İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ ZARARLI ATIKLARININ SOLİDİFİKASYONU VE GERİ KAZANIMI

127200

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Selnur UÇAROĞLU
(Enstitü No: 501 96 2039)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 8 Nisan 2002
Tezin Savunulduğu Tarih: 7 Ekim 2002

Tez Danışmanı: Prof.Dr. İlhan TALINLI
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Orhan YENİGÜN (B.Ü.)
Prof. Dr. M.Ali TAŞDEMİR (İ.T.Ü.)
Prof. Dr. Ayşegül B. TANIK (İ.T.Ü.)
Doç. Dr. Turgut ONAY (B. Ü.)

EKİM 2002

127-200

ÖNSÖZ

Öncelikle Doktora eğitimim boyunca karşılaştığım güçlükleri aşamamda yardımcı olan, tez çalışmam sırasında bilgi ve deneyimlerinden yoğun olarak yararlandığım danışmanım, hocam, Sayın Prof. Dr. İlhan TALINLI' ya,

Çalışmamda yer alan deneylerimi gerçekleştirme imkanı tanıyan Bursa Çimento Fabrikası A.Ş.'ye ve benden hiçbir yardımı esirgemeyen, deneylerimi gerçekleştirdiğim Bursa Beton Sanayi Beton Laboratuarı Çalışanlarına,

Doktora çalışmam sırasında özellikle çeviriler konusunda ve diğer destekleri için Sevgili Arkadaşlarım Olcay KOCAER, Güray ve Kamil SALİHOĞLU ile Hülya GENÇ'e,

Çalışmalarımı gerçekleştirebilmek için yaptığım İstanbul seyahatlerinde ve laboratuar çalışmalarımda gösterdikleri desteklerden dolayı Sayın Hocam Prof. Dr. Hüseyin S. BAŞKAYA'ya,

Çalışmamın her aşamasını yakından takip eden ve sürekli ne zaman bitiyor diye sorarak beni motive eden Sevgili Eşim H. Barlas UÇAROĞLU'na

Gereksinim duyduğum her anımda yanımda olan, Sevgili Annelerim Necla EYİİŞLEYEN ve Öznur UÇAROĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ve son olarak tezimi,

Sevgili Minik Kızıma ve Sevgili Eşime ithaf etmek istiyorum;
o sonsuz özveri ve sevgileri için .....

Nisan 2002 Selnur UÇAROĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ii
KISALTMALAR vi
TABLO LİSTESİ vii
ŞEKİL LİSTESİ ix
SEMBOL LİSTESİ xi
ÖZET xii
SUMMARY xiii

1. GİRİŞ 1
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi 1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı 2

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 4
2.1. Zararlı Atıklar 4
2.1.1. Zararlı atıkların tanımı ve saptanması 5
2.1.1.1.Çevresel etkileri yönünden tanımlama 6
2.1.1.2.Atık özellikleriyle tanımlama 6
2.1.1.3.Listeler yaklaşımı 7
2.1.1.4.Zararlı atık kriterleri 8
2.1.2. Zararlı atıkların sınıflandırılması 10
2.1.3. Zararlı atıkların kaynakları 11
2.1.3.1. Endüstriyel zararlı atık kaynakları 12
2.1.3.2.Endüstriyel olmayan zararlı atık kaynakları 13
2.1.4. Zararlı atıkların yönetimi, arıtılması ve uzaklaştırılması 14
2.1.4.1. Zararlı atıkların yönetimi 14
2.1.4.2. Zararlı atıkların arıtılması 19
2.1.4.3. Zararlı atıkların uzaklaştırılması 30
2.1.5. Zararlı atıkların kontrolü için yasal ve idari çerçeve 35
2.1.5.1.Amerika'da zararlı atıkların kontrolü için yasal çerçeve 35
2.1.5.2.Türkiye'de zararlı atıkların kontrolü için yasal çerçeve 37
2.2. Solidifikasyon / Stabilizasyon (S/S) Teknolojisi 41
2.2.1. Solidifikasyon / stabilizasyon teknolojilerindeki kavramların tanımlanması 43
2.2.1.1.Solidifikasyon 44
2.2.1.2.Stabilizasyon 44
2.2.1.3.Kimyasal sabitleme 45
2.2.1.4.Kapsülleme 45
2.2.2. Solidifikasyon işleminin amaçları 45
2.2.3. Solidifikasyon /stabilizasyon teknolojilerinin genel kategorileri 46
2.2.3.1. İnorganik sistemler 47
2.2.3.2. Organik sistemler 57

2.2.4. Solidifikasyon / stabilizasyon teknolojilerinin avantaj ve dezavantajları 59
2.2.5. Solidifikasyon / stabilizasyon teknolojisinin mekanizmaları 63
2.2.5.1. Makro kapsülleme 63
2.2.5.2. Mikro kapsülleme 64
2.2.5.3. Absorpsiyon 64
2.2.5.4. Adsorpsiyon 65
2.2.5.5. Çöktürme 65
2.2.5.6. Toksisite giderimi 66
2.2.6. Solidifikasyon / stabilizasyon prosesinin uygulama alanları 66
2.2.6.1.Araziye uzaklaştırma 67
2.2.6.2.Saha iyileştirme 67
2.2.6.3.Endüstriyel atıkların solidifikasyonu 67
2.2.7. Katılaştırılmış materyalin kalitesinin değerlendirilmesi 69
2.2.8. Solidifikasyon /stabilizasyon proseslerinde kullanılan fiziksel ve kimyasal testler 72
2.2.8.1.Fiziksel ve mühendislik özellikleri testleri 73
2.2.8.2. Kimyasal özellik testleri 74
2.2.9. BS 6920 82
2.2.10. Literatürdeki çalışmalar 84

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 95
3.1. Deneysel Yaklaşım Planı 95
3.2. Seçilen Otomotiv Endüstrisinin Tanıtımı 95
3.2.1. Genel 95
3.2.2. Otomotiv endüstrisi üretim prosesi ve prosesten kaynaklanan zararlı atıklar 97
3.2.3. Otomotiv endüstrisinde zararlı atık yönetimi 100
3.2.3.1.Zararlı atıkların tanımlanması 101
3.2.3.2.Atıkların ayrıştırılması 102
3.2.3.3.Atıkların etiketlenmesi 104
3.2.3.4.Atıkların geçici olarak depolanması 106
3.2.3.5.Atıkların taşınması 106
3.2.3.6.Atıkların uzaklaştırılması ve geri kazanılması 109
3.2.3.7.Atık kayıtları 110
3.2.4. Otomotiv endüstrisinde solidifikasyon uygulanabilecek zararlı atıklar 112
3.3.Deney Materyalleri 113
3.3.1. Kullanılan cihazlar 113
3.3.2. Kullanılan malzemeler 115
3.4.Deney Yöntemi 117
3.4.1. Araştırmada kullanılan zararlı atıkların karakterizasyonu ve bileşenleri 118
3.4.2. Katılaştırılmış numunelerin (briket) hazırlanması 119
3.4.3. Katılaştırılmış numunelerin basınç dayanımlarının tespit edilmesi 124
3.4.4. Katılaştırılmış numunelerin sızıntı özelliklerinin tespit edilmesi 124

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ
4.1. Kullanılan Zararlı Atıkların Karakterizasyonunun Değerlendirilmesi 126
4.2. Solidifikasyon Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi 131
4.3. Solidifikasyon Ürünlerinin Sızıntı Özelliklerinin Değerlendirilmesi 148
4.4. Ekonomik Analiz ve Değerlendirme 180

