atıksu karakterizasyonu.....	99
<b>Tablo 4.2</b>	Arıtma çamuru İZAYDAŞ analiz sonuçları.....	101
<b>Tablo 4.3</b>	Ham atık kompozisyonu.....	102
<b>Tablo 4.4</b>	Sızma prosedürlerine göre ham atık karakterizasyonu.....	103
<b>Tablo 4.5</b>	Ham atık numunesinin DIN eluatu ve EP ekstraktında yapılan TOC ölçümleri.....	103
<b>Tablo 4.6</b>	EP toksisite karakteristikleri kirletici konsantrasyon standartlarıyla karşılaştırma ve zararlı atık tespiti.....	104
<b>Tablo 4.7</b>	Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ndeki atıkların düzenli depo tesislerine depolanabilme kriterleriyle karşılaştırma ve zararlı atık tespiti.....	105
<b>Tablo 4.8</b>	Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 6'ya göre zararlı atığın kategorizasyonu.....	106
<b>Tablo 4.9</b>	EPA zararlı atık listelerine göre zararlı atığın tespiti.....	107
<b>Tablo 4.10</b>	Atık ve hazır betonun karışım oranları.....	107
<b>Tablo 4.11</b>	Priz testinde kullanılan atık/çimento oranları.....	108
<b>Tablo 4.12</b>	Numunelerin priz alma zamanları ve basınç dayanımları.....	109
<b>Tablo 4.13</b>	12 dm <sup>3</sup> C35 deneme beton karışımları için düzeltilmiş ağırlıklar (Elle karıştırılmış).....	110



<b>Tablo 4.14</b>	12 dm <sup>3</sup> C35 deneme beton karışımları için düzeltilmiş ağırlıklar (Mikserde karıştırılmış).....	111
<b>Tablo 4.15</b>	Agrega elek analizi.....	113
<b>Tablo 4.16</b>	Agrega özgül ağırlıkları ve su emme yüzdeleri.....	114
<b>Tablo 4.17</b>	Portland Çimentosu PÇ-42,5 kimyasal özellikleri.....	114
<b>Tablo 4.18</b>	Portland Çimentosu PÇ-42,5 fiziksel özellikleri.....	114
<b>Tablo 5.1</b>	Beton Numunelerinin Basınç Dayanımları (kgf/cm <sup>2</sup> ).....	122
<b>Tablo 5.2</b>	Mikserle Karıştırılarak Tekrar Hazırlanan Beton Numunelerinin Basınç Dayanımları (kgf/cm <sup>2</sup> ).....	123
<b>Tablo 5.3</b>	28 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarında Yapılan TOC Ölçümleri.....	127
<b>Tablo 5.4</b>	28 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarında Yapılan TOC Ölçümleri.....	127
<b>Tablo 5.5</b>	90 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarında Yapılan TOC Ölçümleri.....	128
<b>Tablo 5.6</b>	90 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarında Yapılan TOC Ölçümleri.....	128
<b>Tablo C.1</b>	Şahit Beton Numunesinin Sızma Özellikleri.....	172
<b>Tablo C.2</b>	Şahit Beton Numunesindeki Metal Miktarları.....	173
<b>Tablo C.3</b>	1/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesinin Sızma Özellikleri.....	174
<b>Tablo C.4</b>	1/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesindeki Metal Miktarları.....	175
<b>Tablo C.5</b>	5/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesinin Sızma Özellikleri.....	176
<b>Tablo C.6</b>	5/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesindeki Metal Miktarları.....	177
<b>Tablo C.7</b>	10/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesinin Sızma Özellikleri.....	178
<b>Tablo C.8</b>	10/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesindeki Metal Miktarları.....	179
<b>Tablo C.9</b>	20/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesinin Sızma Özellikleri.....	180
<b>Tablo C.10</b>	20/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesindeki Metal Miktarları.....	181
<b>Tablo C.11</b>	40/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesinin Sızma Özellikleri.....	182
<b>Tablo C.12</b>	40/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesindeki Metal Miktarları.....	183

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 : Zararlı atık tespiti için önerilen derecelendirme sisteminin kavramsal modeli.....	9
Şekil 2.2 : Bertaraf durumuna göre endüstriyel katı atık miktarı.....	18
Şekil 2.3 : Zararlı atık yönetim tesisinde atık yönetimi akım şeması.....	20
Şekil 2.4 : Zararlı atık geri kazanım, arıtma ve uzaklaştırma tesisleri.....	22
Şekil 3.1 : Solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisinin seçimi.....	75
Şekil 3.2 : Stabilizasyon proses tasarım akım şeması.....	76
Şekil 3.3 : S/S arıtma projelerinin aşamaları.....	78
Şekil 3.4 : Genel teknoloji seçim prosedürü.....	85
Şekil 3.5 : Seçilmiş atık/bağlayıcı karışımlarının laboratuvar ölçekli performans deneyi.....	90
Şekil 4.1 : Deney planı şeması.....	95
Şekil 4.2 : Sıvı üretim proses akım şeması.....	98
Şekil 4.3 : Toz üretim proses akım şeması.....	98
Şekil 5.1 : Numunelerin priz alma zamanları.....	119
Şekil 5.2 : Priz Testine Tabi Tutulmuş Numunelerin Basınç Dayanımları..	120
Şekil 5.3 : Atık/Bağlayıcı Oranlarının Basınç Dayanımına Etkisi.....	124
Şekil 5.4 : Kür Zamanının Basınç Dayanımına Etkisi.....	124
Şekil 5.5 : Mikserle Karıştırılarak Hazırlanan Numunelerde Atık/Çimento Oranının Basınç Dayanımına Etkisi.....	126
Şekil 5.6 : Mikserle Karıştırılarak Hazırlanan Numunelerde Kür Zamanının Basınç Dayanımına Etkisi.....	126
Şekil 5.7 : 28 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki TOC Konsantrasyonları.....	129
Şekil 5.8 : 28 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki TOC Konsantrasyonları.....	129
Şekil 5.9 : 90 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki TOC Konsantrasyonları.....	130
Şekil 5.10 : 90 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki TOC Konsantrasyonları.....	130
Şekil 5.11 : 28 Günlük Beton Numunelerinde Solidifiye/Stabilize Edilen Arsenik Baryum ve Civa Miktarları.....	132
Şekil 5.12 : 28 Günlük Beton Numunelerinde Solidifiye Stabilize Edilen Kadmiyum, Kurşun, Selenyum ve Gümüş Miktarları.....	132
Şekil 5.13 : 28 Günlük Beton Numunelerinde Solidifiye Stabilize Edilen Bakır, Krom ve Nikel Miktarları.....	133
Şekil 5.14 : 28 Günlük Beton Numunelerinde Solidifiye Stabilize Edilen Çinko Miktarları.....	133
Şekil 5.15 : 28 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki Krom ve Civa Konsantrasyonları.....	134
Şekil 5.16 : 90 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki Krom ve Civa Konsantrasyonları.....	134

<b>Şekil 5.17</b>	: 7 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki Kurşun Konsantrasyonları.....	135
<b>Şekil 5.18</b>	: 28 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki Kurşun Konsantrasyonları.....	136
<b>Şekil 5.19</b>	: 90 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki Kurşun Konsantrasyonları.....	136
<b>Şekil 5.20</b>	: 28 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki Kurşun ve Nikel Konsantrasyonları.....	137
<b>Şekil 5.21</b>	: 90 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki Kurşun ve Nikel Konsantrasyonları.....	137
<b>Şekil 5.22</b>	: 7 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki Civa Konsantrasyonları.....	138
<b>Şekil 5.23</b>	: 28 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki Civa Konsantrasyonları.....	138
<b>Şekil 5.24</b>	: 90 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki Civa Konsantrasyonları.....	139
<b>Şekil 5.25</b>	: 28 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki Çinko Konsantrasyonları.....	140
<b>Şekil 5.26</b>	: 90 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki Çinko Konsantrasyonları.....	140
<b>Şekil A.1</b>	: S/S arıtma projelerinin iş akışı.....	154
<b>Şekil B.1</b>	: Laboratuar mikseri.....	166
<b>Şekil B.2</b>	: Çökme (slump) deney aleti.....	167
<b>Şekil B.3</b>	: Kübik standart kalıplar ve vibrasyon masası.....	168
<b>Şekil B.4</b>	: Kür havuzları.....	169
<b>Şekil B.5</b>	: Basınç deney presi.....	170
<b>Şekil B.6</b>	: Hach digesdahl digestion aparatı.....	171

## SEMBOL LİSTESİ

**TOC** : Toplam organik karbon

**w/c** : Su/çimento oranı



## ZARARLI ATIKLARIN SOLİDİFİKASYON/STABİLİZASYON TEKNOLOJİSİ İLE YÖNETİMİ

### ÖZET

Zararlı atıkları immobilize etmek ve kalıcı ıslah çözümleri sırasında zararlılığı azaltmak için çimentonun ve diğer solidifikasyon araçlarının kullanılması uygulanabilirliği olan bir yöntemdir ve çok çeşitli organik ve inorganik atıklar için etkinliği kanıtlanmıştır.

Bu tez çalışmasında, bazı zehirli ağır metalleri ve organik kimyasalları içeren çamur formundaki zararlı atıkların, solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisi kullanılarak arıtılması ve geri kazanılması incelenmiştir.

Zararlı atıklar için uygun solidifikasyon/stabilizasyon arıtma projelerinin geliştirilmesinde yararlanılabilecek bir iş akışı da önerilmiştir.

Deney çalışmalarında, ülkemizde yaygın şekilde bulunan kimya-metal son işlemler endüstrisinden kaynaklanan endüstriyel arıtma çamuruna S/S teknolojisi uygulanmıştır. Arıtma çamurunun sızma özelliklerini belirlemek üzere iki yöntem kullanılmıştır. Bunlardan biri Alman Standart Metotlarından DIN 38 414 S4 Testi diğeri ise Amerikan Çevre Koruma Teşkilatının Ekstraksiyon Prosedür (EP) Toksikite Test Metodudur. Her iki prosedüre göre DIN eluatları ve EP ekstraktları hazırlanmıştır. Hazırlanan EP ekstraktları, eluatlar ve asit ortamda parçalanmış çözeltilerde toplam organik karbon ve metal ölçümleri yapılmıştır. Arıtılmamış atığın zararlılık özellikleri belirlenerek hem Türk hem de Amerikan Çevre Koruma Teşkilatının yönetmelikleriyle karşılaştırılmıştır.

Zararlı atığın solidifikasyon/stabilizasyonu için bağlayıcı olarak sadece Portland Çimentosu PÇ-42,5 kullanılmıştır.

Yüksek TOC, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn içeren atığı solidifiye etmek ve kirleticileri immobilize etmek için Portland çimentosu ile karıştırılır. TS EN 206/1 Türk standardına göre C35 sınıfı beton numuneleri kuru çamur, çimento, ince agrega, kaba agrega, su ve bir beton katkı maddesi ile hazırlanmıştır. 36 adet beton numunesinin atık bağlayıcı oranları (Atık/Çimento) 0/100 ile 40/100 arasında tutulmuştur. Karışımların su/çimento (w/c) oranları 0,49-0,68 olmuş ve çökme (slump) değeri 170-200 mm arasında değişmiştir. 15 cm kenar uzunluğundaki kübik standart beton numuneleri hazırlanmış ve  $20 \pm 2$  °C sıcaklığındaki kür havuzlarında üç farklı kür zamanında (7, 28 ve 90 gün) kür edilmiştir.

Katılaştırılmış beton numunelerine basınç dayanım ve sızma, parçalama deneyleri uygulanmıştır.

Basınç dayanımları, beton numunelerinin yapı malzemesi olarak kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek için ölçülmüştür. Basınç dayanımı değerleri, kimya-metal son işlemler endüstrisi arıtma çamurlarından elde edilen beton numunelerinin yapı malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Numunelerin EP ekstraktları,

eluatlar ve asit ortamda parçalanmış çözeltilerinde yapılan ağır metal ve toplam organik karbon ölçümleri, EPTox ve DIN 38 414 S4 sızma prosedürlerindeki standart konsantrasyonlardan daha düşük sonuçlar vermiştir.

Bu çalışmanın ana amaçları bir kimya endüstrisindeki spesifik bir zararlı atığı tespit etmek, atıksu arıtma sistemi çamuruna S/S teknolojisini uygulamak, uzaklaştırma ve tekrar kullanıma uygunluğunu incelemektir.

Bu çalışma, endüstriyel arıtma çamurlarının zararlılık kriterinin S/S teknolojiyle giderimini göstermektedir ve bu zararlı atıkların yönetim alternatifleri hakkında bilgi vermektedir.

Bu tez çalışmasında, bütün zararlı bileşenlerin stabilize edildiği ve zararlı atığın zehirlilik zarar kriterinin, S/S ile giderildiği sonucuna varılmıştır. Başka bir deyişle zararlı bileşenlerin S/S'i ile detoksifikasyon prosesi başarıyla tamamlanmıştır.



# **MANAGEMENT OF HAZARDOUS WASTES BY SOLIDIFICATION/STABILIZATION TECHNOLOGY**

## **SUMMARY**

Utilization of cement and other solidification agents is a feasible method to immobilize hazardous wastes and is one of the remediation alternatives to decrease hazard characteristics of wastes. And the effectiveness of the method was demonstrated for organic and inorganic wastes.

In this study, treatment and recovery of hazardous wastes in sludge form containing some potentially toxic heavy metals and organic chemicals by solidification/stabilization (S/S) technology was investigated.

Meanwhile a workflow was also performed and recommended to develop suitable S/S treatment projects for hazardous wastes.

During experimental studies, the S/S technology was applied to the industrial treatment sludge which was originated from a chemical-metal finishing industry. Treatment sludge was analyzed by using eluat and extract procedures as defined and the hazard characteristics of the waste were determined based on both Turkish and USEPA regulations by means of leaching test methods (DIN 38414-S4 Test and Extraction Procedure Toxicity Test).

Portland cement PC-42,5 (CEM I 42,5 R) was used as a binder for S/S of hazardous waste.

Portland Cement was mixed to the sludge to solidify the waste containing high TOC, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, and Zn and immobilize the pollutants. Control and other specimens were prepared with dried sludge, cement, fine aggregate, course aggregate, water and a concrete additive as C 35 class of concrete according to Turkish standard "TS EN 206/1". The waste to binder ratios (W/B) of 36 specimens were kept between 0/100 and 40/100. Water/cement (W/C) ratio of specimen for each mixture was 0.49-0.68 and it was balanced with 170-200 mm of slump test value. In dimension of 15x15x15 cm cubic specimens were molded and immersed in a cure bath at  $20 \pm 2$  °C room temperature for three different curing time periods (7-day, 28-day and 90-day).

Compressive strength tests and leach tests were conducted for solidified concrete specimens. Their compressive strengths were measured to determine feasible utilization as a construction material. The compressive strength values showed that specimens obtained from chemical-metal finishing sludge could be used as a construction material. Heavy metal and organic contents of the extracts of each specimen were generally determined less than stipulated concentrations in EPTox and DIN 38414-S4 leaching procedures.

Main objectives of this study were to determine a specific hazardous waste from a chemical industry, to implement the S/S technology on the wastewater treatment system sludge and to investigate compatibility with disposal and reuse.

This study indicates the hazard criteria removal of the industrial treatment sludges by S/S technology and leads to solve problems about the management alternatives of these hazardous wastes.

As a result, all hazardous compounds were stabilized and toxic hazard criteria on the hazardous waste was removed by S/S. In other words, detoxification were achieved by S/S of hazardous compounds.





## 1. GİRİŞ

Zararlı atıkların yönetim planında gerek bilimsel gerekse yasal düzenlemeler çerçevesinde bir sıra takip edilmesi gerektiği görülmektedir. Buna göre bir zararlı atık için;

- Zararlı atığın tanımı,
- Zararlı atığın tespiti,
- Zararlı atığın listelenmesi,
- Zararlı atığın arıtma, depolama ve uzaklaştırma imkanlarının ortaya koyulması

temel adımları planlanmaktadır.

Zararlı atığın tanımlanmasında bir atığı üründen ayıran, konvansiyonel atıklardan farklı kılan bir ara atık tanımı yapmak ve tehlikeli olma kriterlerini belirlemek gibi atık tespitine yarayacak düşünceler vardır. Bunun yanısıra bir zararlı atık için atık formu ve atık kompozisyonu da tanımda yer almaktadır.

Zararlı atık yönetimi için uygun yöntemin seçilmesinde problemin tanımı atığın tanımı ile başlamaktadır. Örneğin hangi atık, hangi içerik ve tehlike kriterine sahip olarak, nasıl bir işlem ile uzaklaştırılmalıdır. Daha da ötesi kaynağında mı, zararlı atık alanında mı yoksa sınırlar ötesi bir ülkede mi uzaklaştırma düşünülmektedir.

Bu sorularla problemin tanımı, binlerce serisi olan zararlı atıkların en uygun arıtım depolama uzaklaştırma şeklinin ne olacağına karar vermektir.

Bu nedenle zararlı atıkların insan sağlığına ve çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama verilmesini, depolanmasını, taşınmasını, uzaklaştırılmasını ve benzeri faaliyetlerde bulunulmasını engellemek için çevreyle uyumlu bir şekilde yönetilmesi gerekir. Solidifikasyon/stabilizasyon, zararlı atık arıtma ve uzaklaştırma için sıkça kullanılan bir yöntemdir.

Depolama ve uzaklaştırma ile ilgili kısıtlamalar nedeniyle, zararlı atıkların arazide uzaklaştırılabilmesi için uygun bir standarda getirilmesinde solidifikasyon/stabilizasyon önemli bir teknolojidir. Çamur veya sıvı formdaki zararlı atıkları ve içeriğini stabilize etmek ve tehlike kriterlerini gidermek için çimento ve diğer solidifikasyon bağlayıcılarının kullanılması uygulanabilirliği olan bir yöntemdir ve çok çeşitli organik ve inorganik madde içerikli atıklar için etkinliği kanıtlanmıştır (Roy ve diğerleri, 1992, Glasser, 1997, Hills ve Pollard, 1997, Diet ve diğerleri, 1998, Filibeli ve diğerleri 2000, Rossetti ve diğerleri 2002, Uçaroğlu ve Talınlı, 2002, Zain ve diğerleri, 2003, Talınlı ve Uçaroğlu, 2004, Coz ve diğerleri 2004).

Atıkları daha ekonomik olan depolamaya uygun hale getirmek ve hatta faydalı kullanımlarını sağlamak için, zararlı atıkların kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirmede solidifikasyon teknolojileri potansiyel olarak faydalıdır (Stegemann ve Cote, 1996).

Türkiye’de 1995 yılında yürürlüğe girmiş olan Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği çerçevesinde henüz oluşturulabilmiş bir zararlı atık yönetim biçimi bulunmamaktadır. Bu nedenle ortaya çıkan spesifik endüstriyel zararlı atık problemleri çözülememekte ve sonuçlar gerek mevzuat gerekse idari mekanizma açısından karmaşa yaratmaktadır. Marmara Bölgesinde bir çok kimya endüstrisinin bulunması ve bunların zararlı atıklarını yönetemedikleri görülmektedir. Zararlı atık yönetiminin en önemli kısmı olan arıtma, uzaklaştırma, depolama yöntemlerinin tespiti, yaptırım koyma yönünde de yararlı olacağından büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında ülkemizde yaygın şekilde bulunan kimya-metal son işlemler endüstrisinin atıksu arıtma sistemi çamurlarından kaynaklanan zararlı atıkların solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisi kullanılarak arıtılması, uzaklaştırılması ve geri kazanılması planlanmıştır.

### **1.1. Amaç**

Bu çalışmanın amacı kimya-metal son işlemler endüstriyel atıksu arıtma sistemlerinden kaynaklanan çamur formundaki zararlı atıkların, zararlı atık yönetim planı çerçevesinde en uygun yönetim ve arıtma yönteminin belirlenmesidir. Arıtma çamurlarının solidifikasyon/stabilizasyonu ile hem tehlikeli olma kriterlerinin en

önemlisi olan toksisitenin giderimi hem de kompozisyonundaki ağır metal ve diğer kirleticilerin stabilizasyonu hedeflenmiştir.

Solidifikasyon yönteminin zararlı atık yönetiminde adı geçen atık için geri kazanma ve tekrar kullanma gibi temel amaçları da çalışmanın kapsamındadır.

## 1.2. Kapsam

Yukarıda açıklanan amaç çerçevesinde;

- atık tespiti, tanımı ve literatür araştırması ile uygun arıtma yöntemlerinden solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisi seçilmiş ve incelenmiş,
- zararlı atıklar için uygun S/S teknolojilerinin seçimi ve arıtma projelerinin geliştirilmesi için gereken adımların açıklandığı genel bir akım şeması önerilmiş,
- solidifikasyon/stabilizasyonun çamur formundaki atıklara uygulanabilirliği araştırılmış,
- atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan çamurların solidifikasyon ve stabilizasyon verimleri tespit edilerek geri kazanabilirlik değerlendirilmesi yapılmış,
- solidifikasyon sonrası toksisite giderimi saptanmış,
- çamurların S/S teknolojisi ile geri kazanımının veya emniyetli olarak depolama alanlarına uzaklaştırılmasının yakma, çürütme vb. uzaklaştırma yöntemlerine göre değerlendirilmesi genel olarak yapılmıştır.

## 2. ZARARLI ATIKLARIN TANIM, TESPİT VE YÖNETİMİ

### 2.1. Zararlı Atık Tanımları

Zararlı atıklar son 20 yılda ortaya çıkan bir kavramdır. Teknolojik gelişmeler, üretim artışı ve üretim sürecindeki ilerleme ve değişiklikler, kullanılan enerji kaynakları ve kimyasal madde kullanımında artışlar, zararlı atık miktarında önemli bir artışa yol açmaktadır.

En genel anlamda zararlı atıklar insan sağlığına ve çevreye zararlı etkisi veya zararlılık potansiyeli olan atıklardır. Uygulamada zararlı atıklar bileşim ve fiziksel formları ne olursa olsun bir sıvı deşarj halinde alıcı sulara veya araziye doğrudan verilemezler. Bu açıdan zararlı atıklar uzaklaştırma biçimi olarak katı atıklara benzer, ancak özellikleri ve dolayısıyla tanımları ve buna bağlı olarak arıtım yöntemleri katı atıklardan farklıdır. Zararlı atıkların tanımı, atıkların homojen bir yapısı olmaması ve kaynaklarının çok çeşitli olmaları nedeniyle güçlük gösterir. En genel zararlı atık tanımı aşağıdaki şekilde verilebilir (Tünay, 1996):

Zararlı atıklar, bünyelerinde zararlı olan veya zararlılık potansiyeli taşıyan maddeleri içeren atıklardır. Tanımda kullanılan zararlı teriminin açıklanması için ilk yaklaşım çevresel etkileri yönünden tanımlamadır. Atığın zararlı olma etkileri çevredeki zarar potansiyelinin ortaya çıkma süresi ile ilgili olarak iki kısımda ele alınmaktadır. Bunlar kısa sürede oluşan (akut) zararlar ve uzun sürede oluşan (kronik) zararlardır.

1. Kısa sürede oluşan zararlar: Örneğin ağızda, solunum yollarında veya deride absorpsiyon yoluyla akut zehirlilik, aşındırıcılık veya yangın veya patlama tehlikesi oluşturma.
2. Uzun sürede oluşan zararlar: Uzun sürede çeşitli defalar maruz kalınma dolayısıyla oluşan kronik zehirlenme, kanser yapıcılık, birikicilik, biyolojik ayrışma gibi detoksifikasyona direnç ve yüzeysel veya yeraltı sularında ekolojik dengenin bozulmasına ve rahatsızlık oluşumuna neden olmasıdır. Bu özellikleri taşıyan atıklar, proseslerden oluşan atıklar ve arıtma sisteminden oluşan atıkları kapsar.

Zararlı atıkların tanımlanmasındaki ikinci yaklaşım atık özellikleriyle tanımlamadır. Bir atık eğer aşağıdaki özelliklerden birine veya birkaçına sahipse zararlı atıktır (UNEP, 1982):

1. **Tutuşabilirlik:** Eğer parlama noktası 140 °F'den düşük ise tutuşabilir zararlı atıktır. Tutuşabilir atıklar belirli bir takım koşullar altında yangına yol açabilirler. Örnek olarak çok çabuk tutuşarak yanan solventler ve sürtünmeye karşı hassas maddeler verilebilir.
2. **Koroziflik:** pH'ı 2'den küçük veya 12.5'den büyük veya çeliği her yıl 6 mm'den daha fazla aşındıran her atık korozif atıktır. Korozif atıklar genellikle metalleri paslandırma özelliğine sahip asidik maddeleri içerirler. Bunlar tankları, metal kaplarını, varilleri aşındırıp delerek zarar verirler. Kuvvetli asitler, kuvvetli bazlar, oksitleyici maddeler, dehidrat özelliğine sahip maddeleri içeren atıklar bu gruba girerler.
3. **Reaktiflik:** Duyarlı, kararsız, hava veya suyla şiddetli reaksiyona giren veya siyanür veya sülfid gazları üreten her atık reaktif atıktır. Reaktif atıklar normal koşullar altında stabil olmayan maddeleri içerirler ve hızlı ve şiddetli reaksiyon verirler. Genel olarak reaktif atıklar, patlamalara ve/veya zehirli dumanlara, gazlara ve suyla karıştığında da buhara yol açabilirler.
4. **Zehirlilik:** Toksik bileşiklerin konsantrasyonuna eşit veya aşan atıklar toksik zararlı atıktır. Bu konsantrasyonları belirleyen test TCLP'dir (Toxicity Characteristic Leaching Procedure). İçinde TCLP bileşiklerinden biri olan atık toksik olarak kabul edilir. Zehirli atıklar canlılar tarafından belirli dozda alındığında şiddetli ve ölümcül etki yapabilen atıklardır. Zehirli atıklar toprağa verildiğinde kirlenmiş sıvı sızıntıları ile yeraltı suyunu kirletebilir ve besin zinciri yoluyla canlıları etkileyebilir.

Bu yönetmeliksel tanımlar ışığında yeni bir tanım şu şekilde yapılmıştır. Zararlı atık, çevresel olarak akut veya kronik zarar potansiyeline sahip, yanıcı, aşındırıcı, reaktif ve zehirli olabilen, kompozisyonu, içerdiği madde miktarları, fiziksel formları, çevrede dağılım-yayımları ve kullanım şekilleri ile çevreye insan aktiviteleri ile giren ve bu nedenlerle konvansiyonel arıtma ve uzaklaştırma yöntemlerinden farklı olarak ve ekosistemin politik, sosyal ve ekonomik değerleri ile yönetilmeyi gerektiren özelleştirilmiş ve listelenerek saptanmış atıklardır (Talınlı, 1995).

## 2.2. Zararlı Atıkların Tespiti ve Sınıflandırılması

Zararlı atıkların en iyi şekilde yönetilebilmesi için öncelikle çok iyi tanımlanması gerekir. Zararlı atıkların tanımlanmasında ve sınıflandırılmasında henüz tam bir kesinliğe ulaşılamamıştır. Herkesin kabul ettiği tek bir uluslararası zararlı atık tanımı bulunmamaktadır.

Çeşitli ülkeler, zararlı atık sorununun çözümü için, yasal düzenlemeler getirmişlerdir. Bu düzenlemelerde zararlı atıkların yasal tanımları dışında uygulamaya kolaylık getirmek amacıyla ayrıntılı biçimde tanımları yapılmaktadır. Bu tanımların yapılmasında kullanılan başlıca yöntemler aşağıdaki gibi 3 farklı şekil ile belirlenebilir (Tünay, 1996).

1. Zararlı atık listeleri, atıkların fiziksel ve kimyasal yapı, bileşim ve isimlerinin açık olarak belirtildiği içeren listeler ve zararlı atık olarak kabul edilmeyen atıkların yine aynı şekilde nitelikleriyle belirtildiği dışta bırakan listeler olarak iki şekilde hazırlanabilir. İçeren listeler uygulamada sağladığı kolaylıklar nedeniyle daha yaygın kullanıma sahiptir.
2. Kriterler, bir atığın zararlı olup olmadığını belirlemek üzere kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik çeşitli ölçütlerinden meydana gelir.
3. Kaynak bazında sınıflandırma, ürettiği zararlı atığın miktar ve karakteri belirli olan kaynaklar için kullanılabilir.

Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde zararlı atıkların tanımlanmasında üç yöntem kullanılmaktadır. Buna göre eğer atık;

1. EPA düzenlemelerinde listelenmiş bir atık ise,
2. 4 özellikten (tutuşabilirlik, koroziflik, reaktiflik veya zehirlilik) en az birine sahip ise,
3. üreticisi tarafından zararlı olduğu deklare edilmiş ise

zararlı atıktır.

İngiltere'de ise tehlikeli maddeler ve zararlı veya "özel atıklar"la ilgili Avrupa Birliği ve Birleşik Krallık düzenlemelerini kullanmak gerekir.

Atığı saptamanın en uygun yöntemi listeleme yöntemidir. Zararlı atıklar listelenirken aynı zamanda atıkların kategorizasyonu da yapılır. Dolayısıyla listeler atık kaynaklarına, atık özelliklerine veya atık türüne göre yapılmaktadır.

Atıkların zararlı olarak belirlenmesinde kullanılan listeler,

- a) Maddelerin atılma nedenlerine göre,
- b) Atılma işlemlerine göre,
- c) Zararlı atıkların kaynaklarına göre,
- d) Zararlı atık olmasına neden olan bileşenlerine göre,
- e) Zararlı özellikler listesine göre,
- f) Atık yaratan faaliyetlere göre hazırlanabilmektedir.

Zararlı atıklar kaynaklarına göre iki farklı listeleme yöntemine sahiptir. Bu listeler;

1. Kaynağı belirsiz atık listeleri (F),
2. Kaynağı belirli atık listeleridir (K).

F listelerinde, zararlı madde veya madde grupları ve onların zararlılık kodları atığın kaynağı bilinmemesine rağmen saptanarak listelenmiştir.

K listelerinde, atığın hangi endüstriyel kaynaktan ve hangi prosesten kaynaklandığı doğrudan belirtilerek saptanmış ve listelenmiştir.

Bunların dışında 3. Liste atık halindeki ticari kimyasal ürünleri ve bozuk türleri tanımlar ve listeler. Bu listede atıklar alfabetik sırayla P akut zararlı atıklar kodu ile listelenir.

4. Listenin zararlılık kodu U ile verilmekte olup yine bu maddeleri içermekte ancak zehirlilik özelliğine göre sıralanmaktadır (Hall ve diğerleri, 1993).

Zararlı atık insan sağlığı için düşük dozlarda bile ölümcül olabilir. Ciddi ve önemli ölçüde hastalık nedeni olabilir.

İnsan sağlığına veya diğer yaşam şekillerine zehirli, kanserojen, mutajen veya teratojen etkiye sahip olabilir.

Bir atığın zararlı olup olmadığına karar vermede esas alınan kriterler, atığın bileşimi, atık içindeki bileşenlerin miktarları, atık içindeki bileşenlerin kimyasal reaktifleri, atığın fiziksel durumu, atığın miktarı ve bu miktarın oluşum hızı, atığın çevredeki

etkileri ve kalıcılığı şeklinde özetlenebilir. Kısaca zararlı atık, zararlı madde içermesi veya kimyasal reaksiyon ortaya çıkarması nedeniyle katı atık ile birlikte bertaraf edilemeyen atıktır.

### **2.3. Zararlı Atık Tanım, Tespit ve Yönetiminde Derecelendirme Sistemi**

Talınlı ve diğerleri (1996, 2003), bir atığın zararlı atık olup olmadığına karar verme aşamasında subjektif değerlendirmelerden çok nicel değerlendirmelere dayanan bir derecelendirme sistemi önermişlerdir. Zararlı atık tespiti için şematik gösterim Şekil 2.1'de verilmiştir.

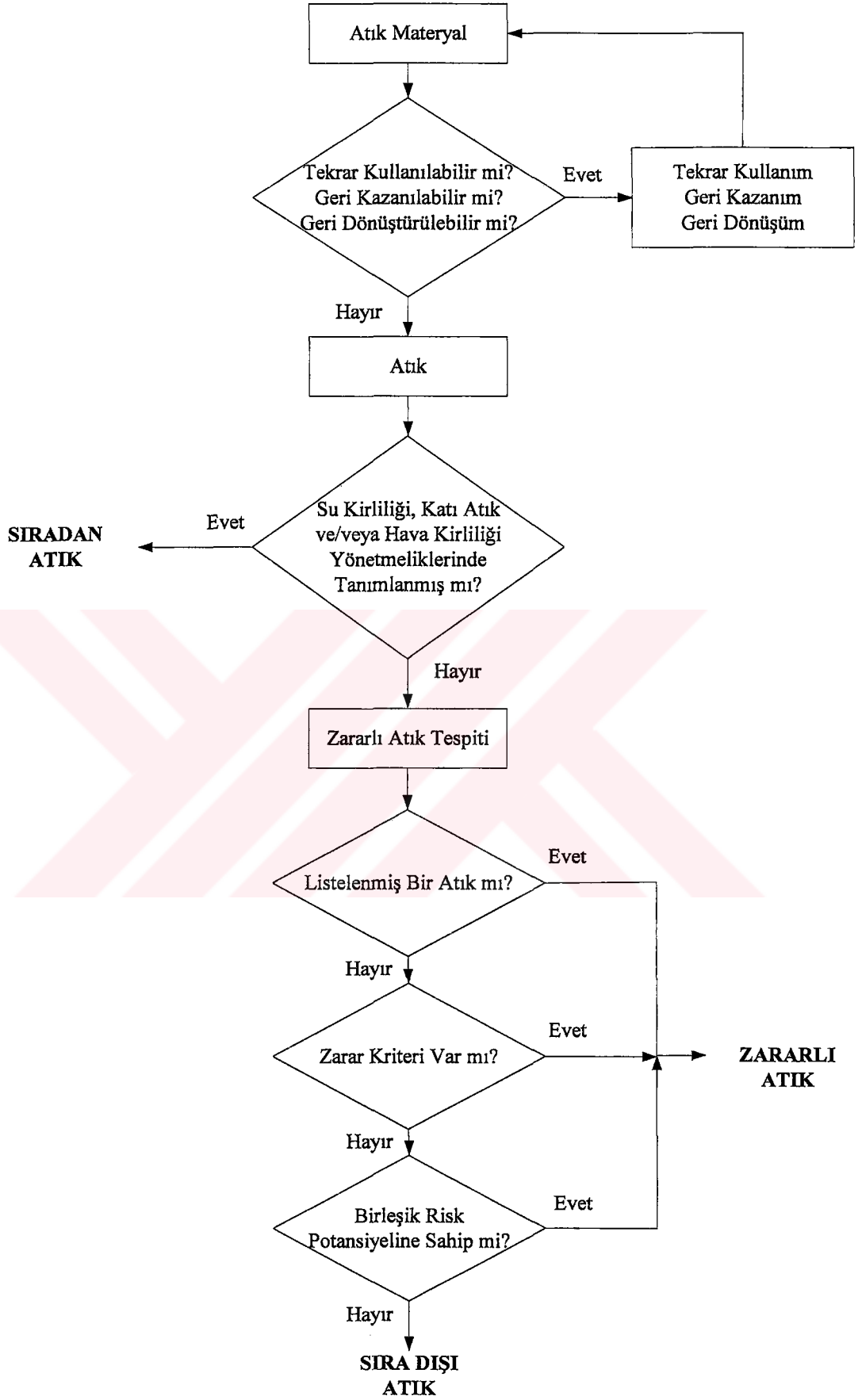
Derecelendirme sisteminde konvansiyonel atıklardan farklı olan atıkların zararlı atık olarak tanımlanıp saptanmasında gözönüne alınacak kriterler, çevresel etkiler ve atık özellikleri sayısal değerlerle bir derecelendirme modeline oturtulur. Atığı tanımlamak için belirlenen "Toplam Derecelendirme Değeri", "Ekolojik Etki"ye ve "Birleşik Risk Potansiyeli"ne bağlıdır ve atığı sıradan atık, sıradışı atık ya da zararlı atık olarak tespit eder. Birleşik Risk Potansiyeli ise tehlike ile ilgili özellikler kullanılarak hesaplanır. Derecelendirme sistemi, atık özellikleri hakkında karar vermek ve onu zararlı atık olarak saptamayı sağlar (Talınlı, 1996; Talınlı, 1997; Talınlı ve diğ., 2003).

### **2.4. Yasal İşleyiş**

Sorunun zararlı boyutlara ulaşması nedeniyle konu uluslararası kuruluşlarca ele alınmış, ulusal çapta kimi düzenlemeler yürürlüğe koyulmuştur. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) çerçevesinde "Tehlikeli Atıkların Sınırlarötesi Taşınımının ve Bertarafının Kontrolüne İlişkin Basel Sözleşmesi" imzalanmıştır. Ülkemizde de 1995 yılında zararlı atıkların üretiminden son uzaklaştırmasına kadar yönetimine ilişkin ilke, politika ve programların belirlenmesi için hukuki ve teknik esasları düzenlemek amacıyla "Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" yürürlüğe girmiştir.

Zararlı atık sorunu, ülkemiz için iki farklı boyuta sahiptir. Bunlardan biri, sanayileşme sürecine koşut olarak ülke içinde zararlı atık miktarının artmasıdır. İkinci boyut, dünya zararlı atıklarının %90'ını üreten gelişmiş ülkelerin bu atıkları başka ülkelerin yanı sıra Türkiye'ye ihraç etme girişimlerinde bulunmalarıdır.





Şekil 2.1. Zararlı Atık Tespiti İçin Önerilen Derecelendirme Sisteminin Kavramsal Modeli (Talınlı, 1996; Talınlı ve diğ., 2003)

Zararlı atıkların oluşumunun ve sınırlarötesi hareketlerinin önlenmesi veya en aza indirilmesi amacıyla ülkemiz 20-22 Mart 1989 tarihlerinde Birleşmiş Milletler Çevre Programı bünyesinde “Tehlikeli Atıkların Sınırlarötesi Hareketlerinin Kontrolü ve Bertarafı”na ilişkin Basel Sözleşmesi’ni imzalamış ve 30 Aralık 1993 tarihinde onaylanarak yürürlüğe girmiştir. Zararlı atıkların açık bir listesini içeren Basel Sözleşmesi, atıkların sınırlarötesi hareketlerinde hali hazırda ülkemiz tarafından referans gösterilerek kullanılmaktadır.

Basel Sözleşmesi’nin onaylanmasıyla birlikte resmen uygulamaya geçmeden iç mevzuatımızın tamamlanması gerektiğinden, Bakanlıkça “Tehlikeli atıkların Kontrolü” taslak tüzüğü hazırlanmıştır. Ulusal Atık Listesi oluşturulurken Basel Atık Listesindeki kontrol edilecek atık kategorileri tek tek açılarak atığın muhtemel içeriği, muhtemel kaynakları, kontrol edilecek atık türleri, kod numarası, zararlı özellikleri ve kabul edilen bertaraf yöntemleri belirtilmiştir.

#### **2.4.1. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği**

27 Ağustos 1995 tarih ve 22387 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”, evsel ve endüstriyel faaliyetler sonucu ortaya çıkan ve evsel katı atıklarla birlikte bertaraf edilemeyen zararlı ve zararlı atıkların çevre ve insan sağlığını bozmadan bertaraf edilmesi ve zararsız hale getirilmesine ilişkin esasları kapsamaktadır.

Yönetmelik, zararlı atıkların taşınması, zararlı atıkların bertarafında uyulacak usul ve esaslar, zararlı atıkların ara depolaması, zararlı atıkların bertaraf alanları, yer seçimi, yönetimi, zararlı atıkların sınırötesi taşınımı konularını da içermektedir.

Bu yönetmelikte zararlı atıkların tanımlanması, maddelerin atılma nedenlerine, bertaraf işlemlerine, zararlı atıkların kökenlerine, atıkların zararlı atık olmasına neden olan bileşenlerine, atık yaratan faaliyetlere göre yapılmıştır.

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ne göre; zararlı atıklar, evlerden, endüstri kuruluşlarından ve ticari işyerlerinden kaynaklanan ve yönetmeliğin 1, 4, 5 ve 6. eklerinde verilen zararlı özelliklerden en az birini taşıyan atıklar veya zararlı atıklarla kirlenmiş malzeme veya maddelerdir. Yönetimi ve denetimi ayrı esaslar gerektiren tıbbi atıklar, cips atıkları, termik santral külleri ise aynı Yönetmelik’te özel atıklar olarak tanımlanmıştır. Bu atıkların özellikleri, oluştukları kaynaklar, üretim

teknolojilerine ve üretime giren maddelere göre zararlı veya zararsız özellikler göstermekte, yönetim esas ve usulleri de buna göre farklılık göstermektedir.

Yönetmeliğin ekinde zararlı atıkların listesi oluşturulmuştur. Ulusal Atık Listesi (Ek 6) oluşturulurken; atığın muhtemel içeriği, atığın muhtemel kaynakları (Ek 3), kontrol edilecek atık türleri, kod numarası, zararlı özellikleri (Ek 7), yasal bertaraf yöntemleri (Ek 2) belirtilmiştir.

Yönetmelikte “Atıkların Bertarafı” bölümünde bertaraf sistemlerinin Ek 7’deki atık özelliklerine ve uygun teknolojilere göre seçileceği belirtilmiştir.

“Yakma” bölümünde, Ek 6’da yer alan atıkların yakılmasında, “Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”nin yakma tesislerinin teknik özelliklerini anlatan 26. maddesindeki hükümler yanında “Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği” Ek 7’de bulunan, yakma tesislerine ilişkin “İkinci Grup Tesisler” başlığı altındaki esaslara da uyulması gerektiği belirtilmiştir.

“Deneme Yakması” bölümünde ise yakma tesisi işleticisi veya sahibinin lisans almadan önce; atığı analiz etmek, çıkacak emisyonların standartları sağladığını kanıtlamak zorunda olduğu belirtilmiştir. Ayrıca deneme yakmasından sonra Ek 16’daki raporların hazırlanıp Bakanlığa gönderilmesi gerektiği de vurgulanmıştır.

Yönetmeliğin altıncı bölümünde yakma tesislerine ön lisans verilmesi, lisans verilmesi, lisans iptali, inşaat ruhsatı verilmesi hükümleri yer almaktadır.

Yönetmeliğe göre bir firmanın atık üreticisi olarak yükümlülükleri aşağıda belirtilmiştir.

- Atıklarını azaltmaya çalışmak,
- Atıkların insan ve çevreye olan zararlarını en aza indirecek atık yönetimini sağlamak,
- Atıklarını tesislerinde geçici olarak depolaması durumunda izin almak,
- Ürettiği atıklarla ilgili kayıt tutmak, ambalajlama ve etiketleme yapmak,
- Ek 5 ve Ek 6’da yer alıp Ek 7’de belirtilen özellikleri içermeyen atıkların tehlike olmadığını Bakanlığa kanıtlamak,
- Atığın niteliğinin belirlenmesi için yapılan harcamaları karşılamak,

- Ek 8’de yer alan atık beyan formunu her yıl doldurmak, Bakanlığa göndermek ve Bakanlığın vereceği atık tanımlama kodunu kullanmak,
- Atık yönetimi ile ilgili faaliyette bulunmak için atık tanımlama kodunu almak,
- Atık depolanması veya bertarafının tesis dışında yapılması durumunda Ek 9.A-B’deki bilgileri içeren atık formunu doldurmak ve prosedüre uymak,
- Atık taşımacılığında mevcut uluslararası standartlara uymak,
- Atığı bertaraf tesisinin kabul etmemesi durumunda taşıyıcıyı başka bir tesise göndermek ve bertarafını sağlamak,
- Atıklarını yönetmelikteki esaslara uygun olarak kendi imkanları ile bertaraf etmek,
- Atıklarını fabrika sınırları içinde uygun konteynerlerde geçici olarak depolamaktır.

Yönetmeliğe göre bertaraf eden tarafın yükümlölükleri ise aşığıda sıralanmıştır.

- Yakma tesisini yönetmeliğe uygun olarak teşkil etmek,
- Lisans almak,
- Bakanlığın şartlarına uymak,
- Personel eğitimini yapmak, acil önlem planlarını hazırlamak, atık yönetimi ile ilgili işletme kayıtlarını tutmak ve bu kayıtları 5 yıl süre ile tesiste muhafaza etmek,
- İşletme planını her yıl Bakanlığa sunmak,
- Bertaraf işleminden önce atığın fiziksel ve kimyasal analizini yapmak, -atığın taşınması halinde- atığın taşıma formunda belirtilen atık tanımına uygunluğunu tespit etmek,
- Tesisin risk taşıyan bölümlerinde çalışan personelin güvenliğini sağlamak, 6 ayda bir sağlık kontrollerini yaptırmak ve bu bölümlere girişleri önlemek,
- Acil önlemlerle ilgili eğitimli personel bulundurmak ve acil durumu Bakanlığa bildirmek,
- Tesisin işletilmesi ile ilgili Bakanlığın öngördüğü işleri yapmak,

- Tesisin işletilmesinden vazgeçilmesi halinde tesisin kapatılması için kapatma planı yaparak Bakanlığa bildirmek,
- Tesisin kapatılmasından sonra 37. madde hükümlerini yerine getirmek,
- Dışarıdan atık kabul edilmesi durumunda yine yönetmelikte belirtilen hükümleri yerine getirmektir.

#### **2.4.2. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin Uygulanmasında Karşılaşılan Sorunlar**

- Zararlı atık envanterinin halen mevcut olmamasından kaynaklanan atık tip ve miktarlarının belirlenmesinin güçlüğü
- Çevre Bakanlığına iletilen atık beyan formlarının bilgisayara yüklenmesi ve değerlendirilmesi için gerekli altyapı zorlukları
- Sanayicilerin zararlı atıkları beyan etmeleri cezai uygulamalar ve ilave yükümlülük yaratacağından üreticilerin yanlış ve/veya eksik bildirimlerde bulunma ihtimali
- Yönetmelikte toplama, taşıma ve bertaraf tesisi işletmecilerinden istenen ruhsat vb. belgelerin; henüz katı atık yönetiminde özelleştirme yapılmamış ve tüm işletmelerden belediyeler tarafından yüklenildiği bir sistemde, yönetmeliğin kapasiteleri zaten yetersiz olan belediyelere çok daha fazla yük getirmesi sebebiyle uygulamada vakit kaybetme ve yükümlülükleri yerine getirememe durumu
- Uygun bertaraf tesislerinin henüz mevcut olmaması nedeniyle, belediyelerce depolama tesislerine kabul edilmeyen atıkların gelişigüzel bertarafı sonucunda uygulanacak cezai yaptırımlar nedeni ile mahkemelerdeki dava sayısının artması
- Eğitim eksikliğinden kaynaklanan, çevresel risklerin bilincinde olunmaması nedeniyle zararlı atıklara verilen önem ve yönetmeliklere uyma gayretlerinin uzun zaman alması
- Atıkların uygun bertaraf tesisi olmayan ülkelere ihracı, uluslararası sorunların ortaya çıkması

- Gerekli bertaraf tesislerinin yapılması uzun yıllar süreceğinden, bu süreçte kamuoyunda mevcut hukuki ve idari kurumlara karşı güvensiz bir durum oluşması.

## 2.5. Türkiye’de Mevcut Atıklara İlişkin İstatistiksel Veriler

Türkiye’de ilk defa olarak DİE tarafından 1992 yılında yapılan imalat sanayi atık envanteri çeşitli illerde ziyaret edilen seçilmiş tesislerden elde edilen beyanlar doğrultusunda hazırlanmıştır. 1996 İmalat Sanayi Atık Envanteri araştırması ise, 25 ve daha fazla kişi çalışan imalat sanayi işyerlerinden 2209 işyerine uygulanmış en son araştırmadır. Araştırma kapsamında; diğer çevre istatistikleri yanında Türkiye’de imalat sanayi işyerlerinde, atıksu arıtma tesislerinden yaratılan çamur miktarı, endüstriyel katı atık miktarı ve bertaraf yöntemleri ile ilgili veriler derlenmiştir.

1996 yılına ait envanter çalışma sonuçları halihazırda mevcut en kullanılabilir veri bankasını oluşturmaktadır. Ancak, bu verilerin mutlak değerleri üretilen atık miktarlarını temsil etmemekle birlikte sanayi atıklarının tesislerden hangi yöntemlerle uzaklaştırıldığı konusunda çok açık saptamalar yapmaktadır. Bu nedenle, DİE envanterindeki atık miktarlarının mutlak değerlerini kullanmak yerine atıkların geri kazanma/bertaraf miktarlarının toplamı üzerinden yüzdeleri açısından aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır (DPT, 1997).

Sanayi grubu kullanım ve bertaraf durumuna göre endüstriyel katı atık miktarı, Tablo 2.1’de verilmiştir. Bu tabloya göre 1996 yılında 1908 işyeri 18.01 milyon ton endüstriyel katı atık yaratmıştır. Toplam yaratılan endüstriyel katı atığın, %50.08’i (9.02 milyon ton) özel sektöre ait 1643 işyeri, %49.92’si (8.99 milyon ton) ise devlete ait 265 işyeri tarafından yaratılmıştır. Sözkonusu toplam yaratılan katı atığın (18.01 milyon ton/yıl), %48.68’i (8.77 milyon ton) bertaraf edilirken, %39.41’i (7.10 milyon ton) satılmış ve hibe edilmiş, % 11.90’ı (2.14 milyon ton) ise geri kazanılmış ve yeniden kullanılmıştır.

Sanayi grubu ve bertaraf yöntemine göre katı atık miktarı Tablo 2.2’de verilmiştir. 1996 yılında imalat sanayi sektörü tarafından bertaraf edilen 8.77 milyon ton endüstriyel katı atığın %35.48’i denize, göle ve nehire boşaltılarak, %18.14’ü herhangi bir şekilde fabrika sahasında biriktirilerek, %15.62’i belediye çöplüğüne atılarak, %8.84’ü gelişigüzel atılarak, %8.76’sı dolgu malzemesi olarak, %0.51’i

düzenli depolanarak, %0.002'si yakma tesisinde bertaraf edilmiş ve %12.66'sının ise farklı yöntemler ile bertaraf edildiği tesbit edilmiştir.

Bertaraf durumuna göre endüstriyel katı atık miktarına ait grafik Şekil 2.2'de ve sanayi grubuna göre yaratılan katı atık miktarına ait grafik ise Şekil 2.3'te verilmiştir.

Yaratılan toplam arıtma çamurunun bertaraf yöntemine göre işyeri sayısı ve arıtma çamur miktarı ise Tablo 2.3'te verilmiştir. 476 imalat sanayi işyerinin yarattığı 3.2 milyon ton arıtma çamurunun % 40.69'u araziye boşaltılmakta, %21.99'u belediye çöplüğüne atılmakta %7.02'si depolanmakta, %6.10'u tarımda kullanılmakta, %4.66'sı denize boşaltılmakta ve %19.56'sı ise diğer yöntemlerle bertaraf edilmektedir.

Tablo 2.1. Sanayi Grubu Kullanım ve Bertaraf Durumuna Göre Endüstriyel Katı Atık Miktarı, 1996 (DİE, 2000)

Sanayi grubu	Toplam yaratılan		Geri kazanılan ve yeniden kullanılan		Satılan ve Hibe edilen		Bertaraf edilen	
	İşyeri sayısı	Miktar ('000 ton/yıl)	İşyeri sayısı	Miktar (%)	İşyeri sayısı	Miktar (%)	İşyeri sayısı	Miktar (%)
<b>Türkiye</b>	1908	18011	297	11,90	1182	39,41	994	48,68
Gıda	400	5789	70	20,45	217	51,64	245	27,91
Mensucat	299	774	22	1,25	219	69,18	133	29,56
Orman Ürün	98	305	44	21,17	45	14,82	39	64,01
Kağıt Esaslı	112	188	12	26,66	88	27,40	34	45,94
Kimya	147	1462	23	0,36	98	13,13	82	86,51
Taş/Toprak	268	2725	43	5,77	70	19,87	219	74,36
Metal Esaslı	102	5473	22	11,71	48	29,49	55	58,81
Makina	458	1249	54	2,54	383	86,85	177	10,61
Diğer İmalat	24	46	7	2,04	14	97,50	10	0,45

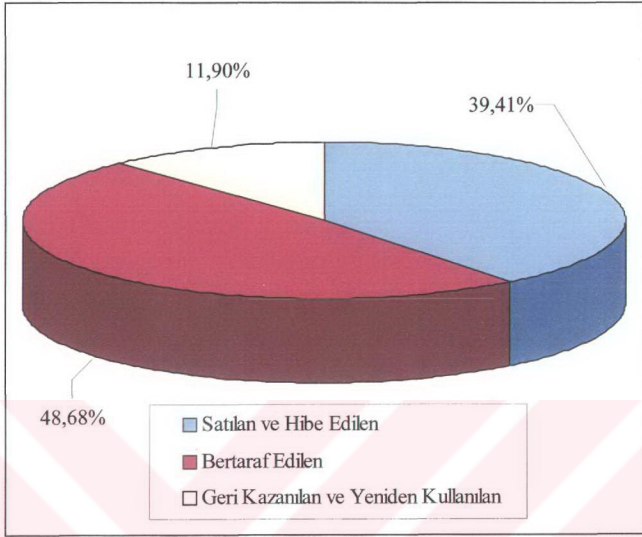
Tablo 2.2. Sanayi Grubu ve Bertaraf Yöntemine Göre Katı Atık Miktarı, 1996 (DİE, 2000)

Sanayi grubu	Bertaraf edilen		Belediye çöplüğüne atılan		Düzenli depolama		Yakma tesisi		Gelişigüzel atma		Fabrika sahasında biriktirme		Denize, göle nehire dökme		Dolgu malzemesi olarak kullanma		Gömme		Diğer	
	İşyeri sayısı	Miktar 1000ton/yl	İşyeri sayısı	Miktar (%)	İşyeri sayısı	Miktar (%)	İşyeri sayısı	Miktar (%)	İşyeri sayısı	Miktar (%)	İşyeri sayısı	Miktar (%)	İşyeri sayısı	Miktar (%)	İşyeri sayısı	Miktar (%)	İşyeri sayısı	Miktar (%)	İşyeri sayısı	Miktar (%)
Türkiye	994	8769	392	15,62	25	0,51	6	0,002	119	8,84	102	18,14	10	35,48	108	8,76	54	3,89	339	8,77
Gıda	245	1616	101	33,09	4	0,09	-	-	45	16,61	20	25,08	5	1,71	36	12,44	7	0,31	92	10,68
Mensucat	133	229	75	69,57	7	0,97	-	-	12	5,47	9	1,15	1	0,39	8	1,50	2	0,12	28	20,82
Orman Ürün	39	195	14	3,16	-	-	-	-	1	0,00	4	0,02	-	-	3	93,74	3	0,47	19	2,61
Kağıt Esaslı	34	86	20	27,91	2	0,08	-	-	4	0,39	4	23,31	1	0,65	1	1,04	2	46,32	4	0,30
Kimya	82	1265	32	0,49	5	3,09	6	0,017	8	0,24	18	65,72	1	0,04	7	23,22	8	6,40	16	0,77
Taş/Toprak	219	2027	46	26,55	1	0,03	-	-	27	22,66	18	4,93	1	12,34	42	2,16	22	10,00	99	21,33
Metal Esaslı	55	3218	20	1,99	-	-	-	-	8	0,64	9	5,65	1	87,99	8	0,98	3	0,13	8	2,63
Makina	177	133	76	27,78	6	0,73	-	-	14	8,50	20	37,29	-	-	3	7,93	7	5,34	71	12,43
Diğer İmalat	10	0,21	8	95,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4,33



Tablo 2.3. Yarattılan Toplam Aritma Çamurunun Bertaraf Yöntemine Göre İşyeri Sayısı ve Aritma Çamur Miktarı, 1996 (DİE, 2000)

	Bertaraf																				
	İşyeri sayısı	Toplam yaratılan aritma çamur miktarı (Ton/yıl)	Tarımda kullanılan		Denize boşaltma		Araziye boşaltma		Belediye çöplüğüne atma		Nehire, dereye ve göle boşaltılan		Yakma		Depolama		Gömülen		Diğer		
İşyeri sayısı			Aritma çamur miktarı (%)	İşyeri sayısı	Aritma çamur miktarı (%)	İşyeri sayısı	Aritma çamur miktarı (%)	İşyeri sayısı	Aritma çamur miktarı (%)	İşyeri sayısı	Aritma çamur miktarı (%)	İşyeri sayısı	Aritma çamur miktarı (%)	İşyeri sayısı	Aritma çamur miktarı (%)	İşyeri sayısı	Aritma çamur miktarı (%)	İşyeri sayısı	Aritma çamur miktarı (%)	İşyeri sayısı	Aritma çamur miktarı (%)
Türkiye	476	3265441	35	6,10	4	4,66	78	40,69	249	21,99	4	0,52	9	3,93	31	7,02	30	1,67	60	13,44	
Gıda	108	2014027	18	9,87	1	7,45	23	37,30	49	22,38	2	0,84	-	-	5	10,64	2	0,00	11	11,53	
Mensucat	76	41906	3	0,58	1	2,43	13	1,13	48	83,13	-	-	-	-	3	0,06	6	8,26	4	4,41	
Orman Ürün	2	16	-	-	-	-	-	-	1	37,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	62,50
Kağıt Esaslı	32	252417	1	0,01	1	0,24	9	12,84	14	48,39	1	0,00	-	-	1	3,92	3	4,69	7	30,15	
Kimya	76	166809	6	0,02	1	0,28	10	6,43	40	6,79	-	-	7	74,12	4	0,24	5	12,01	9	0,12	
Taş/Toprak	48	73839	2	0,04	-	-	4	1,17	20	37,92	-	-	1	6,50	3	5,69	6	14,34	14	34,34	
Metal Esaslı	28	628773	2	0,00	-	-	5	83,27	13	0,33	-	-	-	-	2	0,03	1	0,00	6	16,36	
Makina	99	84852	3	0,03	-	-	12	8,71	62	80,35	1	0,01	-	-	12	0,46	7	10,15	7	0,29	
Diğer İmalat	7	2804	-	-	-	-	2	68,97	2	30,14	-	-	1	0,07	1	0,32	-	-	1	0,46	



Şekil 2.2. Bertaraf Durumuna Göre Endüstriyel Katı Atık Miktarı (DİE, 2000)

## 2.6. Zararlı Atık Yönetimi

Zararlı atıkların kaynağında özelliğine göre ayrılması, toplanması, geçici depolanması, geri kazanılması, taşınması, uzaklaştırılması ve uzaklaştırma işlemleri sonrası kontrolü ve benzeri işlemlerinin tümü “zararlı atık yönetimi” olarak adlandırılmaktadır. Zararlı atıkların yönetiminin amacı, bu atıkların insan sağlığına ve çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama verilmesini, depolanmasını, taşınmasını, uzaklaştırılmasını ve benzeri faaliyetlerde bulunulmasını engellemek, çevreyle uyumlu bir şekilde bertarafını sağlamak ve zararlı atık üretimini kaynağında en aza indirmektir.

Büyük bir zararlı atık yönetim tesisinde arıtma, insinerasyon, arazide uzaklaştırma ve diğer yönetim aşamalarından oluşabilecek bir atık yönetim akım şeması Şekil 2.3’te verilmiştir.

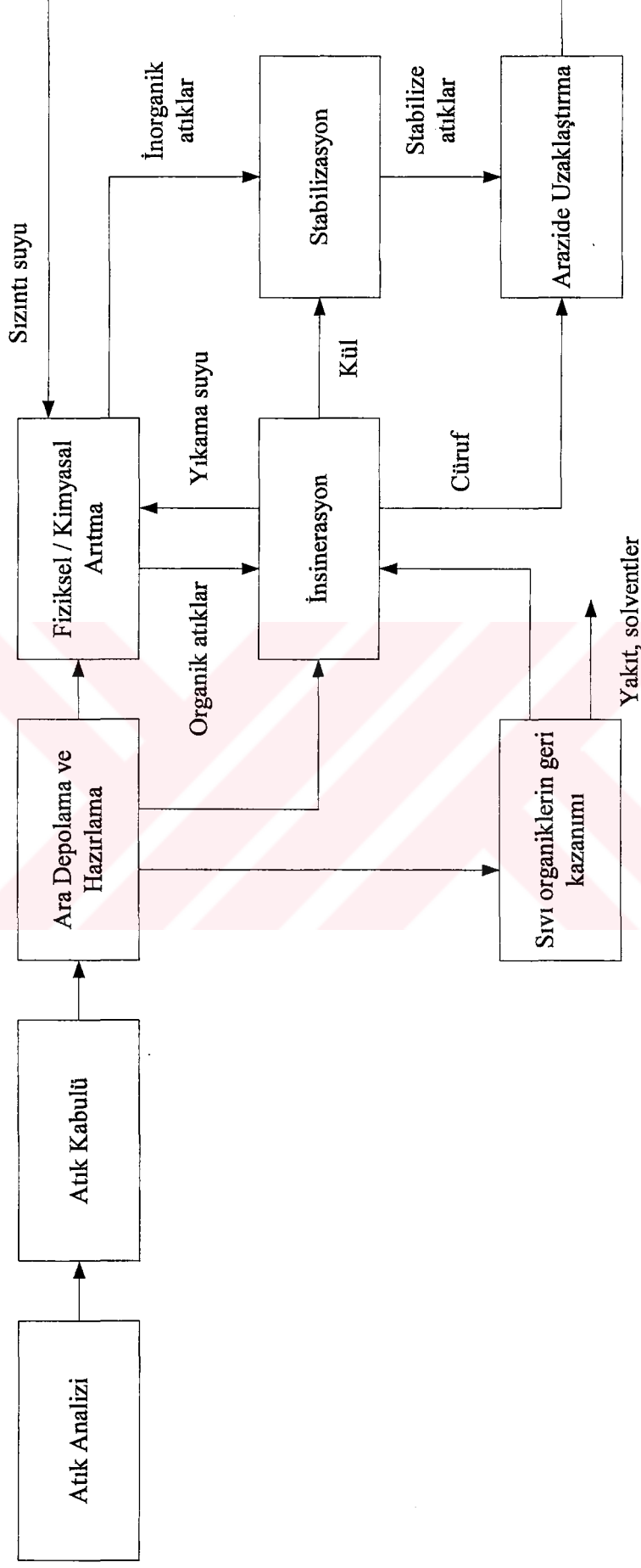
Zararlı atık yönetiminde “beşikten mezara” kontrol ilkesi hükümsüz kalmıştır. Artık “gebelikten mezara” kontrol önem taşımaktadır. İnsan sağlığını ve çevreyi korumak

amacıyla atığın üretildiği noktadan uygun şekillerde uzaklaştırıldığı noktaya kadar dikkate alınıp iyi bir organizasyon sistemi ile yönetilmesi gerekir.

Zararlı atıkların yönetimi, aşağıdaki aşamaları kapsar:

1. Atığın üretim bilgileri
2. Atığın ayrılması
3. Tesis içi ön arıtma ve depolama
4. Toplama
5. Taşıma
6. Arıtma
7. Son uzaklaştırma

Atıkların bütün bu aşamalarda, kontrol edilebilmesi için genel bir düzenleme getirilir. Bu düzenlemeler her aşama için yapılan işlemlerin belirli belgelere işlenmesi ve bu şekilde atığın oluşumundan son uzaklaştırılmasına kadar bütün aşamalarda yapılan işlemlerin ayrıntılarını belirtir (Tünay, 1996).



Şekil 2.3. Zararlı Atık Yönetim Tesisinde Atık Yönetimi Akım Şeması (LaGrega, 1994)

Zararlı atıkların kontrolünde gözönünde bulundurulması gereken faktörler aşağıda sıralanmıştır:

1. Tanımlama
2. Düzenlemeler
3. İzinler (Ruhsatlar)
4. Transit olarak geçirilen atıkların kontrolü
5. Kayıtların saklanması
6. Araştırma.

## **2.7. Arıtma, Depolama ve Uzaklaştırma (TSD) Tesisleri**

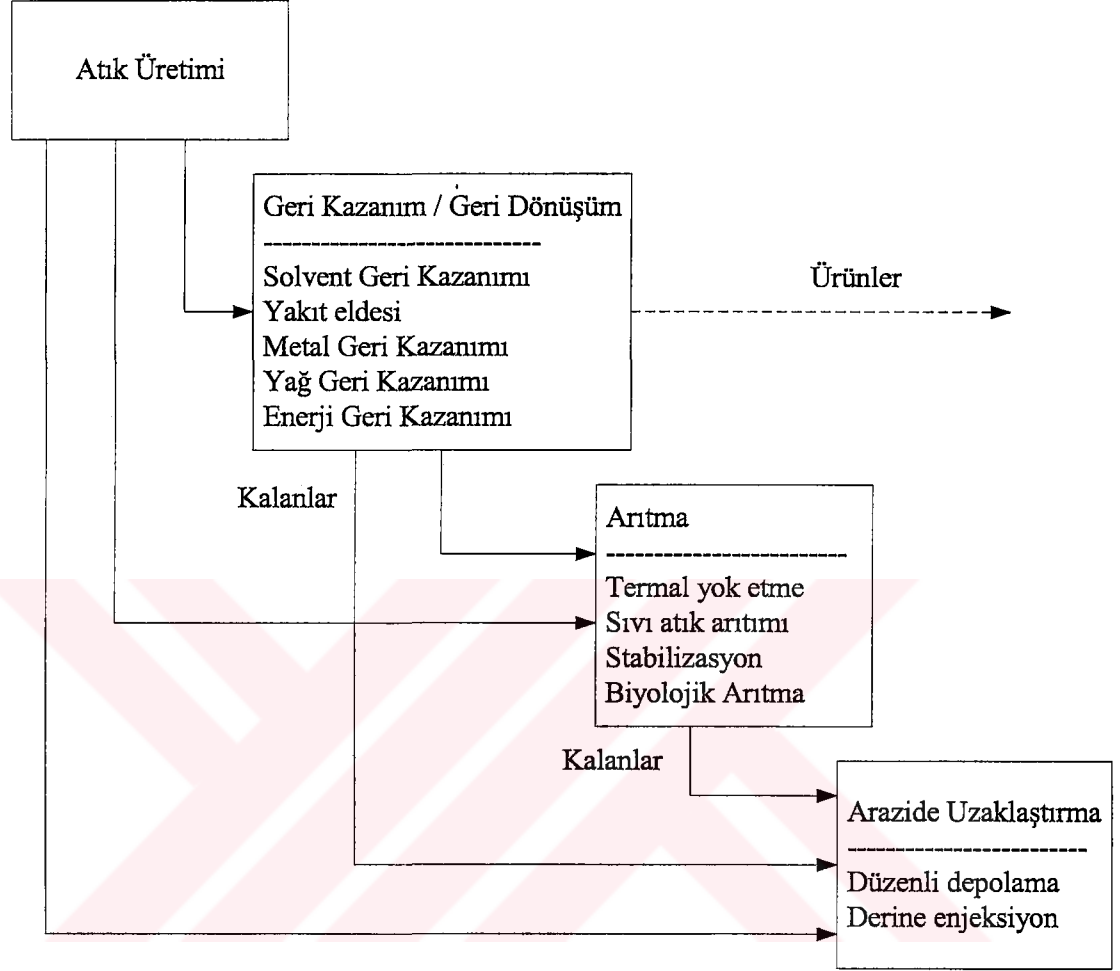
Teknolojik gelişme ve ekonomik kalkınma sonucu çevrenin kirlenmesi, hükümetleri, zararlı atıkların sağlıklı yönetimi için programlar yapmaya yöneltmiştir. Zararlı atıklar, uzaklaştırılması gereken veya uzaklaştırılması tasarlanan maddelerdir. Uzaklaştırma operasyonları ise kaynak geri kazanım, yeniden kullanılabilir hale getirme, ıslah etme, doğrudan geri kullanımlar veya alternatif kullanımlardır.

Zararlı atıkların arıtılması özel yöntemlere ihtiyaç gösterir ve maliyeti yüksektir. Arıtmada kullanılan başlıca yöntemler, atık hacminin azaltılması, atığın zararlı bileşenlerinin sabitleştirilmesi veya bu bileşenlerin yok edilmesidir. Bu amaçları gerçekleştirmek üzere, bütün bilinen fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerden yararlanılmaktadır. Ancak birçok atık türü için uygulanan arıtma yöntemleri, konvansiyonel yöntemler olmayıp, ileri arıtma yöntemleri adı verilen ve çoğunluğu yeni geliştirilmekte olan yöntemlerdir. Zararlı atıkların son uzaklaştırılmaları için yararlanılan başlıca işlemler ise; kontrollü depolama, yakma, derin kuyu uzaklaştırması ve derin deniz uzaklaştırılmasıdır.

Zararlı atığın yönetiminde zararlı atığın ara depolanması, geri kazanımı, geri dönüştürülmesi, arıtılması veya uzaklaştırılması için oluşturulmuş tesislerdeki ana kategoriler Şekil 2.4'te verilmiştir. Bu şekilde ara depolamanın dışındaki diğer tesisler üzerinde durulmuştur.

Şekil 2.4'te verilen geri kazanım ve geri dönüşüm tesislerinde materyaller, solvent, yağ, asit veya metal gibi satılabilir ürünlere veya enerjiye dönüştürülür. Arıtma tesislerinde, atığın fiziksel veya kimyasal özelliklerini değiştirmek veya atık

bileşenlerini parçalamak veya yok etmek için fiziksel, kimyasal, termal veya biyolojik yöntemlerden yararlanır. Arazide uzaklaştırma tesislerinde ise atık toprağın üzerine veya altına yerleştirilir.



Şekil 2.4. Zararlı Atık Geri Kazanım, Arıtma ve Uzaklaştırma Tesisleri (LaGrega, 1994)

Türkiye'de zararlı atıkların uzaklaştırılması için kullanılan yöntemler henüz yönetmeliklerde tanımlanan düzeye ulaşmamıştır. Sanayi kuruluşları atıklarını ya belediye çöplüklerinde veya kendi sahalarında gömerek ya da yakma tesislerinde yakarak uzaklaştırmaktadırlar. Düzenli uzaklaştırma tesislerinin bulunmaması nedeniyle belediye çöplüklerine de gönderilmeyen atıklar endüstri kuruluşları tarafından tesislerindeki özel depolarda ve konteynerlerde geçici olarak depolanmaktadır. Bu uygulamalar endüstri tesislerindeki kullanım alanlarını azaltmakta ve büyük sıkıntılar yaratmaktadır.

Zararlı atıkların uzaklaştırılması konusunda belediyeler dışında organize olmuş kuruluş deneyimleri bilinmemektedir. Atıkları yerel belediyelerce, miktarlarının

çokluğu ya da görünür tehlikeli özellikleri nedeniyle, kabul edilmeyen sanayi tesisleri, atıklarını uygun gördükleri boş arazilerde depolamakta ya da gömmektedirler. Kayıtları bulunmamasına rağmen, büyük sanayi kentlerindeki tesislerin ortak olarak kullandıkları bazı sanayi atıkları döküm sahalarının mevcudiyeti bilinmektedir.

Atık miktarlarının fazla olduğu bilinen rafineri, madencilik, gübre sanayi ve bazı Kamu İktisadi Teşekküllerinin (KİT) ve savunma sanayi tesislerinin sanayi kökenli atıklarını genellikle tesis arazileri içindeki döküm alanlarında, havuzlarında depoladıkları bilinmektedir.

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ve Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliklerine göre zararlı atık sayılan atıklar, bazı tesislerdeki yakma ünitelerinde yakılarak da uzaklaştırılmaktadır. Miktar olarak, diğer uzaklaştırma yöntemlerine göre çok küçük yüzdelerde (% 1 ile 5 arasında) yakarak uzaklaştırma yolu ile ortaya çıkan küller ya belediye çöplüklerine gönderilmekte ya da tesislerdeki açık araziye serilmektedir.

Özellikle son senelerde artan çevre duyarlılığı, toplumun reaksiyonu, yasal denetimler ve özellikle modern tesislerin modernleşen şirket uygulamaları nedeniyle, bazı tesislerin, belediyelerce çöplüklere kabul edilmeyen atıklarını, tesislerde stokladıkları görülmektedir. Sanayicilerin geçici olarak depolandığı belirtilen bu atıkları tesis dışında uzaklaştırabilmeleri için uygun uzaklaştırma tesislerinin yapılması arayışı içinde oldukları belirtilmektedir (DPT, 1997).

### 3. SOLİDİFİKASYON/STABİLİZASYON PROSESLERİ

#### 3.1. Tanımlar

Stabilizasyon,

- Atık ve onun zararlı bileşenlerini bir forma dönüştürerek atığın zararlı yapısını azaltmak,
- Kirleticinin çevreye ulaşma hızını minimize etmek,
- Toksikite seviyesini düşürmek

İçin bağlayıcı ilavelerin kullanıldığı bir prosestir.

Fiksasyon (sabitleme), stabilizasyonla eş anlamlı olarak sıkça kullanılmaktadır. Stabilizasyon bağlayıcıların ilavesiyle

- Atığın işlem görme ve fiziksel karakteristiklerini geliştirir,
- Kirleticilerin transfer veya yük kaybının olabileceği yüzey alanını azaltır,
- Atıktaki kirleticilerin çözünürlüğünü kısıtlar,
- Kirleticilerin toksisitesini azaltır.

Solidifikasyon, katılar dahil, katılaştırıcı materyalin yeterli miktarlarının zararlı maddelere eklendiği katılaşmış bir kütleyle sonuçlanan bir prosestir. Kütleli katılaştırmak araçların ilavesiyle sağlanır. Bu da

- Mukavemeti artırır,
- Sıkışabilirliği azaltır,
- Atığın geçirimsizliğini azaltır.



Stabilize edilmiş bir kütleden kirletici kaybı sızma deneyleriyle belirlenir. Sızma, kirleticilerin stabilize edilmiş bir örnekten su gibi bir sıvı ortama transfer edildiğini gösteren bir prosestir.

Stabilizasyon, kirleticilerin çevreye hareketini kabul edilebilir veya jeolojik olarak yavaş bir hızla azaltan bir atık arıtma prosesi olarak düşünülmelidir (LaGrega, 1994).

EPA teknolojiyi “Stabilizasyon/Solidifikasyon” ya da kısaca S/S olarak isimlendirmiştir.

Stabilizasyon, bir atığın zarar verme potansiyelini, içindeki kirleticileri daha az çözümler, daha az hareketli veya daha az zehirli hale getirerek azaltmaya yönelik tekniklere verilen isimdir. Atığın fiziksel doğasının ve özelliklerinin stabilizasyon ile değişmesi gerekmez.

Solidifikasyon, atığı yüksek yapısal bütünlüğe sahip tek bir parça katı haline dönüştüren tekniklere verilen isimdir.

Enkapsülasyon (kapsüllenme) ya ince atık partiküllerinden ibaret olabilir (Mikroenkapsülasyon) ya da büyük bir blok veya atık konteyneri halinde olabilir (Makroenkapsülasyon). Solidifikasyonda, atıklar ile katılaştırıcı araçlar arasında bir kimyasal etkileşim olması gerekmez; fakat atığı mekanik yollarla monolit (katı blok) haline getirebilir. Kirletici göçü, sızmaya maruz kalan yüzeyin azalması ve/veya atıkların geçirimsiz bir kapsül içinde izole edilmesi yoluyla sınırlandırılabilir.

Kimyasal prosesler, sürecin işlenmesi için kimyasal bir reaksiyonun olmasını gerektiren proseslerdir. Stabilizasyonda bu proses, asit nötralizasyonu (alkali bir ortam oluşturmak için) gibi basit işlemleri içerebileceği gibi kompleks yapıda özel reaksiyonları da içerebilir. Buna ilaveten çoğu kimyasal proses çimento veya puzolanik malzemelerin solidifikasyon reaksiyonlarını da içerir ve bu reaksiyonlar çok karmaşıktır.

Fiziksel prosesler kimyasal reaksiyonları içermezler. Ya yüzeylerdeki veya gözeneklerdeki ögeleri adsorplayarak veya absorplayarak ya da fiziksel olarak zararlı bileşenleri çevreden ayırıp enkapsülasyon yaparak iş görürler (Conner, 1998).

### 3.2. S/S Proseslerinin Amaçları

Stabilizasyon ve solidifikasyon zararlı atıkların yönetiminde yaygın olarak uygulanmıştır. Uygulama alanları:

1. Zararlı atık alanlarının iyileştirilmesi
2. Bazı arıtma proseslerinden gelen kalıntıların arıtımı (ör. Yakma sonucu oluşan küller)
3. Kirletici içeren büyük miktarlarda toprağın olduğu kirlenmiş arazilerin iyileştirilmesi

olarak sayılabilir.

Genel anlamda stabilizasyon, kirleticinin atıktan sızma hızını minimize etmek ve atığın toksisitesini azaltmak için atığın ilavelerle karıştırıldığı bir prosestir. Stabilizasyon, destekleyici medyanın, bağlayıcıların veya diğer değiştiricilerin eklenmesiyle, kirleticilerin tam veya kısmi olarak sabitlendiği bir proses olarak tanımlanabilir. Aynı şekilde solidifikasyon, proses sırasında atığın fiziksel yapısını (mukavemet, sıkışabilirlik ve/veya geçirimsizlik gibi) değiştiren ilavelerin kullanıldığı bir prosestir. Böylece stabilizasyon ve solidifikasyonun amaçları, stabilize materyalin mühendislik özelliklerinde bir gelişme olduğu kadar atık toksisite ve mobilitesinde azalma sağlamaktır.

Stabilizasyon teknolojileri için üç ana uygulama alanından bahsedilmektedir (LaGrega, 1994).

#### 3.2.1. Arazide Uzaklaştırma (Düzenli Depolamadan Önce Atıkların Stabilizasyonu)

Sıvı ve çamur formundaki atıkların arazide uzaklaştırılması, kirletici hareketinin olasılığını artırır ve bu birçok ülkenin bu konudaki düzenlemelerinde yasaklanmıştır. Islak çamurlarla birlikte, sıvı atık, depolamadan önce stabilize edilmelidir. Sıvıları etkili olarak stabilize etmek için stabilizasyon araçları talaş gibi absorplayıcı olmamalıdır. Bu maddelerle absorplanan sıvılardaki kirleticiler, ilave yüklerle bastırılan depolama alanında kolayca sızabilirler. Daha fazla materyal

depolandığında üst kaplama materyalinin ağırlığı, alt kaplama materyali dışındaki sıvıları sıkıştırır. Bu yüzden sıvılar stabilizasyon araçları tarafından kimyasal ve fiziksel olarak sınırlandırılmalıdır. Böylece aşağıya doğru süzülmesiyle sızmalar veya oturma gerilmeleriyle dışarı atılmazlar. USEPA düzenlemelerinde bazı organik atıklar için tercih edilen yakma (insinerasyon) arıtma yöntemi yerine arazide uzaklaştırma sınırlamalarında alternatif teknolojilerin kanıtlanması için hükümler vardır ve bu S/S teknolojisi olarak gösterilmektedir.

### **3.2.2. Kirlenmiş Zeminlerin İyileştirilmesi**

Organik, inorganik kirletici içeren atıklar ve/veya bunlarla kirlenmiş toprakların olduğu kirlenmiş zeminlerin iyileştirilmesi, stabilizasyon teknolojisi kullanılarak yapılabilir. Bu amaçla stabilizasyon,

1. Atıkların işlem görme ve fiziksel özelliklerini geliştirmek,
2. Kirleticilerin transferinin olabileceği yüzey alanını azaltarak ve kirleticilerin çözünürlüğünü kısıtlayarak kirletici hareket hızını azaltmak ve
3. Bazı kirleticilerin toksisitesini azaltmak

için kullanılmaktadır.

Düşük seviyelerde kirletilmiş büyük miktarlarda topraklar içeren araziler için stabilizasyon özellikle uygundur. Birçok olayda düşük seviyeli kirleticilerin kirlettiği toprakları kazmak, taşımak ve depolamak veya yakmak ne maliyet açısından uygun ne de çevresel olarak güvenilir olmayabilir. Çünkü;

1. Kazma ekipmanları, kamyonlar ve gömülü kirlenmiş toprakların ortaya çıkması organiklerin uçuculuğunu artırarak ilave hava kirliliğine neden olur.
2. Trafik kazalarının sonucunda riskler artar.

### **3.2.3. Endüstriyel Atıkların Solidifikasyonu (Çamurlar Gibi Zararlı Olmayan, Kararsız Atıkların Solidifikasyonu)**

Solidifikasyon mühendislik özelliklerini (mukavemet ve sıkışabilirlik gibi), geliştirir ve kirleticilerin çevreye yayılmasını engelleyebilir. Zararlı olmayan bazı atık

materyallerinin yapısal olarak kararsız, estetik olarak uygunsuz olduğu durumlarda solidifikasyonun başlıca amacı, materyalin yapısal bütünlüğünün sağlanmasıdır. Böyle solidifikasyon projeleri için solidifikasyon prosesinin etkinliği, materyalin mukavemetinin ölçülmesiyle değerlendirilebilir. Yağlı çamurların, çimento ocağı tozu ilavesiyle stabilize edilmesi bu duruma örnek olarak gösterilebilir.

### **3.3. S/S Prosesinin Mekanizmaları**

S/S bağlayıcılarının etkinliğini kontrol eden temel fiziksel ve kimyasal mekanizmaları anlamak, bir zararlı atık yönetim teknolojisi olarak S/S'in doğru uygulanması için şarttır. Yeni bağlayıcıların geliştirilmesi veya mevcut bağlayıcıların değiştirilmesi ve yeni ve farklı atıklara uyarlanması gibi, temel S/S mekanizmaları, başarı ve başarısızlık potansiyelini değerlendirmek için gözönünde bulundurulmalıdır. Başarılı bir stabilizasyonda aşağıdaki mekanizmalardan bir veya daha fazlası yer alır:

- Makroenkapsülasyon
- Mikroenkapsülasyon
- Absorpsiyon
- Adsorpsiyon
- Çökelme
- Detoksifikasyon.

#### **3.3.1. Makroenkapsülasyon**

Makroenkapsülasyon, stabilize edici materyallerin içindeki süreksiz (kesikli) boşluklarda zararlı atık bileşenlerinin tutulduğu daha büyük bir yapısal matris içinde fiziksel olarak hapsedildiği mekanizmadır. Stabilize olmuş kütle, çevresel baskıların yüklenmesi nedeniyle zamanla bozulabilir. Bu baskılar arasında ıslanma, kuruma veya donma, erimenin tekrarlanan döngüleri, sızan sıvıların ortama girişi ve fiziksel

yüklenmeler sayılabilir. Böylece eğer yapısal bütünlük sürdürülmezse sadece Makroenkapsülasyon ile stabilize olan kirleticiler, çevreye tekrar ulaşabilirler.

Laboratuarda hazırlanan numuneler genellikle, arazidekilerle karşılaştırıldığında daha iyi karıştırılır. Bu da laboratuarda arazidekinden daha fazla makroenkapsülasyon olduğu sonucunu verir. Laboratuarda fazla sayıda partikül kapsülendir. Arazide ise daha az sayıda fakat daha büyük partiküller kapsülendir. Bu nedenle daha uygulanabilir olması açısından laboratuvar çalışmaları, arazide karıştırma koşullarına göre yürütülmelidir (LaGrega, 1994).

### **3.3.2. Mikroenkapsülasyon**

Mikroenkapsülasyonda zararlı atık bileşenleri, mikroskopik seviyede katılaştırılmış matrisin kristalli yapısı içinde hapsedilirler. Sonuç olarak, stabilize olmuş materyaller nispeten küçük partikül boyutlarına parçalansalar bile çoğu stabilize olmuş zararlı atık hapsedilmiş olarak kalır. Atık, kimyasal olarak değişmediği veya sınırlanmadığı için stabilize olmuş kütleden kirletici salıverilme hızları, partikül boyutu azalırken artabilir ve daha fazla yüzey alanı ortaya çıkar.

Makroenkapsülasyon için laboratuarda hazırlanan numuneler arazi karışımıyla karşılaştırıldığında birim kütle için yüksek bir enerjiyle iyice karıştırıldığı için laboratuarda arazide olduğundan daha büyük Mikroenkapsülasyon derecesi olduğu sonucunu verir ve bu sonuç solidifikasyonu kullanmak veya kullanmamak için karar vermede gözönünde bulundurulmalıdır (LaGrega, 1994).

### **3.3.3. Absorpsiyon**

Absorpsiyon, bir süngerin suyu çektiği gibi kirleticilerin sorbentin (sorplayanın) içine alındığı prosestir. Stabilizasyonda uygulandığı gibi absorpsiyon, atıktaki serbest sıvıları emmek ve absorplamak için katı materyalin (sorbentin) eklenmesini gerektirir. Atık işlem görme özelliklerini geliştirmek için serbest sıvının giderilmesi için proses uygulanır. Bu, atığı solidifiye etmek içindir.

Böylece absorpsiyonun kullanımı, işlem görme özelliklerini geliştirmek için sadece geçici bir ölçü olarak gözönünde bulundurulmalıdır.

En yaygın kullanılan absorbentler toprak, uçucu kül, çimento ocağı tozu, kireç ocağı tozu, bentonit, kaolinit, vermikülit ve zeolit gibi kil mineralleri, talaş, samandır (LaGrega, 1994).

### 3.3.4. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, kirleticilerin, karışım içinde, stabilize eden araçlara elektrokimyasal olarak bağlandığı bir prosestir. Kimyasal olarak stabilize olmuş matris içinde adsorplanan (sabitlenen) kirleticilerin çevreye salıverilmesi, sabitleştirilmemişlerden daha az olasıdır. Mikroenkapsülasyon ve makroenkapsülasyonun tersine, basit partikül bozulmasının kirletici hareket hızını artırabildiği yerde adsorplama yüzeylerinden materyalin desorplanması için ilave fizikokimyasal stres gereklidir. Sonuç olarak arıtma daha sürekli düşünülmelidir.

Uzun zincirli organik katyonlarla kil yüzeylerinde adsorplanan değiştirilebilir inorganik katyonların yer değiştirerek, killeri organofiliğe çevirdiği killeri organik atıkların stabilizasyonunda kullanılabilir. Organofilik killerin organik moleküllere eğilimi vardır. Değiştirilmemiş doğal killeri genellikle organofildir. Organik atık molekülleri kile adsorplanır ve eğer bu moleküller çevreye hareket etmek için salıveriliyorsa adsorpsiyon dayanıklılığı aşılmalıdır (LaGrega, 1994).

### 3.3.5. Çökeltme

Bazı stabilizasyon prosesleri, atık içindeki bileşenleri daha kararlı bir forma dönüştürmek için kirleticilerin çöktürülmesini içerir. Hidroksitler, sülfürler, silikatlar, karbonatlar ve fosfatlar halindeki çöktürmeler, materyal yapısının bir parçası olarak stabilize kütle içinde tutulur. Bu olay, metal hidroksit çamurları gibi inorganik atıkların stabilizasyonuna uygulanabilir. Örneğin metal karbonatları, metal hidroksitlerden daha az çözünebilir. Yüksek pH'da bir metal hidroksit çamurundan bir metal karbonat oluşturmak için reaksiyon aşağıdaki gibidir:



Me, bir metalik katyonu sembolize eder.

Bir metalik karbonat olarak bir metalin fiksasyonunun sürekliliği diğer koşullar yanında pH'a bağlıdır. Bu örnekte metalik karbonat düşük pH dışında oldukça stabildir. Kuvvetli asidik koşullarda metal tekrar çözünebilir ve sonra çevreye bir çözünen olarak hareket etmek için serbest kalabilir. Böylece stabilizasyonun etkinliğinin değerlendirilmesi için şimdiki ve gelecekteki çevresel koşulları açıklamak gerekir (LaGrega, 1994).

### 3.3.6. Detoksifikasyon

Stabilizasyon prosesi sırasında yer alan bazı kimyasal reaksiyonlar, atığın toksisitesini gidermekle sonuçlanabilir. Detoksifikasyon, bir kimyasal bileşeni, daha az toksik veya toksik olmayan başka bir bileşene (veya aynı bileşenin başka formuna) dönüştüren mekanizmadır.

Bunun örneği çimento bazlı stabilizasyon sırasında kromun +6 değerlikli durumundan +3 değerlikli duruma indirgenmesidir. 3 değerlikli krom, 6 değerlikli kromdan daha düşük çözünürlüğe ve toksisiteye sahiptir. Birkaç fiksasyon sistemi, değerliğini düşürerek kromu detoksifiye etmek için kullanılabilir: demir (II) sülfat ve demir (III) sülfat ile sodyum sülfat karışımı etkin bulunmuştur. İndirgenmiş kromun sızması, orijinal 6 değerlikli kromun sızmasından daha az tehlikelidir (LaGrega, 1994).

### 3.4. S/S Proseslerinin Türleri

Birçok farklı S/S prosesleri vardır ve bunlar şu şekilde gruplanabilir:

Kimyasal prosesler

- Çimento bazlı
- Puzolan bazlı
- Kireç bazlı
- Fosfat bazlı
- Güçlü bağlayıcıların ilave edildiği

➤ Çeşitli

Fiziksel prosesler

- Makroenkapsülasyon/konteynerleşme
- Kimyasal olmayan mikroenkapsülasyon
- Vitrifikasyon

Termal prosesler

- Termoplastik polimer enkapsülasyon
- Vitrifikasyon (Conner, 1998).

Bunların içinde altı kimyasal proses, hemen hemen günümüze kadar gelen tüm arıtma çabalarına ve patentli ürünlere göre yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar portland çimentosu, çimento/uçucu kül, çimento/çözülebilir silikat, kireç/uçucu kül, ocak tozu ve fosfat gibi bağlayıcıların olduğu proseslerdir. Buna ilaveten güçlü bağlayıcıların ilave edildiği prosesler, özellikle düşük seviyeli organiklerin stabilizasyonunda kullanılmaya başlanmıştır. Buna rağmen deneysel verilerle en uygun prosesin seçimi S/S prosesinin özellikleri nedeniyle;

1. İki farklı atık için yönetim/uzaklaştırma senaryosu hiçbir zaman tamamen birbirinin aynı olmayabilir. Atık arıtımında standartlar çok hızlı değişmektedir. Dahası kullanılan deney yöntemleri bile bir senaryodan diğerine değişiklik gösterebilir ve her ülkenin yöntemleri ve kuralları farklıdır.

2. S/S araçlarının atığa ilave ederken fazlasının daha iyi olabileceği beklenemez. Örneğin bir sistemin metalleri immobilize etme yeteneği genellikle o sistemin çevresindeki pH'nın bir fonksiyonudur. Çoğu metal hidroksitler (bu sistemlerde en çok bulunan metal türleri), alkali bölgede bazı pH seviyelerinde minimum çözünürlük gösterirler. Bulunduğu pH noktasından her iki yöne hareket etmesiyle çözünürlük artar. Bu nedenle çoğu S/S bağlayıcısı yüksek derecede alkali olup pH'ı çok etkiler; fazla eklemek, az eklemek kadar kötü olabilir.



3. Atıkların arıtılabilirlik deney yöntemlerinin ve uzaklaştırma senaryolarının değişkenliği nedeniyle tek bir formülasyon veya prosesin tüm S/S gereksinimlerini karşılayamayacağı aşıkardır. Buna rağmen üreticiler tüm stabilizasyon problemlerini çözmeyi iddia eden ürün ve yöntemler sunmaktadır.

4. Maliyet etkinliği çok önemlidir. Stabilizasyon çoğu kesimde popülerdir. Çünkü diğer teknolojilerin çoğu ile karşılaştırıldığında ucuzdur. Ayrıca rekabet gücü de oldukça yüksektir. Bir ıslah alanındaki stabilizasyon operasyonunun fiyatı genellikle 1 ton atık başına 40-100 \$ arasında değişmektedir. Bu fiyat kazı ve depolama gibi diğer maliyetleri içermez. Bu toplam içinde %40-50'si kullanılan araçların maliyetidir. Açıkta ki bu durum kullanılabilir araç türü ve miktarı üzerinde önemli sınırlamalar koymaktadır (Conner, 1998).

Çoğu ticari inorganik S/S sistemi, Portland çimentosu teknolojisinde (beton yapımında kullanılan) çalışılanlara benzer reaksiyonlarla katılırlar. Uçucu kül ve ocak tozu kullanan proseslerin Puzolanik reaksiyonları Portland çimentosundakilerle aynı olmasa da birbirlerine çok benzemektedirler. S/S prosesleri birçok faktöre bağlı olarak çok çeşitli güç ve dayanıklılık geliştirirler: atık türü, su içeriği, araç türü, araç karışım oranı, kür zamanı ve sıcaklık. Çoğu proseste araç karışım oranlarını değiştirilerek sonuçtaki güç ve dayanıklılık değerleri ayarlanabilir. Diğerleri sadece dar bir fiziksel özellikler bölgesini üretmek için tasarlanmıştır. S/S ürünleri yumuşak, toprak benzeri malzemelerden, beton benzeri monolitlere kadar değişik türde olabilir. Uzaklaştırma operasyonlarında kolay ufalanabilir, sıkıştırılabilir bir malzeme genellikle tercih edilir. Düşük permeabilite, sızdırma yönünden tercih edilse de nemli havalarda uzaklaştırma operasyonunu zorlaştırabilir (Conner, 1998).