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 182

KAYNAKLAR 187

EKLER 192

ÖZGEÇMİŞ 225

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

KISALTMALAR

S/S	: Solidifikasyon / Stabilizasyon
VOC	: Uçucu Organik Bileşikler
SVE	: Toprak Buhar Ekstraksiyonu
SCF	: Süperkritik Akışkan
EPA	: Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency)
RCRA	: Kaynakların Korunması ve Geri Kazanılması Yasası (Resource Conservation and Recovery Act)
CERCLA	: Ayrıntılı Çevresel Çözümler, Bedeller ve Sorumluluklar Yasası (The Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act)
HSWA	: Zararlı ve Katı Atık Islahı (Hazardous and Solid Waste Amendments)
EP	: Ekstraksiyon Prosedürü Sızdırma Testi (Extraction Procedure Toxicity Test Method)
TCLP	: Toksisite Karakteristikleri Sızdırma Testi (Toxicity Characteristic Leaching Procedure)
BS 6920	: İnsan Tüketimi İçin Tasarlanan, Su Kalitesi Üzerine Etkileri Gözönünde Tutularak Su ile Temasta Kullanılan, Metal Olmayan Ürünlerin Uygunluk Standartı (Suitability of Non-metalic Products for Use in Contact with Water Intended for Human Consumption with Regard to Their Effect on the Quality of the Water)
OPC	: Portland Çimentosu
CKD	: Klinker Fırın Tozu
SEM	: Elektron Mikroskobu
U.P.	: Doymamış Polyester
XRD	: X-ray
WTO	: World Trade Organisation
OSD	: Otomotiv Sanayii Derneği
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOI	: Byokimyasal Oksijen İhtiyacı
AKM	: Askıda Katı Madde

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1:	SIC kod numaralı ile endüstriyel zararlı atık kaynakları	12
Tablo 2.2:	SIC numaraları ile endüstriyel olmayan zararlı atık kaynakları	13
Tablo 2.3:	Atık solidifikasyon / stabilizasyonunda katkı maddelerinin uygulanabilirliği	47
Tablo 2.4:	Çimento tipleri ve kompozisyonları	51
Tablo 2.5:	Solidifikasyon proseslerinin karşılaştırılması	60
Tablo 2.6:	1900 – 2000 yılları arasındaki çamur uzaklaştırma tekniklerinin tarihsel gelişimi	68
Tablo 2.7:	Solidifikasyon işleminin uygulandığı çeşitli endüstriyel atıklar	69
Tablo 2.8:	Katılaştırılmış materyalin kalitesini belirleyen parametreler	72
Tablo 2.9:	Fiziksel, mühendislik ve sağlamlık özellikleri testleri	73
Tablo 2.10:	Sızdırma testleri	76
Tablo 2.11:	EP toksisite karakteristikleri, kirletici standartlarının maksimum konsantrasyonları	79
Tablo 2.12:	Bazı metallerin maksimum izin verilebilir konsantrasyonları ..	83
Tablo 3.1:	Otomotiv endüstrisi zararlı atık envanteri	101
Tablo 3.2:	Atık ambalajlama yöntemleri	104
Tablo 3.3:	Atık uzaklaştırma yöntemleri	109
Tablo 3.4 :	PÇ 42.5 çimentosunun fiziksel ve kimyasal özellikleri	116
Tablo 3.5:	Solidifikasyon deneyleri için hazırlanan şahit numune reçetesi ve basınç dayanımı sonucu	120
Tablo 4.1:	Metal çamurunun karakterizasyonu (TAKY'ne göre)	126
Tablo 4.2:	Fosfat çamurunun karakterizasyonu (TAKY'ne göre)	127
Tablo 4.3:	Endüstriyel arıtma çamurunun karakterizasyonu (TAKY'ne Göre)	127
Tablo 4.4:	Metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun EPA zararlı atık listelerine göre karakterizasyonu	128
Tablo 4.5:	Otomotiv endüstrisi endüstriyel arıtma çamuru, metal çamuru ve fosfat çamuru bileşenlerinin toplam miktarları	129
Tablo 4.6:	Otomotiv endüstrisi endüstriyel arıtma çamuru, metal çamuru ve fosfat çamurunun serbest haldeki bileşenleri	130
Tablo 4.7:	Kuru metal çamuru ile yapılan deneme (1. Deneme) sonuçları	132
Tablo 4.8:	Kuru endüstriyel çamur ile yapılan deneme (2. Deneme) sonuçları	134
Tablo 4.9:	Kuru metal çamuru ve kuru endüstriyel çamur karışımları ile yapılan deneme (3. Deneme) sonuçları	136
Tablo 4.10:	Ham endüstriyel çamur ile yapılan deneme (4. Deneme) sonuçları	138
Tablo 4.11:	Nemli metal çamuru ile yapılan deneme (5. Deneme) sonuçları	141

Sayfa No

Tablo 4.12: Susuzlaştırılmış endüstriyel çamur ile yapılan deneme (6. Deneme) sonuçları 144
Tablo 4.13: Nemli fosfat çamuru ile yapılan deneme (7. Deneme) sonuçları 147
Tablo 4.14: Metal çamuru ve metal çamuru ile yapılmış briketlerin sızıntı özellikleri 150
Tablo 4.15: Fosfat çamuru ve fosfat çamuru ile yapılmış briketlerin sızıntı özellikleri 151
Tablo 4.16: Endüstriyel çamur ve endüstriyel çamur ile yapılmış briketlerin sızıntı özellikleri 153
Tablo 4.17: Yapılan denemelerde elde edilen geri kazanım ve solidifikasyon atık oranları ve bu oranlarda stabilize edilen metal konsantrasyonları 178
Tablo 4.18: Zararlı atıkların farklı arıtma ve uzaklaştırma yöntemlerinin maliyetleri 180
Tablo A.1 : EP zehirlilik özelliğine göre bileşenlerin maksimum konsantrasyonları 192
Tablo B.1 : Spesifik olmayan kaynaklardan gelen zararlı atıklar (F listesi) 193
Tablo B.2 : Spesifik kaynaklardan gelen zararlı atıklar (K listesi)..... 195
Tablo B.3 : Akut zararlı maddeler (P listesi) 200
Tablo B.4 : Genel zararlı maddeler (U listesi) 208

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1:	Zararlı atık yönetim sisteminin bileşenleri	15
Şekil 2.2:	Zararlı atıklar için kontrol sistemi (beşikten mezara kadar kontrol)	18
Şekil 2.3:	Zararlı atık tanımlama mekanizması	20
Şekil 2.4:	Tam donanımlı bir zararlı atık uzaklaştırma faaliyeti	22
Şekil 2.5:	A.B.D.'nde zararlı atık yönetimi	37
Şekil 2.6:	Solidifikasyon/ stabilizasyon işlemleri	46
Şekil 2.7:	Kimyasal stabilizasyon sistemine ait akım diyagramı	71
Şekil 3.1:	Deneysel yaklaşım planı	96
Şekil 3.2 :	Otomotiv sektörü üretim proses şeması ve prosesten kaynaklanan zararlı atıklar	99
Şekil 3.3:	Çamurumsu zararlı atıkların ayrıştırılması	102
Şekil 3.4:	Sıvı atıkların ayrıştırılması	103
Şekil 3.5:	Kontamine olmuş katı atıkların ayrıştırılması	103
Şekil 3.6:	Atık etiketi örneği	105
Şekil 3.7 :	Zararlı atık geçici depolama tesisi genel yapısı	107
Şekil 3.8:	Elektrikli deney mikseri	114
Şekil 3.9:	Basınç dayanım deney presi	115
Şekil 3.10:	Beton yapımında kullanılan malzemeler	117
Şekil 3.11:	Katılaştırmada kullanılan standart kalıplar	118
Şekil 3.12:	Kür havuzu öncesi hazırlanan numuneler	122
Şekil 3.13:	Kür havuzu	123
Şekil 4.1:	1. denemede farklı atık oranlarında elde edilen basınç dayanımları	133
Şekil 4.2:	2. denemede farklı atık oranlarında elde edilen basınç dayanımları	134
Şekil 4.3:	3. denemede farklı atık oranlarında elde edilen basınç dayanımları	136
Şekil 4.4:	4. denemede farklı atık oranlarında elde edilen basınç dayanımları	138
Şekil 4.5:	5. denemede farklı atık oranlarında elde edilen basınç dayanımları	142
Şekil 4.6:	6. denemede farklı atık oranlarında elde edilen basınç dayanımları	145
Şekil 4.7:	7. denemede farklı atık oranlarında elde edilen basınç dayanımları	148
Şekil 4.8:	1. deneme basınç dayanımları ve Cu konsantrasyonları	154
Şekil 4.9:	1. deneme basınç dayanımları ve Cr konsantrasyonları	154
Şekil 4.10:	1. deneme basınç dayanımları ve Ni konsantrasyonları	156
Şekil 4.11:	1. deneme basınç dayanımları ve Pb konsantrasyonları	156

Sayfa No

Şekil 4.12: 1. deneme basınç dayanımları ve Zn konsantrasyonları 157
Şekil 4.13: 2. deneme basınç dayanımları ve Cu konsantrasyonları 157
Şekil 4.14: 2. deneme basınç dayanımları ve Cr konsantrasyonları 158
Şekil 4.15: 2. deneme basınç dayanımları ve Ni konsantrasyonları 159
Şekil 4.16: 2. deneme basınç dayanımları ve Pb konsantrasyonları 159
Şekil 4.17: 2. deneme basınç dayanımları ve Zn konsantrasyonları 160
Şekil 4.18: 3. deneme basınç dayanımları ve Cu konsantrasyonları 161
Şekil 4.19: 3. deneme basınç dayanımları ve Cr konsantrasyonları 161
Şekil 4.20: 3. deneme basınç dayanımları ve Ni konsantrasyonları 162
Şekil 4.21: 3. deneme basınç dayanımları ve Pb konsantrasyonları 162
Şekil 4.22: 3. deneme basınç dayanımları ve Zn konsantrasyonları 163
Şekil 4.23: 4. deneme basınç dayanımları ve Cu konsantrasyonları 164
Şekil 4.24: 4. deneme basınç dayanımları ve Cr konsantrasyonları 164
Şekil 4.25: 4. deneme basınç dayanımları ve Ni konsantrasyonları 165
Şekil 4.26: 4. deneme basınç dayanımları ve Pb konsantrasyonları 166
Şekil 4.27: 4. deneme basınç dayanımları ve Zn konsantrasyonları 166
Şekil 4.28: 5. deneme basınç dayanımları ve Cu konsantrasyonları 168
Şekil 4.29: 5. deneme basınç dayanımları ve Cr konsantrasyonları 168
Şekil 4.30: 5. deneme basınç dayanımları ve Ni konsantrasyonları 169
Şekil 4.31: 5. deneme basınç dayanımları ve Pb konsantrasyonları 169
Şekil 4.32: 5. deneme basınç dayanımları ve Zn konsantrasyonları 170
Şekil 4.33: 6. deneme basınç dayanımları ve Cu konsantrasyonları 171
Şekil 4.34: 6. deneme basınç dayanımları ve Cr konsantrasyonları 171
Şekil 4.35: 6. deneme basınç dayanımları ve Ni konsantrasyonları 172
Şekil 4.36: 6. deneme basınç dayanımları ve Pb konsantrasyonları 173
Şekil 4.37: 6. deneme basınç dayanımları ve Zn konsantrasyonları 173
Şekil 4.38: 7. deneme basınç dayanımları ve Cu konsantrasyonları 174
Şekil 4.39: 7. deneme basınç dayanımları ve Cr konsantrasyonları 174
Şekil 4.40: 7. deneme basınç dayanımları ve Ni konsantrasyonları 175
Şekil 4.41: 7. deneme basınç dayanımları ve Pb konsantrasyonları 176
Şekil 4.42: 7. deneme basınç dayanımları ve Zn konsantrasyonları 176

SEMBOL LİSTESİ

TOC	: Toplam Organik Karbon
Cu	: Bakır
Cr	: Krom
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
Zn	: Çinko
A_1	: Kuru Metal Çamuru
A_2	: Kuru Endüstriyel Arıtma Çamuru
$A_3(A_1+ A_2)$	: Kuru Metal Çamuru ve Kuru Endüstriyel Arıtma Çamuru Karışımı
A_4	: Ham Endüstriyel Arıtma Çamuru
A_5	: Nemli Metal Çamuru
A_6	: Nemli Endüstriyel Arıtma Çamuru
A_7	: Nemli Fosfat Çamuru
Ç	: Çimento
RS	: Solidifikasyon Oranı (Ratio Solidification)
RR	: Geri Kazanım Oranı (Ratio Recovery)
SM	: Stabilize Edilebilen Metal Konsantrasyonu (Stabilization Metal)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ ZARARLI ATIKLARININ SOLİDİFİKASYONU VE GERİ KAZANIMI

ÖZET

Zararlı Atıklar konusunda gelişmiş ülkelerde ve ülkemizde yasal düzenlemeler bulunmasına rağmen, özellikle ülkemizde geçerli olan yönetmeliğin hatalı ve eksik yönleri olduğu düşünülmekte ve uygulamada birçok problemler ile karşılaşılmaktadır. Ayrıca bu alanda çok az bilgi birikimi mevcut olduğundan zararlı atıkların arıtımında da konvansiyonel arıtım yöntemlerinin kullanımına gidilmekte ve bu da arıtma tesisleri ve çevre açısından önemli sorunlar oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, Zararlı Atıkların tanımı ve saptanması için uygulanan yaklaşımlar, sınıflandırılması ve kaynakları anlatılmıştır. Zararlı atık arıtma ve uzaklaştırma teknolojileri üzerinde durularak, bu teknolojilerden biri olan Solidifikasyon/Stabilizasyon teknolojisi incelenmiştir.