Farklı S/S proseslerin karşılaştırılmasında kullanılan en önemli kimyasal özellik, sızdırabilme özelliğidir ve bu konu daha önce yaygın bir şekilde çalışılmıştır. Ayrıca tüm bu prosesler hem laboratuarda hem de tam ölçekli ticari uygulamalarda birçok gerçek atık üzerinde uygulanmışlardır. Çeşitli sızdırma deneyleri ve diğer kimyasal ve fiziksel deney yöntemleri kullanılmıştır. Ancak tüm sızdırma metodolojileri ile standartlaşmış ve tüm atıkları kapsayan tek bir proses söz konusu değildir. Bir atığın sızdırabilirliğini saptayan birçok yöntem mevcuttur. Bununla beraber ABD'de yönetmeliklerle istenen ve birçok amaç için kullanılabilen yöntem Toksisite Özelliği için Sızma Prosedürü'dür (TCLP). İkinci en çok kullanılan sızma testi ise

Ekstraksiyon İşlemi ile Toksikite Deneyi'dir (EPTox). Avrupa'da ise çamur ve sedimentleri simgeleyen S grubu Alman Standart yöntemlerinden DIN 38 414 S4 testi kullanılmaktadır.

### 3.4.1. Çimento Bazlı Prosesler

#### Sadece Portland Çimentosu

Portland çimentosu, S/S sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan içerik olmuştur. "Portland çimentosu" ve "çimento" kelimeleri ile (aksi belirtilmedikçe) aynı şey kastedilmektedir. Diğer çimento türleri (örneğin alümina çimentosu ve sorrel çimentosu) maliyetleri nedeniyle S/S teknolojilerinde (nükleer atık alanı hariç) pek kullanılmamaktadır. S/S teknolojilerinde Portland çimentosu proseslerinin bu kadar önemli olmasının ve inorganik S/S sistemlerindeki reaksiyonların çalışılmasında bu kadar yararlı olmasının spesifik nedenleri şunlardır:

- Kompozisyonu bir kaynaktan diğerine daha fazla uyumludur. Bu durum, S/S proseslerinin çalışılmasında birçok değişkenin elimine edilmesini sağlar.
- Portland çimentosunun reaksiyonları hakkında, metallerin tutulması, sıkıştırılması ve son zamanlarda sabitlenmesi hakkındaki bilgiler yeterli seviyededir.
- Nükleer atık alanında, çimento bazlı atık formlarının sızmasından gelen çevresel etkilerin modellenmesi ile ilgili olumlu veriler bulunmaktadır(Conner, 1998).

Çimento matrislerindeki materyallerin immobilizasyonu formülasyonlarına bağlı olarak farklılık gösterir. Uçucu kül, cüruf gibi katkı maddelerinin kullanılması ekonomik ve teknik avantajlar sağlar. Glasser (1997), yaptığı çalışmada çimento solidifikasyonu ve stabilizasyonunun temel esaslarını incelemiştir. Uzaklaştırma alanlarında çimento matrisinin gelecekteki performansının araştırılmasının gerekli olduğunu vurgulamıştır.

Portland çimentosu prosesi ile, hidrate silikat ve aluminat bileşenlerini oluşturmak için, atık içindeki su, Portland çimentosu ile kimyasal reaksiyona girer. Her ne kadar, ıslak atıklarda görülen katı türleri düşük güçte beton üretebilse de, atık içindeki katılar, bir beton oluşturmak için toplayıcı vazifesi görür (Conner, 1998).

Hills ve diğeri (1996) yaptıkları bir çalışmada, solidifiye edilmiş atık formlarının özellikleri üzerinde çimento kimyasının etkilerini içeren geniş araştırma sonuçlarını vermişlerdir. Buna göre farklı oranlarda C<sub>2</sub>S ve C<sub>3</sub>S içeren Portland çimentolarıyla solidifiye edilen atık formları farklı özellik gösterirler. Yüksek C<sub>3</sub>S içerikli çimentolar daha yüksek dayanımlı olurlar. Ayrıca C<sub>3</sub>S içeriği arttıkça atık numunelerindeki metal sızma konsantrasyonları azalmaktadır.

Ubbriaco ve Calabrese (1998), rölatif hidrasyon proseslerini incelemek için puzolanik çimento macunu ve evsel katı atık uçucu külü ile puzolanik çimento karışımı üzerinde DTA/TG analiz ve XRD incelemeleri yapmışlardır. Uçucu kül-çimento macunundaki hidrasyon reaksiyonlarının geliştirilmesi materyallerin belirli basınç dayanımlarına sahip olmalarını sağlamıştır. Ayrıca sızma testleri de ağır metallerin fiksasyonun başarılı olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak evsel katı atıkların uçucu külünün puzolanik çimento ile S/S arıtımı uygun bulunmuştur.

Metal hidroksit çamurları, yapılarına ve miktarlarına bağlı olarak çimentonun hidrasyonunu etkilemektedirler. Diet ve diğeri (1998) yaptıkları bir çalışmada, su (%65-95 w/w) ve çökmüş ağır metal hidroksitlerinden (Fe, Zn, Cr, Ni, Cu, Cd, Al) oluşan ağır metal hidroksit çamurunun S/S'i sırasında Normal Portland çimentosunun davranışını incelemişlerdir. Krom ve/veya çinko hidroksit çamurlarını farklı oranlarda portland çimentosu ile karıştırarak, çimento hidrasyon prosesi üzerine atığın sebep olduğu makroskopik ve mikroskopik etkileri değerlendirmişlerdir.

Çimentonun kimyası, hidrasyonu ve çimento bazlı, puzolan bazlı S/S'in mekanizmaları katı-sıvı sınırındaki arayüzey kimyası ile kontrol edilmektedir. S/S proseslerinde yüzey yükleri önemlidir. Arayüzeyin adsorpsiyonda rolü vardır ve kalsiyum ve diğeri anyon ve katyon tipleri önemlidir (Yousuf ve diğeri, 1995).

Optimum formülasyonlar, atık ve Portland çimentosunun muhtemel etkileşim kombinasyonları nedeniyle, her bir atığı ayrı ayrı hesaba katmalıdır. Seçilen Portland çimentosu türü ve katkı maddeleri; atık türü ve onun kompozisyonu ile farklılık gösterecektir. Portland çimentosu, çalışabilir olmak için minimum seviyede su gerektirir; bu minimum su-çimento oranı atığın kendisine bağlıdır, çünkü bazı katılar büyük miktarlarda su bağlayabilirler. Çok fazla miktarda su ilavesi, solidifiye olan

ürünün yüzeyinde kendi başına duran bir su tabakası ile, güçte bir azalma ile ve atık bileşenleri ve çimento arasındaki etkileşimden çıkan sonuç ürünün sızdırmasında artış ile sonuçlanabilir. Böyle bir etkileşim çimento matrisinin sertleşmesinin bir etkisidir. Sertleşmenin hızlandırılması çimentonun proses ekipmanlarında sertleşmesi ile sonuçlanabilir. Diğer yandan, örneğin bazı metal tuzları Portland çimentosunun sertleşmesini geciktirir; eğer yeterli miktarlar eklenirse, kurulum çimento hiç sertleşmeyecek derecede geciktirilebilir. Atık içinde Portland çimentosunun sertleşme ya da iyileştirme reaksiyonlarını ortadan kaldıracabilecek diğer maddeler; organik bileşenler, alüvyon, kömür ve linyit, bazı inorganik tuzlar ve metal bileşenleri içerir. Alüvyon ve kil gibi maddelerde bulunanlar gibi çok ince parçacıklar çimento hamuru ile partikül kaplama işleminden gelen partiküller arasındaki sınırı zayıflatabilirler. Manganez, çinko, kalay, bakır ve kurşun tuzları gücü azaltmada aktiftirler ve sodyum fosfat, sodyum iyodat, sodyum sülfür ve sodyum borat gibi diğer tuzlar ise potansiyel geciktiricilerdir. Bazı durumlarda, Portland çimentosuna yapılan kireç ilavesinin, geciktirme eylemini giderdiği ve uygun bir sertleşmenin oluşumuna izin verdiği bulunmuştur. Sodyum silikat aynı amaç için kullanılmaktadır (Conner, 1998).

Roy ve diğerleri (1992) yaptıkları bir çalışmada, sentetik elektrokaplama çamurunu normal Portland çimentosu ile solidifiye/stabilize etmişler ve elektron mikroskopu, optik mikroskop, enerji dağılımlı X-ışını mikroanalizi ve X-ışını difraktometresi yardımıyla mikro yapısını ve mikro kimyasını incelemişlerdir. Çimento ve çamur numunelerinin, çimento numunelerinden farklı morfolojik yapıya sahip oldukları ve stabilizasyonun temel mekanizmasının mikroskobik ölçekteki fiziksel enkapsülasyon olduğu gözlenmiştir.

Bhatty ve West (1996), farklı tipte çimentolar kullanarak, ağır metallerin, çimento karışımlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Genellikle metalleri iyi fikse eden sert karışımlar elde edilmiştir.

Harcanmış aşındırıcıları (kurşun bazlı boya için kullanılan) S/S teknolojisini kullanarak çimento harçları içinde artırarak yapı malzemesi olarak geri kazanmak ucuz ve pratik bir çözüm olarak görülmüştür (Salt ve diğerleri, 1996).

Endüstriyel atıkların çimento bazlı solidifikasyonu için Normal Portland çimentosunun hidratasyonu ve diğer hidrolik bağlayıcı sistemler uygun gibi gözükse de bu her zaman için söz konusu değildir. Gerçek atıkların ilave edildiği sistemlerde solidifiye edilerek geliştirilen mekanik, mikro yapısal ve kalorimetrik özelliklerin atığın yapısına önemli ölçüde bağlı olduğu görülmüştür. Atık-bağlayıcı etkileşimleri, solidifiye edilen atığın kısa ve uzun dönem mekanik, mikro yapısal ve bağlanma özelliklerini etkilemektedir (Hills ve Pollard, 1997).

Hamilton ve Bowers (1997), çimento bazlı solidifikasyon/stabilizasyon sırasında civanın uçuculuğunu incelemiştir. Civa içeren atıkların solidifikasyon/stabilizasyonunun başlangıç fazındaki akut emisyonlar üzerine yoğunlaşmışlardır. Zaman ve sıcaklığa bağlı olarak buhar konsantrasyonları artmıştır. Civa içeren atıkların arıtımında ve uzaklaştırılmasında civanın türü uçuculuk özelliğinden dolayı dikkate alınmalıdır.

Lombardi ve diğerleri (1998), yaptıkları bir çalışmada, hastane katı atıklarının insinerasyon tesisinden kaynaklanan uçucu külü, çimentolu matrislerde solidifiye/stabilize etmişler ve solidifiye ürünlerin mekanik özelliklerini ve sızma davranışlarını incelemiştir. Portland çimentosu ile S/S proseslerinin uçucu külün arıtılmasında etkin olduğu sonucuna varmışlardır.

Andaç ve Glasser (1998), Dutch tankı sızabilirlik testini kullanarak normal Portland çimentosu ile stabilize edilmiş evsel katı atık insineratörü uçucu külündeki ana elementlerin sızma davranışını incelemiştir. Ayrıca test koşullarını değiştirerek etkilerini incelemiştir.

Mangialardi ve diğerleri (1999), çimentolu matrislerde evsel katı atık uçucu külünün S/S prosesini incelemiştir. Çimentolu karışımların içindeki kül içeriğini maksimize edebilmek için, uçucu külün suyla yıkayıp ön arıtılması uygun bulunmuştur.

Zararlı bir atık olan bakır cürufu çimento bazlı solidifikasyon/stabilizasyon prosesi ile güvenli bir şekilde uzaklaştırılabilmiştir. Normal Portland çimentosu kullanılarak hazırlanan sıva örneklerinde bakır, nikel, kurşun ve çinko iyonlarının TCLP sızabilirlikleri yönetmelik limitlerinin altında çıkmıştır. Basınç dayanımı ve hidrasyon testleri de prosesin güvenilirliğini kanıtlamıştır (Zain ve diğerleri, 2003).

Kullanım sonrası boş kapların içerdiği inorganik fraksiyonun arazide güvenli uzaklaştırılabilmesi için çimento bazlı solidifikasyon/stabilizasyon sisteminin etkinliği araştırılmıştır. İnşaat mühendisliği standartlarında beton bloklar hazırlanmış, siyanür ve florürün mobilitesinin azaldığı görülmüştür. Hammaddenin bir parçası olarak SPL inorganik fraksiyonunun kullanıldığı beton bloklarının üretilebileceği sonucuna varılmıştır (Silveira ve diğerleri, 2003).

Gerçek endüstriyel atıkların Portland çimentosu ile solidifiye stabilize edildiği literatür çalışmalarından alınan verilerle atık karışımlarının bir fonksiyonu olarak basınç dayanım modelleri yapmak için sinir ağı analizleri kullanılmıştır. Sinir ağı modelleme yaklaşımının uygulanabilir olduğu ancak daha iyi modeller için laboratuvarla ilgili değişkenler ve atık kompozisyonları hakkında daha fazla veriye gerek olduğu sonucuna varılmıştır (Stegemann ve Buenfeld, 2003).

#### **Çimento/Çözülebilir Silikat**

Portland çimentosu/çözülebilir silikat sistemi, kontrollü bir şekilde katı bir matris üretmek için, çözülebilir silikatlar ile Portland çimentosu arasındaki reaksiyonlara dayanmaktadır (Conner, 1998).

Gerçek atıklarda, metaller ya çözülebilir hidroksit olarak ya da diğer katı fazlı bileşenler olarak çoktan belirlenmiş olabilirler ve düşük çözünürlüklü metal “silikat” ları oluşturmak için, çözülebilir silikat ile reaksiyona girmeyebilirler. Çözülebilir silikatın (jelleşme/solidifikasyon reaksiyonlarından başka) ana fonksiyonu sızdırmayı azaltmaktır (Conner, 1998).

1981’de A.B.D. Suyolları Deneme İstasyonu Mühendisleri, çimento/çözülebilir silikat ile arıtılmış atıkların 7–8 yıl önce boşaltıldığı dört uzaklaştırma bölgesinin çevresinde ve altında bulunan toprak ve toprak sularını değerlendirdi. Toprak ve toprak suyunun S/S arıtmasına veya onun ürünlerine bağlı olarak kötülemediğini buldular. Bu sistem ile, rafineri atıkları ve diğer yağlı çamurları da içeren birçok ticari projeler de yapıldı (Conner, 1998).

Bir çalışmada, kromun, Tip I Portland çimentosu ve trikalsiyum silikat ( $C_3S$ ) ile solidifikasyon/stabilizasyonunu kanıtlanmıştır (Lin ve diğerleri, 1997).

Rossetti ve diğerkleri (2002), bir çalışmalarında sulu çözeltili içindeki metalik elementlerin solidifikasyon/stabilizasyon sistemini optimize etmek için deneyler yapmışlardır. Üç farklı matris kullanmışlardır. Birincisi sadece Portland çimentosu, ikincisi Portland çimentosu ve yapıştırıcı katkısı, üçüncüsü Portland çimentosu, silika tozu ve yapıştırıcıdır. En iyi sonucu silika tozlu matriste elde etmişlerdir.

### 3.4.2. Puzolan Bazlı Prosesler

#### Çimento / Uçucu kül

Portland çimentosu ve uçucu kül yıllarca uçucu kül betonunda kullanıldı ve bu kullanım etrafında geniş bir teknoloji alanı büyüdü. Uçucu kül betonlara birçok faydalı özellik verir ve bazı S/S işlerinde ekonomi sağlar, çünkü normal olarak kullanılan Portland çimentosunun %25 ila %35'inin yerini alır. Bir Portland çimentosu/uçucu kül prosesinde uçucu kül hem esas bağlayıcı (bulking agent) hem de Puzolan olarak görev alır (Conner, 1998).

Cote, çimento/uçucu kül sistemleri üzerinde geniş çalışmalar yaptı. ANS 16.1 kullandığı deney çalışmalarının birinde, Cote, çimento/ uçucu kül prosesinde, bazı metallerde sızan toplam miktarın diğerk proseslerden daha düşük olduğunu buldu. Çimento/uçucu kül prosesinin en büyük dezavantajı, başka yöntemlerde kullanılan çimentonun yerine kullanılan büyük miktarda uçucu kül ilavesi ile ilgili hacim artışıdır. Ağırlık olarak, uçucu kül:çimento oranı tipik olarak ikiye dördttür. Bu oranla birlikte, toplam ağırlık %50 ila 150 artarken, buna karşılık hacim artışı %25 ila 75 arasında gerçekleşir. Artışın önemli olmadığı durumda (örneğin bazı ıslah eylem projelerinde), çimento/uçucu kül optimum seçenek olabilir (Conner, 1998).

Cheeseman ve diğerkleri (1996), çimento ve uçucu kül ile arıtma tesisi filtre kekinin solidifiye edilmesinde çimentolu katkıların ilavesinin etkilerini belirlemek için deneyler yapmışlardır. Ağır metallerin sızmasını azaltan mekanizmaları belirlemeye çalışmışlardır.

Filibeli ve diğerkleri (2000), yaptıkları bir çalışmada deri atıksu arıtma tesisi çamurlarındaki kromun solidifikasyonu için normal Portland çimentosu, uçucu kül, ince kum ve mermer atığı kullanmışlardır.

Atıkların S/S'inde dayanımı artırmak, metallerin immobilizasyonunu sağlamak için uçucu kül atık materyali çimentoya katkı maddesi olarak kullanılmıştır (Jang ve Kim, 2000).

İtalya'daki dört farklı evsel katı atık insinerasyon tesisinden alınan uçucu küller ile Portland çimentosu karışımlarının özelliklerini araştırılmıştır. Bu araştırma sırasında fiziksel/mekanik özellikleri, asit nötralizasyon davranışları dikkate alınmış ve insinerasyonların gaz arıtma teknolojilerinin S/S prosesini etkilediği gözlemlenmiştir. Uçucu kül/çimento oranlarını artırabilmek için bazı uçucu küllerin kimyasal kompozisyonlarının çeşitli ilavelerle değiştirilmesi gerektiği görülmüştür (Poletini ve diğerleri, 2001).

### **Kireç/Uçucu kül**

Kireci ve uçucu külü su ile birleştirme sonucu çimento benzeri bir malzeme ortaya çıkar. Oluşan reaksiyon ürünü başlangıçta kristal olmayan bir jeldir, fakat sonuçta sönmüş Portland çimentosunun içinde bulunan bir bileşen olan kalsiyum silikat hidrat halini alır. Bununla beraber, genel olarak, bu reaksiyonlar çimentonunkinde daha yavaşlar ve kimyasal ve fiziksel özellikleri açısından tam olarak aynı ürünleri üretmezler (Conner, 1998).

Kireç bazlı ve kireç/uçucu kül prosesleri yağlı atıkların ve organik seviyeleri %20 ya da daha fazla olan diğer suda çözilemeyen organik malzemelerin solidifikasyonlarında faydalıdır. Diğer yandan, kireç prosesleri genel olarak metallerin sızdırabilmesinin azaltılmasında çimento bazlı sistemler kadar etkili olamamaktadırlar. Bunun bir sebebi, genellikle kireç bazlı sistemler sonucu ortaya çıkan çok yüksek pH değeridir. Diğer bir sebep, bu puzolanik proseslerin, kurşun ve krom gibi metalleri silica matrisi haline çimento kadar verimli bir şekilde getirememeleridir. Bununla beraber, diğer tüm S/S proseslerindeki gibi, her bir atık ve uzaklaştırma senaryosu ayrı ayrı değerlendirilmelidir ve kireç/uçucu kül prosesi de çoğu vakada kabul edilebilir sızma sonuçları sunabilir (Conner, 1998).

### **Ocak Tozu**

Kireç ocağı tozu ve çimento ocağı tozu, ıslah solidifikasyon projelerinde kullanılmaktadır. Ayrıca merkezi zararlı atık yönetim tesislerinde de (TSDFler)



yaygın olarak, genellikle absorbant veya esas araç işlevlerinde ve kireç ocağı tozu olarak da asidik atıkların nötralizasyon edici araçları olarak kullanılmaktadırlar (Conner, 1998).

Hem kireç hem de çimento ocağı tozları, puzolanik reaksiyonlara bağlı olarak, sert, makul seviyede güçlü katılar üretebilirler ve zaman içinde sertleşmeye devam ederler. Ocak tozu ve uçucu kül solidifikasyon teknikleri sık sık parçalanabilir ve hatta granül ürünler ile sonuçlanır ki bunlar, operasyonel olarak depolama alanında, genellikle istenen bir durumdur. Ayrıca ocak tozları genellikle hemen “solidifikasyon” isteyen ve depolama alanına yerleştirilmeden önce serbest sıvılar deneyi gerektiren operasyonel senaryolarda kullanılırlar. Bu atığın “aşırı doza ulaşması” ile sonuçlanır ki, bu durumda serbest kalan tüm su derhal kullanılır, ürün daha fazla sertleşmez ve araç içinde tepkimeye girmeyen bileşenler nedeniyle, oldukça kolay ufalanabilir hale gelir (Conner, 1998).

Bir çalışmada ağır metal içeren zararlı atıkların solidifikasyon ve stabilizasyonunu araştırmak için portland çimentosu, klinker ocak tozu ile modifiye edilmiş portland çimentosu ve klinker ocak tozu ve hızlı katılaşmayı sağlayan bir madde ile modifiye edilmiş portland çimentosu kullanılmıştır. Klinker ocak tozu ve hızlı katılaşmayı sağlayan bir madde ile modifiye edilmiş portland çimentosunun en etkin bağlayıcı olduğu görülmüştür (Park, 2000).

### **3.4.3. Kireç Bazlı Prosesler**

Kireç, asidik atık sularının nötralizasyonunda ve metallerin deşarjından önce çöktürülebilmeleri için kullanılmıştır. Bununla beraber, çamur şartlandırma tankında filtrasyon aşamasından önce veya filtrasyondan sonra filtre kekine kireç ilave edilebilir. Merkezi atık arıtma tesislerinde diğer katkı maddeleri ile birlikte, kireç aynı zamanda hem stabilizasyon ve hem de nötralizasyon aracı olarak kullanılır. Kireç, lağım çamurunun stabilizasyonunda özellikle koku kontrolü ve patojen azaltmada yaygın olarak kullanılır (Conner, 1998).

Dutre ve Vandecasteele (1995, 1996), arsenik içeren endüstriyel atıkların S/S prosesi ile uzaklaştırılması konusunda çalışmışlardır. Arsenik içeren endüstriyel atığa kireç ilave edilmesi ile sızıntıdaki arsenik konsantrasyonlarında azalma sağlanmıştır.

Bir bakır rafine tesisinden kaynaklanan ve büyük miktarlarda  $As_2O_3$  içeren uçucu kül atık materyali çimento ve kireç kullanılarak solidifiye edilmiştir. Solidifikasyondan önce atığın oksidasyonu yapıldığında arseniğin sızmasınının 10 kat daha azaldığı görülmüştür (Vandecasteele ve diğerleri, 2002).

Yakın geçmişte, kireç yalnız başına yüksek yağ veya katran içeren atıkların S/S'inde kullanılmıştır (Anderson, 1994).

#### **3.4.4. Fosfat Bazlı Prosesler**

Fosfatlar ortaya çıkan reaksiyon ürünlerinin düşük çözünürlüğü nedeniyle, atıksuların arıtılmasında stabilizasyon katkı maddesi olarak kullanılmışlardır. Fosfat bazlı prosesler yakın geçmişe kadar stabilizasyon için pek kullanılmamıştır. Çoğu S/S prosesinden farklı olarak, çözülebilir fosfat tek başına atıkları katı, sert kütleler haline dönüştürmez (Anderson, 1994). Bu nedenle, bunlar esas olarak kirlenmiş topraklar ve insinerator külleri gibi arıtılan atığın partikül doğasını koruduğu partikül malzemeleri için kullanılmışlardır. Bununla beraber eğer istenirse, çimento benzeri malzemeler arıtılan atığın fiziksel özelliklerini iyileştirmek için ilave edilebilir ki bu durumda prosesin genellikle fosfat katkı maddeli, çimento veya puzolan bazlı bir proses olduğu düşünülür. Fosfat proseslerinin en önemli avantajları düşük hacim artışı, düşük maliyet, ve uygulama kolaylığıdır (Conner, 1998).

#### **3.4.5. Çeşitli Prosesler**

Yukarıdaki gruplamalara girmeyen birtakım prosesler S/S için ticari olarak sunulmuş ve kullanılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

#### **Alçıtaşı Bazlı Prosesler**

Bu türdeki tek ticari proses kalsiyum sülfat yarıhidrat,  $CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$  (alçı) artı bir de polimerin kullanıldığı prosestir. Bu proses nükleer atık alanında çok az kullanılmıştır ve bu alanın dışında da fazla bir yer tutmamıştır.

## **Cüruf Prosesler**

Alçıtaşı gibi, yüksek fırın cürufu ticari anlamda çimento veya Puzolan bazlı proseslere bir katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Bununla beraber, en azından bir örnekte kendi başına S/S bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Bu proses patentli bir şekilde atık jeneratörlerinde ve endüstrilerinde kullanılır.

Cürufun diğer ilginç bir kullanımı da, hareketli ve yüksek oksidasyon durumundaki belli bazı metallerin indirgenmesi içindir. Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı, Portland çimentosu ve uçucu külün çeşitli kombinasyonlarındaki cüruf karışımlarını teknetium ve nitrat içeren radyoaktif atıkların stabilizasyonu için denedi (Conner, 1998).

## **Emülsifiye Asfalt**

Proses petrol ile kirlenmiş toprakların arıtılmasında başarılı olarak kullanılmıştır ve diğer atık akımlarında kullanımı için de laboratuvarlarda deney yapılmıştır (Conner, 1998).

## **Sorpsiyon ve Yüzey Aktif Madde Bazlı Prosesler**

Bu prosesler esas olarak su bazlı atıkların içindeki zararlı organik bileşenlerin stabilizasyonu veya immobilizasyonu için geliştirilmiştir.

Bu teknolojiye faydalı olduğu bilinen sorbentler aktif karbon, organo killer ve lastik partikülüdür. Diğerleri pirinç kabuğu külü ve doğal minerallerdir. Sorbent prosesler ticari olarak ıslah projelerinde ve TSDF'lerde kullanılmıştır (Conner, 1998).

Bir çalışmada geleneksel çimento bazlı solidifikasyonu uygulamadan önce, kirlenmiş topraklardaki organiklerin (fenol, 2-klorofenol ve 2,4-diklorofenol) stabilizasyonu için kuaterner amonyum-modifiye killerin (organofilik killer) kullanılabilirliği araştırılmıştır. Solidifikasyondan önce adsorbent olarak organofilik killerin kullanılması, fenolle kirlenmiş toprakların arıtımında S/S prosesinin verimli olmasını sağlamıştır (Irene ve Lo, 1996).

Asbest içeren fren astarlama atık tozlarının S/S prosesiyle uzaklaştırılmasının incelendiği bir çalışmada sadece Portland çimentosu ve aktif karbonla birlikte

Portland çimentosu kullanılmıştır. Solidifiye edilmiş örneklerdeki TCLP ve ANS 16.1 sonuçlarında çimentoya aktif karbon ilave edildiğinde ağır metal sızmalarının azaldığı görülmüştür. Ayrıca basınç dayanımları artmıştır (Chan ve diğ., 2000).

Coz ve diğ. (2004), bağlayıcı olarak Portland çimentosu ve kireci kullanarak dökümhane çamurununu stabilize/solidifiye etmişler, sızma davranışını incelemiştir. Katkı maddesi olarak dökümhane kumu, aktif karbon, siyah karbon kullanmışlardır. Karşılaştırma yapabilmek için bir bilgisayar modeli de kullanmışlardır. Asit ortamdaki atığın davranışı atığın çinko ve demir gibi inorganik bileşenlerinden etkilenmektedir. Organik bileşenler de atığın redoks potansiyelini etkilemektedir. Portland çimentosunun bağlayıcı, aktif karbon ve siyah karbonun katkı maddesi olarak kullanıldığı S/S formülasyonları en iyi sonucu vermiştir.

Çimento ve kil kullanılarak radyoaktif atıkların immobilizasyonunda kaolin miktarı arttıkça radyoaktif çekirdeklerin sızmasının azaldığı saptanmıştır. Ancak kil ilavesi fazla arttığında dayanımda düşme olmuştur. Bu süreçte sıvı atıklar önce kimyasal yöntemlerle çöktürülmüş sonra varillerde solidifiye edilmiştir (Osmanlıoğlu, 2002).

Çimento matrisi içinde 2-koloroanilin gibi zararlı bir sıvı organik kirleticinin immobilizasyonu için pre-sorbent olarak organokiller kullanılmış ve umut vermiştir (Botta ve diğ., 2004).

Yüzey aktif madde proseslerine ilişkin bilgiler ise daha azdır. Çoğu durumda, yüzey aktif maddeler çimento benzeri bağlayıcı sistemlerinde kullanılan katkı maddeleri olarak düşünülebilirler. Yüzey aktif maddelerin, kirlenmiş toprakların arıtılmasında kullanıldığı muhtemeldir (Conner, 1998).

#### **3.4.6. Katkı Maddeleri**

S/S proseslerinde birçok katkı maddesi metal stabilizasyonunda, organik bileşenlerin immobilizasyonunda, antiinhibitör olarak kullanılırlar.

Hem kısa hem de uzun kür zamanlarından sonraki TCLP sızma verileri, çimento bazlı bir S/S sisteminde farklı demir tuzlarının Cr sızabilirliğini azaltmada etkili olduğunu göstermiştir (Zhang ve diğ., 1997).

Kurşun nitratin S/S prosesi ile ekonomik ve etkili bir biçimde arıtımı üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çimentoya şeker kamışı ilave edilerek kurşunun S/S'i etkin bir şekilde geliştirilmiştir (Janusa ve diğ., 1998).

Organik kirleticiler içeren inorganik atıkların çimento bazlı solidifikasyon/stabilizasyonundaki zorluklar nedeniyle organik bileşenleri adsorbe eden ve puzolanik bağlayıcı olan silika tozu ve Na-bentonit kullanılmıştır. Zararlı atıklardaki organik kirleticileri adsorbe eden silika dumanı tozu ile Na-bentonit ve çimento matrisi arasındaki etkileşimlerin mikroyapısal olarak incelenmesinden sonra çimento matrisi içindeki silika tozu ve/veya NA-bentonitin, organik maddelerin çimento hidrasyon reaksiyonundaki zararlı etkilerini minimize ettiği görülmüştür (Jun ve diğerleri, 1997).

### **3.4.7. Termal ve Fiziksel Prosesler**

Bu gruba giren S/S prosesleri, nükleer atık alanının dışında hiçbir zaman ticari başarı elde edilmemiştir. Bu alanda bile, bugüne kadar kullanılan S/S'lerin çoğu çimento bazlı sistemleri kullanmıştır. Nükleer olmayan uygulamalarda yeterli kabulün olmayışının ana nedeni maliyet , özellikle de işleme maliyeti olmuştur. Buna ilaveten, bu sistemlerin kullanımı uygulamada oldukça karmaşık olmaktadır. Bunlar iki alt grupta sınıflanabilir: (1) atığı işlemek için ısının kullanıldığı termal prosesler, (2) atık ile kimyasal olarak etkileşime girmeyen ve ısı gerektirmeyen fiziksel prosesler.

#### **Termal Prosesler**

##### **1. Vitrifikasyon**

Vitrifikasyon, atıkları cam ve/veya kristal malzemelere dönüştüren termal arıtma proseslerinin bir sınıfıdır. Vitrifikasyon proseslerinin çoğu 1200 °C'de ya da üzerinde işlem görür. Bu sıcaklıklarda, bütün organik malzemeler ve belli bazı inorganikler (siyanür, nitrat, vb.) tamamen yok edilir. Organikler eriyik içinde kendi aralarında etkileşime girince veya oksijen ile etkileşince gazları (karbon dioksit, su buharı, hidrojen klorür, sülfür, azot oksit) oluşturur.

Vitrifikasyon, metaller için çok düşük sızdırması olan, çok stabil ve güçlü bir ürün ile sonuçlanır ve sonsuza kadar sürmesi beklenir. Buna ilaveten, ne kadar ilave cam şekillendirici eklenmesi gerektiğine bağlı olarak, genellikle artılan atığın hacminde bir azalma olur. Tipik hacim azalmaları %10 ila 30 arasındadır, fakat bu bazı atık akımlarında %80'lere ulaşabilir. Vitrifikasyonda ana tüketilebilir maliyet elemanı elektriktir (ya da yakıt ile çalışan birimlerde yakıttır). Fakat en büyük genel maliyet kalemi, atık gaz arıtmasını da içeren sermaye maliyetinin amortismanıdır. Tahminler zararlı atık vitrifikasyonu için ton başına 700 dolardan, karışık radyoaktif atık için yd<sup>3</sup> başına 1200 dolara kadar değişmektedir. Her ne kadar, diğerleri ton başına 200 dolar civarında düşük vitrifikasyon maliyetleri tahmin etseler de, bu tahminler genellikle kuru yakma külü gibi çok spesifik durumlar için geçerlidir (Conner, 1998).

Bhat ve diğerleri (2002), Beril maden cevherinden berilyumun ekstraksiyonu prosesinden kaynaklanan katı atıktaki (kırmızı çamur) berilyumun immobilizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Çimento ile fiksasyondan ve vitrifikasyondan sonra berilyum sızmalarının azaldığını; her iki yöntemin de berilyum içeren atıklar için uygun bir uzaklaştırma şekli olabileceğini göstermişlerdir.

## **2. Termoplastik Polimer Prosesler**

Prensip olarak, herhangi bir termoplastik polimer, organik veya inorganik, S/S amaçları için kullanılabilir. Termoplastik polimerler normal olarak karşılıklı bağlı olmayan, dallanmış veya lineer polimer zincirleri içerir. Bu onların ısıtıldıklarında akabilir bir duruma geçmesine veya soğutulduğunda katılaşmasına izin veren bir yapıdır. Uygulamada, sadece bunların üç tanesi laboratuvar ve pilot çalışmalarda araştırılmıştır. Bunlar da poliolefin, asfalt, sülfür çimentosudur (Conner, 1998).

Daha önce organik bir zararlı atık olan ve içme sularında varlığına çok düşük seviyelerde izin verilen fenolün solidifiye/stabilize edilmesinde termoseting (ısıyla oluşturulmuş) polyester polimer kullanılmıştır Polyester polimerin, fenolün çabuk solidifiye/stabilize olmasında etkili olduğu ve solidifiye atığın yapı uygulamalarında kullanılabilme potansiyeline sahip olduğu gözlemlenmiştir (Vipulanandan ve Khrishnan, 1990).

## **Termal Olmayan Enkapsülasyon**

Termoplastik proseslerde olduğu gibi, termal olmayan enkapsülasyon da atığın ortamdan fiziksel olarak ayrılması ile sonuçlanır. Burada, bu işlem termal olmayan ve kimyasal olmayan yöntemlerle yapılır.

### **1. Organik Polimer Mikroenkapsülasyon Prosesleri**

Bu teknoloji polimerin içinde yayılan suyun yerine, kapsülleyen polimerin formasyonunu içerir. Atığın kendisi ile olan reaksiyonlar açısından, her ne kadar, polimer formasyonu kimyasal bir proses olsa da, bu bir kimyasal S/S yöntemi olarak sınıflandırılmaz.

İncelenmiş ve bir dereceye kadar uygulanmış olan iki sistem şunlardır: (1) üre-formaldehit (UF), varilleme operasyonlarında radyoaktif atıkların solidifikasyonu için çok yaygın olarak kullanılır ve (2) diğer organik polimerizasyon prosesleri, genellikle polyester ya da vinil ester reçinelerini kullanır. Potansiyel olarak, organik polimerler sıvı atık solidifikasyonunda geniş uygulanabilirliğe sahiptir. Çünkü farklı gereksinimleri karşılayabilmek amacıyla, hemen hemen sonsuz çeşitte kompozisyon ile formüle edilebilirler. Bunlar aynı zamanda çoğu inorganik sisteme göre büyük bir de avantaja sahiptirler: bir kere iyileştirildiklerinde çok daha yüksek derecede geçirimsizlik gösterirler ve polimerin güçlülük ve elastiklik özellikleri nedeniyle monolitik formda kalma eğilimindedirler. Termoplastik sistemler gibi, bu ürünlerin çoğu, iyileştirmeden sonra hidrofobiktir ve küçük bir partikül boyutuna parçalanmış olsa bile, sızmaya karşı dirençli olma eğilimindedir. Bu nedenle, yüksek derecede zehirli metalleri ve organik bileşenleri tutmada iyidirler (Conner, 1998).

### **2. Makroenkapsülasyon / Konteynerleştirme**

Atıkların bir konteyner içinde kapsüllemesi için çeşitli prosesler denenmiştir, fakat bunlar önemli bir ölçekte ticarileştirilmemiştir. Bir sistem atığın bir polibütadien bağlayıcı ağırlığının %3 ila 4'ünün çimentolanmasından ve sonra çimentolanan atığın ¼ inç kalınlığında polietilen bir konteyner içinde kapsüllemesinden oluşmaktadır. Başka bir sistem, kaplaması tamamen eridikten sonra, atığı termoplastik bir konteyner içine yerleştirmektedir. Üçüncü bir yöntem, solidifikasyon ile birleşmiş sürekli bir kapsülleme prosesidir ve esas olarak uçucu

bileşenlere sahip ve koku doğuran atıklar ile kullanılmak üzere düşünülmüştür. Artılmış fakat henüz sertleşmemiş atık bir polietilen ya da esnek kalıp içerisine doğru itilir ve solidifiye olurken ortamdan izole edilir (Conner, 1998).

### **3.5. S/S Etkinliğinin Değerlendirilmesi İçin Deneysel Yöntemler ve İzleme**

Stabilizasyonun etkinliğinin değerlendirilmesi için stabilize edilmiş materyalin fiziksel, kimyasal ve mühendislik özelliklerinin ölçülmesi gerekir. Ölçülen özellik ölçüm tekniğine bağlıdır. Aynı özellik için farklı deneyler, özelliğin farklı ölçülmesine neden olabilir.

Stabilizasyonun etkinliğini değerlendirmek için birçok laboratuvar deneyinden yararlanılır. Hiçbir deney bütün atıklar ve bütün uygulamalar için ideal değildir. Herbiri belli bir stabilizasyon tekniğinin ve özel bir atığa yapılacak ilavenin etkinliğini ölçmek içindir (LaGrega, 1994).

Farklı uzaklaştırma senaryoları altında, çimento ile solidifiye/stabilize edilmiş atıkları değerlendiren, fiziksel ve sızma özelliklerini açıklayan bir yönetim aracı geliştirmek için bir protokol 1991 yılında Kanada'da önerilmiştir (Stegemann ve Cote, 1996).

Uygun deneylerin seçimi ve deney sonuçlarının yorumu stabilizasyon programının amaçlarına bağlıdır. Örneğin stabilizasyonda kullanılan araçların tip ve miktarının seçimi arazi ıslah programı için özel amaçlara bağlıdır. Yeraltı suyundan hesaplanan risk, stabilizasyon alternatifinden günlük olarak sızması tahmin edilen arseniğin miktarının bir fonksiyonu olabilir. Bu durumda seçilen deneyler sızabilecek arseniğin miktarını tahmin etmelidir (LaGrega, 1994).

#### **3.5.1. Ekstraksiyon ve Sızma Deneyleri**

Çoğu durumda kirleticilerin çevreye yayıldığı hızdaki bir azalma, bir zararlı atık yönetim tekniği olarak stabilizasyon ve solidifikasyonun seçiminde en önemli nedendir. Bu durum sızma deneyleriyle tespit edilebilir.

Sızma deneyleri aşağıda verilmiştir.



- Boya Filtre Deneyi (Paint Filter Test)
- Sıvı Salma Deneyi (Liquids Release Test)
- Ekstraksiyon İşlemi ile Toksikite Deneyi (EPTox) (Extraction Procedure Toxicity Characteristics)
- Toksikite Karakteristik Sızma Prosedürü (TCLP) (Toxicity Characteristic Leaching Procedure)
- Modifiye Üniform Sızma Prosedürü (ANS 16.1) (Modified Uniform Leach Procedure)
- Maksimum Olası Konsantrasyon Deneyi (Maximum Possible Concentration Test)
- Denge Sızma Deneyi (Equilibrium Leach Test)
- Dinamik Sızma Deneyi (Dynamic Leach Test)
- Ardışık Sızma Deneyi (Ardışık Kimyasal Ekstraksiyon) (Sequential Leach Test) (Sequential Chemical Extraction)
- Çoklu Ekstraksiyon Prosedürü (Multiple Extraction Procedure)
- DIN 38 414 S4 Deneyi

Kirleticilerin sızdığı sıvı, kirlendikten sonra sızıntı suyu adını alır. Ekstraksiyon ve sızma terimleri birbirlerinin yerine geçebilir ve kirleticilerin katı veya stabilize örnekten sıvıya transfer olduğu prosesi tanımlar. Sonuç olarak stabilize bir materyalin sızma kabiliyetine sızabilirlik denir.

Sızabilirlik, hem stabilize materyalin hem de sızdığı sıvının fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Sızabilirliği etkileyen ana faktörler, stabilize ürünün alkalitesi, atığın yüzey hacim oranı ve difüzyon için yol uzunluğunun bir ölçümü olan eğri büğrülüktür (tortuosity). Sızma deney yöntemlerinin seçimi ve değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken sızma mekanizmaları ve sızıntı suyunda kirletici konsantrasyonlarını etkileyen deney değişkenleri şunlardır.

- Sıvı/atık oranı (sıvı/atık oranı ne kadar büyükse stabilize kütleden sızan kirleticinin miktarı o kadar büyüktür)
- Atığın yüzey alanı (örneğin stabilize kütleyi küçük partiküllere ufalama)
- Sızma sıvısının tipi (örneğin distile su, asetik asit, sentetik asit yağmuru)
- Sıvının pH'ı
- Temas süresi
- Ajitasyon miktarı
- Ekstraksiyon kabı
- Sıcaklık (LaGrega, 1994).

Normal Portland çimentosu ve uçucu kül kullanılarak  $As^{III}$  ve  $As^V$ 'in sızabilirliği 4 yılı aşkın bir sürede araştırılmış ve uzun dönem etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak spesifik S/S bağlayıcı ve atık kombinasyonlarını tanımlamak için uzun dönem denemeleri önemlidir ve uzun kür dönemlerinden sonraki sızabilirlik değişimlerinin belirlenmesi gerekir (Akhter ve diğerleri, 1997).

Barna ve diğerleri (1997), uzun dönem sızma davranışlarını tahmin etmek için hidrolik bağlayıcılarla solidifiye edilmiş atıklardaki kirleticileri karakterize etmişlerdir.

### **Boya Filtre Deneyi**

Boya filtre deneyi, ambalajsız ve konteynerlenmiş zararlı atıklarda serbest sıvıların varlığını veya yokluğunu değerlendirir. Deneyde atıklar, standart bir boya filtresine yerleştirilir. Eğer sıvı 5 dakika içinde ağırlığıyla filtreden geçerse, zararlı atığın serbest sıvılar içerdiği ve depolamadan önce arıtılması gerektiği düşünülür. Eğer stabilizasyon prosesi, zararlı atıktan serbest sıvıları elimine etmeden etkili olduysa, stabilizasyondan sonra da bu deney kullanılabilir.

Bu deneyde kirleticilerin sızacağı sıvı, sisteme ilave edilmediği için boya filtre deneyi bir sızma deneyi olarak düşünülmesi de deney yine de bir sızıntı suyu

oluşturabilir. Boya filtre deneyi, zararlı atığın stabilizasyonu için minimum teknoloji ihtiyaçlarına yol ačan sonuçları verir. Deney, bir düzenli depolama alanında uzaklaştırmadan önce materyallerdeki serbest sıvıların varlığını değerlendirmek için uygundur (LaGrega, 1994).

### **Sıvı Salma Deneyi**

Sıvı salma deneyi, sıvı atıkların solidifikasyonu sonrası depolama tasarımı yapılmışsa kullanılır. Sıvı atıkları solidifiye etmek için talaş gibi sorbentlerin kullanımını engellemek için geliştirilmiştir. Bu deneyde, bir solidifiye kütleden sızıntı suyun nasıl kolayca çıkabileceğini test etmek için bir konsolidasyon deneyi uygulanmaktadır (LaGrega, 1994).

### **Ekstraksiyon İşlemi ile Toksisite Deneyi (EPTox)**

Bu yöntem genellikle katı atıklardan sıvı bir ekstrakt üretmek için kullanılır. Belli bir atığın ekstraktı (özü) önceden tanımlanan standartlardaki 8 metal ve 6 pestisit konsantrasyonları ile karşılaştırılarak atık EP toksik olarak değerlendirilir. Bu deneyde solidifiye monolitik blok 9.5 mm'lik bir elekten geçecek şekilde ezilir. 0.04 M asetik asit (pH=5) sızma çözeltilisi, 16:1 sıvı katı oranında kullanılır. Ekstraksiyon, ajitasyonla 24 saatlik bir periyodun üzerinde olur. Sıvı ekstrakt Tablo 3.1'de gösterildiği gibi spesifik kimyasal bileşenler için analiz edilir. Stabilize bir kütle için ekstraksiyon sıvısı (leachant) deiyonize su ve asetik asitin bir karışımıdır. Bu yüzden belirtilen pH'a ulaşılmaktadır. Filtrelenmiş ekstraktın kimyasal analizi, belirtilen organik ve inorganik bileşenlerin konsantrasyonunu belirlemek için yapılır (LaGrega, 1994; SW-846, 2002).

Tablo 3.1. EP Toksikite Karakteristikleri, Kirletici Konsantrasyon Standartları (LaGrega, 1994)

EPA Zararlı Atık Numarası	Kirletici	Standart (mg/lt)
D004	Arsenik	5.0
D005	Baryum	100.0
D006	Kadmiyum	1.0
D007	Krom	5.0
D008	Kurşun	5.0
D009	Civa	0.2
D010	Selenyum	1.0
D011	Gümüş	5.0
D012	Endrin	0.02
D0130	Lindan	0.4
D014	Metoksiklor	10.0
D015	Toksafen	0.5
D016	2,4-D	10.0
D017	2,4,5-TP Silveks	1.0

Eğer pH değiştirilirse kimyasal konsantrasyonlar değişecektir. Benzer şekilde eğer sıvıların katılara oranı değiştirilirse kimyasal konsantrasyonlar değişecektir. Deney prosedürü, uçucu organik kirleticilerin 24 saatlik ekstraksiyon periyodu sırasında atmosfere salıverilmesine göre düşünülmüştür. Sonuç olarak bu tip bir deney, belirgin bir uçucu organik bileşenli atıkları değerlendirmeye çok uygun değildir (LaGrega, 1994).