Deneysel çalışmalarda, otomotiv endüstrisi zararlı atıklarından metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamuruna solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisi uygulanmıştır ve çalışmalar dört aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada, bu atıkların "Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" ve EPA listelerine göre zararlı atık olduğu belirlenmiştir. İkinci aşamada üç tip atık ile yedi ayrı deneme yapılarak, portland çimentosu kullanılarak katılaştırılmış materyal hazırlanmıştır. Üçüncü aşamada, hazırlanan briketlerin dayanımının tespiti için basınç testleri yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, üç atık içinde solidifikasyonun uygun bir arıtım yöntemi olduğu, grobeton olarak geri kazanımın ise endüstriyel arıtma çamuru ve fosfat çamurunun nemli formlarında ancak çok düşük atık oranlarında mümkün olduğu tespit edilmiştir. Dördüncü aşamada ise solidifikasyon prosesinde hazırlanan briketlerin sızıntı özellikleri tespit edilmiştir. Bu amaçla BS 6920 standartı kullanılmıştır. Ayrıca katı formda ve suda TOC, Cu, Cr, Ni, Pb ve Zn ağır metal konsantrasyonları tespit edilmiştir. Başlangıçta zararlı atık tespiti yapılan üç tip atık için yönetim biçimi olarak, solidifikasyon arıtma teknolojisi uygulandıktan sonra gerek düzenli depolama sahalarına uzaklaştırma, gerekse grobeton olarak geri kazanım ve atık minimizasyonu sağlanmıştır. Her üç atığın da bu yönetim çerçevesinde detoksifiye olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan ekonomik analiz ile, yakma, kurutma, derin kuyu enjeksiyonu ve eski maden yataklarına doldurma gibi yöntemler, ekonomik ve çevre koruma kavramları çerçevesinde değerlendirildiğinde, solidifikasyonun uygun bir arıtma yöntemi olduğu tespit edilmiştir.

HAZARDOUS WASTE SOLIDIFICATION AND RECOVERY IN AUTOMOTİVE INDUSTRY

SUMMARY

Although, there are legal regulations about hazardous wastes in developed countries and in our country, it has been thought that, especially the one which effective in our country has some deficient parts causing many problems in pactice. Moreover, because of the available information about the subject is not enough, it has been used the conventionel treatment methods for treatment of hazardous wastes and this application has been causing some problems for treatment plants and environment.

In this study, the approaches for definition and determination of hazardous wastes have been explained, and the clasification and sources of hazardous wastes have been investigated. Treatment and disposal technologies for hazardous wastes have been studied, and the solidification / stabilization tecnology had been investigated in detail.

During experimental studies, the solidification /stabilization technology have been applied to the metal sludge, as well as the phosphate sludge and the industrial treatment sludge, which was originated from an automotive industry. The experiments have been carried out in four stages. At the first stage, these wastes have been clasified as hazardous wastes according to "Turkish Hazardous Waste Control Regulations" and "EPA Lists (EPA hazard number; F006, F010, F011, K002, K007, K008) " . In the second stage seven different essays have been done using portland cement and, solidified materials have been prepared. In the third stage, comprehensive strength tests have been done for solidified materials. According to these results, it has been concluded that the solidification is a suitable treatment process for all three types of wastes. Furthermore, recovering the waste as concrete without iron was posssible as humid forms of industrial treatment sludge and phosphate sludge with low waste ratios. During in the fourth stage, the leaching properties of briquettes prepared with solidification process have been determined, and the standart of BS 6920 has been used for this purpose. TOC and the heavy metal concentrations (Cu, Cr, Ni, Pb and Zn) in water and in solid form have also been determined. After applying solidification treatment technology to the wastes which are previously determined as hazardous waste, it has been proposed either disposal at landfill or recover as concrete without iron. According to these management approaches, it has been concluded that all of three wastes have been detoxified. During the economic analysis of the results methods e.g. incineration, drying, deep well injection, filling in old ore bed have been compared based on the economical conceps and protection of environment. As a result it has been found that solidification is the most appropriate treatment method for this type of waste material.

1.GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sanayileşme arttıkça, beraberinde atık miktarıda artmaktadır. Tüm dünyada sanayileşme ve gelişim ile birlikte "zararlı atık" kavramı da çevre problemleri arasında yerini almıştır. Zararlı atıkların yönetimi konusunda son 20 yıldır çok yetersiz bilgi olduğu anlaşılınca, konunun çok acil oluşuda gözönüne alınarak konu büyük önem kazanmış ve bu konudaki çalışmalar yoğunlaştırılmıştır.

Zararlı atık konusunda ülkemizde 27 Ağustos 1995 tarihinde çıkan "Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" ile bir yasal düzenleme yapılmasına rağmen, bu yönetmeliğin hatalı ve eksik yönleri olduğu düşünülmekte olup, konuyla ilgili ciddi araştırma ve bilgi birikimi yetersizdir.

Çeşitli endüstriyel prosesler sonucu oluşan zararlı atıkların doğrudan uzaklaştırılması çevresel açıdan büyük sakıncalar yaratmaktadır. İnsan sağlığını doğrudan veya dolaylı yönden tehdit eden bu tür atıkların özel işlemlerden geçirildikten ve tehlike yaratan kirleticiler minimum düzeye indirildikten sonra uzaklaştırılması gerekmektedir. Zararlı atıkların yakma, derin kuyu uzaklaştırması, eski maden yataklarına doldurma, deniz diplerine uzaklaştırma gibi yöntemlerle uzaklaştırılmasının ekonomik ve çevre koruma kavramları içerisinde uygun olmadığı düşüncesiyle, depolama düşünüldüğünde ise deponi sahasında hacim azalması sağlanması ve zararlı atıkların içerdiği tehlikeli özelliğinin sızıntı suyuna geçişinin önlenmesi amacıyla uygulanan en yararlı ve yaygın olarak kullanılan yöntem solidifikasyon/stabilizasyon yöntemidir. Bu teknoloji, zararlı atık alanlarının iyileştirilmesi, diğer arıtma proses artıklarının arıtımı için (örn. ısıl arıtmadan gelen küllerin arıtımı için) ve çok fazla miktarda kirlenmiş toprağın bulunduğu arazi parçalarının iyileştirilmesi için kullanılırlar. Bu yöntemde, zararlı atığa çeşitli bağlayıcılar ilave edilerek, atık bünyesindeki kirleticiler sabitlenir, böylece atıkların

doğaya zararı engellenmiş olur. Çamurun sıvı kısmının önemli bir bölümü çamur katılaştırma sayesinde elimine edilebilmekte ve bu şekilde çamur hacminde azalma söz konusu olmaktadır. Ayrıca solidifikasyon ile çamur sıkıştırıldığında dayanıklılık ve sızdırmazlık artar, permeabilite ise düşer. Bu şekilde solidifikasyon, ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirerek deponi metodu için bir ön hazırlık sağlamış olur veya oluşan katılaştırılmış malzeme belli bir dayanıma sahip olduğundan yapı malzemesi olarak kullanılabilir. Elde edilen malzeme düzenli depolama sahalarında örtü materyali, yol inşaatlarında dolgu materyali olarak, tuğla yapımında ve arazi rekreasyonunda kullanılabilir.

Zararlı atık arıtımının çok güç ve bu konudaki çalışmaların da çok yeni ve az olması, her konuda kesin sonuçlara ulaşılamaması nedeniyle bu tür atıkların uygun bir sistemle yönetilmesi, atık minimizasyonu ve geri kazanım büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda solidifikasyon / stabilizasyon teknolojisinin uygun bir yönetim biçimi , atık minimizasyonu ve geri kazanım kavramlarını doğurması nedeniyle, bu konuda detaylı araştırmaların yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı zararlı atıkların tanımı ve tespitini yaparak zararlı atık yönetim sistemini ortaya koymaktır. Bu çerçevede Amerika'da ve Türkiye'de zararlı atıklar için mevcut yasa ve yönetmelikler de incelenmiştir. Ayrıca zararlı atık yönetim sistemi içinde uzaklaştırma teknolojileri belirtilerek, bunlardan solidifikasyon/ stabilizasyon teknolojisi, otomotiv endüstrisi zararlı atıklarından metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamuruna uygulanmıştır. Bu yöntem ile zararlı atıklar içerdiği kirleticiler açısından standart değerleri sağlayan konvansiyonel atık karakterine dönüştürülmüş olup detoksifikasyon sağlanmıştır. Bu çalışma ile bahsedilen zararlı atıkların uzaklaştırılmasında detoksifikasyon, atık minimizasyonu ve aynı zamanda geri kazanım ile ekonomik bir yönetim biçimi kazandırılmıştır.