#### **Toksikite Karakteristik Sızma Prosedürü (TCLP)**

U.S.EPA tarafından 1986'da yönetmelikle verilen bu deney, eğer belli bir atık, arazide uzaklaştırmak için uygulanabilir teknoloji bazlı arıtma standartlarını sağlarsa EP Toksikite Deneyiyle yer değiştirecek şekilde kabul edilmiştir. TCLP de

stabilizasyonun etkinliğini değerlendirmek için sıkça kullanılmaktadır. Bu deney yönteminde stabilize materyal, 9.5 mm'den daha küçük partikül boyutuna getirildikten sonra zayıf bir asetik asit ekstraksiyon sıvısıyla 20:1 sıvı-katı ağırlık oranında karıştırılmakta ve 30 RPM ve 22°C'de 18 saatlik bir periyotta bir döner ekstraktörde çalkalanmaktadır. 18 saatlik karışmadan sonra numune 0.6-0.8 µm cam fiber filtreden geçirilmekte ve süzöntü TCLP ekstraktı olarak tanımlanmaktadır. Bu TCLP ekstraktı, Tablo 3.2'de verildiği gibi uçucu ve yarı uçucu organikler, metaller ve pestisitleri de içeren birçok zararlı atık bileşeni için analiz edilerek değerlendirilmektedir (LaGrega, 1994; SW-846, 2002).

Tablo 3.2. Toksikite Karakteristik Sızma Prosedürü İçin Sınır Değerler (LaGrega, 1994)

Bileşen	ID No	TCLP Yönetmelik Seviyesi (mg/lt)
Arsenik	D004	5.0
Baryum	D005	100.0
Benzene	D018	0.5
Kadmiyum	D006	1.0
Carbon tetraklorür	D019	0.5
Klordan	D020	0.03
Klorobenzen	D021	100.0
Kloroform	D022	6.0
Krom	D007	5.0
o-Kresol	D023	200.0
m-Kresol	D024	200.0
p-Kresol	D025	200.0
2,D	D016	10.0
1,4-Diklorobenzen	D027	7.5
1,2-Dikloroetan	D028	0.5
1,1-Dikloroetilen	D029	0.7
2,4-Dinitrotoluen	D030	0.13

Endrin	D012	0.02
Heptaklor (ve onun	D031	0.008
Hekzaklorobenzen	D032	0.13
Hekzakloro-1, 3-butadien	D033	0.5
Hekzakloroetan	D034	3.0
Kurşun	D008	5.0
Lindan	D013	0.4
Civa	D009	0.2
Metoksiklor	D014	10.0
Metil etil keton	D035	200.0
Nitrobenzen	D036	2.0
Pentaklorofenol	D037	100.0
Pridin	D038	5.0
Selenyum	D010	1.0
Gümüş	D011	5.0
Tetrakloroetilen	D039	0.7
Toksafen	D015	0.5
Trikloroetilen	D040	0.5
2,4,5-Triklorofenol	D041	400.0
2,4,6-Triklorofenol	D042	2.0
2,4,5-TP (Silvex)	D017	1.0
Vinil klorür	D043	0.2

Ekstrakt içinde uçucu organik bileşenlerin varlığında numune için özel prosedürler kullanılmaktadır.

Stabilizasyonun etkinliğinin değerlendirilmesinde TCLP'nin kullanımı için bazı tartışmalar vardır. İlk olarak bir solidifiye monolitik kütle 9,5 mm'lik elekten geçmesi için kırılır. Bu da makroenkapsülasyon mikroenkapsülasyon ile ilgili yararlı etkileri azaltır. Partikül boyutu azalır ise sızabilirlik artar. Ayrıca ekstraksiyon sırasında düşük pH evsel atık içeren bir depolama alanında gösterge olabilmesine

rağmen diğer çevre koşullarında olmayabilir. Yine de çimento bazlı bir stabilizasyon gibi yüksek alkaliniteye sahip stabilize materyal, sızdığı sıvının pH'ını hızlı bir şekilde artırabilir ve asidik koşullardan daha fazla sızmayla sonuçlanır. Bu kritik durumlara karşın TCLP, bir arıtma teknolojisinin diğeriyle veya stabilizasyon karışımının veya prosesinin diğeriyle etkinliğini karşılaştırmada kullanışlıdır (LaGrega, 1994).

Çimento kullanılarak solidifiye/stabilize edilmiş ağır metal atıklarının değerlendirilmesinde uygulanan TCLP test prosedürünün geçerliliği araştırılmıştır. Farklı asit nötralizasyon kapasitelerine sahip, sentetik, çimento bazlı ağır metal atık formları hazırlanmış; metal sızması üzerinde atığın asit nötralizasyon kapasitesinin etkileri araştırılmıştır. Ancak farklı çimento bazlı atık formlarının performansının karşılaştırılmasında TCLP yetersiz bulunmuş çoklu ekstraksiyon testi daha faydalı görülmüştür (Poon ve Lio, 1997).

Bir çalışmada Cr(VI) ve Portland çimentosu karışımlarından Cr(VI) sızması, TCLP testi kullanılarak incelendiğinde TCLP limitlerini sağlamak için  $K_2CrO_4$ /çimento oranının %0,2 ile sınırlanması gerektiği görülmüştür (Wang ve Vipulanandan, 2000).

Hem EP Toksisite hem de TCLP Deneyinin spesifik konsantrasyonlar için yapıldığı unutulmamalıdır. Bu deneyler kirleticilerin çevreye sızacağı zaman hızındaki verileri vermez. Alternatif stabilize edici teknikler ve karışımların kullanılmasıyla sağlanan sızıntı suyu konsantrasyonlarını standartlarla karşılaştırır (LaGrega, 1994).

### **Amerikan Nükleer Derneği Sızma Deneyi (ANS 16.1)**

Üniform Sızma Deneyi olarak da adlandırılan ANS 16.1 Sızma Deneyi, solidifiye radyoaktif atıkların sızabilirliliğini belirlemek için geliştirilmiştir. Bu deney materyalin katı bir blok halinde kullanılması için tasarlanmıştır ve sonuç olarak toprak benzeri ürünlere uygulanamaz.

Bu deney yüzey alanının kesin olarak hesaplanmasını gerektirir. Böylece yayılma gücü belirlenebilir ve sonra büyük miktarlardaki atıklar için kirleticilerin kayıp hızı tahmin edilebilir (LaGrega, 1994).

### **Maksimum Olası Konsantrasyon Deneyi**

Maksimum Olası Konsantrasyon Deneyi, doygunluk durumunu geliştirerek deney materyalinde olan kirleticilerin çözünebilirliğini belirlemek için yapılan bir çalkalama deneyidir. Bu deneyde distile su, kurutulmuş, toz haline getirilmiş katı örneğiyle çalkalanır ve seçilen kirleticilerin konsantrasyonları ölçülür (LaGrega, 1994).

### **Denge Sızma Deneyi**

Denge Sızma Deneyi, ekstraksiyon sıvısı olarak distile suyu kullanan, kesikli bir ekstraksiyon prosesidir. Bu deneyde, ASTM No.100 eleğinden geçen kurutulmuş bir örnek onun 4 katı distile su ile (4:1 sıvı katı oranı) karıştırılır. Karışım yedi gün çalkalanır ve ekstrakt toplam çözünmüş katı madde analizine tabi tutulur. Belirtilen kimyasal analizler, filtrelenen ekstrakt üzerinde de yapılır (LaGrega, 1994).

### **Dinamik Sızma Deneyi**

Dinamik Sızma Deneyi, çoklu ekstraksiyon prosedüründe yapıldığı gibi sızabilirliğin hızı ile ilgili veriler sağlar. ANS 16.1 Sızma Deneyi hariç daha önce belirtilen sızma deneylerinden elde edilen konsantrasyonlar denge veya statik değerlerdir. Bu nedenle salma hızı veya zamana bağımlılığı ile ilgili herhangi bir bilgi sağlayamazlar. ANS 16.1 Deneyinden uyarlanan Dinamik Sızma Deneyi, sızabilirlik hızının ölçülmesiyle bir örnek boyunca kirleticilerin hareketliliğini belirlemek için kullanılan doğru bir sızma deneyidir. Deneyden elde edilen verilerle, zamanla ilgili davranış veya yaygın transport değerlendirilebilir ve sızma hızını uzun dönem tahmin etmek için kullanılabilir (LaGrega, 1994).

### **Ardışık Sızma Deneyi (Ardışık Kimyasal Ekstraksiyon)**

Bu deney, bir katı materyalden metallerin sızabilirliğini değerlendirmek için yapılır. Bu deneyde örnek, fırında 60°C'de kurutulur ve ASTM No.325 elekten (45µm aşma boyutu) geçecek şekilde ufalanır. Sonra 0,5 gr numune santrifüj tüpe koyulur ve metallerin spesifik fraksiyonunu ekstrakte etmek için uygun beş başarılı ekstraksiyon prosedürü uygulanır. Her ayrı ekstraksiyonda spesifik ekstraksiyon sıvısı eklenir ve karışım katı ve sıvı kısımları ayırmak için santrifüjlemeden önce belli bir zaman



periyodunda çalkalanır ve/veya ısıtılır. Sıvı kısım üzerinde kimyasal analizler yapılır katı kısım distile suyla durulanır, santrifüjlenir ve bir sonraki ekstraksiyon prosedüründe kullanmak için izole edilir (LaGrega, 1994).

Bir çalışmada, sodyum arsenit, sodyum arsenat, arsenik trioksit ve arsenik pentoksitin solidifikasyon/stabilizasyonu, ardışık kesikli sızma testleriyle araştırılmıştır. Çimentoya demir (II) ilave edilerek yapılan immobilizasyonda sadece çimento kullanılmasından daha kötü sonuçlar elde edilmiştir. Çimentoya kireç ilave edilerek arseniğin immobilizasyonu gerçekleştirilmiştir. Ca konsantrasyonlarındaki artışlar arsenik konsantrasyonlarında ani azalmalar sağlamıştır (Leist ve diğerleri, 2003).

### **Çoklu Ekstraksiyon Prosedürü**

Bu deney, atığın, düzgün tasarlanmamış sağlıklı bir depolama alanında asit yağmurlarıyla tekrar tekrar temas ettiği sızma şartlarını kopye etmeye çalışır. Deney, bir zararlı atık depolama alanında yer alacak artırılmış atıklara uygulanamaz. Fakat belirli bir arıtma tekniğinin etkinliğinin değerlendirilmesi için bir kaç şartı sağlar.

Bu deneyin başında, prosedürler, EP Toksikite Deneyi için olanlarla aynıdır. Yine de kalan katı kısım, pH'ı 3 olan sülfirik ve nitrit asitlerin 60/40 karışımını içeren bir sentetik asit yağmuru ekstraksiyon sıvısıyla dokuz defa yeniden ekstrakte edilir. Dokuz ilave ekstraksiyonun herbirinde, karışım 24 saat çalkalanır ve ayrılır. Ekstrakt analizi EP Toksikite deneyindeki aynıdır. Eğer ekstraktlardaki kirletici konsantrasyonları yedinci ve sekizinci ekstraksiyonların üzerinde artmışsa ekstraksiyondaki konsantrasyonlar artmayıncaya kadar ekstraksiyonlar devam ettirilir ve dokuzuncuyu geçer (LaGrega, 1994).

### **DIN 38 414 S4 Deneyi**

Çamur ve sedimentlerin içinde bulunduğu S grubu Alman standart yöntemlerinden biridir. S, su, atıksu ve çamurların incelenmesini; S4 ise su ile sızmanın belirlenmesini ifade etmektedir. Bu deneyde numunenin uzaklaştırıldığı veya yeniden kullanıldığı şekli analiz edilmektedir (DIN, 1984).

DIN 38 414 S4 deneyinde eğer numunelerin partikül boyutları 10 mm'yi geçiyorsa ezilir. Ancak toz haline getirilmez. Sıvı katı oranı 10:1 olacak şekilde deiyonize su ile karıştırılır. 24 saat çalkalayıcıda tutulduktan sonra analiz edilmek üzere filtreden geçirilir.

### 3.5.2. Sızıntı veya Ekstrakta Yapılan Analizler

Sızıntı suyunun kimyasal analizinde analiz tipi ve analitik prosedürler Standart Metodlar veya U.S.EPA gibi ilgili protokoller referans gösterilerek sızma prosedüründe sıkça belirtilmiştir. Sızıntı suyu veya toprakta yapılan bu analizler ile stabilizasyonun etkinliğini değerlendirmek mümkündür.

- Atık analizi,
- Ağır metaller (AAS veya plazma ark spektrometresine endüktif),
- Organikler (Gaz kromatograf ve kütle spektrometresiyle),
- Toplam organik karbon,
- pH,
- Fourier dönüşümü için kızıl ötesi spektroskopisi (FTIR),
- Diferansiyel tarama kalorimetre ve termal gravimetrik analiz

kimyasal deney yöntemleri arasında sayılabilir (LaGrega, 1994).

Stabilize materyallerin bu analizlerinin amacı ekstrakte edilen sıvının analiziyle veya atıktaki kirleticilerin tanımlanmasıyla ilgilidir. Çünkü bir zararlı atık yönetim teknolojisi olarak stabilizasyonun uygulanması atığı matris içinde sabitlemeye yarar. Fourier transform infrared spektra (FTIR) analizi organik kirletici ve bağlayıcı araçlar arasındaki kimyasal bağlamanın tipi ve varlığını değerlendirmek için kullanılabilir.

Diferansiyel tarama kalorimetre verileri, stabilize matristen kirleticinin salınması için gerekli fazla enerjiyi belirlemek için kullanılır.

Son olarak gaz kromatograf ve kütle spektrometresi (GC/MS) teknikleri, orijinal kirleticilerin parçalanmasıyla sonuçlanabilen stabilize matristeki ürünleri tanımlamak için kullanılabilir (LaGrega, 1994).

Stabilize/solidifiye edilmiş atıklara uygulanabilen genel analitik yöntemler Tablo 3.3'te özetlenmiştir.



Tablo 3.3. Stabilize/Solidifiye Edilmiş Atıklara Uygulanabilen Genel Analitik Test Metodları (EPA, 1989)

Parametre	Test Metodu	Artılmamış ve Stabilize/Solidifiye Edilmiş Atıklara Uygulanabilirlik
pH	EPA Method SW-9045	Zararlı bileşenlerin sızabilirliği katının pH'ıyla kontrol edilebilir
Oksidasyon/redüksiyon potansiyeli (E <sub>H</sub> )	ASTM D1498-76	Arıtmadan sonra E <sub>H</sub> 'deki değişimler, çoğu elementin sızabilirliğini değiştirebilir
Majör oksitler	ASTM C114	Stabilize/solidifiye edilmiş atıkların mineralojisi sızma test sonuçlarının yorumunda yardımcı olabilir
Toplam Organik Karbon (TOC)	Yanma Metodu	Atıklarda ve arıtılmış katılarda arıtılmayan organik karbonu tahmin eder
Yağ ve gres	EPA Method 413.2	Arıtılmış ve arıtılmamış atıklardan sızabilen yağ ve grasi karşılaştırmak için kullanılabilir
Uçucu Organik Bileşikler (VOCs)	EPA Method SW-846 (Methods 5030 ve 8240)	Arıtılmış ve arıtılmamış atıkların sızabilirliğini belirlemek için TCLP ekstraktlarında VOC konsantrasyonları ile stabilize/solidifiye edilmiş atıklarda ve arıtılmamış
Baz, nötral ve asit bileşikleri	EPA Method SW-846 (Method 3540, 3520 ve 8270)	Arıtılmış ve arıtılmamış atıkların sızabilirliğini belirlemek için arıtılmış ve arıtılmamış atıklarda konsantrasyonlarla sızıntı suyunun BNA konsantrasyonlarını karşılaştırmak
Poliklorlu bifeniller (PCBs)	EPA Method SW-846 (Method 3540, 3520, 680 ve 8080)	Arıtılmış ve arıtılmamış atıklardan PCB sızabilirliği VOC için olanla aynıdır.
İyon ölçmeleri	Std. Method No.429	Sızıntı suyu iyonik tür konsantrasyonlarını belirlemek için kullanılır
Hidrasyon ısı	ASTM C186-86	Mevcut karıştırma sırasında sıcaklık değişimlerinin ölçümü arazide VOC emisyonlarının tahminine izin verecektir
Alkalinite	Titrometre Volumetrik Titrasyon	Sızıntı suyundaki alkalinite değişimleri stabilize/solidifiye edilmiş atık formlarındaki değişimleri belirlemek için kullanılabilir.

### 3.5.3. Fiziksel ve Mühendislik Özellik Deneyleri

Stabilize materyallerin fiziksel bütünlüğünü ve mühendislik özelliklerini (dayanıklılık, sıkışabilirlik ve geçirimsizlik) değerlendirmek için gereken deneyler Tablo 3.4'te özetlenmiştir.

Tablo 3.4. Fiziksel, Mühendislik ve Dayanıklılık Deneyleri (LaGrega, 1994)

Özellik	Amaç
Fiziksel Özellikler	
Nem içeriği (ASTM D2216)	Faz hesaplamaları (doyguluk, boşluk)
Islak ve kuru kısım yoğunluğu (birim ağırlık)	Gerilim ve hacim hesaplamaları
Özgül ağırlık	Faz hesaplamaları (doyguluk, boşluk)
Atterberg limitleri	Mühendislik özellikleriyle bağlantı kurar
Partikül boyut dağılımı	Sınıflandırma açıklayıcısı (örneğin kum, silt veya killeri ayırır)
Laboratuvar koni indeksi (ASTM D3441)	Dayanım
Cep penetrometresi	Dayanım
Mikro yapısal kontrol	
X-ray kırınımı	Kristalizasyon
Mikroskobik test	
SEM (Scanning Electron Microscopy)	
Setting hızı	
Kür sırasında üst su oluşumu	Fazla Sıvı
Mühendislik Özellikleri	
Kuvvet (dayanım)	Stabilite analizi
Sıkışabilirlik	Çökme analizi
Geçirimsizlik	Akım ve taşıma hesaplamaları
Dayanıklılık Özellikleri	
Islak/kuru	Uzun Dönem bütünlüğü
Donma/Erime	Uzun Dönem bütünlüğü

Cheng ve Bishop (1996), yaptıkları bir çalışmada asetik asit çözeltilerinde sızmadan önce ve sonra çimento bazlı atık formlarının fiziksel özelliklerindeki (su içeriği, yoğunluk, porozite) değişimleri araştırmışlardır.

Stabilizasyon/solidifikasyondan önce ve sonra atıkların karakterizasyonu için fiziksel deneyler ise Tablo 3.5'te özetlenmiştir.



Tablo 3.5. Stabilizasyon/Solidifikasyondan Önce ve Sonra Atıkları Karakterize Etmek İçin Fiziksel Testler (EPA, 1989)

Test Prosedürü	Referans	Amaç
<p>Index Özellik Testleri</p> <p>Partikül boyut analizi</p> <p>Atterberg limitleri</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sıvı limiti</li> <li>• Plastik limiti</li> <li>• Plastisite indeksi</li> </ul>	<p>ASTM D422-63</p> <p>ASTM D4318-84</p> <p>ASTM D4318-84</p> <p>ASTM D4318-84</p>	<p>Bir materyalin partikül boyut dağılımını belirlemek</p> <p>Su içeriğinin bir fonksiyonu olarak bir materyalin fiziksel karakteristiklerini tanımlamak</p>
<p>Nem İçeriği</p> <p>Askıda katılar</p> <p>Boya filtre testi</p>	<p>ASTM D2216-80</p> <p>USEPA Method 208 C</p> <p>USEPA Method 9095-SW846</p>	<p>Bir materyaldeki serbest suyun yüzdesini belirlemek</p> <p>Sıvıların bir kolonundan çökmeyen katıların miktarını belirlemek</p> <p>Kütle veya kutulanmış atığı karakterize eden numunedeki serbest sıvıların varlığını belirlemek</p>
<p>Yoğunluk Deneyleri</p> <p>Kütle yoğunluğu-silindir metodu</p> <p>Kütle yoğunluğu-kum-koni metodu</p> <p>Kütle yoğunluğu-nükleer metodlar</p> <p>Kütle yoğunluğu-stabilize atık</p>	<p>ASTM D2937-83</p> <p>ASTM D1556-82</p> <p>ASTM D2922-81</p>	<p>Toprakların veya toprak benzeri materyalin yoğunluğu yerinde belirlemek</p> <p>Toprakların veya toprak benzeri materyalin yoğunluğu yerinde belirlemek</p> <p>Toprakların veya toprak benzeri materyalin yoğunluğu yerinde belirlemek</p> <p>Bir monolitik stabilize atığın yoğunluğunu belirlemek</p>

<p><b>Sıkışma Deneyleri</b></p> <p>Toprak-çimento karışımlarının nem yoğunluk ilişkileri</p>	<p>ASTM D558-82 ASTM 31557</p>	<p>Bir materyalin nem içeriği ve yoğunluğu arasındaki bağlantıyı belirlemek</p>
<p><b>Kuvvet Deneyleri</b></p> <p>Koheziv (yapışık, bağlı) torakların sınırsız sıkışma kuvveti</p> <p>Silindirik beton türlerinin sınırsız sıkışma türleri</p> <p>Hidrolik çimento harçlarının sıkışma kuvveti</p> <p>Bükülme kuvveti</p> <p>Koni indeksi</p>	<p>ASTM D 2166-85</p> <p>ASTM D 1633-84</p> <p>ASTM C 109-86</p> <p>ASTM D1635-87</p> <p>ASTM D34441-79</p>	<p>Toprak benzeri materyallerin mekanik gerilme altında nasıl koheziv davranışlarını değerlendirmek</p> <p>Çimento benzeri materyallerin mekanik gerilme altında nasıl davranışlarını değerlendirmek</p> <p>Hidrolik çimento harçlarının sıkışma kuvvetini ölçmek</p> <p>Büyük bir alan üzerindeki yüklere dayanması için bir materyalin kabiliyetini değerlendirmek</p> <p>Bir materyalin stabilitesi ve taşıma kapasitesini değerlendirmek</p>
<p><b>Dayanıklılık Deneyleri</b></p> <p>Donma-erime dayanıklılığı</p> <p>Islak-kuru dayanıklılığı</p>	<p>ASTM D4842</p> <p>ASTM D4843</p>	<p>Tekrarlanmış donma-erime döngülerinden sonra materyallerin nasıl davranışları veya parçalandıklarını belirlemek</p> <p>Tekrarlanmış ıslak-kuru döngülerinden sonra materyallerin nasıl davranışları veya parçalandıklarını belirlemek</p>

ASTM-American Society for Testing and Materials



## **Nem İçeriği**

Nem içeriği deneyi, materyalin verilen miktarındaki su miktarını belirlemek için kullanılır. Toprak benzeri materyaller için nem içeriği, materyallerin sıkışabilirliğini etkiler. Sertleştirilmiş beton benzeri materyaller için nem içeriği daha az önemlidir (LaGrega, 1994).

Öncelikle bir numunenin ıslak ağırlığı ölçülür. Numune 105 °C de 24 saat kurutulur ve tekrar tartılır. Nem içeriği böylece hesaplanabilir. Kuru ağırlık bazında su içeriği yüzde olarak gösterilir ve suyun ağırlığının kuru kütlenin ağırlığına bölünmesiyle hesaplanır. Organik kirletici seviyesi yüksek olan örneklerde uçucu organiklerin kurutma kaybı nedeniyle yanıltıcı sonuçlar çıkabilir.

## **Islak ve Kuru Kısım Birim Ağırlığı (Islak ve Kuru Kısım Yoğunluğu)**

Ağırlık-hacim ilişkisi için bilgi sağlayan kısım birim ağırlıkları, yoğunluk ve boşluk hacimlerini hesaplamak için kullanılır. Bu veriler, stabilite hesaplamalarında yer (toprak) basınçlarını hesaplamak için, son uzaklaştırmada alan ihtiyaçlarını belirlemek için kullanılır.

Kısım birim ağırlığı, stabilize numuneleri ölçmek ve tartmak için belirlenir. Kısım birim ağırlığı, materyalin birim hacmi için katıların ve gözenek sıvısının ağırlığı olarak hesaplanır. Kuru birim ağırlık, birim hacim için fırında kurutulmuş katıların ağırlığı olarak belirlenir. Birimi  $gr/cm^3$  veya  $lb/ft^3$  tür (LaGrega, 1994).

## **Özgül Ağırlık**

Özgül ağırlık ve yoğunluk, üç fazlı materyalin katı bileşeninin kütle hacim oranının ölçüleridir. Katıların yoğunluğunun sıvı yoğunluğuna oranı özgül ağırlıktır. Özgül ağırlık, suyun 1  $gr/cm^3$  yoğunluğa sahip olması gibi nümerik olarak katıların yoğunluğuna eşittir.

Özgül ağırlık belirleme prosedürünü doğru olarak yürütmek zordur ve herbiri farklı bir özgül ağırlığa sahip bir takım farklı materyaller içeren solidifiye materyale uygun değildir. Ölçülen özgül ağırlık, bileşenlerin bir kompozitini temsil eder (LaGrega, 1994).

## **Partikül Boyut Dağılımı**

Atık veya toprağın tane boyut dağılımı, stabilizasyon alternatiflerini tasarlamak için önemlidir.

Partikül boyut dağılımını belirlemek için, kaba fonksiyonlar için elekler kullanılır. Hidrometre kullanılan graviteye bağlı metodlar, 0.074 mm ile mikron boyutundaki ince fraksiyonlu partikülleri ayırmak için kullanılmaktadır. Daha büyük partiküller suyun içinde daha küçük partiküllerden daha hızlı çökelirler ve bir hidrometre partikül boyutundaki farklılıkların ölçümüne izin verir. Stabilize kütle bir monolit olduğu için partikül boyut dağılımı stabilize materyallere uygulanamaz (LaGrega, 1994).

## **Laboratuar Koni İndeksi (ASTM D3441)**

Laboratuar Koni İndeksi deneyi araçlar karıştırıldıktan sonra stabilize örnekler üzerinde yürütülür. Deney karışmış örnekler üzerine bilgi verir. Bu bilgi, örneklerin işlem görmesine ilişkin karar vermede kullanılmaktadır. Ayrıca tam ölçekli stabilizasyonda önemlidir.

Standart bir koni, standart bir yükseklikten materyale indirilirse penetrasyon (içe girme) mesafesi ölçülür. Deneyler hızlı, basit ve ucuzdur. Ayrıca işlemden önce stabilize materyallerin dayanımı hakkında bilgi verir (LaGrega, 1994).

## **Cep Penetrometresi**

Cep Penetrometresinin uygulaması Laboratuar Koni İndeksi deneyine benzer. Bir cep penetrometresi, sıkıştırma kuvvetini ton/ft<sup>2</sup> olarak tahmin eden, penetrasyon direncini (kuvvetini) ölçmek için materyalin içine itilen standartlaştırılmış bir silindirdir (LaGrega, 1994).

## **Mikroyapısal İnceleme**

Stabilizasyon proseslerinin davranışını daha iyi izlemek için stabilize kütle, X-ray difraktometresi, optik mikroskop, elektron tarama mikroskobu ve enerji yayıcı mikroskop kullanılarak deney yürütülebilir. Mikroyapısal analiz teknikleri, spesifik kirleticilerin matris içinde sınırlandığı mekanizmaların anlaşılmasını sağlar. Örneğin

bir laboratuvar çalışmasında, klasik portland çimentosu ve uçucu külün kombinasyonu stabilize edilmiş krom, nikel, kadmiyum ve civa içeren bir ağır metal çamurunun mikroyapısal incelemesi yapılabilir. Ancak mikroskopik seviyedeki böyle bir değişkenlikle sızma, kuvvet ve dayanım gibi makroskopik seviyede ölçülen özellikleri üzerine olan etkiler bilinmemektedir (LaGrega, 1994).

### **Kür Sırasında Süpernatant Formasyonu ve İşlem Hızı**

Bu deney yöntemleri arıtılan atıkların karıştırılmasından ilk birkaç saat sonraki performansını karakterize eder. Bunlar beton benzeri materyaller için uygundur, toprak benzeri materyaller için uygun değildir. Bu deneyler, karışımın uygunluğu ile ilgili ön bilgi verirler.

Üstsu loşumunu belirlemek için taze olarak karıştırılmış numune bir litrelik dereceli bir silindire konur ve katılar çöküp süpernatant yükselirken herbir miktar kaydedilir (LaGrega, 1994).

### **Basınç Dayanımı (Unconfined Compressive Strength Test) (UCS)**

UCS deneyi birbirini tutan materyallerin dayanımını belirlemek için yürütülür. Birbirini tutan materyaller, yumuşak killerden betona kadar değişiklik gösterebilir. Eksenel yükleme ve deformasyon ölçülür. Bu ölçümlerden uygulanan gerilim ve sonuçlanan burkulma hesaplanabilir ve gerilim-burkulma ilişkisi grafikte gösterilebilir. UCS deneydeki maksimum uygulanan gerilmedir.

Stabilizasyon ve solidifikasyonun etkinliğini değerlendirmek için basınç dayanımı deneyinin kullanımı, uluslararası bir standart olarak geniş uygulama haline gelmiştir. Stabilize ve solidifiye materyaller, üzerlerine yerleştirilen materyallerin yüklerini desteklemek için yeterli dayanıma sahip olmalıdırlar. Deney sonuçlarının, inorganik atıkların stabilizasyonunun etkinliği ile bağlantılı olması beklenir. Bu deney ayrıca stabilizasyonun etkinliğinin değerlendirilmesi için başka avantajlar da sunar. Deney nispeten çabuktur ve gerekli deney ekipmanı mevcuttur. Deney, stabilize materyalin yumuşaklık/kırılganlığının bir belirtisini de verir. Deney, zamanın bir fonksiyonu olarak stabilizasyon prosesinin gelişmesinin bir ölçüsünü sağlamak için yürütülebilir. Genelde her stabilizasyon aracı için daha sert stabilize zararlı atık, özellikle

inorganik kirleticiler için daha etkili stabilizasyon prosesi verir. Bu yüzden UCS, stabilizasyon etkinliğinin bir indikatör parametresi olarak sıkça kullanılır.

50 psi'lik bir basınç dayanımının, bir depolama alanındaki tipik fazla yüklenme basınçlarının hesaplanmasına dayanan uygun bir kuvvet ölçümünü temsil ettiği genel olarak kabul edilmiştir. Stabilitate bakımından bir depolama alanında stabiliteye ulaşmak için spesifik bir basınç dayanımına ulaşmak gerekli değildir.

Uzun dönemde, basınç dayanımının stabilizasyonun etkinliği için güvenilir bir indikatör olmayabileceği gözükmektedir ve bu deneyin sınırlı faydalar göstermesi muhtemeldir. Spesifik olarak özellikle organik çamurların sızıntı suyunun kimyasal analiziyle belirlenen stabilizasyon etkinliği, basınç dayanımı ile bağıntılı değildir. Ayrıca kuvvet özellikleri zamanla değişebilir ve 28 günde ölçülen basınç dayanımı, ürün dayanıklılığını gözönünde bulundurmadan uzun dönem kuvvet davranışını güvenilir bir şekilde tahmin etmeyebilir (LaGrega, 1994).

### **Konsolidasyon (Oturma)**

Konsolidasyon deneyinin bazı formları, stabilize atığı değerlendirmek için uygun olabilir. Konsolidasyon deneyi, uygulanan düşey gerilim ve toplam deformasyon arasındaki ilişki kadar tek boyutlu basıncın (sıkıştırmanın) zaman hızını da ölçer. Gözeneklerden dışarı sızdırılan sıvı, kimyasal olarak analiz edilebilir ve çevreye kirletici yayılma hızının değerlendirilmesinde kullanılabilir.

Bu deney, büyük bir depolama alanındaki stabilize materyallerin arazi durumunu simüle etmek için kullanılabilir. Arazide, stabilize materyal, dolgu ve kaplama materyalleri yayılarak depolanır. Arazideki tabaka veya bölümlerdeki yerleştirme nedeniyle yanal drenaj ve anizotropi (eşyönsüzlük) sonucunda laboratuvar konsolidasyon deney verilerinden elde edilen konsolidasyon zaman hızı tahminleri arazi durumunda konsolidasyon için gerekli zamanı daha fazla olarak tahmin edecektir (LaGrega, 1994).

## **Hidrolik İletkenlik**

Bazen permeabilite olarak isimlendirilen hidrolik iletkenlik, gözenekli materyal boyunca sıvının akım hızını tahmin etmek için kullanılır. Sonuç olarak hidrolik iletkenlik, arıtılmış atıktaki kimyasalların çevreye yayılabileceği hızla ilgili bilgiyi hesaplamak için kullanılır.

Üç eksenli permeabilite deneyi, stabilize materyallerin hidrolik iletkenliğini değerlendirmek için sıkça kullanılır. Bu deney, Esnek Duvar Permeabilite Deneyi olarak da isimlendirilir. Çünkü uygulanan gerilmeler altında büzülmesine veya şişmesine izin veren esnek bir membran içinde numune hapsedilir.

Giriş suyu ve çıkış suyu kalite ve miktarını izleyerek, stabilizasyonun etkinliği, stabilize kütledeki kirleticinin etkin yayılabilirliğiyle değerlendirilebilir (LaGrega, 1994).

## **Dayanıklılık Deney Metodları**

Dayanıklılık Deney Metodları, stabilize kütlelerin uzun dönem performansını değerlendirmek için gereklidir. Dayanıklılık deneyi tekrarlanan döngülere karşı koymada materyalin yeteneğini değerlendirmek için kullanılır. Başarılı bir şekilde solidifiye edilmiş atık materyal, bu deneylerin başından sonuna kadar bozulmamış kalacaktır.

Islak/Kuru Dayanıklılık Deneyi (ASTM D4843), stabilize materyallerin tekrarlanan ıslatma ve kurutma döngülerinin gerilmelerine direncini değerlendirir. Donma ve çözülmenin gerilmelerine materyalin direnci, Donma/Çözülme Dayanıklılık (ASTM D4842) deneyinde değerlendirilir (LaGrega, 1994).

Quaresima ve diğerleri (1996), donma-çözülme döngülerine maruz kalan çimentolu harçlarda silika tozunun, immobilizasyona etkilerini incelemişlerdir. Donma çözülme döngülerinden sonra dayanımlarda azalma gözlenmiştir. Ancak çimentolu matrislerin dayanıklılığında silika tozunun ilavesinin olumlu etkileri görülmüştür.

### 3.6. Arazi uygulaması (Proses tipleri)

Stabilizasyon teknolojilerinin uygulanması için alternatif yöntemler ex-situ ve in situ olmak üzere iki gruba ayrılır. “Ex-situ” ismi atığın önceki yerinden kazılarak çıkarıldığı ve kazı yerine yeniden konulmadan veya başka bir yerde depolanmadan önce bir arıtma sistemi ile işlendiği gerçeğine dayanılarak konulmuştur. Ex situ sistemler ya ıslah bölgelerinde ya da TSDF’ler gibi merkezi atık arıtma bölgelerinde işleyebilir. Diğer işletme yöntemi “in situ” olarak bilinir ve genel olarak ıslah projeleri ile sınırlıdır. Burada, kirlenmiş ortama (genellikle çamur veya toprak) katkı maddeleri ve bağlayıcılar da konur. Orijinal olarak geleneksel amaçlara yönelik olarak tasarlanmış fakat S/S kimyasal ilaveleri için değiştirilmiş, büyük ölçekli kazı ve delme ekipmanları kullanılır.

In situ ve ex situ dağıtım sistemlerinin her biri kendilerine özgü avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Ex situ araç ilavelerinin ve karışımın daha iyi kontrolünü sağlar. Bunlar kritik faktörlerdir ve kalite kontrol örnekleme daha kolaydır. Bu genellikle sığ atık derinliğine sahip projeler için ve büyük ekipmanların sahaya erişiminin sınırlı olduğu bölgelerde daha pratiktir. Bu nedenlerden dolayı, TSDF’lerde kullanılan ekipmanlar ve yöntemler ex situ yöntemlerdir. Büyük derinlikteki büyük projeler in situ operasyonlar için daha uygundur ve bu örneklerde in situ yöntemlerin maliyeti daha düşüktür (Conner, 1998).

#### 3.6.1. Ex Situ Yöntemler

Bir ex situ S/S sistemi karıştırıcıların, kimyasal depoların ve besleme araçlarının, pompaların, konveyörlerin ve yardımcı ekipmanların bir araya geldiği bir montajdır. Hangi ekipmanın kullanılacağı, arıtma ve uzaklaştırma senaryosuna bağlı olarak değişecektir. Karıştırıcı bazlı yöntemler en kompleks ekipmanların bulunduğu yöntemler iken, çukur (pit)-karıştırıcı ve sprej (spray-on) yöntemleri çok basit olabilmektedir. Seçim için hangi yöntemin daha ekonomik olduğuna ve hangi yöntemin işi yapabileceğine bakılır (Conner, 1998).

## **Karıştırıcı Bazlı Yöntemler**

Tipik bir sistemde arıtılacak olan atık pompa ile bir yükselme tankının ya da besleme hunisinin içine mekanik bir konveyör ile taşınır. Sonra atık karıştırıcının içine doğru beslenerek orada S/S araçları ile karıştırılır. Kullanılan prosese bağlı olarak bir ya da daha fazla kuru ve/veya sıvı bileşen karıştırıcı içindeki atığa ilave edilebilir. Sistem, beklenen kullanıma göre, ya kesikli ya da sürekli bir modda kurulabilir. Fakat, kesikli modda parti büyüklüğü, çamur öğütücü türünün büyük, kaba karıştırıcıların bulunabilirliği ile sınırlıdır. Bazı atık akımlarında, döner türde bir beton karıştırıcısı kullanılabilir. Bununla beraber, bu tür karıştırıcılar, nispeten düşük vizkositeye sahip çamurlar ile sınırlıdır ve genellikle atık arıtmasında karşılaşılan yapışkan hamurlara uygulanamaz.

Kesikli sistemlerde, kullanılan mekanik sisteme, kesikli sistem büyüklüğüne, atık türüne ve kullanılan araçların türüne ve miktarına bağlı olarak, karıştırma prosesi genellikle 1-15 dakika alır. Sürekli sistemlerde karıştırıcının içinde kalma süresi genellikle 0.5 ila 2.0 dakika arasında sınırlıdır ve bu nedenle yoğun karıştırma gerekir. Karıştırma tamamlandıktan sonra hala sıvı, yarı katı ya da katı benzeri toprak halinde olan atık, ya pompalama yoluyla (sıvı için) ya da katılar için vidalı konveyör yoluyla karıştırıcının içinden çıkarılır. Sonra arıtılan atık pompa veya konveyör aracılığı ile son fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirebileceği bir bölgeye aktarılır. Eğer atık ön arıtmaya tabi tutulmuşsa, zararlı bileşenler (genellikle ağır metaller) çoktan nispeten çözülemez bir hale dönüştürülmüşlerdir. Eğer ön arıtma olmamışsa, metaller genellikle karıştırma prosesi sırasında hareketsiz hale gelirler.

Kür işlemi genellikle S/S tesisinin yakınındaki geçici bir konteyner içinde yer alır ve katı bunun hemen ardından uzaklaştırma bölgesine aktarılır. Alternatif olarak, arıtılan atık doğrudan uzaklaştırma bölgesine aktarılabilir ve düzenlemelerin izin verdiği son işlem bölgesinde solidifiye edilebilir. Aynı zamanda, hala sıvı halinde ya da yarı katı halde olan bir atık, depolama alanındaki yerine minimum boşluk ile dökülebilir ki bu da son ürün için minimum geçirimsizlik ve maksimum depolama alanı boşluğu kullanımı anlamına gelir. Atığın doğrudan son ürünün çıkarıldığı yerde solidifiye edilmesi halinde, atık, proses sonucunda minimum geçirimsizlik gösteren monolitik bir şekil alır (Conner, 1998).

## **Çukur Karıştırıcı Yöntemler**

Bugün tipik bir TSDF’de çukur karıştırıcıların çoğu bağlayıcı/atık oranını doğru bir şekilde orantılayacak araç depoları ve besleme ekipmanları ve gerekli olduğunda su ilavesi kullanılarak çok iyi kontrol edilir. Çukurun kendisi genellikle bir çelik ya da betonla kaplanmış bir havuzdur. Nispeten küçük olduğundan ve beko kepçesinin içeri sızmasını engellemek amacıyla ölü bölgeleri ortadan kaldıracak şekilde düzenlendiğinden dolayı, çoğu atık akımları için çok iyi bir karıştırma işi yapabilir. Bekonun yapısı, yöntemin, mekanik bir karıştırıcı bazlı sistemle ele alınamayacak olan enkaz ve diğer büyük parçalar ile iyi çalışmasına izin verir. Çukur karıştırıcı büyük kesikli bir prosestir. Bu nedenle stabilizasyona gelen her bir atık yükünün farklı bir formülasyon gerektirebileceği ve bu nedenle de sürekli karıştırıcı bazlı sistemlerin pratik olamayacağı TSDF’lerde oldukça verimli bir yöntemdir. Bir kesiklide, mekanik karıştırıcı bazlı sistemler aynı şekilde kullanılırken, böylesine büyük kesiklileri veya atık yüklerini yapmak için, bir çamur öğütücü ya da diğer karıştırıcıları kullanmak pratik olmaz. Burada partinin küçük parçalara bölünmesi gerekebilir. Ayrıca, çukurun yükleme ve geri yüklemesi hızlı ve basittir. Çoğu atık iletme araçları çukurun içine direkt olarak girebilir ve beko çabuk bir şekilde artılmış atığı çukurdan çıkarabilir (Conner, 1998).

## **Spreyleme Yöntemler**

S/S Sistemlerinin bu çeşidi sadece çok özel durumlarda kullanılır. Bu yöntem genellikle bir çözelti ya da araç çamurunun, bir konveyör kayışı üzerinden geçen atık üzerine püskürtülmesinden oluşur. Sistemin kendisi atık ve aracı birlikte karıştırmadığından, bu teknik doğrudan atığı nemlendiren çözeltiye bağlıdır. Atığın partikül büyüklüğü küçük ve homojen dağılmış olması gerekir. Ayrıca, atığın sprey ile yüzleşen yüzeyi ince olmalıdır. Spray on sistemine güzel bir örnek, popüler bir belediye insineratör kül arıtma sisteminde uygulanmıştır. Burada stabilizasyon için fosfat çözeltisi kullanılmıştır. Kül zaten bir konveyör kayışı üzerindedir ve bir kül toplama sisteminden gelmektedir. Bazı ilave mekanik ekipman gerekli olmuş ve dolayısıyla çok basit ve ucuz bir operasyonla işlem yapılmıştır (Conner, 1998).



### **3.6.2. In Situ Yöntemler**

In situ yöntemler, ıslah projeleri için kullanılan ilk yöntemlerdi. Önceleri, S/S sadece sıvı ve yarı sıvı atıkların havuzlarda veya lagünlerde solidifikasyonu için kullanılmaktaydı. Böylece bu toplama sistemleri tekrar kullanılabilir ya da depolama alanı inşaat gibi başka amaçlar için de kullanılabiliriyordu. Bekolar bulunabiliriyordu ve çimento, kireç, uçucu kül veya diğer ucuz bağlayıcılar ile solidifikasyon ucuz ve kolaydı. Bu tür basit sistemler bu amaçlar için hala kullanılmaktadır. Fakat şimdi çoğu ıslah işi daha sofistike yaklaşım gerektirir. In situ teknolojisi değişikliklere ayak uydurmuştur.

Delme türü in situ arıtmaya uygun olan çok yöntemli işlem için örnek olarak uçucu organiklerin metal stabilizasyonu öncesinde atıktan ayrılması gösterilebilir. Ex situ arıtmasında, iki farklı arıtma sistemi bölgeye taşınmalıdır. In situ arıtmada, aynı temel ekipman ile her iki işlem de daha verimli şekilde yapılabilir (Conner, 1998).

### **Beko Bazlı Yöntemler**

In situ arıtmasında kullanılan ilk uygulama bildiğimiz beko idi. Bir ıslah operasyonunda birden fazla beko aynı anda kullanılmaktadır. Bağlayıcılar arıtılacak olan bölgenin yüzeyine serpilmiş ve istenen derinliğe kadar beko ile karıştırılmıştır. Bu çok iyi kontrol edilmiş bir proses değildi ve sadece solidifikasyon amacıyla kullanılmıştı. Daha sonra bekonun koluna aracın dağılımını iyileştirmek ve daha iyi kontrol sağlamak amacıyla pnömomatik ve hidrolik enjektörler eklenmiştir. Ayrıca, yüksek enerjili karıştırıcılar eklenerek karıştırma da iyileştirilmiştir (Conner, 1998).

### **Delme / Matkaplama / Hendek Kazma Yöntemleri**

Daha yakın geçmişte, büyük çaplı toprak delme ve inşaat ekipmanları geliştirilerek kontrollü bağlayıcı enjeksiyonu ve derinlerde iyi karıştırma sağlandı. Bu tür bir sistemde S/S bağlayıcıları, dikey bir çubuk şeklindeki bir delme sistemiyle, sürekli döndürülerek toprak ya da çamurdan içeri pompalanır. Sonuçta arıtılmış atık sütunları oluşur. Bu tür bir in situ yöntemin önemli bir avantajı, stabilize edilen sütunun ve delme aracının üzerinde bir başlık veya örtü kullanılması nedeniyle, bölgeden çıkan uçucu ve partikül emisyonlarının kolayca ve etkin biçimde kontrol edilebilmesidir (Conner, 1998).

## **Sıvı Enjeksiyon Yöntemleri**

Stabilizasyonun amacı metalleri immobilize etmek ya da bölgedeki diğer atıkları arıtmak olduğunda, solidifikasyon olmadan bu sadece bir arıtma çözeltisinin kirlenmiş bölgeye enjekte edilmesiyle de elde edilebilir. Kumlu toprak gibi çok yüksek derecede geçirimli bir malzemede enjeksiyon, standart kuyu enjeksiyonu noktaları ve basınç altında çözelti kullanılarak yapılabilir. Daha az geçirimli olan formasyonlarda, bu, yukarıda bahsedilen delme matkaplarından biri ile daha iyi yapılabilir. Daha az araç kullanmanın yanı sıra, ağır bir çamura kıyasla, bir çözeltiyi pompalamak ve enjekte etmek daha basittir ve dolayısıyla daha ucuzdur (Conner, 1998).