Deneysel çalışmalar dört aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada, atık olarak seçilen otomotiv endüstrisine ait metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun karakterizasyonu ve bileşenleri belirlenmiştir. Bu atıklar "Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" ve EPA listelerine göre zararlı atıklardır. EPA "F"

ve "K" listelerinde yer almaktadırlar. İkinci aşamada bu atıklar ile katılaştırılmış materyal (briket) hazırlanmıştır. Katılaştırma da bağlayıcı malzeme olarak portland çimentosu kulanılmıştır. Üçüncü aşamada, hazırlanan briketlerin dayanımının tespiti için basınç testleri yapılmıştır. Dördüncü aşamada ise, solidifikasyon prosesinde hazırlanan briketlerin sızıntı özellikleri tespit edilmiştir. Sızıntı özelliklerini tespit etmek ve detoksifikasyonu göstermek üzere BS 6920 standartı kullanılmıştır. Ayrıca katı formda ve suda TOC, Cu, Cr, Ni, Pb ve Zn ağır metal konsantrasyonları tespit edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar teorik sonuçlar ile birlikte değerlendirilerek, zararlı atık yönetim biçimleri önerilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Zararlı Atıklar

Dünyamızda her yıl milyarlarca ton atık oluşmakta ve bu atık miktarı, hızla gelişen ve büyüyen endüstrileşmeyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu atıkların çeşitliliği evsel atıklardan kompleks endüstriyel atıklara, kanalizasyon çamurlarına, tarımsal artıklara, maden atıklarına, hastane ve laboratuar kaynaklı patolojik atıklara kadar değişmektedir. Bu atık türleri arasında zararlı atık kısaca, insan sağlığına veya çevremizde bulunan diğer canlı organizmalara zararlı etkisi ya da tehlike potansiyeli olan herhangi bir atık olarak tanımlanabilir. Zehirli kimyasallar ile tutuşabilirlik, radyoaktiflik, patlayıcılık ve reaktiflik gibi özelliklere sahip olan atıklar bu gruba örnek olarak verilebilir ve bu atıklar katı, çamur, gaz ve sıvı formda bulunabilirler.

1970'li yılların başlarına kadar hava ve su kalitesi kontrolü sadece hava ve su kontrol yönetmelikleriyle sağlanmaya çalışılırken atıksu arıtma tesisi çamurlarına ve katı atık kalıntılarına gereken önem verilmemiştir. Bu yanlış yaklaşım sonucunda da felaket olarak nitelendirilebilecek bir takım olaylar meydana gelmeye başlamıştır. Zararlı atıklar geçmişte bir çok felakete yol açmış ve açmaya devam etmektedir. Geçen süre içerisinde birçok yer kirlenmiş, sağlık sorunları ortaya çıkmış, ölümler meydana gelmiş ve geçmişte bilgisizlik ve boş vermişlikten kaynaklanan hatalar sonucu tamiri mümkün olmayan zararlar oluşmuştur. Bazı hataların tamiri çok pahalıya mal olmakta, bazen hiç onarılamamaktadır. Bu nedenle zararlı atık sorununun, dünyada başlayan hareketlere paralel olarak ele alınmasında ve bir an önce gerekli düzenlemelerin belirlenip, önlemlerin alınmasında büyük zorunluluk vardır.

Zararlı atıklar, teknolojik gelişmenin en önemli sonuçlarından biri olan atık miktarının giderek artması ve değişmesi sonucunda dünyada 70'li yıllarda ortaya çıkan yeni bir kavramdır. Bu kavram, zararlı atık olarak değerlendirilen bir çok maddenin çevresel etkileri, arıtma yöntemleri, kontrolü ve yönetimi konularında çok yetersiz bilgi olduğu anlaşılınca, konunun çok acil oluşu da göz önüne alınarak

büyük bir önem kazanmış ve bu konudaki araştırmalar yoğunlaştırılmıştır. Sorun, zararlı atıkların tam bir tanım ve sınıflandırılmasının gerçekleştirilmemiş, maddelerin özellik ve etkilerini belirleyerek uygun parametrelerin geliştirilmemiş olmasından dolayı oldukça karmaşık görünmektedir. Bu çok değişkenli karakter ve atık bileşiminin değişken oluşu zararlı atıkların tanımı, standartların belirlenmesi ve atık kontrol ve uzaklaştırılmaları konularında çeşitli güçlükler doğurmaktadır (Talınlı ve diğ. 1995).

2.1.1. Zararlı Atıkların Tanımı ve Saptanması

Genelde tehlikeli madde ve zararlı (tehlikeli) atık ifadeleri karıştırılmaktadır. Tehlikeli madde, canlılara, yapılara veya çevresine karşı potansiyel tehlikeye sahip olan bir madde olarak tanımlanır. Böyle bir madde yangın, patlama, paslandırıcılık, zehirlilik ve benzeri istenmeyen etkileri içerebilir. Bu tehlikeler maddenin potansiyelinde vardır ve madde bu tehlikelere karşın kullanım şekliyle orantılı olarak genellikle yararlı bir maddedir. Bu maddelerin tehlikesi ve çevre kirliliği yaratması ancak patlama, yangın gibi kaza durumlarında söz konusudur. Zararlı atık ise, istenmeyen veya uzaklaştırılması planlanan bir atık madde olarak tanımlanır ki, böyle bir madde bu atık haliyle diğer maddelerle ilişkisinde tehlikeli ve zararlı olabilir. Tehlikeli madde tanımıyla olan en büyük fark bu maddenin aynı tehlikelere sahip olmasına karşın, kullanılıyor değil atılmış formda olmasındandır. Yani aynı madde üzerindeki potansiyel tehlike, atık formunda artık aktif tehlike halindedir. Bu durum kesin bir zarar demektir.

Zararlı atıklar çok farklı yapı ve şekillerde ortaya çıkabilmektedir. Sıvı, katı, gaz veya çamur formunda bulunabilirler. Form ve şekilleri ne olursa olsun, çevresel değerleri korumak için bu atıkların uygun şekilde yönetilmesi ve uzaklaştırılması esas alınmalıdır. Buna temel oluşturan ve çeşitli ülkeler için farklılıklar gösteren zararlı atıkların tanımlanması adımı, yalnız çevresel problemlerin niteliğini yansıtmakla kalmaz, aynı zamanda milletlerin ekonomik, sosyal ve politik koşullarını da içerir. Bu açıdan zararlı atığın yasal tanımı yanında bu tanımlara nasıl bir yaklaşım yapılacağı, bu temelde de nasıl kriterler getirileceği önemlidir. Zararlı atıkların bugüne kadar tanımlanmasında iki temel yaklaşım izlenmiştir ki bunlar; çevresel etkileri yönünden ve atık özellikleri ile tanımlamadır. Teoride yapılan tanımların yanında, aslında üçüncü bir yaklaşım olarak da nitelendirilebilecek listeler

yaklaşımı sıklıkla kullanılmaktadır. Listeler yaklaşımı diğer iki temel yaklaşımı kendi içinde kullanmakta ve özellikle yasal bazda kontrole tabi tutulacak zararlı atıkların belirlenmesinde birçok ülke tarafından farklı şekillerde kullanılmaktadır (Talınlı ve diğ. 1995).