## **Alan Yöntemleri**

Çoğu ıslah projesinde, çamur havuzu ya da kirlenmiş toprak derinliği çok büyük değildir. Bu durumlarda, tarımsal toprak ekipmanı kullanımı daha etkili ve daha ucuzdur. Bu sistemlere bir örnek traktöre monte edilmiş disk tırmık kullanımudur. Baağlayıcı yüzey üzerine önceden serpilebilir ya da tırmığa takılan bir enjektör yoluyla enjekte edilebilir. Benzer sistemlerde motor gücüyle çalışan, öne takılmış matkap ya da pervaneler kullanılır (Conner,1998).

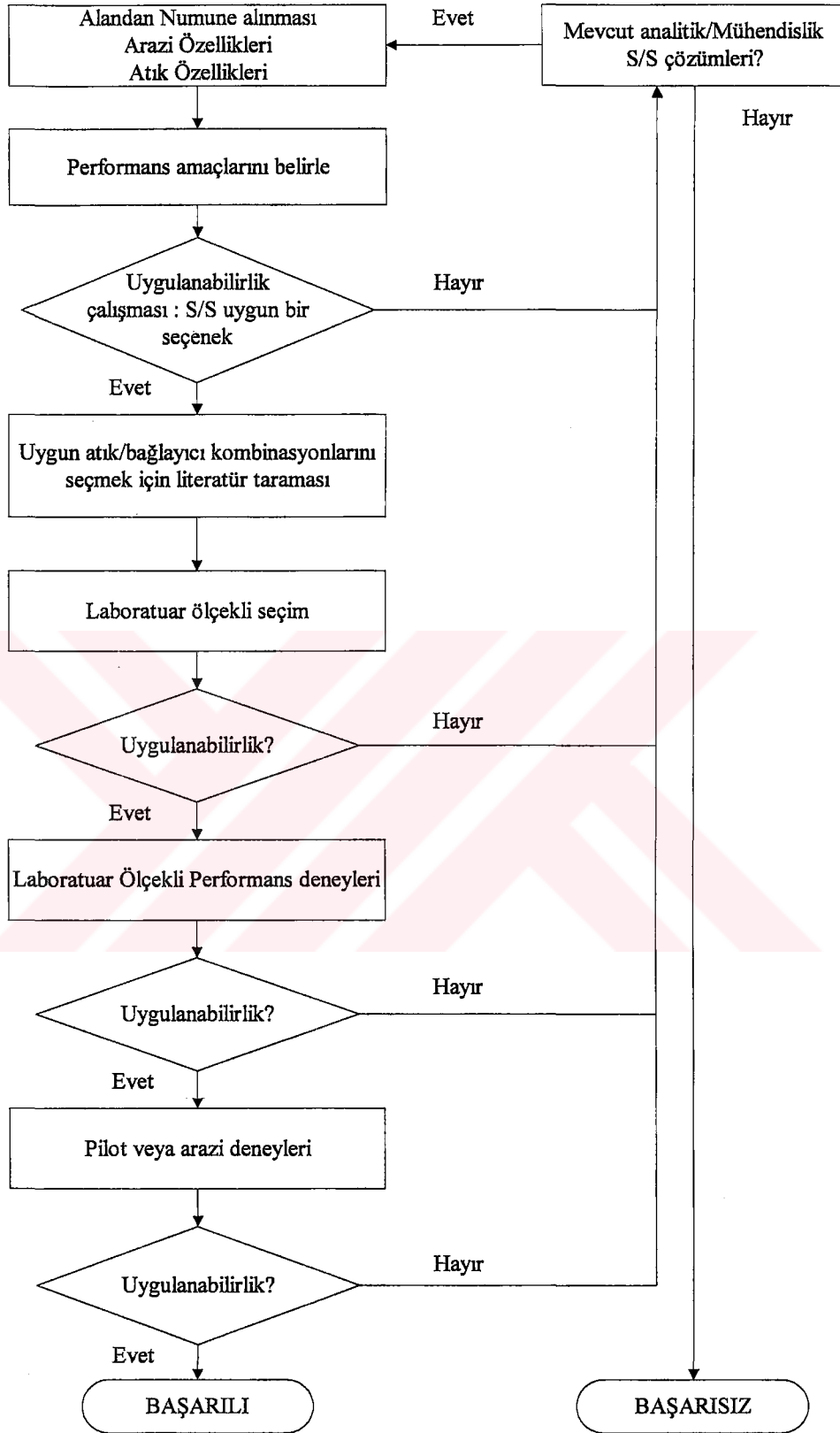
## **3.7. Zararlı Atıklar İçin Uygun S/S Teknolojilerinin Seçimi ve Arıtma Projelerinin Geliştirilmesi**

### **3.7.1. S/S Teknolojilerinin Seçimi**

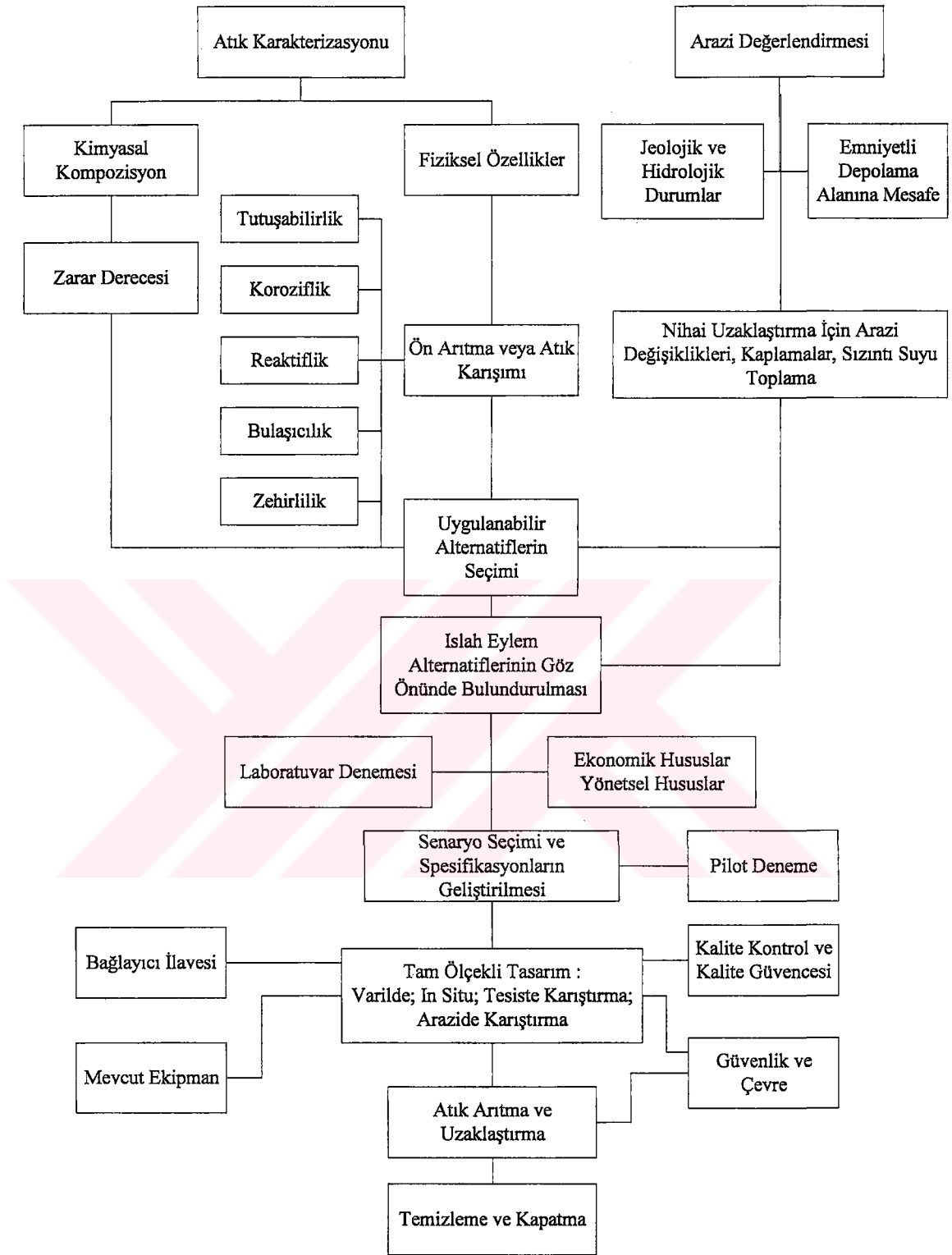
Teknolojinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve optimizasyonu prosesleri “Teknoloji seçimi” olarak adlandırılmaktadır. Tam ölçekte ki uygulamalar öncesinde uygun şekilde seçilen arıtma teknolojisi, arazide en yüksek başarı şansına sahip olmaktadır.

Bu bölümde S/S teknoloji seçim prosesi ile ilgili rehber bilgilerin verilmesi ve ayrıca her türdeki atık tipi için uygun olan S/S proseslerinin seçimi ve deneyleri için gereken adımların açıklanması amaçlanmaktadır.

Teknoloji seçimi için bir kavramsal tasarım Şekil 3.1’de, stabilizasyon proses tasarımı daha kapsamlı olarak Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Solidifikasyon/Stabilizasyon Teknolojisinin Seçimi (Means vd., 1994)



Şekil 3.2. Stabilizasyon Proses Tasarım Akım Şeması (LaGrega, 1994)

### 3.7.2. S/S Arıtma Projelerinin Geliştirilmesi

S/S arıtma projelerinin geliştirilmesinde aşağıdaki dört önemli aşamadan söz edilebilir:

1. Problemin Tanımlanması (Atık Karakterizasyonu)
2. Çözümün Bulunması ve Uygulama Yaklaşımının Belirlenmesi (Teknoloji Seçimi)
3. Pratik Uygulama İçin Teknik Uygulanabilirliğin Gösterilmesi (Arıtılabilirlik Deneyleri)
4. Projenin Geliştirilmesi (Pilot Ölçekli Deneme ve Tasarım)

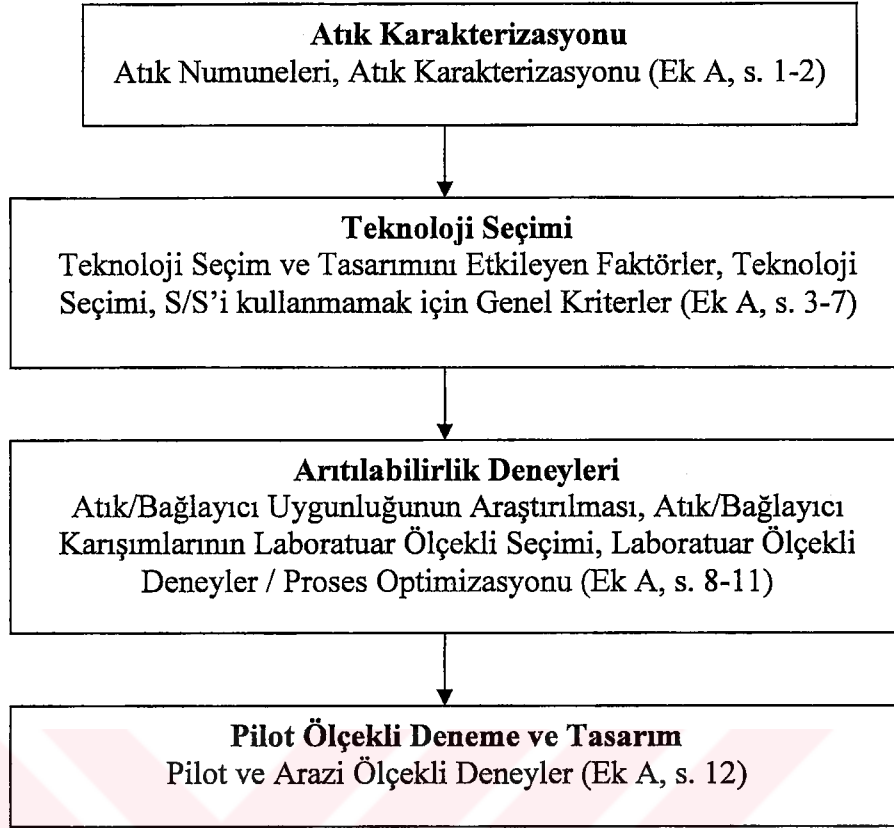
Aşağıda bu aşamalar ile ilgili rehber bilgiler verilmiş ve her türdeki atık tipi için uygun olan S/S proseslerinin seçimi ve deneyleri için gereken adımlar açıklanmıştır. Şekil 3.3'te de proje aşamaları gösterilmiştir. Ayrıca bu adımlar bir akım şeması olarak daha açıklayıcı bir şekilde Ek A'da verilmiştir. Ek A'da verilen Şekil A.1. S/S Arıtma Projelerinin İş Akışı literatürdeki bilgilerden yararlanılarak oluşturulmuştur.

#### Atık Karakterizasyonu

Problemin ortaya konduğu ilk aşamada çeşitli atık tiplerinin ve kirleticilerin, S/S teknolojisi ile arıtmaya uygun olup olmadığını gözden geçirmek amacıyla atık özellikleri belirlenir. Bu aşamada söz konusu atıklar için S/S teknolojinin daha önce kullanılmış olması ön bilgi sağlayabilir.

Atık karakterizasyonunda, atıktan alınan numuneler, atığın tamamının fiziksel ve kimyasal özelliklerini ve kirleticilerin en yoğun olduğu noktaların özelliklerini yansıtmalıdır. Bu nedenle numune alma planının iyi yapılması ve yeterli miktarda numune alınması önemlidir.

Atık karakteristikleri, atık için en uygun bağlayıcı tipi seçiminde ve atık/bağlayıcı karışımının performansını tahmin etmede faydalıdır.



Şekil 3.3. S/S Arıtma Projelerinin Aşamaları

Arıtılmamış atıklar için karakterizasyon verilerini elde etmek;

- Sık uygulanan S/S yöntemlerini etkileyebilen maddelerle ilgili bilgi toplamak,
- Arıtılmış atıklarla ilgili kimyasal verilerin karşılaştırılabileceği başlangıç değerlerini saptamak,
- Zararlılık özellikleri ile ilgili bilgi toplamak,
- Hedef kirleticileri ve bu kirleticilerin fizikokimyasal formlarını belirlemek

için gereklidir (Means vd., 1994).

Atıklarda bulunan kirletici sınıfları arasında metaller ve metal bileşikleri, çeşitli tipteki organik maddeler ve anyonlar gibi diğer çeşitli bileşikler yer almaktadır.

S/S yöntemi ile arıtma açısından denenmiş bazı metaller veya metal grupları kaynaklarına göre Tablo 3.6'da listelenmiştir.

Tablo 3.6. S/S Arıtma Yöntemi İçin Test Edilen Bazı Metal Atık Örnekleri (Means vd., 1994).

KİRLLETİCİ	ATIK TİPİ
Aluminyum	Metal kaplama
Aluminyum (ve diğer metaller)	Aluminyum anodize edici çamur
Antimon (ve diğer metaller)	Akümülatör üretim baca tozu
Arsenik	Fosforik asit filtre keki
Arsenik	Uçucu kül
Arsenik	Herbisid (bitki öldürücü) atık
Arsenik	Fosforik asit filtre keki
Baryum	Çeşitli
Kadmiyum (ve çinko)	Tuz sulu-çamuru
Kadmiyum (ve diğer metaller)	Akümülatör tesisi çamuru
Kadmiyum (ve diğer metaller)	Kirlenmiş toprak
Krom (ve diğer metaller)	Krom kaplama çamuru
Krom (ve diğer metaller)	Aluminyum anodize edici çamuru
Krom (ve diğer metaller)	Kromik asit çalkalama suyu
Krom (ve diğer metaller)	Kirlenmiş toprak
Bakır	Katalizör
Bakır	Katalizör substratı
Bakır (ve çinko)	Filtre pres keki
Bakır (ve kalay)	Dökümhane kumu
Bakır (ve diğer metaller)	Metal kaplama
Kurşun	Portland çimentosu ocak kumu
Kurşun (ve diğer metaller)	Akümülatör fabrikası çamuru
Kurşun (ve diğer metaller)	Akümülatör üretimi baca tozu
Kurşun (ve diğer metaller)	Kirlenmiş toprak
Civa	Klor-alkali civa hücresi
Nikel (ve diğer metaller)	Akümülatör fabrikası çamuru
Nikel (ve diğer metaller)	Metal dolgu çamuru

Nikel (ve metaller)	Kirlenmiş toprak
Gümüş	Çeşitli
Sodyum	Metal kaplama tuzu çamuru
Kalay (ve metaller)	Akümülatör üretimi baca tozu
Çinko (ve kadmiyum)	Metal tuzu sulu çamuru
Çinko (ve bakır)	Saydamlaştırıcı çamur
Çinko (ve bakır)	Filtre pres keki
Çinko (ve metaller)	Akümülatör fabrikası çamuru
Çinko (ve metaller)	Kirlenmiş toprak
Karışık metaller	Boya çamuru
Karışık metaller	Dökümhane çamuru
Karışık metaller	Maden cevheri işleme sızıntı artıkları
Karışık metaller	Matbaa atık suyu arıtma çamuru
Karışık metaller	Matbaa atık suyu arıtma filtresi küspesi
Karışık metaller	Boya atık yakma külü
Karışık metaller	Elektrokimyasal makine atıkları
Karışık metaller	Kimyasal proses atık arıtmalarından kaynaklanan biyoçamurlar
Karışık metaller	Saydamlaştırıcı çamur
Karışık metaller	Lagün çamuru
Karışık metaller	Atık su arıtma filtre keki
Karışık metaller	Nötralize asidler

Erickson ve Barth (1996), kirlenici konsantrasyonlarını, bağlayıcı tip ve oranını ve 18 metal üzerinde S/S arıtımının etkilerini listeleyen bir veri tabanı seçmişler; atık ve bağlayıcı özellikleri arasındaki ilişkileri ve S/S arıtımının etkinliğini açıklığa kavuşturmak için analiz etmişlerdir. Ancak yeni atıklar ve bağlayıcılar için arıtılabilirlik çalışmaları yapılmadan S/S'in performansını tahmin etmek mevcut verilerle mümkün olmamıştır.



Ağır metaller veya organik maddelerle kirlenmiş topraklar gibi organik madde içerikli atıklar da S/S arıtma yöntemi için uygun olan atık türleridir. Organik maddelerin atıklardaki çeşitliliği göz önüne alındığı zaman S/S yöntemi ile arıtmaya uygun olan organik maddelerin tam ve kapsamlı bir listesini oluşturmak oldukça zordur. Ancak Tablo 3.7 ve 3.8’de S/S yöntemi ile arıtmaya uygun oldukları düşünülen bazı organik ve metalik maddelerin bir listesi yer almaktadır.

Tablo 3.7.. Solidifikasyon/Stabilizasyon Arıtma Yöntemi İçin Test Edilmiş, Bazı Metal ve Organik Madde Karışımı İçeren Örnekler (Means vd., 1994)

KİRLLETİCİ	ATIK TİPİ
Baryum ve organik maddeler	Kok kömürü tozu
Krom ve organik maddeler	Tabakhane atığı
Petrol, kadmiyum, krom, kurşun	Rafineri çamuru
Petrol, krom, kurşun, arsenik	Rafineri çamuru
Petrol, kurşun, PCB, arsenik	Kirlenmiş toprak
PAH ve organik maddeler	Kirlenmiş toprak
PCB ve VOB	Kirlenmiş toprak
Metaller ve petrol	Kullanılmış petrolüyeniden-rafine etme ağartma kili
Metaller ve petrol	Metal dolgu parlatma yıkaması
Metaller, petrol ve sülfür (kükürt)	Sentetik petrol çamuru
Metaller ve organik maddeler	Aşınmış petrol atığı
Metaller ve organik maddeler	Kumaş üretim atık çamuru
Metaller ve organik maddeler	Kumaş üretim atıksu arıtma çamuru
Metaller ve organik maddeler	Atıksu arıtma tesisi çamuru
Metaller ve organik maddeler	Tehlikeli atık depolama alanı sızıntısı
Metaller ve organik maddeler	Depolama alanı sızıntısı
Metaller ve organik maddeler	Karışık lagün çamuru
Metaller ve organik maddeler	Matbaa atık çamuru
Metaller ve organik maddeler	Tel üretimi vinil atığı
Metaller ve organik maddeler	Tabakhane lagünü biyoçamuru

Tablo 3.8. Solidifikasyon/Stabilizasyon Arıtması İçin Denenmiş Bazı Organik Atıklar (Means vd., 1994)

KİRLLETİCİ	ATIK TİPİ
Karbon tetraklorür ve karbon disülfid	Atık çamuru
Klorlü hidrokarbonlar	Petrokimyasal üretim atıkları
Creosote	Atık çamuru
Kepone	Kirlenmiş toprak
Naftalen	Atık çamuru
Petrol ve gres (yağ)	Kirlenmiş toprak
Petrol ve gres	Sudaki Petrol, sabun ve gres
Petrol ve gres	Petrol çamuru
Pestisidler	Çamur
PCB	PCB petrolü
PCB	Kirlenmiş toprak
Silikonlar	Silikon atık
Solventler	Kauçuk atık
Solventler	Boya atığı
Sentetik kauçuk	Kauçuk atık
Vinil klorür ve etilen klorür	Çamur
Organik maddeler	Boya atık suyu
Organik maddeler	Boya atık çamuru
Organik maddeler	Akrilik/epoksi boya yıkaması
Organik maddeler	Karışık lagün çamuru
Organik maddeler	Petrol rafinesi kostik atığı
Organik maddeler	Uzun petrol reçine atığı
Organik maddeler	Depolama alanı sızıntılarının organik fazı
Organik maddeler	Vernik solvent durgun çöküntüleri
Organik maddeler	Sentetik reçine atığı
Organik maddeler	Tabakhane atığı
Organik maddeler	Fenolik reçine atığı

Büyük oranda organik madde içeren atıklar, özellikle uçucu organik madde açısından zengin olan atıklar için diğer teknolojik arıtma yöntemleri daha uygun bir alternatif olabilirler. Organik maddeler sıklıkla kimyasal veya termal işlemlerle ekstrakte edilmekte veya parçalanabilmektedir. Organik maddelerin, inorganik yapıdaki S/S bağlayıcıları ile stabilize edilmeleri zor olabilir ve gerçekten organik maddeler reaksiyonları etkileyebilmektedirler (Means vd., 1994).

S/S'i ilgilendiren diğer bileşikler arasında diğer metalik olmayan inorganik türler yer almaktadır. Tablo 3.9'da S/S arıtması için denenmiş bazı inorganik türlerin listesi yer almaktadır.

Tablo 3.9. S/S Arıtma Yöntemi İçin Denenmiş Bazı İnorganik Atıklar (Means vd., 1994)

KİRLLETİCİ	ATIK TİPİ
Asit atık	Metal kaplama çözeltisi
Asit (ve metaller)	Çamur
Asit atık (ve organik maddeler)	Çamur
Bor florür	Pilot tesis atığı
Kostik atık	Alüminyum çizim atığı
Siyanür (ve metaller)	Kaplama (metal kaplama) çamuru
Florür (ve metaller)	Kalsiyum florür çamuru
Florür (ve organik maddeler)	Karışık petrol rafine atıkları
Okzalatlardan, sülfidlerden ve organik maddeler	Kullanılmış kağıt hamuru (selüloz) SIVISI

### Teknoloji Seçimi

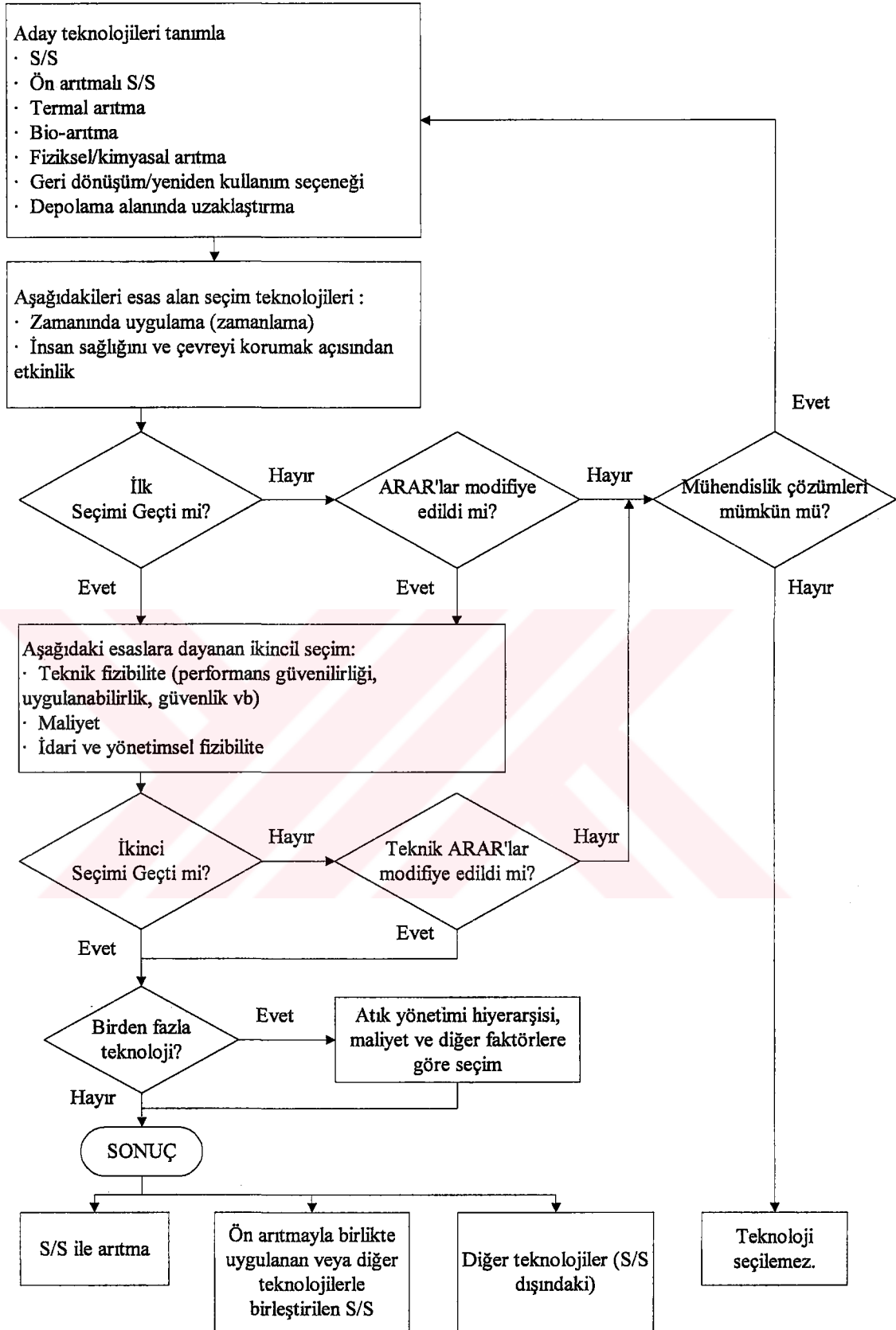
Çözümün bulunduğu ve uygulama yaklaşımının belirlendiği ikinci aşamada arıtma projeleri için amaçlar belirlendikten sonra, hangi arıtma teknolojisinin veya teknolojilerinin bu amaçlar için uygun olabileceği belirlenir. Bu aşamada S/S, diğer arıtma alternatifleriyle karşılaştırılır. En uygun teknolojinin S/S olduğu anlaşıldıktan sonra insan sağlığını ve çevreyi koruyan, toksisiteyi, mobilitayı ve hacmi azaltan, en etkin şekilde ve uygun maliyetlerde uygulanabilen yöntem seçilir.

Geniş anlamda düşünülecek olursa atıkların büyük bir kısmı S/S ile arıtılabilme potansiyeline sahiptir. Arıtılmayacak durumda olan bir atık, uygulanan ön arıtma işlemleri ile, S/S yöntemiyle arıtmaya uygun bir hale getirilebilir. Ancak ön-arıtma gereksinimleri, bazı atıklar için teknolojiyi maliyet açısından uygun olmaktan çıkarabilir ve ayrıca bazen farklı bir teknoloji daha uygun ve daha verimli olabilir (Means vd., 1994).

Teknoloji seçim prosesindeki ilk adım, aday durumdaki alternatif yöntemleri tanımlamaktır. Çok sayıda farklı teknoloji geliştirilmiştir. Pek çok teknoloji sadece belli atık tiplerine uygulanabilmektedir.

Teknolojinin seçimi başlıca 2 evrede gerçekleşmekte ve bu prosedür Şekil 3.4'te verilmiştir. İlk aşamada tüm alternatif ıslah çalışmaları insan sağlığı ve çevreyi korumak açısından etkinlik ve zamana uygunluk esaslarına dayanarak birbirleriyle karşılaştırılır. Daha sonra söz konusu kriterleri karşılayan daha az sayıdaki ıslah çalışmasından oluşan küçük bir grup teknik uygulanabilirlik, maliyet ve idari ve yönetsel uygulanabilirlik açısından değerlendirilir (Means vd., 1994).

Teknoloji seçimi sırasında dikkate alınan bir diğer faktör, ıslah eylemi/teknolojisinin tehlikeli atık yönetim hiyerarşisi kapsamındaki yeridir. Atıkların tamamının veya bir kısmının geri dönüşümüne, yeniden kullanımına veya geri kazanımına imkan tanıyan ıslah eylemleri arıtma veya uzaklaştırma yöntemlerine tercih edilmektedir. (Means vd., 1994).



Şekil 3.4. Genel Teknoloji Seçim Prosedürü (Means, 1994)

Teknoloji seçim prosesi, aşağıdaki durumlardan birinin saptanması ile sonuçlanabilir:

- Atık herhangi bir ön arıtma olmadan S/S ile arıtılabilir.
- Atık, ön arıtmalı veya diğer teknolojilerle birleştirilmiş S/S prosesleri ile arıtılabilir.
- Atık, S/S dışında kalan diğer bir teknoloji ile arıtılabilir.
- Atık için herhangi bir teknoloji uygun değildir (Means vd., 1994).

### **Arıtılabilirlik Deneyleri**

Uygun S/S formülasyon ve tekniğinin seçimi ve tasarımı, arıtılabilirlik çalışmalarıyla başlar. Arıtılabilirlik çalışmaları, daha önceden özellikleri belirlenmiş zararlı atığın zararını elimine etmek veya azaltmak için uygun bağlayıcı tipini seçmek ve geliştirmek için yürütülür.

S/S'nin belli bir atık için potansiyel olarak uygulanabilir bir teknoloji olduğunun belirlenmesinden sonra, arıtılabilirlik çalışmalarına başlamak için; uygun bağlayıcı tiplerini tanımlamak amacıyla teknik literatür incelenir. Literatürün incelenmesi, laboratuvar ölçekli çalışmalarda daha fazla değerlendirmeye alınacak 2 veya 4 tane aday bağlayıcının seçimiyle sonuçlanmalıdır. Kapsamlı bir seçim prosesinde iyi stabilizasyon sağlamak için değişik atık/bağlayıcı oranları denenmelidir.

Balzamo ve diğerleri (1996), çimento ile stabilize edilmiş atıklardan farklı kirleticilerin salınması üzerine deneysel ve teorik çalışmalar yürütmüşlerdir. İmmobilizasyon matrisi için en iyi kompozisyonu seçmek ve zararlı atıkların depolanmasından sonra hangi kirleticilerin salınacağını belirlemek için bir bilgisayar programı yapmışlardır.

Laboratuvar ölçekli deneyler için tek bir bağlayıcı veya bağlayıcı sistemi seçilmişse bu durumda literatür takibine daha fazla gerek yoktur. Ancak laboratuvar ölçekli deneylerde bağlayıcı sisteminin etkin olmadığı sonucuna varılırsa, S/S'nin uygun bir arıtma teknolojisi olmadığına kesin olarak karar vermeden önce başka bağlayıcı sistemler seçilmeli ve denenmelidir (Means vd., 1994).

Atık/bağlayıcı uyumluluğu ile ilgili literatürün takibi konusunda temel kriterler (1) Etkileşimleri ve kimyasal uyumsuzluğu ortaya çıkartmak (2) Metal kimyası ile ilgili konuları belirlemek (c) Uzaklaştırma veya yeniden kullanma ile uyumluluğu belirlemek (d) Maliyeti tespit etmek ve (e) Prosesin ilerlemesini kaydetmektir. İdeal olarak, bu sorunların sistematik bir şekilde değerlendirilmesi için uzman bir sistem geliştirilmelidir. Ancak kompleks atık formları için henüz böyle uzman bir sistem henüz geliştirilememiştir (Means vd., 1994).

Atık/bağlayıcı uyumluluğu ile ilgili literatür takibinin sonuçları, S/S arıtma işlemlerinde umut verici bağlayıcıların veya bağlayıcı/atık sistemlerinin bir listesini teşkil eder. Eğer sadece tek bir bağlayıcı tanımlanmışsa bu durumda, deney yapılarak gerçekten seçkin özelliklere sahip olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde alternatif bir bağlayıcının tanımlanması gerekir. S/S arıtma çalışmalarının bu aşamasında, sınırlı şekilde arıtılabilirlik çalışması yürütülür ve çözüm için umut verici bir bağlayıcı aday seçilir.

Seçilen bağlayıcının proje amaçları ile ilgili tüm kriterlere uygun olup olmadığının gösterilmesi ve S/S prosesinin tasarım, uygulanabilirlik ve maliyet açısından optimize edilmesi gerekir. Laboratuvar ölçekli deneyler; S/S ile arıtılmış atığın standartları sağladığını kanıtlamalıdır.

Bu aşamada, aday olarak seçilen bağlayıcıları karşılaştırmak için laboratuvar ölçekli seçimin yapılması gerekir. İlgilenilen performans kriterine bağlı olarak bir veya iki tane basit performans deneyi, örneğin sıklıkla önerilen TCLP ve basınç dayanımı (Unconfined compressive strength, UCS) deneyleri, seçim için yeterli olmalıdır (Means vd., 1994).

Arıtılabilirlik deneyleri, küçük atık numuneleriyle (yaklaşık 500 gr) farklı tip ve miktarlardaki araçların karıştırılmasıyla yürütülür. Uygun çözüme ulaşmak için tipik olarak laboratuvar ölçekli karıştırma, sızabilirlik ve dayanıklılık deneyleri yapılır.

Eğer seçim deneyleri bağlayıcılar arasında belli bir farklılık tespit edemezse yani bağlayıcılar yaklaşık olarak eşit performansa sahiplerse, bu durumda bağlayıcıların başka faktörlere göre seçilmesi gerekebilir. Örneğin arazide uygulanabilirlik veya maliyet gibi farklılıklar yönünden bağlayıcılar birbirleriyle karşılaştırılabilir (Means vd., 1994).

S/S arıtma çalışmaları sırasında, sınırlı şekilde arıtılabilirlik çalışması yürütülerek çözüm için umut verici bir bağlayıcı aday seçilmektedir. Bundan sonraki aşamada bağlayıcının proje performans amaçları ile ilgili tüm kriterleri sağlayıp sağlamadığının gösterilmesi ve S/S prosesinin tasarım, arazide uygulanabilirlik ve maliyet performansı açısından optimize edilmesi gerekmektedir. Burada, arıtılabilirlik çalışmaları ile ilgili bu aşama “Laboratuar ölçekli performans deneyi/proses optimizasyonu” olarak adlandırılmaktadır (Means vd., 1994).

Arıtılabilirlik çalışmalarının başarısının ölçülmesi için kriterlerden bazıları TCLP, EP Tox ve California Atık Ekstraksiyon Deneyi (WET deneyi) için belirlenen metal eşikleri gibi limitlerdir (Means vd., 1994).

Şekil 3.5’te gösterilen yaklaşım, performans deneyi düzeyinin insan sağlığı ve çevre üzerinde oluşturacağı potansiyel risk düzeyine göre ayarlanması gerektiğini savunmaktadır. Buna göre deney programları, atıkların planlanmış bir şekilde uzaklaştırıldığı veya yeniden kullanıldığı ortamlarda oluşturacağı nihai risklere göre belirlenmelidir. 4 temel risk faktörü vardır:

1. Atık hacmi
2. Kirleticilerin tipi ve konsantrasyonu (metaller, organik maddeler veya her ikisi)
3. Planlanmış uzaklaştırma veya yeniden kullanım yerinin özellikleri
4. Seçilmiş S/S prosesinin kanıtlanmış performansı (Means vd., 1994).

Laboratuar ölçekli performans deneylerinin ve proses optimizasyonunun amaçları S/S ile arıtılmış atıklarla ilgili olarak aşağıdakileri belirlemektir:

1. Atıkların kimyasal ve fiziksel olarak stabil olduğunu (boya filtre deneyleriyle düşük sızma hızlarında serbest sıvı bulunmadığının gösterilmesi gibi).
2. Atığın uzaklaştırma veya yeniden kullanma ile uyumluluğunun gösterilmesi (örneğin atığın yeterli dayanıma sahip olduğunu, biyolojik olarak parçalanmaz olduğunu ve yeterince düşük geçirimsizlik özelliğinin bulunduğunun gösterilmesi gibi).



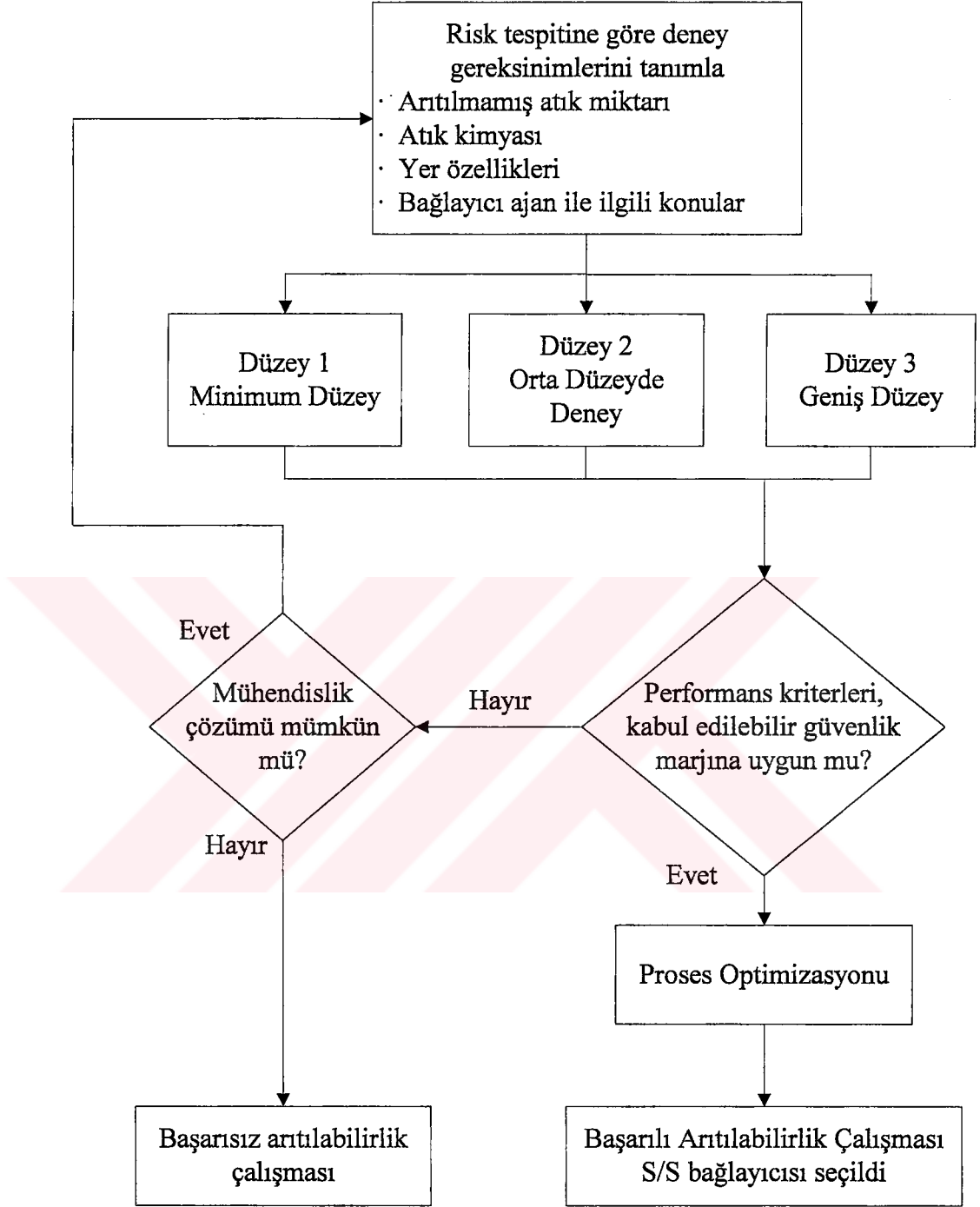
3. Standartlara yeterli bir güvenlik sınırı ile uyduğunun gösterilmesi.
4. Diğer olası arıtma teknolojileri ile karşılaştırılarak maliyet etkinliğinin gösterilmesi.
5. Etkin ve arazide kolayca uygulanabilir olduğunun gösterilmesi (Means vd., 1994).

Tablo 3.10'da tanımlanan temel risk faktörlerine dayanan yaklaşım S/S projeleri ile ilgili riski tespit edebilir. Bu basitleştirilmiş yaklaşım sadece pratiğe dayalı bir kılavuz sunmak amacıyla burada yer almaktadır.

Tablo 3.10'da yer alan risk kategorileri şu şekildedir: (a) Atık hacmi (b) metal kirleticilerin miktarı ve tipi (c) organik kirleticilerin miktarı ve tipi (d) uzaklaştırma veya yeniden kullanım yerinin özellikleri (e) S/S prosesinin gösterilmiş etkinliği. Bu risk kategorilerinin tamamı kendi aralarında düşük, orta ve yüksek risk düzeylerine ayrılmaktadır. Büyük atık hacimleri, yüksek tehlike içeren kirleticiler, insanların veya ekolojik alıcıların olası maruz kalmalarına sebep olan yer koşulları ve kanıtlanmamış S/S prosesleri yüksek risk taşımaktadır ve bu sebeple daha yüksek düzeyde performans deneylerini gerektirmektedirler. Metaller ve organik maddeler ayrı ayrı ele alınmaktadır çünkü her ikisini birden içeren atıkların arıtılması oldukça zordur ve bu sebeple sadece tek bir kirletici türünü (metal veya organik madde) içeren atıklara göre daha büyük bir risk taşımaktadırlar (Means vd., 1994).

Tablo 3.11, performans deneylerinin 3 düzeyi için bazı tipik deney gereksinimlerini (sızma ile ilgili, fiziksel veya diğer kimyasal deneyler) açıklamaktadır.

Tablo 3.11'de de görüldüğü gibi yüksek riskli projeler, S/S ile arıtılmış atıkların gerekli performans seviyelerini sağlayabilecekleri daha yüksek güvenlik derecesini temin etmek için daha titiz deneyleri gerektirmektedir.



Şekil 3.5: Seçilmiş Atık/Bağlayıcı Karışımlarının Laboratuar Ölçekli Performans Deneyi (Means vd., 1994)

Tablo 3.10. Performans Deneysel Seviyelerini Değerlendirmek İçin Risk Faktörleri (Means vd., 1994)

RİSK FAKTÖRLERİ	RİSK SEVİYELERİ		
	I. Düşük risk	II. Orta risk	III. Yüksek risk
ATIK HACMİ	< 1000 yard <sup>3</sup>	>1000 - < 10.000 yard <sup>3</sup>	>10.000 yard <sup>3</sup>
METAL KİRLİTİCİLERİN MİKTARI VE TİPİ	Non-kanserojenik Düşük toksisite (örn. Cr+3, Ba, Zn, Mo, Cu)	Non-kanserojenik Orta derecede toksisite (örn. Pb, Se, Sb)	Bilinen veya şüpheli kanserojen Yüksek toksisite (örn. Cr+6, Cd, Hg, As, Be)
ORGANİK KİRLİTİCİLERİN MİKTARI VE TİPİ	Düşük - orta konsantrasyonlar Düşük toplam organik karbon içeriği Düşük düzeyde zararlı organikler Düşük düzeyde etkileşimli organikler	Düşük-orta konsantrasyonlar. II. düzey metallerle aynı ortak kriterler (örn. Yüksek riskli organik maddeler grubunda yer alan cresoller, xylene'ler ve aldehidler gibi kirleticilerin dışında kalan organik öncelikli kirleticiler	Çok yüksek konsantrasyon III. Düzey metallerle aynı genel kriterler (PAH'lar, PCB'ler, dioksinler, furanlar, belirli pestisidler, klorofenoller gibi). Yüksek etkileşimli organikler
UZAKLAŞTIRMA VEYA YENİDEN KULLANIM YERİNİN ÖZELLİKLERİ	Vadoz bölge (doğru olmayan bölge) uzaklaştırması veya yeraltı suyu derinliği >25 feet. Kuru iklim Düşük nüfus yoğunluğu İçme suyu kaynağından uzaklık RCRA onaylı uzaklaştırma tesisi	I ve III arasında yer alan koşullar	Doymuş bölgede uzaklaştırma veya yeraltı suyu derinliği <5 feet. Yağışlı iklim Yüksek nüfus yoğunluğu İçme suyu kaynağına yakınlık Zemin üzerinde uzaklaştırma veya yeniden kullanımın söz konusu olduğu rüzgarlı koşullar.
S/S PROSESİNİN KANITLANMIŞ ETKİNLİĞİ	Genel bağlayıcıların ve kolayca stabilize olan kirleticilerin yer aldığı iyi tanımlanmış, sık kullanılan proses	Çalışılan ancak sık kullanılanmayan arazi.	Stabilize edilmesi zor olan kirleticiler (Örneğin As, Cr+6, fenoller gibi) için yeni ve kompleks proses

Tablo 3.11. Performans Deney ve Örnek Deney Gereksinimlerinin Seviyeleri (Means vd., 1994)

ÖRNEK DENEY GEREKSİNİMLERİ			
	SIZMA İLE İLGİLİ	FİZİKSEL DENEYLER	DİĞER KİMYASAL DENEYLER
<b>DÜŞÜK</b>	Tek bir kısa süreli deney (5 günlük ANSI/ANS/16.1 gibi)	Uzaklaştırma veya yeniden kullanım ortamı ile uyumluluğu göstermek için minimum sayıda parametreye gerekir.	Gerektiğinde; non-korozivitenin gösterilmesi için genelde pH'nın ölçülmesi gerekmektedir.
<b>ORTA</b>	Tek bir kısa süreli deney (5 günlük ANSI/ANS/16.1 gibi) ve tek bir orta veya uzun dönem deney (MEP gibi)	Çeşitli fiziksel parametreler (UCS permeabilite, spesifik gravite gibi) Yer üstünde kullanım planlanıyorsa Dondurma/eritme ve yaş/kuru deneyi	Gerektiğinde (örneğin pH, asit nötralizasyon kapasitesi vb)
<b>YÜKSEK</b>	Bir uzun süreli deney içeren deneyler (MEP veya 90 günlük ANSI/ANS/16.1 gibi); jeokimyasal ve/veya transport modelleme önerilebilir. TCLP listesinde yer almayan organik maddelerin kimyasal stabilizasyonunu göstermek üzere solvent ekstraksiyon deneyi (toplam atık analizi) Gerektiğinde kimyasal bağlanmayı göstermek için uygulanması gereken rutin olmayan analitik yöntemler	II. düzeyde yer alan tatbik edilebilir özellikler + standart faktör deneyi, California taşıma (kaldırma) deneyi, dondurma/eritme ve yaş/kuru deneyleri ve uygun olan diğerleri. Bağlayıcı ile ilgili biyodegradasyon deneyleri.	Kimyasal stabilite ve uyumluluğu gösterecek pH, asit nötralizasyon kapasitesi, Eh, uçucu emisyonlar Uygun olan biyodenyeler Uzun süreli stabilite potansiyelini göstermek için kirlenici metallerin belirlenmesi.