2.1.1.1. Çevresel Etkileri Yönünden Tanımlama

Bir atığın zararlı atık olabilmesi için onun bir veya daha fazla zararlı/tehlikeli özelliği ile çevresel etkisinin belirlenmesi esastır. Atığın zararlı/tehlikeli olma etkileri çevredeki zarar potansiyelinin ortaya çıkma süresi ile ilgili olarak iki kısımda ele alınmaktadır. Bunlar;

- Kısa sürede oluşan (akut) zararlar: Atığın, ağız, solunum veya deri yoluyla alınma sonucu akut zehirlilik, kuvvetli paslandırıcılık, deri veya gözle temasta zarar verme özelliği, yangın ve patlama tehlikesi özellikleri ile ortaya çıkmaktadır.

- Uzun sürede oluşan (kronik) zararlar: Atığın uzaklaştırma tarzı ile ilişkili olarak çevrede uzun sürede ve maruz kalma sonucu kronik zehirlilik, kanserojenlik, detoksifikasyon proseslerine karşı dirençli olma (biyolojik bozunurluğa karşı dirençlilik), yüzeysel veya yeraltı sularını kirletme potansiyeli, estetik olarak istenmeyen özellikler (kötü koku) ile ortaya çıkan zararlardır.

2.1.1.2. Atık Özellikleriyle Tanımlama

Bir atık eğer tutuşabilirlik, koroziflik, reaktiflik, zehirlilik gibi tehlikeli özelliklerden bir veya birkaçına sahip ise zararlı atıktır.

Tutuşabilirlik: Tutuşabilir atıklar belirli bir takım koşullar altında yangına yol açabilirler. Örnek olarak, çok çabuk tutuşarak yanan solventler ve sürtünmeye karşı hassas maddeler verilebilir.

Koroziflik: Korozif atıklar genellikle metalleri paslandırma özelliğine sahip asidik maddeleri içerirler. Bunlar tankları, madde kaplarını, varilleri aşındırıp delerek zarar verirler. Bu grupta kuvvetli asitler, kuvvetli bazlar, oksitleyici maddeler, dehitrat özelliğine sahip maddeleri içeren atıklar gözönüne alınabilir.

Reaktiflik: Reaktif atıklar normal koşullar altında stabil olmayan maddeleri içerirler, hızlı ve şiddetli reaksiyon veren atıklardır. Genel olarak reaktif atıklar patlamalara ve/veya zehirli dumanlara, gazlara ve suyla karıştığında da buhara yol açabilirler.

Zehirlilik: 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 ile canlıları etkileyebilir. Zehirlilik etkisi çeşitli özelliklere bağlı olarak farklı yöntemler ve zehirlilik testleri ile farklı şekillerde tanımlanmaktadır (Hall ve diğ. 1993).

2.1.1.3. Listeler Yaklaşımı

Çeşitli ülkelerde zararlı atık tanımlanmasında yaşanan zorluğu gidermek için atıklar tanım, kriter ve koşullar göz önüne alınarak listeleme yoluna gidilmiştir. Farklı ülkelerde farklı listeler ve buna bağlı olarak farklı listeleme yaklaşımı vardır. Bu yaklaşımlar içinde ilk ve en önemlisi atıkları tanımlayan, yani içte bırakan ve atığın zararlı atık olmadığını ilan eden, yani dışta bırakan listeler yaklaşımıdır.

İçeren Liste : Zararlı atıkların yasal olarak tanımlanmasında kullanılan en yaygın yollardan biri de içeren liste yaklaşımıdır. Bu yaklaşım Belçika, Danimarka, Fransa, Almanya, Hollanda, İsveç, İngiltere ve Amerika Birleşik Devletleri gibi bir çok ülkede kullanılmaktadır. Bu listeler belirli endüstrilerden kaynaklanan bir takım atıkları, özel bileşenli olan atıkları veya prosesleriyle tanımlanmış belirli atık akımlarını kapsar.

Hollanda'da 1976 Kimyasal Atık Yasası'yla toprağa verilebilecek atıkların yönetiminde, aslında zararlı atıklar için bir içeren liste verilmekte ve bu liste atıktaki zararlı bileşenlerin konsantrasyon limitlerini de içermektedir. İngiltere'de ise 1980 Özel Atıklar Yönetmeliği yine içeren liste prensibini uygulamakta, fakat atıktaki bileşenlerin zararlılıkları için kantitatif zehirlilik, parlama noktası ve canlı dokulara zarar gibi kriterleri esas almaktadır.

Öte yandan EEC (Council of the European Communities) zehirli ve tehlikeli maddeleri çıkarmış olduğu zehirli ve tehlikeli maddeler hakkındaki direktiflerinde listelemiştir. Fakat bu içeren liste, prensipleriyle bu maddelerin zararlı etkilerini kalitatif kriterler ile ortaya koymaktadır.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Dışta Bırakan Liste: Bu listenin yaklaşımı, bir zararlı atığın yeterli tanımı için gerekli olan bileşenleri içermeyen yani akut ve kronik çevresel zararları, zararlı atık işleme prensiplerini gerektirmeyen, bilinen konvansiyonel atıkları listelemektir. Böyle bir listede herhangi bir zararlı atık bulunmaz.

Bu yaklaşım uzun süre yararlı bir şekilde kullanılmış ve yeni bir yönetim biçimlerine esas olmuştur. Ancak bu liste, liste dışında kalan atıkların tümünün zararlı atık olduğunu ilan etmez. Örneğin, sadece zehirli atıkların yönetimi için ilan edilen bir listedeki zararlılık kriteri dışta bırakan listede olmadığı gibi zararlı atık listesindeki kriterlere da uygun olmayabilir. Sonuç olarak avantajları yanında, basitliği ve listesindeki atıkların zararlı olmadığını göstermesiyle çok yararlı olmasına rağmen, zararlı atıkları tanımlayamadığı için karşılık olarak bir içeren listeye ihtiyaç duyar.

Danimarka, Almanya, İsveç ve ABD'de içeren liste yaklaşımını benimsemişlerdir. Yukarıdaki örneklerde görüldüğü gibi listeleme yaklaşımı ister içeren, ister dışta bırakan listeler olsun, atık yönetimi anlamında atığın tanımlanmasını kullanılan terimler olarak zora sokmaktadır. Yani tanımlamada atığın solvent, farmasotik, toksik veya fenolik gibi önemli bir kriterini belirtmek, diğer kriterlerin farklılığı nedeniyle bu zorluğu yaratmaktadır. Liste yaklaşımları bu farklılıklara rağmen, atığın bileşenlerinin özellikleriyle tehlikeli olarak sınıflandırılması açısından uluslararası kabul görmektedir (Talınlı ve diğ. 1995).