Eğer artırılabilirlik çalışması başarısız olursa (yani performans amaçları sağlanmazsa) bu durumda çeşitli seçenekler söz konusudur. Örneğin :

1. Kısıtlamalar içinde performans amaçlarını gözden geçirmek
2. Formülasyonu modifiye etmek
3. Tamamen farklı bir bağlayıcı sistemini araştırmak
4. Son yerleştirme noktasında daha fazla mühendislik kontrolü uygulamak (Means vd., 1994).

### **Pilot Ölçekli Deneme ve Tasarım**

Uygun bir bağlayıcı ve bağlayıcı/atık oranı seçildiği zaman laboratuvar ölçekli artırılabilirlik deneyleri son bulur. Bundan sonra kullanıcının, tam ölçekli bir arıtma öncesinde solidifikasyon/stabilizasyon prosesinin arazide gösterim deneyinin veya bir pilot deneyin yapılmasına gerek olup olmadığına karar vermesi gerekir. Bağlayıcı seçiminde güvenin sağlanması veya tam ölçekli bir sistemin tasarımı için veri toplanmasında pilot veya arazi ölçekli deneylere gerek duyulabilir. Arazi pilot ölçekli çalışmalara, laboratuvar deneylerinin arazi koşulları altında aynen yapıldığını doğrulamak için girişilir.

Stabilizasyon projelerinin tasarımına ilişkin en önemli husus, laboratuvar ölçekli araştırmalar ve tam ölçekli arazi performansı arasında yetersiz bir korelasyonun olmasıdır. Atık ve bağlayıcıların karıştırılma titizliğine göre farklılıklar olabilir. Arazide kontrol etmek zor olabilirken laboratuvarında karışım iyi yapılır. Tam ölçekli bir arazi çalışması (50-100 m<sup>3</sup>) tasarım prosesinin kritik bir parçasıdır (Conner, 1998).

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 4.1. Deneysel Yaklaşım

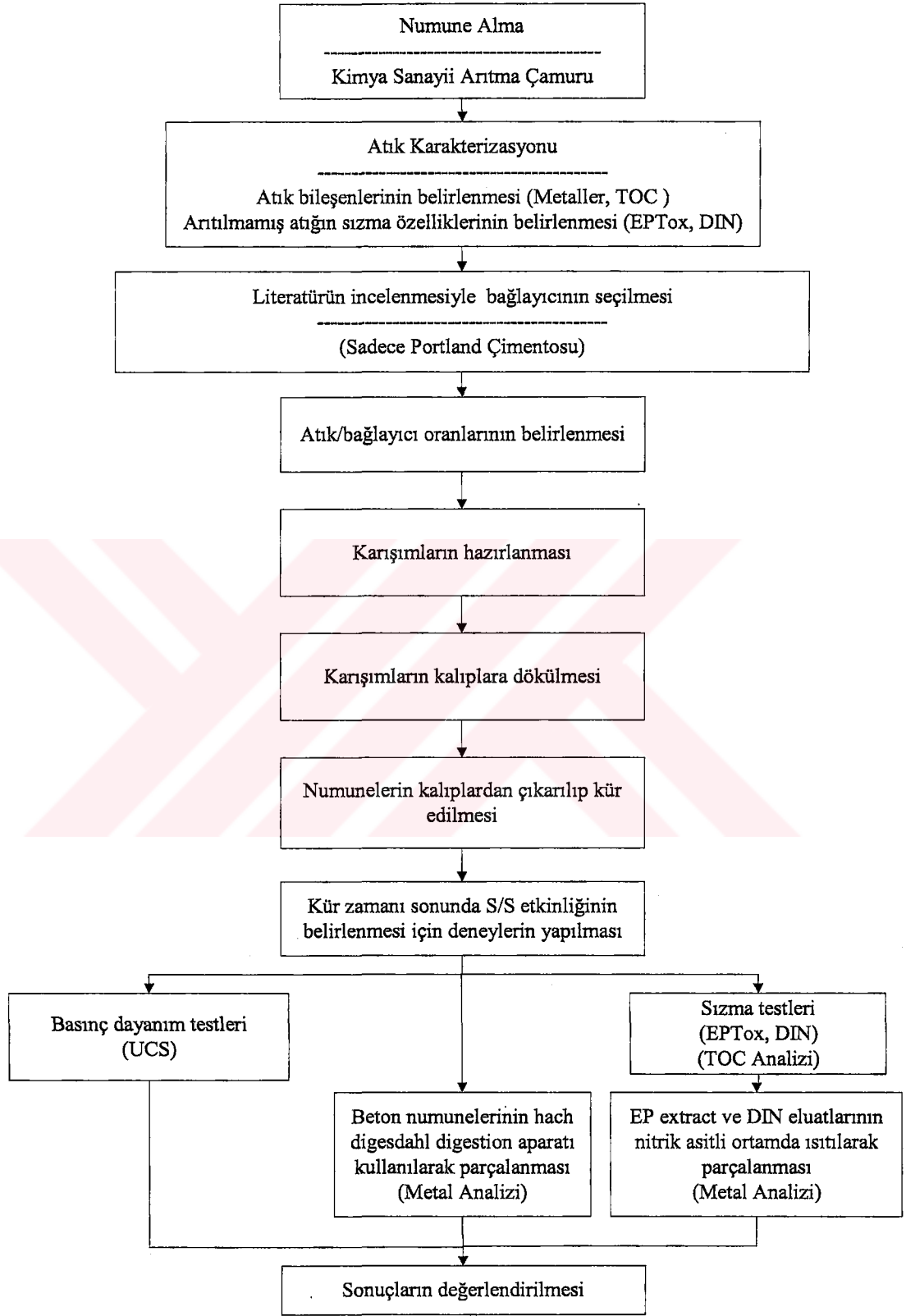
Bu çalışmada solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisi kullanılarak arıtılması düşünülen zararlı atık, metal son işlemleri için kimyasal üreten bir kimya sanayinin atıksu arıtma tesisinden çıkan çamurlardır.

Bu çamurların arıtılabilirliği için yapılan kavramsal tasarımda Şekil 3.1'de verilen arıtılabilirlik yaklaşımı (Means vd., 1994) ve Ek A'da önerilen Arıtma Projelerinin İş Akışı esas alınmıştır. Buna göre;

1. Zararlı atık numunesi olarak kimya sanayi atıksu arıtma tesisi çamuru alınmış ve karakterizasyonu yapılmış,
2. Türkiye'deki Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ndeki Atıkların Düzenli Depo Tesislerine Depolanabilme Kriterleri'ni sağlaması ve Amerika'daki EP Toksikite Karakteristikleri Kirletici Konsantrasyon Standartları'nı aşmaması için atığa uygun S/S teknolojisinin seçimine karar verilmiş,
3. Bağlayıcı olarak Portland çimentosu seçilerek laboratuvar ölçekli arıtılabilirlik çalışmaları yapılmış,
4. S/S teknolojisinin etkinliği basınç dayanımı ve sızma testleriyle belirlenmiş,
5. Pratik uygulama için teknik uygulanabilirlik başarıyla kanıtlanmıştır.

Bu yaklaşımla karar verilen S/S teknolojisinin deneysel tasarımı ve iş akışı Şekil 4.1'de verilmiştir. Buna göre;

1. Zararlı atık numunesi olarak metal son işlemleri için kimyasal üreten bir kimya sanayinin atıksu arıtma tesisinden çıkan çamurlar alınmış,
2. Zararlı atığın tespiti ve karakterizasyonu yapılmış,
3. Bağlayıcı olarak Portland çimentosu seçilmiş,



Şekil 4.1. Deney Planı Şeması

4. 6 farklı atık/bağlayıcı oranı belirlenmiş,
5. Karışımlar hazırlanmış,
6. Hazırlanan karışımlar standart kalıplara dökülmüş,
7. Numuneler kalıplardan çıkarılarak 3 farklı kür zamanına göre kür edilmiş,
8. Her kür zamanından sonra S/S etkinliğinin belirlenmesi için deneyler yapılmış,
9. Sonuçlar tablolar ve grafiklerle değerlendirilmiştir.

#### **4.2. Numune Alma**

Bu çalışmada solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisi kullanılarak arıtılması düşünülen zararlı atık numunesi metal son işlemleri için kimyasal üreten bir kimya sanayinin atıksu arıtma tesisinden temin edilmiştir. Endüstriye ait arıtma çamuru numunesinin bir kısmı susuzlaştırma işleminden önce sulu çamur halde alınmış, diğer kısmı ise filtre presten çıkmış haliyle alınmıştır.

#### **4.3. Zararlı Atık Tespit ve Karakterizasyonu**

##### **4.3.1. Endüstrinin Tanımı**

Kimya endüstrisi ile temel bazı kimyasal maddeleri üreten ve diğer sanayilerin hammaddelerini değerlendiren küçük işletmelerden söz edilmektedir.

Kimyasal artıklar asit, baz, deterjan, plastik madde üretimi, metal kaplama kimyasalları üretimi, patlayıcı maddeler, sentetik madde üretimi, gübre üretimi gibi endüstrilerin üretim proseslerinden kaynaklanır.

Bu tez çalışmasında arıtılmak istenen zararlı atık, metal kaplama kimyasalları üretimi yapan bir işletmeden alınmıştır.

##### **4.3.2. Üretim ve Proses Bilgileri**

Çalışmaya konu olan endüstri; yüzey işlem ve diğer kimyasallardan oluşan ürünler üretmektedir. Yüzey işlem ürünleri; metal yüzeylerin boyaya hazırlanmasında, korozyona karşı korunmasında, çekme ve şekillendirilmesinde, aşınma direncinin artırılmasında kullanılır.



Bu ürünler;

- Asidik ve bazik yüzey temizleyiciler,
- Fosfatlayıcılar,
- Kromatlayıcılar,
- Boya sökücü ve çürütücüler,
- Pas önleyici yağlar,
- Kaydırıcılar.

Yüzey işleme haricinde kullanılan diğer kimyasallar;

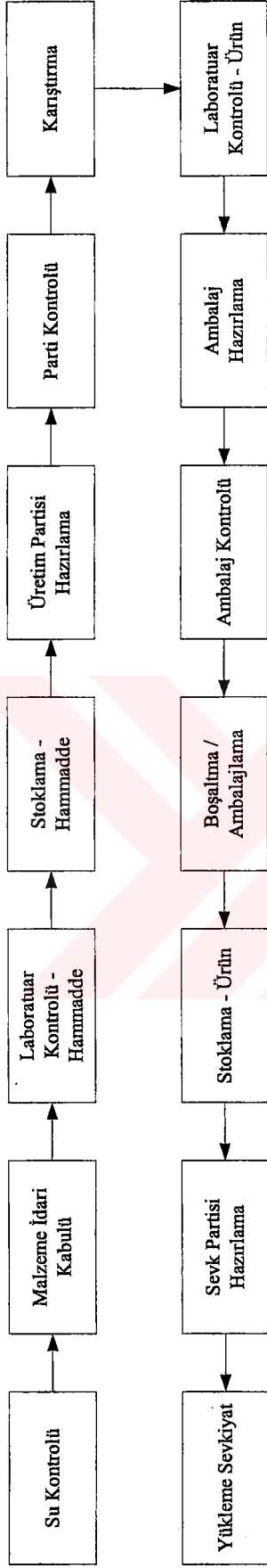
- Lityum ve lityum tuzları,
- Sezyum, rubidyum ve tuzları,
- Çözücü katkı maddeleri,
- Cam sanayi kimyasallarıdır.

Endüstride sıvı ve toz üretimi olmak üzere iki tip üretim yapılmaktadır. Şekil 4.2’de, sıvı üretim proses akım şeması ve Şekil 4.3’te toz üretim proses akım şeması sunulmuştur. Tesis toplam üretim miktarı 1500 ton/yıl (sıvı ve toz malzeme üretimi) olup; kullanılan ana hammaddeler fosforik asit, nitrik asit, çinko oksit, kostik-toz ve kostik-sıvıdır.

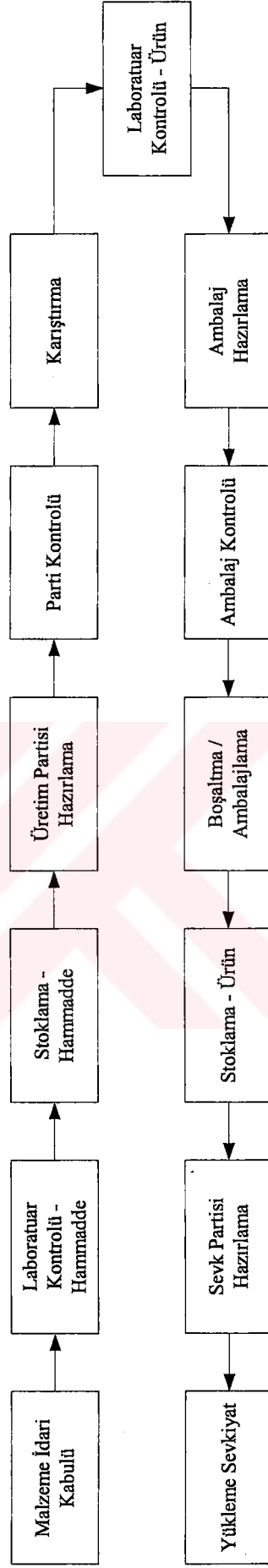
#### **4.3.3. Su Kullanımı ve Atıksu Karakterizasyonu**

Söz konusu olan işletme metal kaplama kimyasalları üretimi konusunda faaliyet göstermekte olup; T.C. Çevre Bakanlığı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 19: Karışık Endüstriyel Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları (Küçük ve Büyük Organize Sanayi Bölgeleri ve Sektör Belirlemesi Yapılmayan Diğer Sanayiler) kategorisine dahildir.

Tesiste 3 ayrı karakterde atıksu oluşmaktadır. Bunlar krom içerikli atıksular, diğer endüstriyel atıksular ve evsel atıksulardır.



Şekil 4.2. Sıvı Üretim Proses Akım Şeması



Şekil 4.3. Toz Üretim Proses Akım Şeması

Fabrikada oluşan atıksu miktarları aşağıda verilmiştir.

- Kromlu atıksular: 1 m<sup>3</sup>/gün
- Diğer endüstriyel atıksular: 4 m<sup>3</sup>/gün
- Evsel atıksular: 5 m<sup>3</sup>/gün

Evsel atıksu Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ<sub>5</sub>) değeri; 40g BOİ<sub>5</sub>/kişi.gün esas alınarak 320 mg/L' dir.

Endüstriyel atıksuların içindeki önemli kirletici parametre konsantrasyonları Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Endüstriyel Atıksu Karakterizasyonu

Parametre	Ölçülen Değer	İSKİ Limitleri	SKKY 2 Saatlik Kompozit Numune
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), mg/L	3600-4000	800	160
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ <sub>5</sub> ), mg/L	1500-2000	-	100
Askıda Katı Madde (AKM), mg/L	150-200	350	200
Toplam Azot, mg/L	250-300	100	-
Nitrat (NO <sub>3</sub> ), mg/L	200-250	-	-
Çinko (Zn), mg/L	16-20	10	5
Sülfat, (SO <sub>4</sub> ), mg/L	400-600	1700	-
Krom 6 (Cr <sup>+6</sup> ), mg/L	5-6	-	0,5
Nikel (Ni), mg/L	15-20	5	-
pH	2-11	6-10	6-9

Atıksu kirletici parametre değerleri ile deşarj limitleri karşılaştırıldığında KOİ, BOİ<sub>5</sub>, Krom 6, Toplam Azot, Nikel ve Çinko parametrelerinin limitlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Mevcut arıtma tesisleri bu 6 parametreyi limitlerin altına düşürecek yapıda ve kapasitededir. Arıtma tesisinin sistemi; "Kimyasal Arıtma + Ön Denitrifikasyonlu Biyolojik Arıtma + Aktif Karbon Filtrasyon" sistemidir. Arıtma üniteleri aşağıda verilmiştir.

### **Kimyasal Arıtma Üniteleri**

- Kromlu Atıksular 1.Hızlı Karıştırma Havuzu
- Kromlu Atıksular 2.Hızlı Karıştırma Havuzu
- Proses Atıksuları Dengeleme Havuzu
- Reaksiyon Tankı
- Genel Dengeleme Havuzu
- Kimyasal Madde Hazırlama ve Dozlama Sistemleri

### **Biyolojik Arıtma Ünitesi**

- Biyolojik Arıtma Tankı

### **İleri Arıtma Ünitesi**

- Basınçsız Aktif Karbon Filtresi (Biyolojik Arıtma Tankına Bitişik)

### **Çamur Arıtma ve Susuzlaştırma Üniteleri**

- Çamur Havuzu
- Çamur Susuzlaştırma Ünitesi (Filtrepres)

#### **4.3.4. Arıtma Çamuru Karakterizasyonu**

Söz konusu işletmenin arıtma tesisinden kaynaklanan arıtma çamuru, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 6'ya göre T-Y 1703 kodlu "Krom, Kobalt, Bakır, Molipten, Nikel ve Diğer Ağır Metalleri veya Berilyum İçeren Çamurlar" kategorisine girmektedir.

Tesiste yaklaşık 200 kg/ay arıtma çamuru çıkmakta olup, bu çamur, İzmit Atık ve Artıkları Arıtma, Yakma ve Değerlendirme A.Ş. (İZAYDAŞ)'ne gönderilip yakıtılarak uzaklaştırılmaktadır. Arıtma çamurunun bu yakma kararına göre yapılan karakterizasyon aşağıda verilmiştir.

Yapısı : Macunumsu

Kalorifik Değer : < 10000 Kj/Kg

Toplam Halojen ve Fosfor Miktarı : < %1

Kükürt Miktarı : < %2

Nem : % 59

İZAYDAŞ tarafından arıtma çamurunda yapılan analiz sonuçları Tablo 4.2’de sunulmuştur.

Tablo 4.2. Arıtma Çamuru İZAYDAŞ Analiz Sonuçları

Parametre	Ölçülen Değer (mg/L)	TAKY/95 Ek11A’ ya Göre Sınır Değerler*
Nikel	4,728	0,4-2
Toplam Organik Karbon (TOC)	129	40-200
Çinko	3,862	2-10

\*Atıkların düzenli depo tesislerine depolanabilme kriterleri.

#### 4.3.5. Zararlı Atık Tespiti ve Karakterizasyonu

Endüstriye ait arıtma çamuru numunesi, susuzlaştırma işleminden önce alınmış; sulu çamur numunelerindeki toplam metal miktarlarının belirlenmesi için Hach Digesdahl Digestion Aparatı kullanılmıştır. Sulu çamur numuneleri sülfirik asit ve hidrojen peroksit varlığında ısıtılarak parçalanmıştır. Ayrıca çözünmüş kısmın analizini yapabilmek için de sulu çamurun suyu ayrılmıştır. Çamurun suyu, Atomik Absorpsiyon Spektrometresinde metal ölçümlerini yapabilmek için Standart Metotlara göre nitrik asitli ortamda ısıtılarak parçalanmıştır (Nitrik Asit Digestion) (APHA, 1995). Ham atığın buna göre belirlenen kompozisyonu Tablo 4.3’te verilmiştir.

Arıtılmamış atığın sızma özelliklerini belirlemek üzere iki prosedür kullanılmıştır. Bunlardan biri Alman Standart Metotlarından DIN 38 414 S4 Testi diğeri ise Amerikan Çevre Koruma Teşkilatının Ekstraksiyon Prosedür (EP) Toksikite Test Metodudur (SW-846, Metot 1310B). Her iki prosedüre göre DIN eluatı ve EP ekstraktı hazırlanmıştır. Ancak bu defa arıtma çamuru kurutulmuştur. Atomik Absorpsiyon Spektrometresinde metal ölçümlerini yapabilmek için eluat ve ekstrakt Standart Metotlara göre parçalanmıştır (APHA, 1995). Eluat ve ekstraktlarda numunelerden su fazına geçen başka bir deyişle çözünebilen miktarlar belirlenmektedir.

Tablo 4.3. Ham Atık Kompozisyonu

Parametreler	Toplam Miktar (mg/kg)	Çözünmüş Kısım (mg/L)
Arsenik	3,7	0,01
Baryum	4,0	0,53
Kadmiyum	25,1	0,02
Krom	4700	0,13
Kurşun	45,4	3,49
Civa	40	2,33
Selenyum	20,1	0,03
Gümüş	58,0	0,10
Bakır	16,0	1,18
Nikel	806,3	71,9
Çinko	65813	2490

Sızma prosedürlerine göre ham atığın karakterizasyonu ise Tablo 4.4'te verilmiştir. Tablo 4.4'te sızma konsantrasyonlarıyla birlikte sızma miktarları da verilmiştir. Konsantrasyonlar ölçülen, miktarlar ise ölçüm sonuçlarından hesaplanan değerlerdir. Buna göre DIN 38 414 S4 Testi'nde sıvı/katı oranı 10 olduğu için konsantrasyonlar 10 ile, EP Toksikite Testi'nde ise sıvı/katı oranı 16 olduğu için 16 ile çarpılarak sızma miktarları hesaplanmıştır.

Ham atık numunesinin DIN eluatu ve EP ekstraktında yapılan TOC ölçümlerinin sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.4. Sızma Prosedürlerine Göre Ham Atık Karakterizasyonu

Parametreler	EPTox		DIN	
	Sızma Konsantrasyonu (mg/L)	Sızma Miktarı (mg/kg)	Sızma Konsantrasyonu (mg/L)	Sızma Miktarı (mg/kg)
Arsenik	0,009	0,14	0,002	0,02
Baryum	0,130	2,08		
Kadmiyum	0,009	0,14	0,003	0,03
Krom	0,010	0,16	0,32	3,20
Kurşun	0,085	1,36	0,95	9,50
Civa	1,200	19,20	0,060	0,60
Selenyum	0,061	0,98		
Gümüş	0,013	0,21		
Bakır			0,49	4,9
Nikel			4,745	47,45
Çinko			1246	12460

Tablo 4.5. Ham Atık Numunesinin DIN Eluatı ve EP Ekstraktında Yapılan TOC Ölçümleri

	EP Ekstraktındaki TOC Konsantrasyonu (mg/L)	DIN Eluatındaki TOC Konsantrasyonu (mg/L)
Ham Atık	1723	1030

Artılmamış atığın sızma konsantrasyonları Tablo 4.6’da EP toksisite karakteristikleri kirletici konsantrasyon standartlarıyla; Tablo 4.7’de Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ndeki atıkların düzenli depo tesislerine depolanabilme kriterleriyle karşılaştırılarak zararlı atık tespiti yapılmaktadır.

Tablo 4.6. EP Toksikite Karakteristikleri Kirletici Konsantrasyon Standartlarıyla Karşılaştırma ve Zararlı Atık Tespiti

EPA Zararlı Atık No	Kirletici	Standart (mg/L)	Atığın Sızma Konsantrasyonu (mg/L)
D004	Arsenik	5.0	0,009
D005	Baryum	100.0	0,130
D006	Kadmiyum	1.0	0,009
D007	Krom	5.0	0,010
D008	Kurşun	5.0	0,085
D009	Civa	0.2	1,2
D010	Selenyum	1.0	0,061
D011	Gümüş	5.0	0,013



Tablo 4.7. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ndeki Atıkların Düzenli Depo Tesislerine Depolanabilme Kriterleriyle Karşılaştırma ve Zararlı Atık Tespiti

Parametre	Kriterler		Atığın Sızma Özellikleri
	Tehlikeli Atık	İnert Atık	
pH	4 - 13	4 - 13	4
Toplam organik karbon	40 - 200 mg/L	<200 mg/l	1030 mg/L
Arsenik III	0.2 - 1.0 mg/L	<0.11 mg/l	0,002 mg/L
Kurşun	0.4 - 2.0 mg/L	toplamı <5 mg/l <sup>(1)</sup>	0,95 mg/L
Kadmiyum	0.1 - 0.5 mg/L		0,003 mg/L
Krom VI	0.1 - 0.5 mg/L		0,32 mg/L
Bakır	2 - 10 mg/L		0,49 mg/L
Nikel	0.4 - 2.0 mg/L		4,75 mg/L
Civa	0.02 - 0.1 mg/L		0,06 mg/L
Çinko	2 - 10 mg/L		1246 mg/L
Fenoller	20 - 100 mg/L		<10 mg/l
Florür	10 - 50 mg/L	<5 mg/l	0,1 mg/L
Amonyum	0.2 - 1.0 g N/L	<50 mg/l	0,02 gr/L
Klor	1.2 - 6.0 g/L	<0.5 g/l	34,99 mg/L
Siyanür <sup>(2)</sup>	0.2 - 1.0 mg/L	<0.1 mg/l	0,04 mg/L
Sülfat <sup>(3)</sup>	0.2 - 1.0 g/L	<1.0 g/l	0,12 gr/L
Nitrit	6 - 30 mg/L	<3 mg/l	1,15 mg/L
Halojenli organik bileşikler <sup>(4)</sup>	0.6 - 3.0 mg/L	<0.3 mg/l	0,09 mg/L

1)Ağır metallere ait inert atık değerlerinin hiçbiri, tehlikeli atık için verilen alt sınır değerini geçemez.

2)Kolay ayrılan/uçucu.

3)Mümkünse <500 mg/l olmalıdır.

4)Organik şekilde bağlı olup adsorbe olan halojenler.

Ayrıca zararlı atığın, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 6'da verilen Ulusal Tehlikeli Atık Listesi'ne göre girdiği kategoriler Tablo 4.8'de, EPA Zararlı Atık Listelerine göre girdiği kategoriler ise Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.8. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 6'ya Göre Zararlı Atığın Kategorizasyonu

	1. Kategorizasyon		2. Kategorizasyon	
	Kod Numarası	Açıklama	Kod Numarası	Açıklama
Tehlikeli Atık Genel Kategorisi	Y17	Metal ve plastiklere yüzey işlemleri uygulananından kaynaklanan atıklar	Y18	Sınai atıkların bertarafı işlemlerinden kaynaklanan atıklar
Atığın Muhtemel Kaynağı	A243	Yüzey işlemleri	A930	Endüstriyel atıksu arıtım tesisleri
Atık Türü/Tanımı	T-Y1703	Krom, kobalt, bakır, molibden, nikel ve diğer ağır metaller veya berilyum içeren çamurlar	T-Y1801	Suyu giderilmiş metal hidroksit çamurları
Zararlılık Kriteri	H12	Ekotoksik	H12 H6.1	Ekotoksik Zehirli (Akut)

Tablo 4.9. EPA Zararlı Atık Listelerine Göre Zararlı Atığın Tespiti

EPA Zararlı Atık Kodu	Zararlı Atık Açıklaması	Zararlılık Kodu
D009	Civa	
K004	Çinko sarısı pigmentlerinin üretiminden gelen atıksu arıtım çamurları	T (Toksik)

#### 4.4. Beton Numunelerinin Hazırlanması

Zararlı atığın solidifikasyon/stabilizasyonu için bağlayıcı olarak Portland Çimentosu seçilmiş ve C35 betonu kullanılmıştır.

Pratikte betonarme inşaatta kullanılan hazır betonun dökme betondan iki kat daha güvenli olduğu düşünüldüğünden ilk denemelerde hazır beton kullanılmıştır. Bu amaçla hazır beton üretiminin yapıldığı bir tesisin laboratuvarında deneyler yapılmıştır.

##### 4.4.1. Hazır Beton Denemeleri

Üretimden yeni çıkmış C20 betonu arıtma çamuru ile Tablo 4.10'daki oranlarda homojen bir karışım elde etmek için mikserde karıştırılmıştır.

Tablo 4.10. Atık ve Hazır Betonun Karışım Oranları

Numuneler	Zararlı Atık Oranı (% ağırlık)	Hazır Beton Oranı (% ağırlık)
Deneme 1	37	63
Deneme 2	19	81
Deneme 3	12	88
Deneme 4	6	94
Boş (C20 sınıfı beton)	-	100

Hazırlanan karışımlar 15 cm kenar uzunluğundaki kübik standart kalıplara yerleştirilmiştir. Yerleştirmeyi iyi yapmak, kalıbın her noktasını doldurmak ve karışımları sıkıştırmak için vibrasyon masası kullanılmıştır.

Ancak 6 gün beklendiği halde betonlar priz almamış diğer bir deyişle sertleşmemiş bu nedenle numunelerin kalıplardan çıkarılması mümkün olmamıştır.

Bundan sonraki denemelerde çamur, arıtma tesisinden çıktığı haliyle kullanılmak yerine kurutulmuş ve bu şekliyle Vicat iğnesi kullanılarak priz testine tabi tutulmuştur.

#### 4.4.2. Priz Testi

Çimento su ile karıştığında hidrasyon başlar ve kimyasal reaksiyonlar devam ederken hamurda priz denilen katılaşma meydana gelir. Bir süre sonra da hamur tamamen sertleşir. Priz başlangıcına kadar hamur, harç veya beton taze haldedir yani plastiktir, kolayca şekillendirilmeleri, kalıplanmaları mümkündür.

Tablo 4.11’de verilen oranlarda denemeler yapılmış, atığın kuru halde kullanılması durumunda betonun priz alabileceği sonucuna varılmıştır. Numunelerin priz alma süreleri ve dayanımları Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.11. Priz Testinde Kullanılan Atık/Çimento Oranları

	D1	D2 (%1 Atık)	D3 (%5 Atık)	D4 (%10 Atık)	D5 (%20 Atık)	D6 (%11 Atık)	D7 (%22 Atık)
Çimento	400	400	400	400	400	360	320
Su (gr)	120	120	120	120+10	120+30	120	120+10
Atık (gr)	-	4	20	40	80	40	80

Atık, çimento ağırlığının yüzdesi olarak verildi.

Tablo 4.12. Numunelerin Priz Alma Zamanları ve Basınç Dayanımları

Numuneler	Priz alma zamanı (sa)	Dayanım (N/mm <sup>2</sup> )
D1	8,5	31
D2 (%1 Atık)	8	55,7
D3 (%5 Atık)	8	43
D4 (%10 Atık)	≈9	30,6
D5 (%20 Atık)	≈17	21,5
D6 (%11 Atık)	≈18	14,4
D7 (%22 Atık)	≈18	14

#### 4.4.3. Karışımların Hazırlanması

Kuru haldeki atık numunesiyle hazırlanan karışımlar için beton bileşenleri Tablo 4.13 ve 4.14'te verilen miktarlarda tartılmıştır. C35 betonu, atık ile, verilen oranlarda homojen bir karışım elde etmek için karıştırılmıştır. Karıştırma işlemine beton üniform bir görünüm kazanıncaya kadar devam edilmiştir. Hazırlanan ilk numuneler elle karıştırılmış, tekrarları ise laboratuvar mikserinde karıştırılmıştır.

Mikserle karıştırılarak tekrar hazırlanan karışımlardaki su oranları ve slump değişmiştir. Taze betonun kıvamı, çökme (slump) deneyi ile ölçülmüştür. Elle hazırlanan karışımlarda slump 200 mm iken mikserde hazırlanan karışımlarda 170 veya 180 mm'ye düşmüştür. Ayrıca taze betonun sıcaklıkları ölçülmüş; elle hazırlanan karışımlarda 20,2-21°C arasında değişirken mikserde hazırlanan karışımlarda 23,8-24,7°C arasında değişmiştir.

Tablo 4.13. 12 dm<sup>3</sup> C35 Deneme Beton Karışımları İçin Düzeltilmiş Ağırlıklar (gr) (Elle karıştırılmış)

	Şahit Numune (İçinde Atık Olmayan)	1/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	5/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	10/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	20/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	40/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune
Çimento	4560	4560	4560	4560	4560	4560
Atık	-	45,6	228	456	912	1824
Su	2249	2423	2419	2586	2702	3082
Kum (FA1)	5246	5146	5056	4944	4718	4268
Taş tozu (FA2)	4904	4811	4727	4621	4411	3990
1.No (CA1)	5480	5376	5282	5165	4930	4460
2.No (CA2)	5925	5812	5711	5584	5330	4821
Toplam	28364	28173,6	27983	27916	27563	27005
Katkı (Rhe1000)	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6

Tablo 4.14. 12 dm<sup>3</sup> C35 Deneme Beton Karışımları İçin Düzeltilmiş Ağırlıklar (gr) (Mikserde karıştırılmış)

	Şahit Numune (İçinde Atık Olmayan)	1/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	5/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	10/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	20/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	40/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune
Çimento	4560	4560	4560	4560	4560	4560
Atık	-	45,6	228	456	912	1824
Su	2630	2423	2419	2684	2781	3082
Kum (FA1)	5246	5146	5056	4944	4718	4268
Taş tozu (FA2)	4904	4811	4727	4621	4411	3990
1.No (CA1)	5480	5376	5282	5165	4930	4460
2.No (CA2)	5925	5812	5711	5584	5330	4821
Toplam	28364	28173,6	27983	27916	27563	27005
Katkı (Rhe1000)	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6

#### **4.4.4. Karışımların Kalıplara Dökülmesi**

Hazırlanan karışımlar 15 cm kenar uzunluğundaki kübik standart kalıplara yerleştirilmiştir. Yerleştirmeyi iyi yapmak, kalıbın her noktasını doldurmak ve karışımları sıkıştırmak için, elle karışım yapılan numune kalıpları 10 kere yere vurulmuş, yanlardan tokmaklanmıştır. Mikserde karıştırılarak hazırlanan karışımlar için ise vibrasyon masası kullanılmıştır.

#### **4.4.5. Numunelerin Kalıplardan Çıkarılıp Kür Edilmesi**

Elle hazırlanan karışımlar yaklaşık 16 saat sonra kalıplardan çıkarılmış ve kür havuzuna konmuştur. Betonyerde hazırlananlar ise hafta sonu tatili nedeniyle kalıplardan geç çıkarılabilmiş dolayısıyla kür havuzuna yaklaşık 3 gün sonra koyulmuştur. Kür zamanları 7, 28 ve 90 gün olarak seçilmiş, numunelerin sayısı buna göre belirlenmiştir.

### **4.5. Kullanılan Materyal ve Yöntemler**

#### **4.5.1. Kullanılan Materyaller**

Beton yapımında kullanılan malzemeler ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

Beton yapımında kullanılan agreganın (taneli mineral malzeme) elek analizi Tablo 4.15'te, özgül ağırlık ve su emme yüzdeleri Tablo 4.16'da verilmiştir.

Beton yapımında bağlayıcı malzeme olarak Portland çimentosu PÇ-42,5 (CEM I 42,5 R) kullanılmıştır. Portland çimentosu klinkerinin (TS 3441) bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucunda elde edilen hidrolik bağlayıcılardır. PÇ 32,5 PÇ 42,5 PÇ 52,5 şeklinde sınıflandırılmaktadır. PÇ ibaresi portland çimentosunun simgesi olup, 32,5, 42,5 ve 52,5 rakamları 28 günde istenen minimum mukavemet değerini göstermektedir. Deneysel çalışmada kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 4.17 ve Tablo 4.18'de verilmiştir.

Beton katkısı olarak Rheobuild® 1000 kullanılmıştır. Rheobuild® 1000, karışım suyu ile birlikte beton karışımına katılan sıvı bir katkıdır. Rheobuild® 1000, betona reoplastik özellik kazandırmak için formüle edilmiş, suda çözülmüş sulfone sentetik polimer esaslı, klor içermeyen, yüksek oranda su azaltan, özellikle ilk zamanlarda betonun dayanımını hızlandırıp artıran, süper akışkanlaştırıcı, sıvı beton katkı malzemesidir.



Tablo 4.15. Agregat Eleme Analizi

Eleme Açıklığı	0-3 mm DOĞAL KUM			0-3 mm KIRMA KUM			1.No			2.No		
	Üstte Kalan Ag. (g)	Üstte Kalan (%)	Alta Geçen (%)	Üstte Kalan Ag. (g)	Üstte Kalan (%)	Alta Geçen (%)	Üstte Kalan Ag. (g)	Üstte Kalan (%)	Alta Geçen (%)	Üstte Kalan Ag. (g)	Üstte Kalan (%)	Alta Geçen (%)
63		0	100		0	100		0	100		0	100
31,5		0	100		0	100		0	100		0	100
16		0	100		0	100		0	100	313,8	17	83
8		0	100		0	100	336,5	24	76	1834	98	2
4		0	100	93,1	10	90	1148,6	81	19	1850	99	1
2		0	100	383,5	42	58	1376	97	3	1850	99	1
1	105,2	12	88	551,6	61	39	1376	97	3	1850	99	1
0,50	593	68	32	662,2	73	27	1376	97	3	1850	99	1
0,25	821	95	5	727,9	80	20	1376	97	3	1850	99	1
0,125	862,3	99	1	769	85	15	1376	97	3	1850	99	1

Tablo 4.16. Agrega Özgül Ağırlıkları ve Su Emme Yüzdeleri

	0-3 mm DOĞAL KUM	0-3 mm KIRMA KUM	1.No	2.No
D.K.Y. Özgül Ağırlık	2,601	2,643	2,693	2,703
Su Emme Yüzdesi	1,24	1,83	0,80	0,70

Tablo 4.17. Portland Çimentosu PÇ-42,5 Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Özellikler	Elde Edilen Değerler	TS-19 Standart Değerler max.
Kükürt Trioksit (SO <sub>3</sub> ) (%)	2,46	3,50
Klorür (Cl) (%)	0,0071	0,1000
Magnezyum Oksit (MgO) (%)	1,38	5,00
Kızdırma Kaybı (%)	1,20	4,00
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,34	1,50

Tablo 4.18. Portland Çimentosu PÇ-42,5 Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler	Elde Edilen Değerler	TS-19 Standart Değerler	
		min.	max.
Hacim genişmesi (mm)	1	-	10,0
Özgül Yüzey (cm <sup>3</sup> /g)	3333	2800	-
Priz başlangıcı (sa:dk)	02:33	01:00	-
Priz sonu (sa:dk)	08:06	-	10:00
2 günlük basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	24,2	20,0	-
7 günlük basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )		31,5	
28 günlük basınç dayanımı		42,5	“

#### 4.5.2. Beton Numunelerine Uygulanan Test Yöntemleri

Kür zamanı sonunda S/S etkinliğinin belirlenmesi için beton numunelerine basınç dayanım testleri ve sızma testleri uygulanmıştır. Ayrıca beton numunelerindeki

toplam metal miktarlarını belirlemek için numuneler parçalama işlemine tabi tutulmuştur.

Deney planındaki bütün deneyler güvenilirlik açısından en az iki defa tekrarlanmıştır.

### **Basınç Dayanım Deneyleri**

Çimentonun en önemli mekanik özelliği basınç dayanımıdır. Dayanım testi, denenecek çimentodan yapılan beton numunelere uygulanır. Betonun basınç dayanımı, kullanılan çimentonun miktar ve dayanımına ilaveten betonun bileşimindeki diğer malzemenin (kum, çakıl, su, katkıları vb.) miktar ve özelliklerine, bunların arasındaki orantılara (özellikle su/çimento oranı), betonun uygun şekilde karıştırılıp, yerleştirilip sıkıştırılmasına ve kür edilmesine (bakımına) bağlıdır.

Basınç dayanımı genel olarak 28 günlük numunelerde belirlenir. Ancak bu çalışmada, numunelerin daha erken ve daha geç zamanda kür işlemine tabi tutulmasından sonra basınç dayanımlarının nasıl değiştiğini görmek için 7, 28 ve 90 günlük kür zamanlarından sonra basınç dayanımı testleri uygulanmıştır.

### **Sızma Deneyleri**

Arıtılmamış atığın ve beton numunelerinin sızma özelliklerini belirlemek üzere iki yöntem kullanılmıştır. Bunlardan biri Alman Standart Metotlarından DIN 38 414 S4 Testi diğeri ise Amerikan Çevre Koruma Teşkilatının Ekstraksiyon İşlemi (EP) ile Toksikite Test Metodudur. Her iki prosedüre göre DIN eluatları ve EP ekstraktları hazırlanmıştır.

Arıtma çamuru kurutulduktan sonra, beton numuneleri ise kür zamanları sonunda kullanılmıştır.

Ekstraksiyon İşlemi (EP) ile Toksikite deneyinde arıtılmamış atık ve beton numuneleri 9,5 mm'lik bir elekten geçecek şekilde ezilir. 0,04 M asetik asit çözeltisi ile pH'ı  $5 \pm 0,2$ 'ye ayarlanan deiyonize su ile 16:1 sıvı katı oranında ekstrakte edilir. Ekstraksiyonun gerçekleşmesi için 24 saat 150 rpm hızda çalkalayıcıda tutulur. Sıvı ekstrakt spesifik kimyasal bileşenler için analiz edilmek üzere filtreden geçirilir (SW-846, 2002).

DIN 38 414 S4 deneyinde eğer numunelerin partikül boyutları 10 mm'yi geçiyorsa ezilir. Ancak toz haline getirilmez. Sıvı katı oranı 10:1 olacak şekilde deiyonize su

ile karıştırılır. 24 saat çalkalayıcıda tutulduktan sonra analiz edilmek üzere filtreden geçirilir (DIN, 1984).

TOC analizleri için numunelerin bir kısmı ayrıldıktan sonra Atomik Absorpsiyon Spektrometresinde metal ölçümlerini yapabilmek için kalan numuneler Standart Metotlara göre parçalanmıştır (APHA, 1995). Eluat ve ekstraktlarda beton numunelerinden su fazına geçen başka bir deyişle çözünebilen miktarlar belirlenmiştir.

#### **Beton Numunelerinin Parçalanması**

Beton numunelerinin sızma özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra sızmadan önce numunelerdeki toplam metal miktarları da belirlenmek istenmiştir. Bunun için Hach Digesdahl Digestion Aparatı kullanılmıştır. Beton numuneleri sülfirik asit ve hidrojen peroksit varlığında ısıtılarak parçalanmıştır.

#### **4.6. Ekstrakt, Eluat ve Çözelti Numuneleri**

7, 28 ve 90 günlük kür zamanları sonunda farklı atık/çimento oranlarına sahip beton numunelerinden 90 adet EP ekstraktı, eluat ve asit ortamda parçalanmış çözelti numunesi elde edilmiştir. Hem elle hem de laboratuvar mikserinde karıştırılarak iki kere beton hazırlandığı için her ekstrakt, eluat ve çözelti numunesinin tekrarı da elde edilmiştir. Böylece deney planındaki bütün deneylerin iki kere tekrarlanması sağlanmıştır. Daha sonra, hazırlanan EP ekstraktları, eluatlar ve asit ortamda parçalanmış çözeltiler analiz edilmiştir. Atomik Absorpsiyon Spektrometresinde metal ölçümleri yapılmış ve sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Tablolar hazırlanırken tekrarların aritmetik ortalaması esas alınmış ve böylece metal konsantrasyonlarının ortalama değerleri tablolarda gösterilmiştir. Grafikler ise bu ortalama değerlere göre hazırlanmıştır.

#### **4.7. Kullanılan Cihazlar**

Deney çalışmaları sırasında kullanılan cihazlardan aşağıda söz edilmiştir.

1. Atığın, çimento ve suyla karıştırılarak priz testine tabi tutulmasında Vicat iğnesi kullanılmıştır.

2. Beton karışımlarının hazırlanmasında kullanılan agrega, çimento ve atık malzemenin tartılmasında 60000 gr kapasite ve 10 gr hassasiyetteki CAS Terazi kullanılmıştır.
3. Beton numunelerinin hazırlanmasında homojen bir karışım elde etmek için 50 L'lik Fore Marka Laboratuar Mikseri kullanılmıştır. Mikser Şekil B.1'de gösterilmiştir.
4. Taze betonun kıvamının ölçülmesinde Şekil B.2'deki çökme deney aleti kullanılmıştır.
5. Hazırlanan beton karışımları Şekil B.3'te görülen 15 cm kenar uzunluğundaki kübik standart kalıplara yerleştirilmiştir.
6. Beton numunelerinde yerleştirmeyi iyi yapmak, kalıbın her noktasını doldurmak ve karışımları sıkıştırmak için Şekil B.3'te görülen vibrasyon masası kullanılmıştır.
7. Hazırlanan beton numuneleri kalıplardan çıkarıldıktan sonra Şekil B.4'te görülen kür havuzuna alınmıştır. Havuz suyunun sıcaklığı  $20\pm 2$  °C'dir. Suyun sıcaklığını havuzun her yerinde sabit tutmak için ısıtıcı ve sirkülasyon pompası vardır. Kür sırasında beton numunelerinin tamamen suyla kaplı olması sağlanmıştır.
8. 7, 28 ve 90 günlük kür zamanlarından sonra basınç dayanımlarını belirlemek için Şekil B.5'te görülen Form Test Prüfsysteme BETA 5-3000 D tip basınç deney presi kullanılmıştır.
9. Ham atık ve hazırlanmış, kür edilmiş beton numunelerinde sızmadan önce toplam metal miktarlarını belirlemek için Şekil B.6'da görülen Hach Digesdahl marka çözündürme cihazı kullanılmıştır.
10. Arıtılmamış atığın ve beton numunelerinin sızma özelliklerini belirlemek üzere DIN eluatları ve EP ekstraktları hazırlanması sırasında Edmund Bühler Marka KS 15 B tipinde Kompakt Çalkalayıcı kullanılmıştır.
11. DIN eluatları ve EP ekstraktlarında organik karbon tayini (TOC) için Euroglas Marka TOC 1200 cihazı kullanılmıştır.

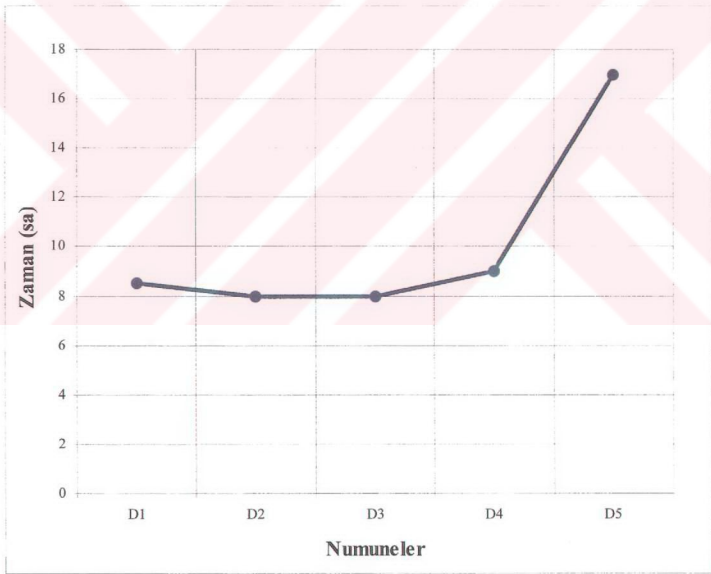
12. Bu örnekler üzerinde standart metotlara göre Perkin Elmer Marka SIMAA 6000 Model Grafit Fırınlı Atomik Absorpsiyon Spektrometresi ile ağır metal ölçümleri yapılmıştır (APHA, 1995).



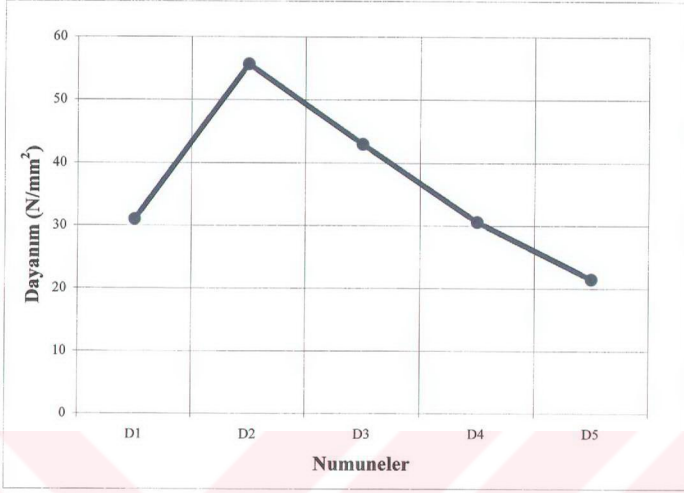
## 5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 5.1. Basınç Dayanımı Deneylerinin Sonuçları

Zararlı atık numunesi olan arıtma çamuru filtre presten çıkmış haliyle kullanılmıştır. Hazır betonun içine belirli oranlarda arıtma çamurunun katılması ile oluşturulan beton numuneleri priz almadığı için arıtma çamuru kurutulmuş, kuru haldeki arıtma çamuru, çimento ve suyla karıştırılarak priz testine tabi tutulmuş, Vicat iğnesi ile priz alma zamanları tespit edilmiştir. Numunelerin priz alma zamanları Şekil 5.1'de, dayanımları da Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Numunelerin Priz Alma Zamanları



Şekil 5.2. Priz Testine Tabi Tutulmuş Numunelerin Basınç Dayanımları

Kurutulmuş arıtma çamurunun priz alabildiği kanıtlanmış olduğu için bundan sonraki denemelerde numuneler tamamen kurutulduktan sonra kullanılmıştır. Numune, partikül boyutu fazla küçültülmeden ufalanmıştır. Havada kurutulmuş numunenin kullanılması uygun bulunmuştur. Pratikte solidifikasyon/stabilizasyon için gelen numunelerin herbirinin nem oranı farklı olacaktır. Numunenin nem oranına göre ne kadar su ilave edileceği hesaplanabilir.

Yapı kimyasalları üretimi yapan bir tesisin beton laboratuvarında bilgisayar programı ile tasarlanmış beton karışımına göre iki kere C35 betonu hazırlanmıştır. Hazırlanan ilk numuneler elle karıştırılmış, tekrarları ise laboratuvar mikserinde karıştırılmıştır.

Yerleştirmeyi iyi yapmak, kalıbın her noktasını doldurmak ve karışımları sıkıştırmak için, elle karışım yapılan numune kalıpları 10 kere yere vurulmuş, yanlardan tokmaklanmıştır. Mikserde karıştırılarak hazırlanan karışımlar için ise vibrasyon masası kullanılmıştır.

Elle hazırlanan karışımlar yaklaşık 16 saat sonra kalıplardan çıkarılmış ve kür havuzuna konmuştur. Mikserde hazırlananlar ise hafta sonu tatili nedeniyle kalıplardan geç çıkarılabilmiş dolayısıyla kür havuzuna yaklaşık 3 gün sonra konulmuştur.



Mikserde karıştırılarak hazırlanan karışımlardaki su oranları ve slump değişmiştir. Elle hazırlanan karışımlarda slump 200 mm iken mikserde hazırlanan karışımlarda 170 veya 180 mm'ye düşmüştür. Ayrıca taze betonun sıcaklıkları ölçülmüş; elle hazırlanan karışımlarda 20,2-21°C arasında değişirken mikserde hazırlanan karışımlarda 23,8-24,7°C arasında değişmiştir.

Bütün bu nedenlerle mikserde karıştırılarak hazırlanan beton numunelerinin basınç dayanımları daha düşük çıkmıştır. Özellikle slump'ın düşmesi, su/çimento oranlarının artması ve kür şartlarının değişmesi dayanımların düşmesine neden olmuştur.

Betonun basınç dayanımı, kullanılan çimentonun miktar ve dayanımına ek olarak betonun bileşimindeki diğer malzemenin (kum, çakıl, su, katkı vb.) miktar ve özelliklerine ve bunlar arasındaki orantılara (özellikle su/çimento oranı), betonun uygun şekilde karıştırılıp, yerleştirilip sıkıştırılmasına ve bakımına (kür edilmesine) bağlıdır. Bütün bu parametrelere dikkat edildiğinde betonun dayanımı artacaktır.

7, 28 ve 90 günlük kür zamanlarından sonra belirlenen basınç dayanımları Tablo 5.1 ve 5.2'de verilmiştir.

Elle karıştırılarak hazırlanmış ilk beton numunelerinde atık/çimento oranlarının basınç dayanımına etkisi Şekil 5.3'te, kür zamanının basınç dayanımına etkisi ise Şekil 5.4'te verilmiştir.

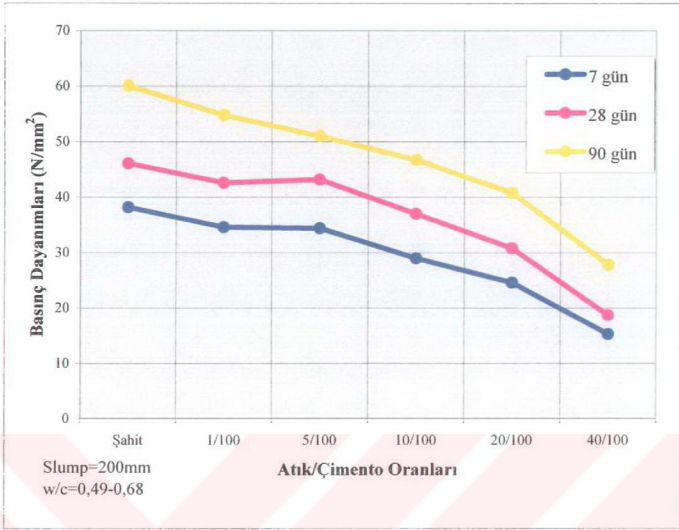
Şekil 5.3 ve 5.4'teki grafiklere göre atık/çimento oranı arttıkça dayanım düşmekte, kür zamanı uzadıkça dayanım artmaktadır.

Tablo 5.1. Elle Karıştırılarak Hazırlanan Beton Numunelerinin Basınç Dayanımları (N/mm<sup>2</sup>)

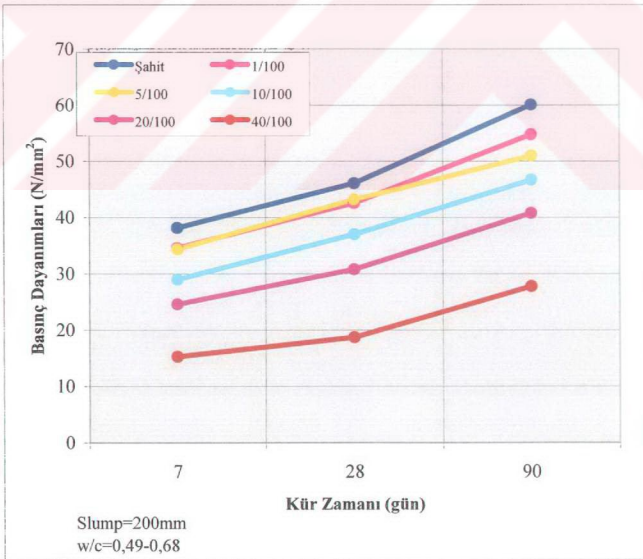
Beton Numuneleri	7 günlük	28 günlük	90 günlük
Şahit Numune (İçinde Atık Olmayan Beton Numunesi)	38,2	46,1	60,1
1/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	34,6	42,6	54,8
5/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	34,4	43,2	51,0
10/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	29,0	37,0	46,7
20/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	24,6	30,8	40,8
40/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	15,3	18,7	27,8

Tablo 5.2. Mikserle Karıştırılarak Hazırlanan Beton Numunelerinin Basınç Dayanımları (N/mm<sup>2</sup>)

Beton Numuneleri	7 günlük	28 günlük	90 günlük
Şahit Numune (İçinde Atık Olmayan Beton Numunesi)	30,2	40,4	48,9
1/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	30,6	38,3	50,8
5/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	32,8	36,6	55,0
10/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	27,0	35,0	46,9
20/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	19,5	25,3	36,4
40/100 Atık/Çimento Oranında Atık İlave Edilmiş Numune	5,6	18,2	29,6



Şekil 5.3. Atık/Çimento Oranlarının Basınç Dayanımına Etkisi



Şekil 5.4. Kür Zamanının Basınç Dayanımına Etkisi

Mikserle karıştırılarak hazırlanmış beton numunelerinde atık/çimento oranlarının basınç dayanımına etkisi Şekil 5.5'te, kür zamanının basınç dayanımına etkisi ise Şekil 5.6'da verilmiştir. Bu grafiklerde de genel olarak atık/çimento oranı arttıkça dayanımın düştüğü, kür zamanı uzadıkça dayanımın arttığı görülmüştür.

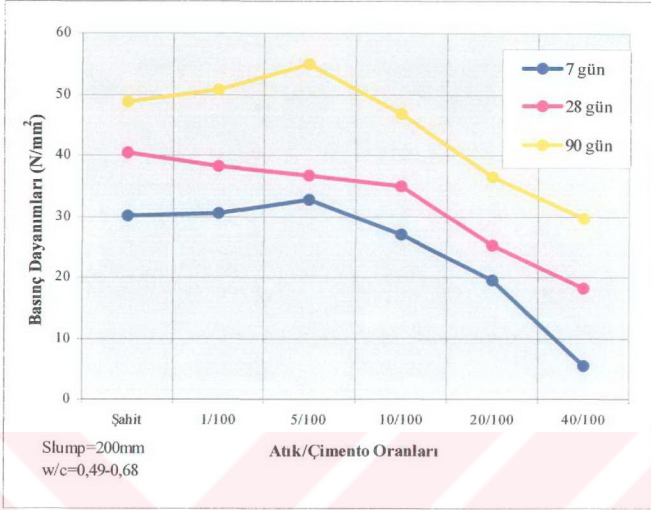
Beton numuneleri kırıldıktan sonra atığın partikül halde kaldığı gözlenmiştir. Büyük partiküller beton içerisinde zayıflıklar yaratmaktadır. Suyu yediği halde partiküller parçalanmadığı için sulu çamur olarak beton karışımlarına ilave edilse de partikül halde kalacağı varsayılabilir. Bu nedenle kuru haldeki atık numunesini öğüterek ilave etmek daha iyi olacaktır.

TS EN 206-1'de C35 sınıfı betonun 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 450 kgf/cm<sup>2</sup> verilmiştir. Buna göre beton numunelerinin basınç dayanımları daha düşük olmuştur. Ancak zararlı atıkları arıtmak ve geri kazanmak açısından yüksek sınıf beton hazırlanıp daha düşük sınıf beton hedeflenebilir. Çünkü bu çalışmada elde edilen dayanımlar C20-C25 sınıfı betonların dayanımlarını karşılamaktadır. Ayrıca dayanımlar zamanla azalmadığı için sorun yoktur. 90 günlük dayanımlar bu açıdan bakıldığında açıklayıcı olmaktadır.

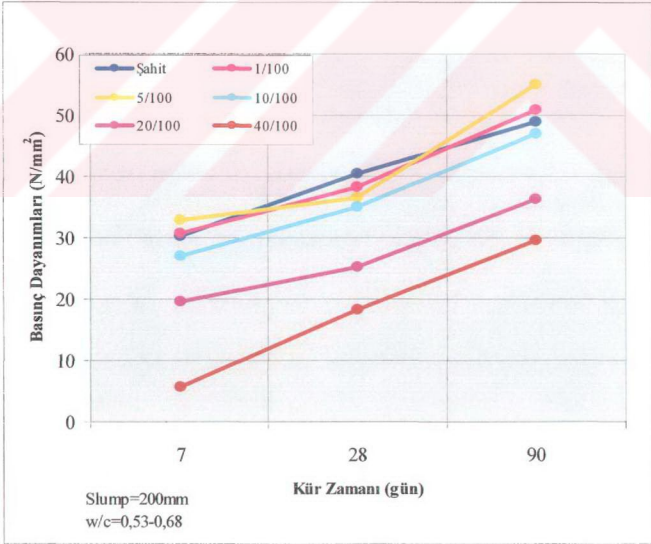
Bununla birlikte bu çalışmada kullanılan karışım oranları ve Rheo 1000 katkısına göre dayanımlar düşük çıkmıştır. Daha yüksek çökmeleri beklenebilir.

## **5.2. Sızma Deneylerinin Sonuçları**

7, 28 ve 90 günlük kür zamanları sonunda beton numunelerinden 90 adet EP ekstraktı, eluat ve asit ortamda parçalanmış çözelti numunesi elde edilmiştir. Hem elle hem de laboratuvar mikserinde karıştırılarak iki kere beton hazırlandığı için her ekstrakt, eluat ve çözelti numunesinin tekrarı da elde edilmiştir. Böylece deney planındaki bütün deneylerin iki kere tekrarlanması sağlanmıştır. Daha sonra, hazırlanan EP ekstraktları, eluatlar ve asit ortamda parçalanmış çözeltiler analiz edilmiştir.



Şekil 5.5. Mikserle Karıştırılarak Hazırlanan Numunelerde Atık/Çimento Oranlarının Basınç Dayanımına Etkisi



Şekil 5.6. Mikserle Karıştırılarak Hazırlanan Numunelerde Kür Zamanının Basınç Dayanımına Etkisi

### 5.2.1. TOC Ölçüm Sonuçları

Beton numunelerinin DIN eluatları ve EP ekstraktlarında yapılan TOC ölçümlerinin sonuçları Tablo 5.3, 5.4, 5.5, 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.3. 28 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarında Yapılan TOC Ölçümleri

Beton Numunelerindeki Atık/Çimento Oranları	Elle Karıştırılarak Hazırlanan Beton Numunelerindeki TOC Konsantrasyonu (mg/L)	Mikserde Karıştırılarak Hazırlanan Beton Numunelerindeki TOC Konsantrasyonu (mg/L)
Şahit Numune	10	20
1/100 Atık/Çimento Oranı	13	5
5/100 Atık/Çimento Oranı	42	27
10/100 Atık/Çimento Oranı	95	39
20/100 Atık/Çimento Oranı	102	92
40/100 Atık/Çimento Oranı	107	138

Tablo 5.4. 28 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarında Yapılan TOC Ölçümleri

Beton Numunelerindeki Atık/Çimento Oranları	Elle Karıştırılarak Hazırlanan Beton Numunelerindeki TOC Konsantrasyonu (mg/L)	Mikserde Karıştırılarak Hazırlanan Beton Numunelerindeki TOC Konsantrasyonu (mg/L)
Şahit Numune	14	12
1/100 Atık/Çimento Oranı	20	23
5/100 Atık/Çimento Oranı	83	38
10/100 Atık/Çimento Oranı	129	62
20/100 Atık/Çimento Oranı	158	198
40/100 Atık/Çimento Oranı	216	237

Tablo 5.5. 90 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarında Yapılan TOC Ölçümleri

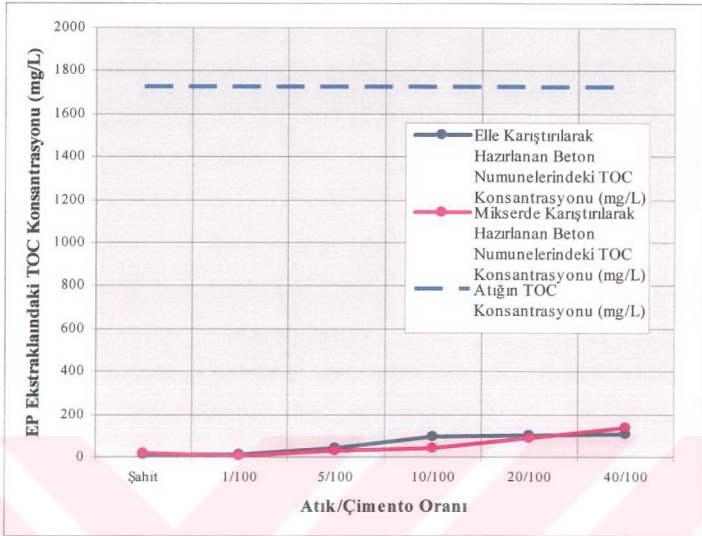
Beton Numunelerindeki Atık/Çimento Oranları	Elle Karıştırılarak Hazırlanan Beton Numunelerindeki TOC Konsantrasyonu (mg/L)	Mikserde Karıştırılarak Hazırlanan Beton Numunelerindeki TOC Konsantrasyonu (mg/L)
Şahit Numune	6	13
1/100 Atık/Çimento Oranı	7	22
5/100 Atık/Çimento Oranı	23	31
10/100 Atık/Çimento Oranı	43	31
20/100 Atık/Çimento Oranı	69	80
40/100 Atık/Çimento Oranı	103	124

Tablo 5.6. 90 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarında Yapılan TOC Ölçümleri

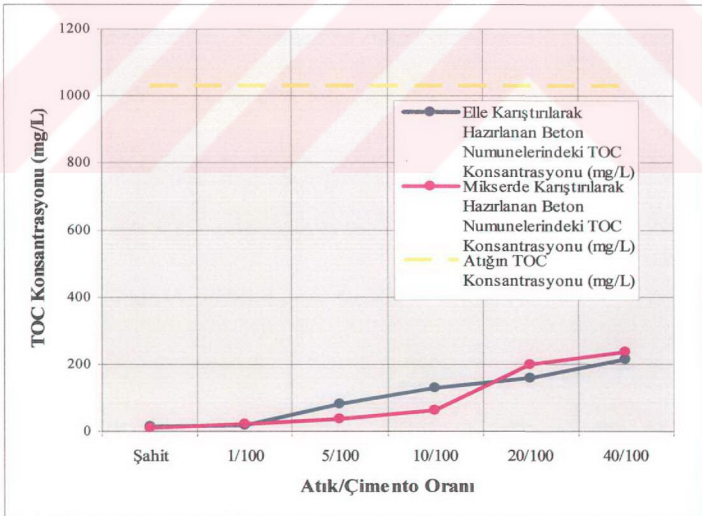
Beton Numunelerindeki Atık/Çimento Oranları	Elle Karıştırılarak Hazırlanan Beton Numunelerindeki TOC Konsantrasyonu (mg/L)	Mikserde Karıştırılarak Hazırlanan Beton Numunelerindeki TOC Konsantrasyonu (mg/L)
Şahit Numune	4	9
1/100 Atık/Çimento Oranı	18	5
5/100 Atık/Çimento Oranı	35	23
10/100 Atık/Çimento Oranı	108	41
20/100 Atık/Çimento Oranı	152	75
40/100 Atık/Çimento Oranı	161	163

Şekil 5.7, 5.8, 5.9 ve 5.10'da 28 ve 90 günlük beton numunelerinin EP ekstraktlarındaki ve eluatlarındaki TOC konsantrasyonlarının atık/çimento oranlarına göre değişimi verilmiştir.

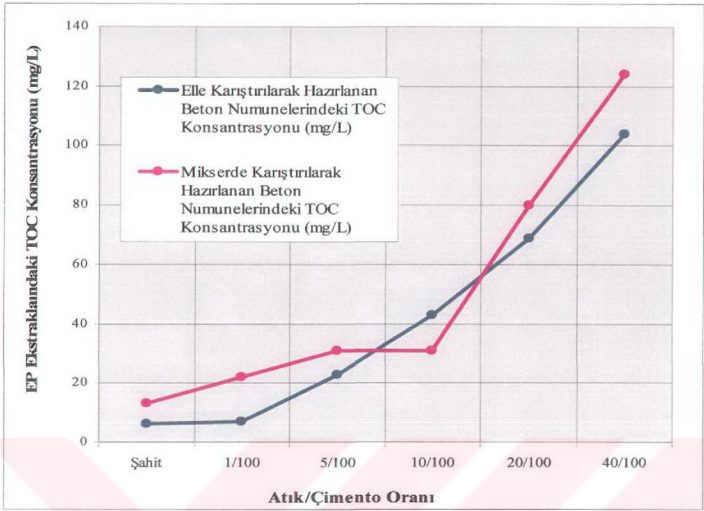




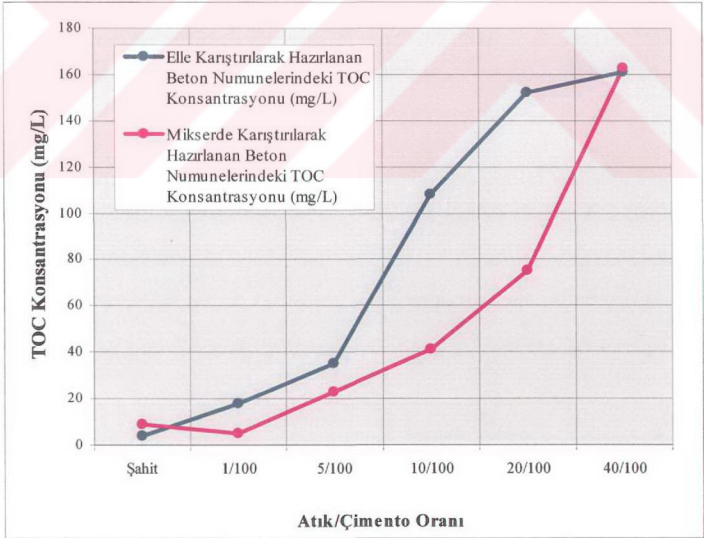
Şekil 5.7. 28 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki TOC Konsantrasyonları



Şekil 5.8. 28 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki TOC Konsantrasyonları



Şekil 5.9. 90 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki TOC Konsantrasyonları



Şekil 5.10. 90 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki TOC Konsantrasyonları

Bu şekillerde verilen grafiklere göre atık/çimento oranı arttıkça TOC konsantrasyonu artmaktadır. Ayrıca bütün beton numunelerindeki TOC konsantrasyonları atıktaki TOC konsantrasyonlarından çok daha düşük çıkmıştır. Buna göre solidifikasyon/stabilizasyon yönteminin organik madde sızmasını önlediği söylenebilir.

### 5.2.2. Metal Ölçüm Sonuçları

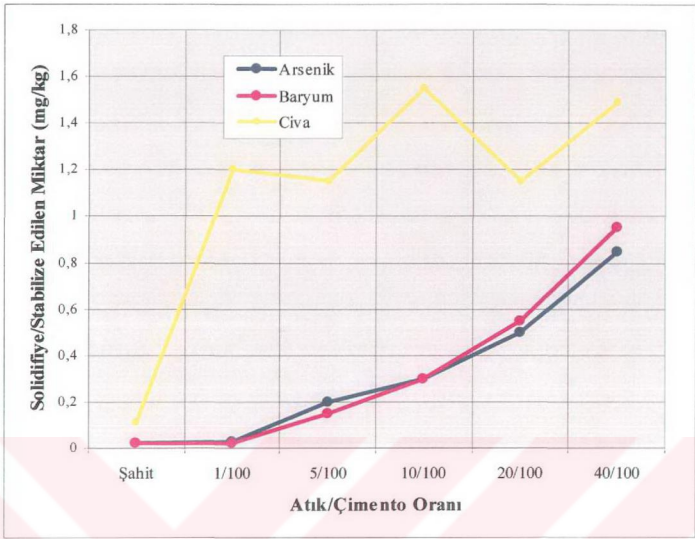
Atomik Absorpsiyon Spektrometresinde metal ölçümleri yapılmış ve sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Tablolar hazırlanırken tekrarların aritmetik ortalaması esas alınmış ve böylece metal konsantrasyonlarının ortalama değerleri tablolarda gösterilmiştir. Grafikler ise bu ortalama değerlere göre hazırlanmıştır.

Tablo C.1'den C.12'ye kadar beton numunelerinin özellikleri verilmiştir. Her beton numunesiyle ilgili arka arkaya iki tablo verilmiştir. İlk tablolarda sızma özellikleri, EP Toksisite ve DIN sızma konsantrasyonları ile verilmiştir. Sonraki tablolarda ise solidifiye/stabilize edilen ve sızan miktarlar mg/kg cinsinden verilmiştir. Bu tablolardaki sızma konsantrasyonları standartlardan düşük olduğu için solidifikasyon/stabilizasyon prosesinin başarıyla tamamlandığı söylenebilir. Ayrıca sızma miktarlarının solidifiye/stabilize edilen miktarlardan oldukça düşük oldukları da görülmektedir.

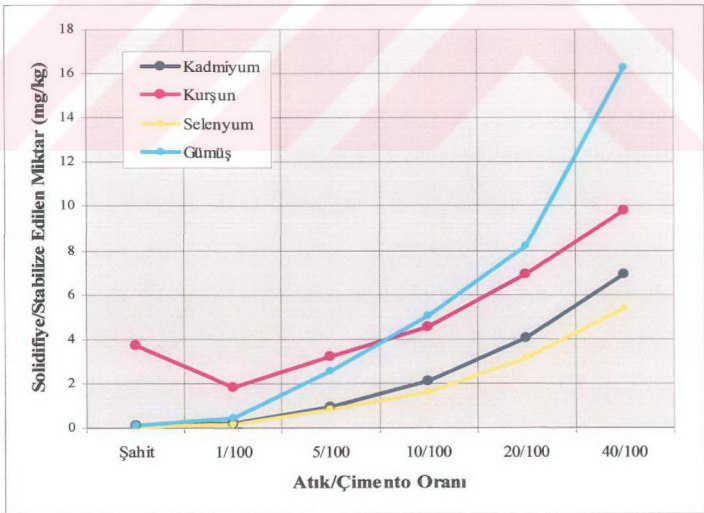
Şekil 5.11'de 28 günlük beton numunelerinde solidifiye/stabilize edilen toplam arsenik, baryum ve civa miktarlarının atık/çimento oranlarına göre değişimleri verilmiştir.

Şekil 5.12'de beton numunelerinde solidifiye/stabilize edilen toplam kadmiyum; kurşun, selenyum ve gümüş, Şekil 5.13'te bakır, krom ve nikel, Şekil 5.14'te ise çinko miktarlarının atık/çimento oranlarına göre değişimleri verilmiştir.

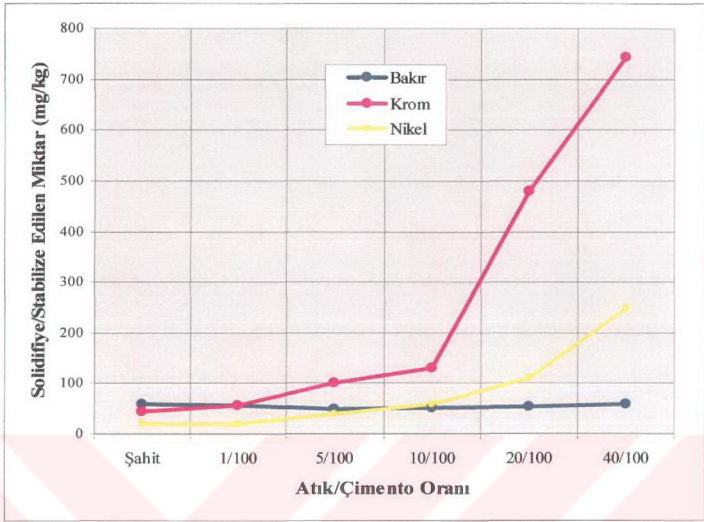
Şekil 5.11'den 5.14'e kadar olan grafiklere göre genel olarak atık/çimento oranı arttıkça solidifiye/stabilize edilen metal miktarları artmaktadır.



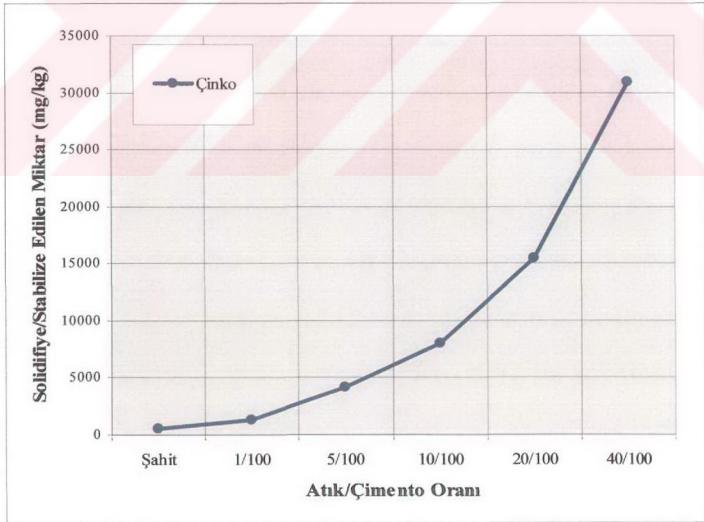
Şekil 5.11. 28 Günlük Beton Numunelerinde Solidifiye/Stabilize Edilen Arsenik Baryum ve Civa Miktarları



Şekil 5.12. 28 Günlük Beton Numunelerinde Solidifiye Stabilize Edilen Kadmiyum, Kurşun, Selenyum ve Gümüş Miktarları

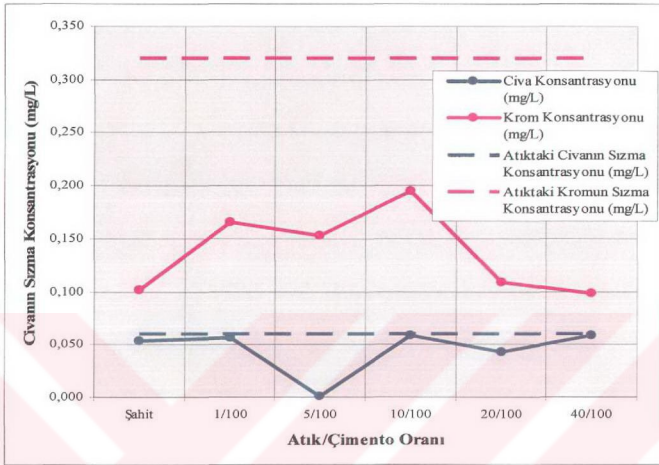


Şekil 5.13. 28 Günlük Beton Numunelerinde Solidifiye Stabilize Edilen Bakır, Krom ve Nikel Miktarları

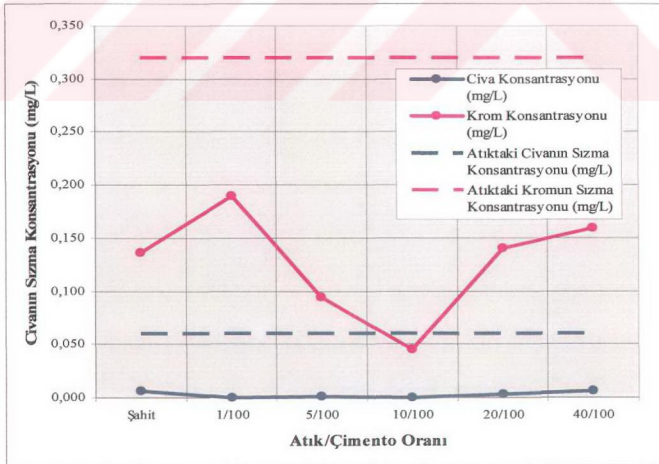


Şekil 5.14. 28 Günlük Beton Numunelerinde Solidifiye Stabilize Edilen Çinko Miktarları

Şekil 5.15'de 28 günlük; Şekil 5.16'da ise 90 günlük beton numunelerinin DIN eluatlarındaki krom ve civa konsantrasyonlarının atık/çimento oranlarına göre değişimi verilmiştir.

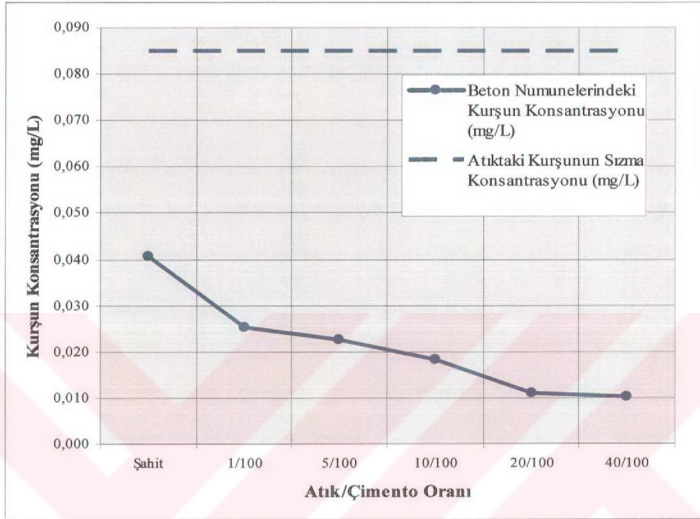


Şekil 5.15. 28 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki Krom ve Civa Konsantrasyonları

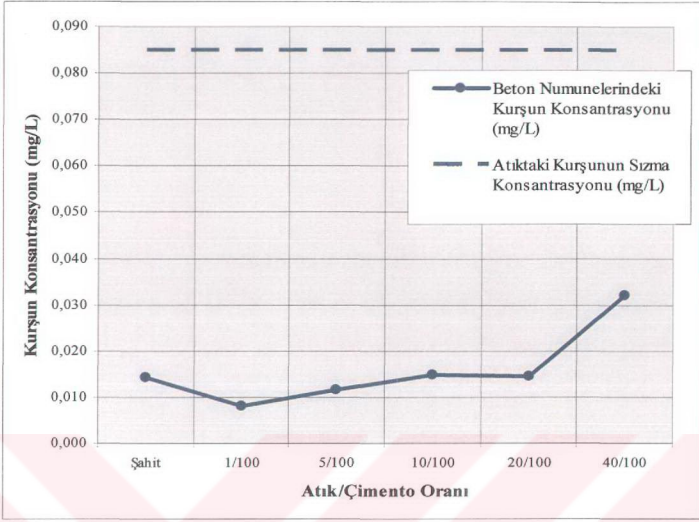


Şekil 5.16. 90 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki Krom ve Civa Konsantrasyonları

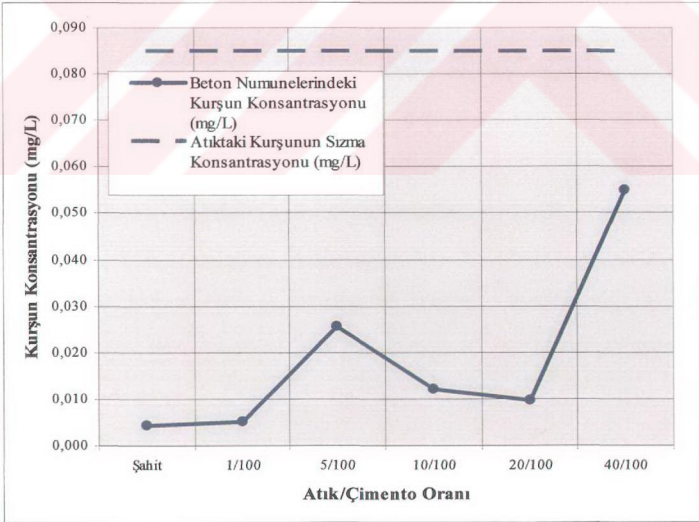
Şekil 5.17’de 7 günlük; Şekil 5.18’de 28 günlük; Şekil 5.19’da ise 90 günlük beton numunelerinin EP ekstraktlarındaki kurşun konsantrasyonlarının atık/çimento oranlarına göre değişimi verilmiştir.



Şekil 5.17. 7 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki Kurşun Konsantrasyonları



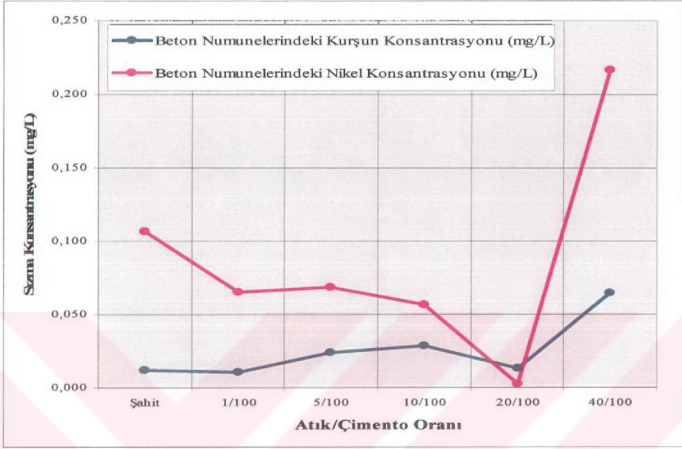
Şekil 5.18. 28 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki Kurşun Konsantrasyonları



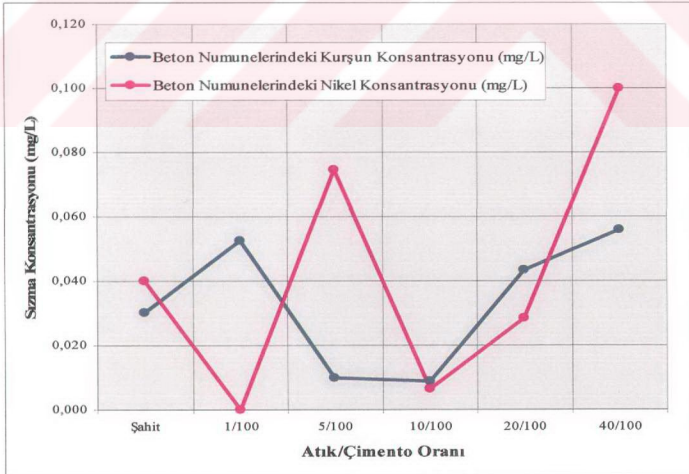
Şekil 5.19. 90 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki Kurşun Konsantrasyonları



Şekil 5.20'de 28 günlük; Şekil 5.21'de ise 90 günlük beton numunelerinin DIN eluatlarındaki kurşun ve nikel konsantrasyonlarının atık/çimento oranlarına göre değişimi verilmiştir.

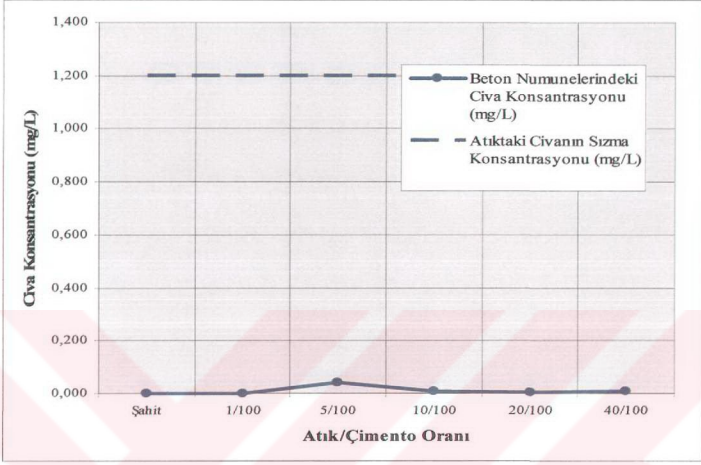


Şekil 5.20. 28 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki Kurşun ve Nikel Konsantrasyonları

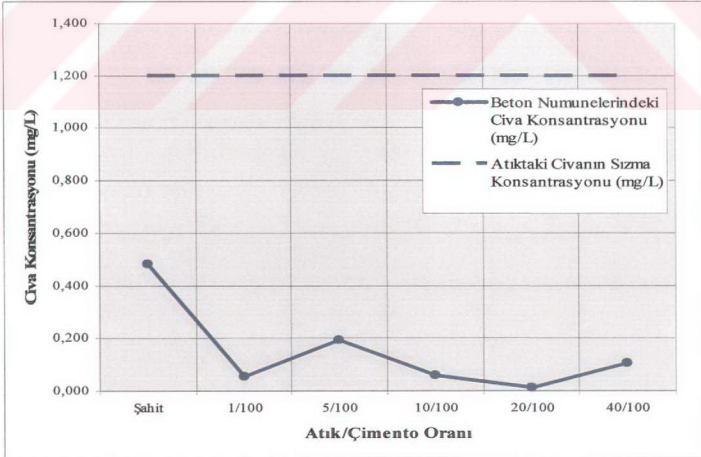


Şekil 5.21. 90 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki Kurşun ve Nikel Konsantrasyonları

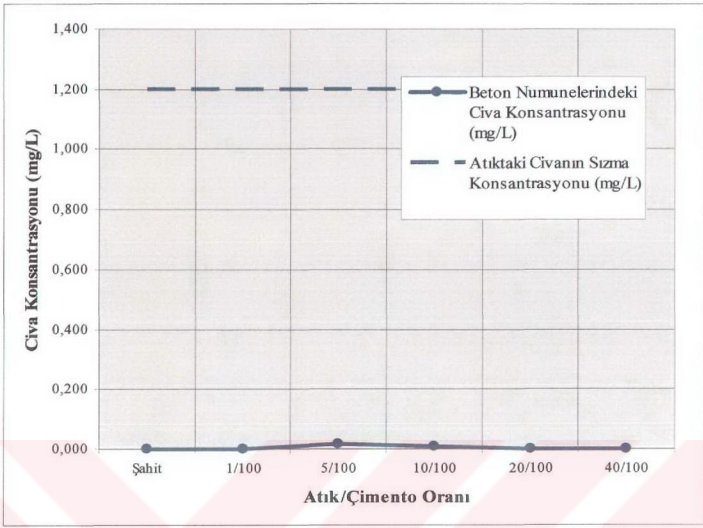
Şekil 5.22'de 7 günlük; Şekil 5.23'te 28 günlük; Şekil 5.24'de ise 90 günlük beton numunelerinin EP ekstraktlarındaki civa konsantrasyonlarının atık/çimento oranlarına göre değişimi verilmiştir.



Şekil 5.22. 7 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki Civa Konsantrasyonları

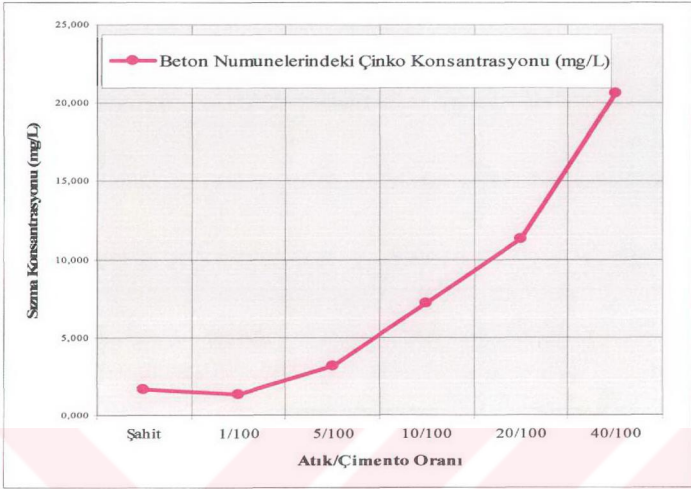


Şekil 5.23. 28 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki Civa Konsantrasyonları

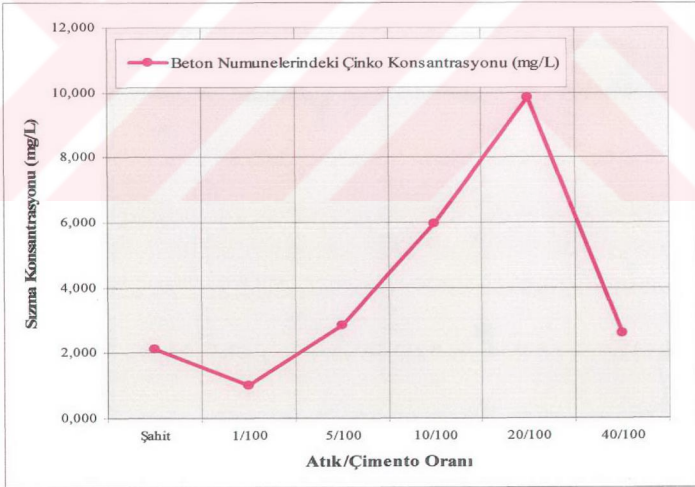


Şekil 5.24. 90 Günlük Beton Numunelerinin EP Ekstraktlarındaki Civa Konsantrasyonları

Şekil 5.25'de 28 günlük; Şekil 5.26'da ise 90 günlük beton numunelerinin DIN eluatlarındaki çinko konsantrasyonlarının atık/çimento oranlarına göre değişimi verilmiştir.



Şekil 5.25. 28 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki Çinko Konsantrasyonları



Şekil 5.26. 90 Günlük Beton Numunelerinin DIN Eluatlarındaki Çinko Konsantrasyonları

Şekil 5.11 ile 5.26 arasında verilen grafiklerde genel olarak beton numunelerinin sızma konsantrasyonları, atık/bağlayıcı oranlarına göre artış göstermektedir.