2.1.1.4. Zararlı Atık Kriterleri

Bir atık aşağıdaki kriterler nedeniyle zarar/tehlike potansiyeline sahip ise zararlı atık olarak tanımlanabilir:

- atığın içerdiği maddeler,
- bu maddelerin konsantrasyonları,
- kimyasal aktiviteleri,
- atık içindeki fiziksel formları,
- potansiyel zararlı maddenin miktarı ve dağılım hızı,
- potansiyel zararlı maddenin girdiği çevredeki hareket tarzı ve dirençliliği
- çevrenin potansiyel tehlikeli maddeye maruz kalması ve hassasiyeti,
- uygun ölçümlerin mümkünlüğü ve bunların maliyeti.

Bir atık gerek kısa süreli, gerekse uzun süreli çevresel zarar/tehlike özellikleri içerdiği kimyasalların türleriyle ilgilidir. Bazı durumlarda ise atığın kendisi zaten çok iyi bilinen tehlikeli özellikleri nedeniyle iyi tanımlanmış zarar potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel tek bir kimyasal bileşikten olabileceği gibi, genellikle adı geçen atıklar çok karmaşık ve tanımlanması zor kimyasal karakterizasyona sahiptir (Talınlı ve diğ. 1995).

Zararlı atıkların tanımlanmasında bir atığın yönetim döngüsü içindeki adımlar da rol oynamaktadır. Bu adımlar;

- atığın kaynağı,
- atığın taşınımı,
- depolanması,
- uygun arıtımı,
- nihai uzaklaştırmadır.

Korozivite, parlayıcılık ve akut zehirlilik gibi çok zararlı özellikler yukarıdaki yönetim adımlarının her kademesinde potansiyel tehlike nedeni olabilirler. Bu nedenle atığın kaynağından itibaren tüm adımlarda özellikleri ile birlikte değerlendirilerek tanımlanması esastır.

Buradan yola çıkarak zararlı atığın tanımını şu şekilde yapmak mümkündür: Çevresel olarak akut veya kronik zarar potansiyeline sahip yanıcı, aşındırıcı, reaktif ve zehirli olabilen, kompozisyonu, içerdiği madde miktarları, fiziksel formları, çevrede dağılım-yayılımları ve kullanım şekilleri ile çevreye yine insan aktiviteleri ile giren ve bu nedenlerle konvansiyonel arıtma ve uzaklaştırma yöntemlerinden farklı olarak ve çevresel sistemin (ekosistemin) politik, sosyal ve ekonomik değerleri ile yönetilmeyi gerektiren özelleştirilmiş ve listelenerek saptanmış atıklardır (Talınlı ve diğ. 1995).

2.1.2. Zararlı Atıkların Sınıflandırılması

Pratik olarak zararlı atık sınıfına giren çok sayıda madde, ürün ve ürün kombinasyonları vardır. Bu nedenle atık grupları beş genel kategoriye ayrılmıştır:

1. Radyoaktif maddeler: İyonize radyasyon yayan maddelere radyoaktif maddeler diyoruz. Bu tür maddeler uzun sürelerde canlıların maruz kalması durumunda büyük sağlık problemleri yaratırlar. Radyoaktif maddeler uzun süreler kalıcı olduğundan çok önemlidirler. Bu tür maddelerin kalıcılığı yarı ömür olarak ifade edilir. Yarı ömür radyoaktivite miktarının ilk değerinin yarılanması için gerekli süredir. Örneğin uranyum-232'nin yarı ömrü 72 yıl ve uranyum-236'nın yarı ömrü 23 420 000 yıldır. Uzun zamanlar için kullanılan radyoaktif atık depolama bölgeleri diğer atıklar için kullanılmazlar. Çünkü radyoaktif atık yönetimi özel bir uzmanlık gerektirir, diğer atıklardan sorumlu kişilerin konusu dışındadır.

2. Kimyasal atıklar: Bu tür atıklar dört ana grupta toplanabilir;
   - sentetik organikler,
   - inorganik metaller, tuzlar ve bazlar,
   - parlayıcılar,
   - patlayıcılar.

   Bu gruptaki atıklar çok yüksek toksisite gösterdiğinden zararlı atıklar sınıfındadır.

3. Biyolojik atıklar: Zararlı biyolojik atıkların en büyük kaynağı hastaneler ve biyolojik araştırma kuruluşlarıdır. Bu atıkların en önemli özellikleri diğer organizmalara bulaşması ve toksin etkisi göstermesidir. Bu gruptaki atıklar ameliyat sonucu ortaya çıkan hasta hücreler, kontamine olmuş maddeler, enjektör, sargı bezi ve tarihi geçmiş ilaçlardan oluşmaktadır.

4. Parlayıcı atıklar: Çoğu parlayıcı zararlı atıklar kimyasal atık grubuna girer. Bu atıklar katı, sıvı ve gaz formda olabilirler, fakat büyük bir bölümü sıvı haldedir. Tipik örnekleri; organik solventler, yağlar, organik çamurlardır. Parlayıcı atıklar özel bir ilgi gerektirir. Çünkü bu atıklar kolayca yanabilir, ciğer ve böbrek hastalıkları, kanser ve cilt rahatsızlıklarına neden olabilirler.

5. Patlayıcı atıklar: Bu tip atıklar katı, sıvı ve gaz formda olabilirler. Parlayıcı atıklara benzer şekilde, depolanmaları, dağıtılmaları ve uzaklaştırılmaları esnasında yüksek bir tehlike potansiyeline sahip olup özel ilgi gerektirirler (Tchobanoglous ve diğ. 1977).

2.1.3. Zararlı Atıkların Kaynakları

Zararlı atık kaynaklarını belirlemek için zararlı atık kriterleri ve listeler yaklaşımından faydalanılmaktadır. Buna göre zararlı atıklar, üretilen miktar yönünden iki kısımda incelenmektedir;

- Küçük miktar zararlı atık üreticileri
- Büyük miktar zararlı atık üreticileri

Miktar açısından bu ayırım tüm kaynak bazında belirtilen atıklar için de geçerli olacaktır. Zararlı atıklar kaynak açısından temel olarak iki ana başlıkta sınıflandırılmaktadır. Bunlar;

- Kaynağı belirsiz atıklar (yaygın kaynak)
- Kaynağı belli atıklar olarak ayrılabilir (noktasal kaynak).

Yaygın kaynak için "atıksu arıtma sistemi çamurları (siyanürleri içeren)" örnek olarak verilebilir. Noktasal kaynak için örnek ise "etilendiklorür destilasyon prosesinin dip kalıntıları" dır.

Zararlı atıkların en büyük bölümünü endüstriyel atıklar oluşturmaktadır. Bu nedenle en önemli kaynak bazında ayırım endüstriyel zararlı atıkların sınıflandırılmasıyla yapılmaktadır. Buna göre, zararlı atık kaynakları;

- endüstriyel zararlı atık kaynakları
- endüstriyel olmayan zararlı atık kaynakları

şeklinde iki ana başlık altında toplamak mümkündür (Talınlı ve diğ. 1995; Eriş, 1996; Turan Ertaş, 1997).

2.1.3.1. Endüstriyel Zararlı Atık Kaynakları

Endüstriyel zararlı atıkların büyük bölümünü kimyasal madde üretimlerinin ve bunlarla ilişkili endüstrilerin oluşturduğu zararlı atık kaynakları SIC kod numaraları ile Tablo 2.1 'de verilmiştir (Talınlı ve diğ. 1995).