Kür zamanına göre sızma konsantrasyonlarında ise belirgin bir artış veya azalmadan söz etmek mümkün değildir.

Sızma konsantrasyonları atık/bağlayıcı oranlarına ve kür zamanına göre incelendiğinde kimi zaman beklenenin aksine daha düşük veya daha yüksek konsantrasyonlarla karşılaşmıştır. Ancak sızma seviyeleri standartlardan çok düşük olduğu için bu değişimler ihmal edilebilecek düzeydedir. Ayrıca beton içindeki atığın partikül boyutu çok farklılık gösterdiği için betondan alınan parça, beton numunesini iyi temsil etmiyor olabilir. Bu açıdan daha sonra yapılacak çalışmalarda atığın partikül boyutunun mümkün olduğunca küçük ve sabit tutulmasına dikkat edilmesi önem kazanmaktadır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında ülkemizde ve bölgemizde yaygın şekilde bulunan kimyasal madde üretimi endüstrisinden kaynaklanan ve düzenli depolama tesislerine bile kabul edilmeyen ancak yüksek maliyetlerde yakılabilen zararlı atıkların çeşitli bağlayıcılar ile solidifikasyon/stabilizasyonu araştırılmıştır. S/S teknolojisi ile zararlı atığın güvenli uzaklaştırılması, çevresel riskinin azaltılması ve beton katkısı olarak yapı teknolojisinde tekrar kullanımı gibi atık yönetimi seçenekleri amaçlanmıştır.

Bu amaç çerçevesinde yapılan artırılabilirlik deneylerinden elde edilen verilerin irdelenmesiyle ulaşılan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Atığın sızma konsantrasyonları EP toksisite karakteristikleri kirletici konsantrasyon standartlarıyla ve Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ndeki atıkların düzenli depo tesislerine depolanabilme kriterleriyle karşılaştırılarak zararlı atık olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca zararlı atığın, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 6'da verilen Ulusal Tehlikeli Atık Listesi'ne göre Y17 ve Y18 Tehlikeli Atık Genel Kategorilerine girdiği, K004 ve D009 EPA Zararlı Atık Kodları ile EPA Zararlı Atık Listelerinde yer aldığı belirlenmiştir.
- Ufalanarak havada kurutulmuş numunenin kullanılması, priz almaya yardımcı olması nedeniyle uygun bulunmuştur.
- Özellikle slump'ın düşmesi, su/çimento oranlarının artması ve kür şartlarının değişmesinin hazırlanan beton numunelerinde basınç dayanımlarının düşmesine neden olduğu görülmüştür.
- Basınç dayanım testleri ile yapı teknolojisi kullanımına uygun optimum atık/çimento oranının 10/100 (C30 sınıfı beton için), 20/100 (C20-C25 sınıfı beton için); güvenli depolamaya uygun atık/çimento oranının ise daha yüksek oran bu çalışmada denenmediği için 40/100 olduğu sonucuna varılmıştır.

- Atık/çimento oranı arttıkça düşen basınç dayanımı aynı oranlarda kür zamanı artışı ile artmaktadır. Yani 90 günlük kür zamanındaki numunelerin daha iyi yapı malzemesi özelliği taşıyabileceği düşünülmüştür.
- Portland çimentosu ile uygulanan S/S teknolojisinin, belirlenen atık/çimento oranlarında, zararlı atık kompozisyonunda verilen krom, kurşun, civa, bakır, nikel, çinko gibi ağır metallerin stabilizasyonunu sağladığı görülmüştür.
- Yukarıdaki ağır metaller yönetmelik ve listelerde verilen sınır değerler ile karşılaştırılmış, uygulanan S/S teknolojisi ile zararlı atığın detoksifikasyonunun sağlandığı ve bu şekilde arıtılıp güvenli uzaklaştırmaya uygun olabileceği belirlenmiştir.
- DIN 38 414 S4 ve EP toksisite deney yöntemlerinin ve kirlenici standartlarının farklılıkları nedeniyle her ikisinin de uygulanmasıyla S/S teknolojisi artım sonuçlarında önemli bir fark olmadığı görülmüş, prosesin başarıyla tamamlandığı sonucuna varılmış ve iki değişik yöntem kullanılarak kontrolü sağlanmıştır.
- Sızma sonuçlarına göre, atık içeriğindeki yüksek organik maddenin (TOC), organik madde kirlenmesi oluşturmadığı ve %81 ile %99.6 arasındaki oranlarda artıldığı tespit edilmiştir.

Bu sonuçlara göre bu atık çamur için yönetim düşünce ve önerileri aşağıdadır.

- S/S teknolojisi, Türkiye'deki yönetmeliklere esas olacak atık yönetim biçimi olarak önerilmektedir.
- Beton numuneleri kırıldıktan sonra atığın partikül halde kaldığı gözlenmiş olduğu için kuru haldeki atık numunesini öğütürerek ilave etmek önerilmektedir.
- TS EN 206-1'de verilen C35 sınıfı betonun 28 günlük karakteristik basınç dayanımına ( $45 \text{ N/mm}^2$ ) göre beton numunelerinin basınç dayanımları daha düşük olmuştur. Ancak zararlı atıkları arıtmak ve geri kazanmak açısından yüksek sınıf beton hazırlanıp daha düşük sınıf beton hedeflenebilir. Çünkü bu çalışmada 10/100 atık/çimento oranında atık kullanıldığında elde edilen dayanımlar C30; 20/100 atık/çimento oranında atık kullanıldığında elde edilen dayanımlar C20-C25 sınıfı betonların dayanımlarını karşılamaktadır.

Dayanımlar zamanla azalmadığı için sorun yoktur. 90 günlük dayanımlar bu açıdan bakıldığında açıklayıcı olmaktadır. Ayrıca atık materyali çimentoya minör katkı olarak ilave edilebilir. Ancak en fazla 5/100 atık/çimento oranında kullanılabilir.

- Gelecek çalışmalarda zararlı atık numunesinin filtre preste susuzlaştırılmadan önce sulu çamur formunda da kullanılması önerilmektedir. Ancak homojen bir karışım elde etmek için ufalamak gerekmektedir.
- Sızma konsantrasyonları atık/bağlayıcı oranlarına göre incelendiğinde kimi zaman beklenenin aksine daha düşük veya daha yüksek konsantrasyonlarla karşılaşılmıştır. Ancak sızma seviyelerinin standartlardan çok düşük olduğu; beton içindeki atığın partikül boyutunun çok farklılık gösterdiği göz önünde bulundurulursa bu değişimler ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu açıdan daha sonra yapılacak çalışmalarda atığın partikül boyutunun sabit tutulmasına dikkat edilmesi önem kazanmaktadır.
- Sızma testi sonuçlarını, DIN 38 414 S4 ve EP toksisite kirletici standartlarında verilen bireysel madde konsantrasyonları ile karşılaştırmak yerine ekotoksisiteyi belirlemek için bir toksisite ya da inhibisyon yönteminin standartlaştırılması önerilmektedir.



## KAYNAKLAR

- Akhter, H., Cartledge, F.K., Roy, A. And Tittlebaum M.E.,** 1997. Solidification/stabilization of arsenic salts: Effects of long cure times, *Journal Of Hazardous Materials*, **52**, 247-264.
- APHA, AWWA, WEF,** 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, 19<sup>th</sup> Edition.
- Andac, M. and Glasser, F.P.,** 1998. The effect of test conditions on the leaching of stabilised MSWI-fly ash in Portland cement, *Waste Management*, **18**, 309-319.
- Anderson, G.K.,** 2000. Kişisel Görüşme, Newcastle University, Environmental Engineering Group.
- Anderson, W.C.,** 1994. Innovative Site Remediation Technology, Stabilization/Solidification, American Academy of Environmental Engineers.
- Balzamo, S., Castellano, L. and De Angelis, G.,** 1993. Experimental and theoretical studies for assessing the retention capacity of cement stabilized materials for land disposal, *Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive and Mixed Wastes: 3<sup>rd</sup> Volume*, American Society for Testing Materials, Virginia, USA, 1-5 November, 388-412.
- Barna, R., Sanchez, F., Moszkowicz, P. and Mehu, J.,** 1997. Leaching behaviour of pollutants in stabilized/solidified wastes, *Journal Of Hazardous Materials*, **52**, 287-310.
- Bayar, S.,** 2004. Zararlı Atıkların Solidifikasyon/Stabilizasyon ile Arıtımı ve Arıtma Projelerinin Geliştirilmesi, *Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu IV*, GYTE, 9-10 Ekim.
- Bhat, P.N., Ghosh, D.K. and Desai M.V.M.,** 2002. Immobilisation of beryllium in solid waste (red-mud) by fixation and vitrification, *Waste Management*, **22**, 549-556.
- Bhatty, J.I. and West, P.B.,** 1996. Stabilization of heavy metals in Portland Cement matrix: effects on paste properties, *Stabilization and Solidification of*

*Hazardous, Radioactive and Mixed Wastes: 3<sup>rd</sup> Volume*, American Society for Testing Materials, Virginia, USA, 1-5 November, 147-162.

**Botta, D., Dotelli, G., Biancardi, R., Pelosato, R.,** 2004. Cement-clay pastes for stabilization/solidification of 2-chloroaniline, *Waste Management*, **24**, 207-216.

**Chan, Y.M., Agamuthu, P. and Mahalingam, R.,** 2000. Solidification and stabilization of asbestos waste from an automobile brake manufacturing facility using cement, *Journal of Hazardous Materials*, **B77**, 209-226.

**Cheeseman, C.R., Sollars, C.J. and Perry, R.,** 1996. Mechanisms of metal containment resulting from the solidification of a commercially produced stabilized waste, *Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive and Mixed Wastes: 3<sup>rd</sup> Volume*, American Society for Testing Materials, Virginia, USA, 1-5 November, 80-93.

**Cheng, K.Y. and Bishop, P.L.,** 1996. Property changes of cement-based waste forms during leaching, *Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive and Mixed Wastes: 3<sup>rd</sup> Volume*, American Society for Testing Materials, Virginia, USA, 1-5 November, 375-387.

**Conner, J.R. and Hoeffner, S.L.,** 1998. A critical review of stabilization/solidification technology, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **28(4)**, 397-462.

**Coz, A., Andres, A., Soriano, S. and Irbien, A.,** 2004. Environmental behaviour of stabilised foundry sludge, *Journal of Hazardous Materials*, Article in Press.

**DiE,** 07.03.2000. İmalat Sanayi Atık Envanteri 1996 (Geçici Sonuçlar), <http://www.die.gov.tr/TURKISH/SONIST/CEVRE/07032000>.

**Diet, J.N., Moszkowicz, P. and Sorrentino, D.,** 1998. Behaviour of ordinary portland cement during the stabilization/solidification of synthetic heavy metal sludge: macroscopic and microscopic aspects, *Waste Management*, **18**, 17-24.

- DIN 38 414 S4**, 1984. German Standard Methods for Researching Water, Effluent Water and Sludge, Group S: Sludge and Sediments; Determining Leaching with Water (S4).
- DPT**, 1997. Ulusal Çevre Eylem Planı: Tehlikeli Atıkların Yönetimi, <http://ekutup.dpt.gov.tr/cevre/eylempla/zanbacc.pdf>.
- Dutre, V. And Vandecasteele, C.**, 1995. Solidification/stabilization of hazardous arsenic containing waste from a copper refining process, *Journal of Hazardous Materials*, **40**, 55-68.
- Dutre, V. and Vandecasteele, C.**, 1996. An evaluation of the solidification/stabilization of industrial arsenic containing waste using extraction and semidynamic leach tests, *Waste Management*, **16(7)**, 625-631.
- EPA**, 1989. Stabilization/Solidification of CERCLA and RCRA Wastes, **EPA/625/6-89/022**, May.
- EPA**, 1993. Solidification/Stabilization of Organics and Inorganics, *Engineering Bulletin*, **EPA/540/S-92/015**, May.
- Erickson, P.M. and Barth, E.F.**, 1996. evaluation of contaminant leachability factors by comparison of treatability study data for solidified/stabilized materials, *Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive and Mixed Wastes: 3<sup>rd</sup> Volume*, American Society for Testing Materials, Virginia, USA, 1-5 November, 29-441.
- Filibeli, A., Buyukkamaci, N. and Senol, H.**, 2000. Solidification of tannery wastes, *Resources, Conservation and Recycling*, **29**, 251-261.
- Glasser, F.P.**, 1997. Fundamental aspects of cement solidification and stabilization, *Journal of Hazardous Materials*, **52**, 151-170.
- Glendinning, S.**, 2000, Kişisel Görüşme, Newcastle University, Geotechnical Group.
- Hall, R.M., Schwartz, R.E., Bryson, N.S., Davis, Jr., R.C. and Donohue, B.G.**, 1993. RCRA Hazardous Waste Handbook, Crowell&Moring, Government Institutes.

- Hamilton, W.P. and Bowers A.R.**, 1997. Determination of acute Hg emissions from solidified/stabilized cement waste forms, *Waste Management*, **17**(1), 25-32.
- Hills, C.D., Lange, L.C., Mole, C.F., Schrapel, K. and Poole, A.B.**, 1996. The effect of alite content on 'Portland' cement solidified waste forms, *Environmental Technology*, **17**, 575-585.
- Hills, C.D. and Pollard, S.J.T.**, 1997. The influence of interference effects on the mechanical, microstructural and fixation characteristics of cement-solidified hazardous waste forms, *Journal Of Hazardous Materials*, **52**, 171-191.
- Jang, A. and Kim In S.**, 2000. Technical note solidification and stabilization of Pb, Zn, Cd and Cu in tailing wastes using cement and fly ash, *Minerals Engineering*, **13**(14-15), 1659-1662.
- Janusa, M.A., Champagne, C.A., Fanguy, J.C., Heard, G.E., Laine, P.L. and Landry, A.A.**, 1998. Solidification/stabilization of lead with the aid of bagasse as an additive to Portland cement, *Microchemical Journal*, **65**, 255-259.
- Jun, K.S., Shin, H.S. and Paik, B.C.**, 1997. Microstructural analysis of OPC/Silica fume/Na-Bentonite interactions in cement based solidification of organic-contaminated hazardous waste, *J. Environ. Sci. Health*, **A32**(4), 913-928
- LaGrega, M.D.**, 1994. Hazardous Waste Management, International Editions McGraw Hill, Inc.
- Leist, M., Casey, R.J. and Caridi, D.**, 2003. The fixation and leaching of cement stabilized arsenic, *Waste Management*, **23**, 353-359.
- Lin, C.K., Chen, J.N. and Lin, C.C.**, 1997. An NMR, XRD and EDS study of solidification/stabilization of chromium with Portland cement and  $C_3S$ , *Journal Of Hazardous Materials*, **56**, 21-34.
- Lombardi, F., Mangialardi, T., Piga, L. and Sirini, P.**, 1998. Mechanical and leaching properties of cement solidified hospital solid waste incinerator fly ash, *Waste Management*, **18**, 99-106.

- Mangialardi, T., Paolini, A.E., Polettini, A. and Sirini, P.,** 1999. Optimization of the solidification/stabilization of MSW fly ash in cementitious matrices, *Journal of Hazardous Materials*, **B70**, 53-70.
- Means, J., Smith, L. and Nehring, K.,** 1994. The Application Of Solidification/Stabilization To Waste Materials, Lewis Publishers, Inc..
- Osmanhoğlu, A.E.,** 2002. Immobilization of radioactive waste by cementation with purified kaolin clay, *Waste Management*, **22**, 481-483.
- Park, C.K.,** 2000. Hydration and solidification of hazardous wastes containing heavy metals using modified cementitious materials, *Cement and Concrete Research*, **30**, 429-435.
- Polletini, A., Pomi, R., Sirini, P. and Testa F.,** 2001. properties of Portland cement-stabilised MSWI fly ashes, *Journal Of Hazardous Materials*, **B88**, 123-138.
- Poon, C.S. and Lio K.W.,** 1997. The limitation of the toxicity characteristic leaching procedure for evaluating cement-based stabilized/solidified waste forms, *Waste Management*, **17**, 15-23.
- Quaresima, R., Scoccia, G., Volpe, R., Medici, F. and Carlo, M.,** 1996. Influence of silica fume on the immobilization properties of cementitious mortars exposed to freeze-thaw cycles, *Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive and Mixed Wastes: 3<sup>rd</sup> Volume*, American Society for Testing Materials, Virginia, USA, 1-5 November, 135-146.
- Resmi Gazete,** 1995. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Sayı 22387.
- Rosetti, V.A., Palma, L.D. and Medici, F.,** 2002. Assesment of the leaching of metallic elements in the technology of solidification in aqueous solution, *Waste Management*, **22**, 605-610.
- Roy, A., Eaton, H.C., Cartledge, F.K. and Titlebaum M.E.,** 1992. Solidification/stabilization of hazardous waste: evidence of physical encapsulation, *Environmental Science And Technology*, **26(7)**.
- Salt, B.K., Garner, A.G., Fowler, D.W., Loehr, R.C. and Carasquillo, R.L.,** 1996. Recycling contaminated spent blasting abrasives in Portland

Cement mortars using solidification/stabilization technology, *Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive and Mixed Wastes: 3<sup>rd</sup> Volume*, American Society for Testing Materials, Virginia, USA, 1-5 November, 514-527.

- Silveria, B.I., Dantas, A.E.M., Blasques, J.E.M. and Santos, R.K.P.**, 2003. Effectiveness of cement-based systems for stabilization and solidification of spent pot liner inorganic fraction, *Journal of Hazardous Materials*, **B98**, 183-190.
- Shimaoka, T. and Hanashima, M.**, 1996. Behaviour of stabilized fly ashes in solid waste landfills, *Waste Management*, **16**, 545-554.
- Stegemann, J.A. and Cote, P.L.**, 1996. A proposed protocol for evaluation of solidified wastes, *The Science of the Total Environment*, **178**, 103-110.
- Stegemann, J.A. and Buenfeld, N.R.**, 2003. Prediction of unconfined compressive strength of cement paste containing industrial wastes, *Waste Management*, **23**, 321-332.
- SW-846**, 2002. Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, USEPA.
- Talnh, İ.**, 1996. Marmara Bölgesi Zararlı Atık Envanteri Projesi, I. Gelişme Raporu, İTÜ Araştırma Fonu, İstanbul.
- Talnh, İ.**, 1997. Zararlı Atık Saptama Modeli, Sonuç Raporu, Haziran, İstanbul.
- Talnh, İ.**, 1995. Zararlı Atıkların Tanımı ve Yönetimi, I. Gelişme Raporu, Kasım, İstanbul.
- Talnh, İ. and Uçaroğlu, S.**, 2004. Recovery and safe disposal of hazardous waste sludges in automotive industry by solidification, *Journal of Hazardous Materials*, Basımda.
- Talnh, İ., Yamantürk, R., Aydın, E., Başakçılardan, S.**, 2003. A rating system for determination of hazardous wastes, *Journal of Hazardous Materials*, Basıma gönderildi.
- Tchobanoglous, George**, 1993. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*, McGraw-Hill.

- TS EN 206/1**, 2002. Beton-Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Tünay, O.**, 1996. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Ubbriaco, P. and Calabrese, D.**, 1998. Solidification and stabilization of cement paste containing fly ash from municipal solid waste, *Thermochemica Acta*, **321**, 143-150.
- Uçaroğlu, S. ve Tahnlı, İ.**, 2002. Otomotiv endüstrisi, zararlı, atıklarının solidifikasyonu ve geri kazanımı, *İTÜ Dergisi/d, Mühendislik*, **1(2)**, 39-50.
- UNEP**, 1982. Hazardous Waste Management, World Health Organization.
- Vandacastele, C., Dutre, V., Geysen, D. and Wauters, G.**, 2002. Solidification/stabilisation of arsenic bearing fly ash from the metallurgical industry. Immobilization mechanism of arsenic, *Waste Management*, **22**, 143-146.
- Vipulanandan, C. and Krishnan S.**, 1990. Solidification/stabilization of phenolic waste with cementitious and polymeric materials, *Journal of Hazardous Materials*, **24**, 123-136.
- Wang, S. and Vipulanandan, C.**, 2000. Solidification/stabilization of Cr(VI) with cement leachability and XRD analyses, *Cement And Concrete Research*, **30**, 385-389.
- Wiles, C.**, 1987. A review of solidification/stabilization technology, *Journal of Hazardous Materials*, **14**, 5-21.
- Yeğınobalı, A.**, 2003. Çimento, Yeni Çağın Malzemesi, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- Yousuf, M., Mollah, A., Vempati, R.K., Lin, T.C. and Cocke D.L.**, 1995. The interfacial chemistry of solidification/stabilization of metals in cement and pozzolanic material systems, *Waste Management*, **15**, 137-148.
- Zain, M.F.M., Islam, M.N., Radin, S.S. and Yap, S.G.**, 2003. Cement-based solidification for the safe disposal of balsted copper slag, *Cement&Concrete Composites*, Article in Press.

**Zhang, A., Akhter, H. and Cartledge, K.,** 1997. Solidification/stabilization applied to chromium species, *J. Environ. Sci. Health*, **A32(6)**, 1731-1742.

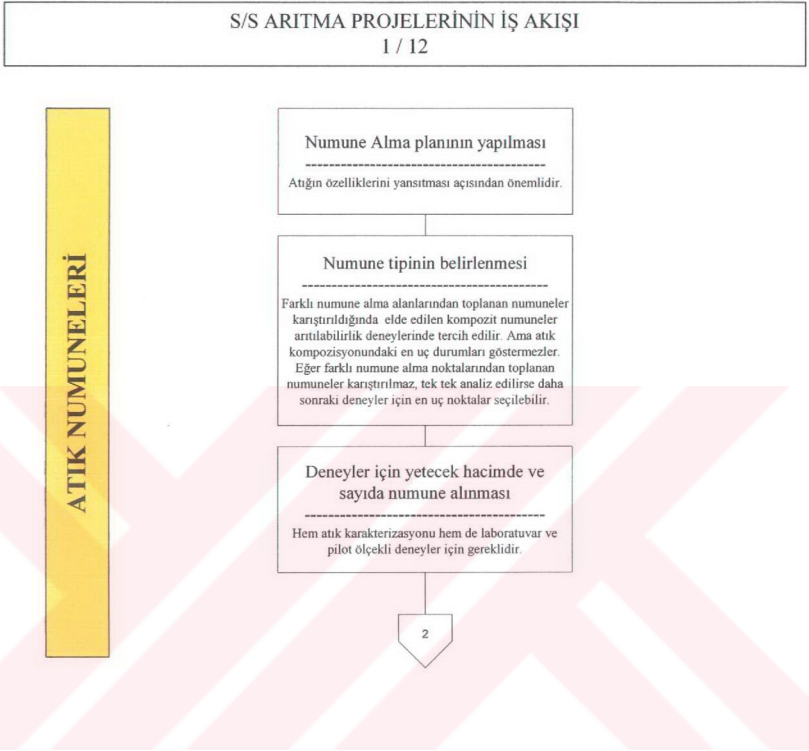




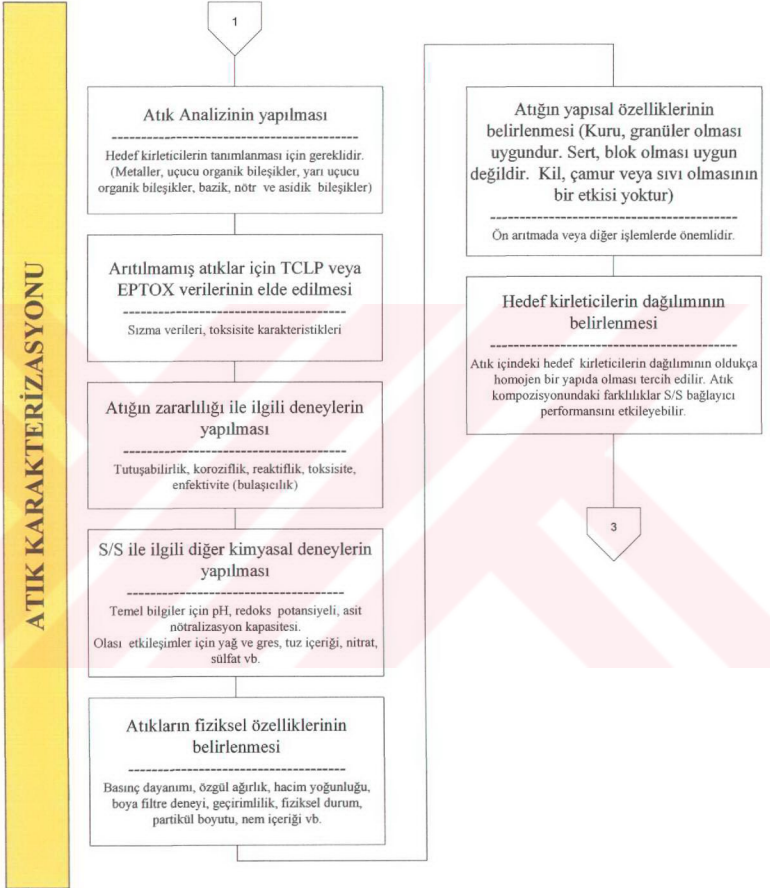
EKLER

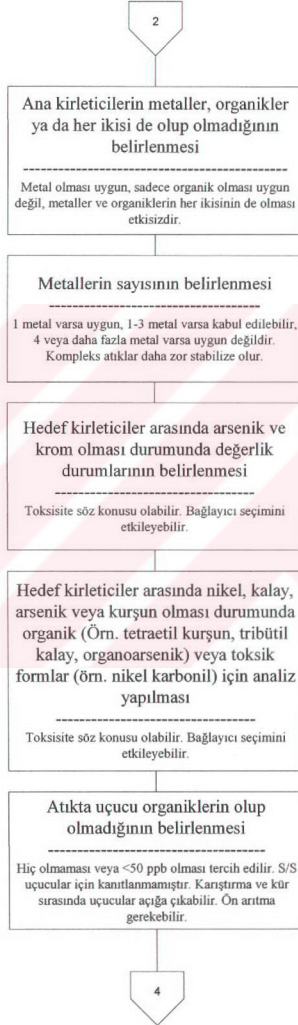


Şekil A.1. S/S Arıtma Projelerinin İş Akışı

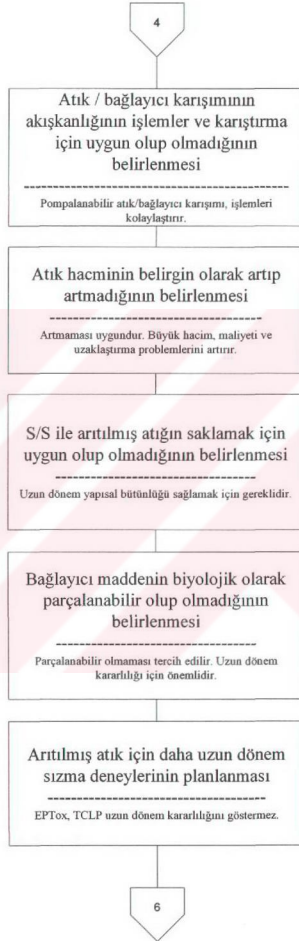


S/S ARITMA PROJELERİNİN İŞ AKIŞI  
2 / 12

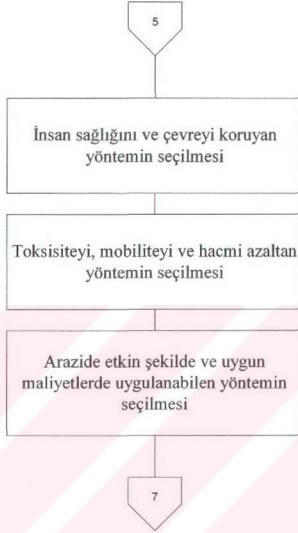




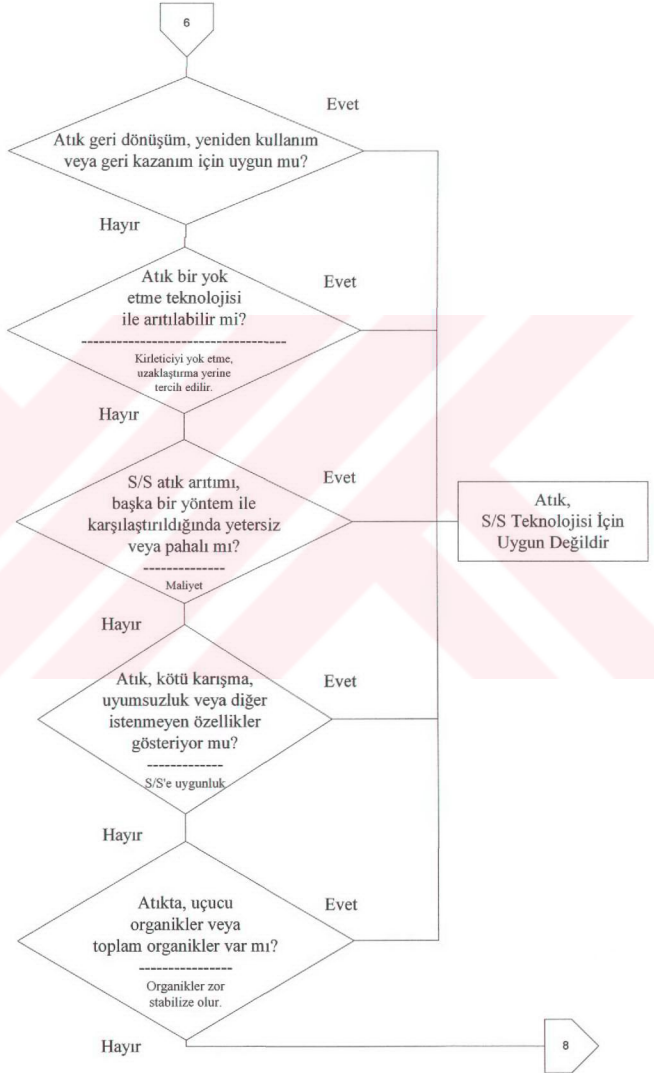




TEKNOLOJİ SEÇİMİ



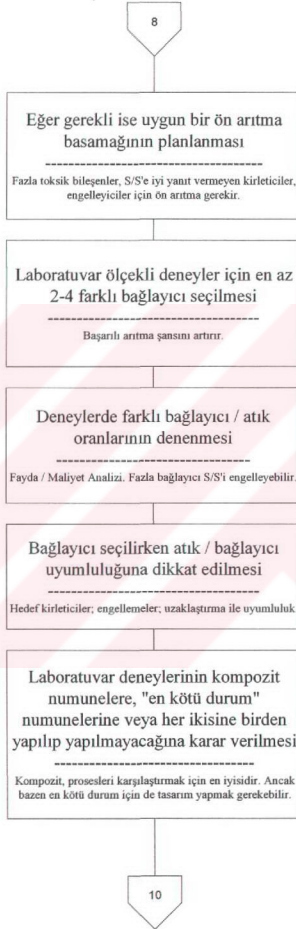
S/S İ KULLANMAMAK İÇİN GENEL KRİTERLER







ATIK / BAĞLAYICI KARIŞIMININ LABORATUVAR ÖLÇEKLİ SEÇİMİ





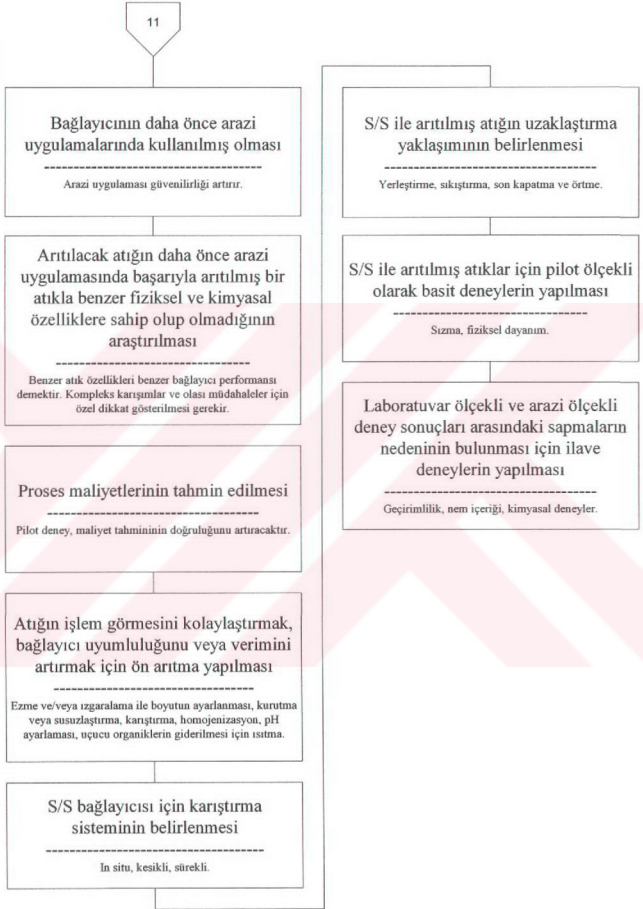
S/S ARITMA PROJELERİNİN İŞ AKIŞI  
11 / 12

LABORATUVAR ÖLÇEKLİ DENEYLER / PROSES OPTİMİZASYONU



S/S ARITMA PROJELERİNİN İŞ AKIŞI  
12 / 12

PILOT ÖLÇEKLİ VE ARAZİ ÖLÇEKLİ DENEYLER





Şekil B.1. Laboratuvar Mikseri

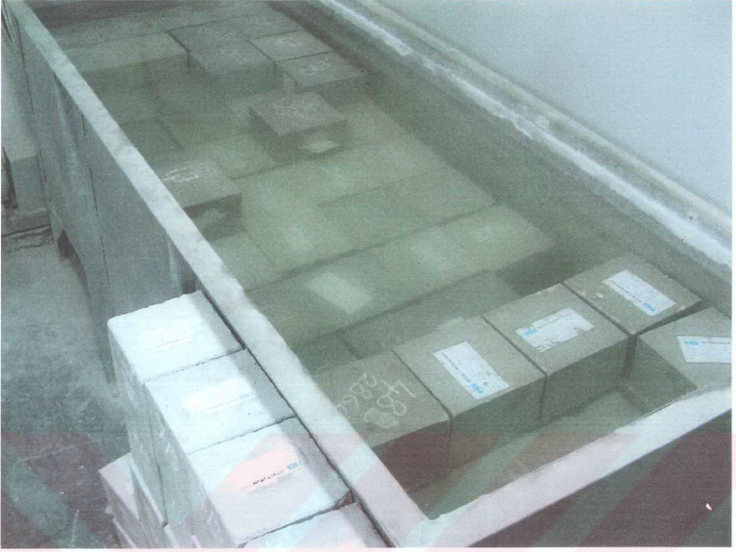


Şekil B.2. Çökme (Slump) Deney Aleti



Şekil B.3. Kübik Standart Kalıplar ve Vibrasyon Masası

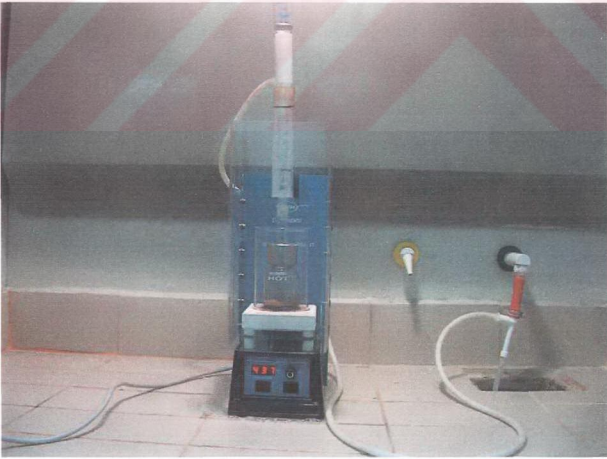




Şekil B.4. Kür Havuzları



Şekil B.5. Basınç Deney Presi



Şekil B.6. Hach Digesdahl Digestion Aparatı

Tablo C.1.1. Şahit Beton Numunesinin Sızma Özellikleri

Parametreler	Sızma Konsantrasyonları (mg/L)					
	EPTox			DIN		
	7 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	
Arsenik	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Baryum	AD*	AD*	AD*			
Kadmiyum	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Krom	AD*	AD*	AD*	0,102	0,137	
Kurşun	0,040	0,014	0,007	0,012	0,031	
Civa	0	0,481	0,001	0,053	0,006	
Selenyum	AD*	AD*	AD*			
Gümüş	AD*	AD*	AD*			
Bakır				0	0	
Nikel				0,107	0	
Çinko				1,695	2,112	

\* Standart değerden düşük sızma değeri olduğundan ölçüm yapmak anlamlı değildir.

Tablo C.2. Şahit Beton Numunesindeki Metal Miktarları

Parametreler	Solidifiye Stabilize Edilen Miktar mg/kg		EPTox				Sızan Miktar (mg/kg)		DIN
	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	7 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra		
Arsenik	0,02	0,02	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Baryum	0,02	0,02	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Kadmiyum	0,1	0,15	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Krom	43,9	44,3	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Kurşun	3,7	3,65	0,65	0,23	0,11	0,11	0,12	0,31	
Civa	0,11	0,2	0	7,69	0,01	0,01	0,53	0,06	
Selenyum	0,07	0,04	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Gümüş	0,1	0,15	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Bakır	58	58,1					0	0	
Nikel	18,8	14,3					1,07	4,01	
Çinko	585,7	572,8					16,95	21,12	

\* Standart değerden düşük sızma değeri olduğundan ölçüm yapmak anlamlı değildir.

Tablo C.3. 1/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesinin Sızma Özellikleri

Parametreler	Sızma Konsantrasyonları (mg/L)					
	EPTox			DIN		
	7 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra
Arsenik	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Baryum	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Kadmiyum	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Krom	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Kurşun	0,026	0,009	0,006	0,166	0,011	0,190
Cıva	0,001	0,053	0	0,057	0,058	0,058
Selenyum	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Gümüş	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Bakır				0	0	0
Nikel				0,066	0,066	0,08
Çinko				1,335	1,335	1,02

\* Standart değerden düşük sızma değeri olduğundan ölçüm yapmak anlamlı değildir.

Tablo C.4. 1/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesindeki Metal Miktarları

Parametreler	Solidifiye Stabilize Edilen Miktar mg/kg		EPTox				Sızan Miktar (mg/kg)		DIN	
	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	7 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	
Arsenik	0,03	0,02	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Baryum	0,02	0,02	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Kadmiyum	0,2	0,3	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Krom	55,5	51,9	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	1,66	1,90	
Kurşun	1,8	1,45	0,41	0,13	0,10	0,10	0,11	0,57	0,53	
Cıva	1,2	1,05	0,01	0,85	0	0	0,11	0,57	0,001	
Selenyum	0,15	0,1	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Gütmüş	0,45	0,45	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Bakır	57,7	50,3						0	0	
Nikel	20,3	19,3						0,66	0,8	
Çinko	1358,8	1283,9						13,35	10,2	

\* Standart değerden düşük sızma değeri olduğundan ölçüm yapmak anlamlı değildir.

Tablo C.5. 5/100 Atık/Çimento Hazırlanan Beton Numunesinin Sızma Özellikleri

Parametreler	Sızma Konsantrasyonları (mg/L)					
	EpTox			DIN		
	7 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	
Arsenik	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Baryum	AD*	AD*	AD*			
Kadmiyum	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Krom	AD*	AD*	AD*	0,154	0,095	
Kurşun	0,023	0,012	0,016	0,024	0,010	
Cıva	0,041	0,195	0,016	0,002	0,002	
Selenyum	AD*	AD*	AD*			
Gümüş	AD*	AD*	AD*			
Bakır				0	0	
Nikel				0,069	0,075	
Çinko				3,139	2,842	

\* Standart değerden düşük sızma değeri olduğundan ölçüm yapmak anlamlı değildir.



Tablo C.6. 5/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesindeki Metal Miktarları

Parametreler	Solidifiye Stabilize Edilen Miktar mg/kg		EPTox				Sızan Miktar (mg/kg)		DİN
	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	7 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra		
Arsenik	0,2	0,1	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Baryum	0,15	0,2	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Kadmiyum	0,95	1,05	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Krom	100,3	101,5	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Kurşun	3,2	1,1	0,36	0,19	0,26	0,26	0,24	0,10	
Cıva	1,15	1,6	0,65	3,11	0,25	0,25	0,02	0,02	
Selenyum	0,85	0,75	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Gümüş	2,55	2,55	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	
Bakır	50,4	44,6					0	0	
Nikel	38,3	38,4					0,69	0,75	
Çinko	4217,6	4003					31,39	28,42	

\* Standart değerden düşük sızma değeri olduğundan ölçüm yapmak Anlamlı Değildir.

Tablo C.7. 10/100 Atık/Çimento Oramında Hazırlanan Beton Numunesinin Sızma Özellikleri

Parametreler	Sızma Konsantrasyonları (mg/L)				DİN
	EPTox		90 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	
	7 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra			
Arsenik	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Baryum	AD*	AD*	AD*		
Kadmiyum	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Krom	AD*	AD*	AD*	0,195	0,045
Kurşun	0,019	0,016	0,018	0,029	0,009
Çıva	0,011	0,060	0,008	0,059	0
Selenyum	AD*	AD*	AD*		
Gümüş	AD*	AD*	AD*		
Bakır				0	0
Nikel				0,057	0,007
Çinko				7,182	5,966

\* Standart değerden düşük sızma değeri olduğundan ölçüm yapmak anlamlı değildir.

Tablo C.8. 10/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesindeki Metal Miktarları

Parametreler	Solidifiye Stabilize Edilen Miktar mg/kg		Sızan Miktar (mg/kg)				
	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	7 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	EPTox	DIN
Arsenik	0,3	0,25	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Baryum	0,3	0,3	AD*	AD*	AD*	AD*	
Kadmiyum	2,1	2,1	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Krom	130	122	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Kurşun	4,55	5,3	0,30	0,24	0,29	0,29	1,95
Cıva	1,55	1,5	0,17	0,96	0,13	0,59	0,09
Selenyum	1,6	1,6	AD*	AD*	AD*	AD*	0
Gümüş	5,05	5,05	AD*	AD*	AD*	AD*	
Bakır	51,8	55,6				0	0
Nikel	60,3	57,5				0,57	0,07
Çinko	8006,6	8104,4				71,82	59,66

\* Standart değerden düşük sızma değeri olduğundan ölçüm yapmak anlamlı değildir.

Tablo C.9 20/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesinin Sızma Özellikleri

Parametreler	Sızma Konsantrasyonları (mg/L)					
	EPTox			DIN		
	7 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra
Arsenik	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Baryum	AD*	AD*	AD*	AD*		
Kadmiyum	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Krom	AD*	AD*	AD*	AD*	0,109	0,14
Kurşun	0,011	0,015	0,015	0,015	0,013	0,044
Çiwa	0,005	0,013	0,002	0,002	0,043	0,003
Selenyum	AD*	AD*	AD*	AD*		
Gümüş	AD*	AD*	AD*	AD*		
Bakır					0,0001	0
Nikel					0,003	0,029
Çinko					11,331	9,861

\* Standart değerden düşük sızma değeri olduğundan ölçüm yapmak anlamlı değildir.

Tablo C.10. 20/100 Anık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesindeki Metal Miktarları

Parametreler	Solidifiye Stabilize Edilen Miktar mg/kg		Sızan Miktar (mg/kg)				DİN
	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	7 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	
Arsenik	0,5	0,45	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Baryum	0,55	0,5	AD*	AD*	AD*		
Kadmiyum	4,05	3,95	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Krom	479	426,2	AD*	AD*	AD*	1,09	1,40
Kurşun	6,9	6,1	0,18	0,23	0,25	0,13	0,23
Civa	1,15	1,45	0,03	0,19	0,002	0,43	0,03
Selenyum	3,15	3,05	AD*	AD*	AD*		
Gümlüş	8,2	8,15	AD*	AD*	AD*		
Bakır	54,8	53				0,001	0
Nikel	111	120,4				0,03	0,29
Çinko	15447,5	14976				113,31	98,31

\* Standart değerden düşük sızma değeri olduğundan ölçüm yapmak anlamlı değildir.

Tablo C.11. 40/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesinin Sızma Özellikleri

Parametreler	Sızma Konsantrasyonları (mg/L)				
	EPTox		DIN		
	7 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra
Arsenik	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Baryum	AD*	AD*	AD*		
Kadmiyum	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Krom	AD*	AD*	AD*	0,099	0,159
Kurşun	0,011	0,032	0,052	0,065	0,057
Çiva	0,01	0,105	0	0,059	0,007
Selenyum	AD*	AD*	AD*		
Gümüş	AD*	AD*	AD*		
Bakır				0	0
Nikel				0,217	0,1
Çinko				20,668	2,615

\* Standart değerden düşük sızma değeri olduğundan ölçüm yapmak anlamlı değildir.

Tablo C.12. 40/100 Atık/Çimento Oranında Hazırlanan Beton Numunesindeki Metal Miktarları

Parametreler	Solidifiye Stabilize Edilen Miktar mg/kg		Sızan Miktar (mg/kg)				DİN
	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	7 günlük kür zamanından sonra	28 günlük kür zamanından sonra	90 günlük kür zamanından sonra	EPTox	
Arsenik	0,85	0,95	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Baryum	0,95	1,05	AD*	AD*	AD*	AD*	
Kadmiyum	6,95	6,85	AD*	AD*	AD*	AD*	AD*
Krom	744,5	739,4	AD*	AD*	AD*	AD*	1,59
Kurşun	9,8	10,35	0,17	0,52	0,83	0,65	0,56
Cıva	1,49	1,25	0,16	1,68	0	0,59	0,065
Selenyum	5,35	5,4	AD*	AD*	AD*		
Gümüş	16,3	16,25	AD*	AD*	AD*		
Bakır	58,4	60,6				0	0
Nikel	249,0	239,6				2,17	1
Çinko	30993	27286,6				206,68	26,15

\* Standart değerden düşük sızma değeri olduğundan ölçüm yapmak Anlamlı Değildir.

## ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında İzmir’de doğan Senem Bayar, 1992 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nü bitirdi. 1995 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine ve araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1997 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde doktora eğitimine başladı. 19-24 Mart 2000 tarihleri arasında İngiltere Newcastle Üniversitesi’nde düzenlenen “Management of Solid and Liquid Hazardous Wastes” konulu seminere katıldı. 13 Ağustos – 15 Eylül 2000 tarihleri arasında doktora çalışmalarının bir kısmını Newcastle Üniversitesi’nde yaptı. Senem Bayar, evli ve bir kız çocuğu annesidir.