Tablo 2.1. SIC Kod Numaralı ile Endüstriyel Zararlı Atık Kaynakları

SIC Kod No:	Endüstri Adı:
SIC 28	Kimyasal maddeler ve ilgili ürünler
SIC 29	Petrol ve kömür ürünleri
SIC 33	Metal üretim endüstrileri
SIC 34	Metal son işlemleri endüstri
SIC 36	Elektrik ve elektronik cihazlar endüstrisi
SIC 37	Taşınım cihazları üretimi
SIC 26	Kağıt ve kağıt hamuru endüstrisi
SIC 22	Tekstil endüstrisi
SIC 24	Kereste ve ahşap ürünleri
SIC 25	Mobilya ve koruma endüstrisi ürünleri
SIC 27	Basın ve yayın endüstrisi
SIC 30	Lastik ve ilgili plastik ürünler
SIC 31	Deri endüstrisi
SIC 32	Taş, toprak ve cam ürünleri
SIC 35	Makine endüstrisi (elektrik makineleri hariç)
SIC 38	Cihazlar ve ilgili ürünle endüstrisi
SIC 39	Diğer üretim endüstrileri

2.1.3.2. Endüstriyel Olmayan Zararlı Atık Kaynakları

Bu kategoride zararlı atık kaynakları genellikle endüstrilerin yan sektörleri, hizmet sektörleri ve iş alanlarındaki faaliyetlerin sonucu ortaya çıkarlar. Bu nedenle, bu atıklar evsel veya belediyesel atık terimleri yerine yine SIC kodlarında yeri olan ancak üretim veya endüstriyel ürün olarak değerlendirilemeyen (üretim dışı) anlamına gelecek şekilde endüstriyel olmayan zararlı atık kaynakları kategorisinde değerlendirilmiştir. Endüstriyel olmayan zararlı atık kaynakları Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. SIC Numaraları ile Endüstriyel Olmayan Zararlı Atık Kaynakları

SIC Kod No:	Endüstri Adı:
SIC 5085	Kullanılmış varil ve bidon temizleme ve uzaklaştırma işlemleri
SIC 07	Tarımsal hizmetler (ilaçlama, gübreleme, düzenleme vb.)
SIC 5161	Kimyasal madde depoları
SIC 40	Demiryolu taşımacılığı
SIC 55	Oto tamirciliği ve benzin istasyonları
SIC 72	Kişisel hizmetler
SIC 73	İş hizmetleri
SIC 76	Diğer tamirat hizmetleri
SIC 80	Sağlık hizmetleri
SIC 82	Eğitim-Öğretim hizmetleri

Tablo 2.2'de verilen üretim dışı hizmetler için farklı kategorilerde hangi zararlı atıkların bulunabileceği ve neden bu hizmetlerin zararlı atık kaynağı olabileceği göz önüne alındığında zararlı atık tanımlarında belirlenen kriterlerin söz konusu olduğu görülmektedir. Örneğin, demiryolu taşımacılığında tüm mekanik aksamın yağlanma işlemlerinde kullanılan yağlar, tamiratlarda kullanılan boyalar ve katı atıklar, sağlık hizmetlerindeki röntgen bölümlerinin banyo artıkları, bazı teşhis öncesi ve sonrası kullanılan ilaç artıkları ve eğitim- öğretim hizmetlerinde eğitim laboratuarlarında kullanılan kimyasallar, matbaa atıkları ve diğer katı atıklar kaynak olarak gösterilebilir.

Bütün bunlarda atığın tanımında belirlenen kriterlerden akut, kronik zararlar, zehirlilik, parlayıcılık, korozivite gibi faktörlerin gözönüne alınmasının yanında atığın içerdiği tehlikeli maddenin varlığı da kaynağın tanımlanmasında etkin olmaktadır.

2.1.4. Zararlı Atıkların Yönetimi, Arıtılması ve Uzaklaştırılması

2.1.4.1. Zararlı Atıkların Yönetimi

Endüstrileşme yolunda olan ülkemizde zararlı atık oranı giderek artmaktadır. Miktarları giderek artan bu atıklar bazı önemli körfezlerimizi geri dönülmesi çok güç biçimde tahrip etmekte, insan ve çevre sağlığında çok ciddi hasarlara yol açmaktadır (Soklangıç, 2000).

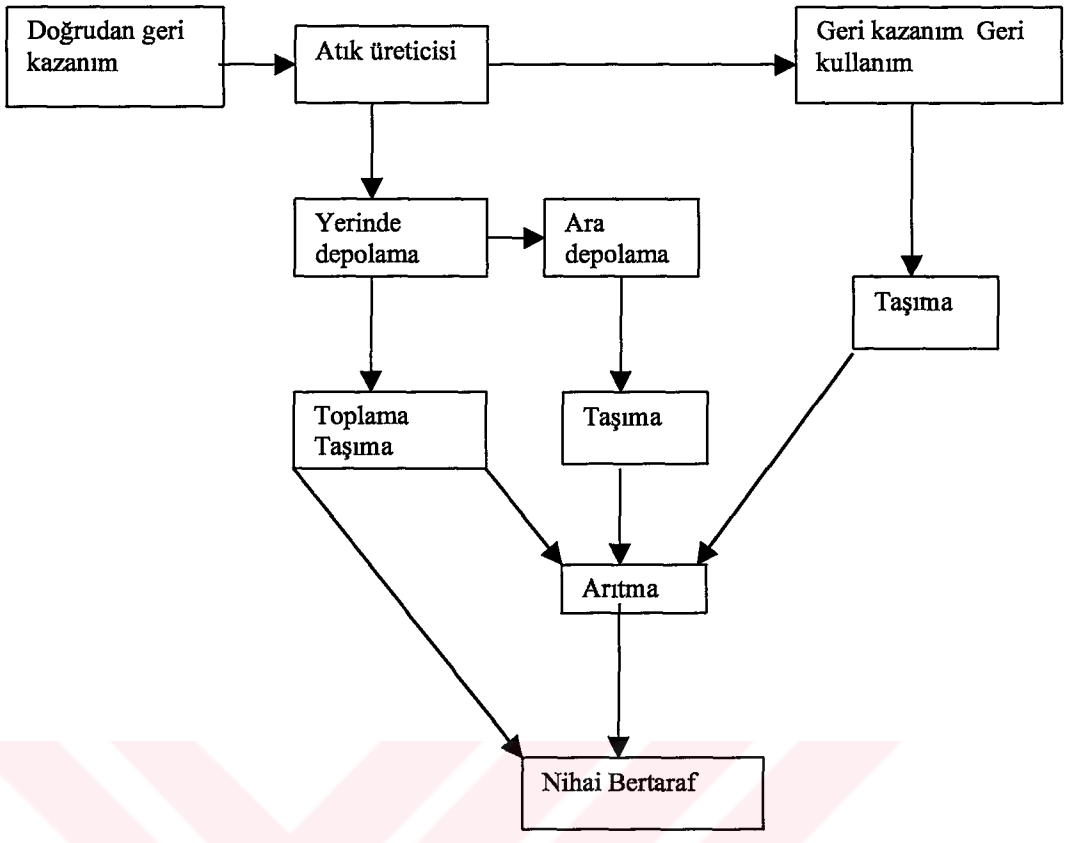
Zararlı atıkların toplanması, taşınması, nihai uzaklaştırılması ile ilgili tüm idari ve teknik usul ve esasların belirlenmesi, zararlı atıkların çevreye verecekleri zararların saptanarak gerekli tedbirlerin alınması konuları ile teknolojik gelişmeler ve ekonomik kalkınma sonucu çevremizin kirlenmesi, hükümetleri zararlı atıkların sağlıklı yönetimi için programlar yapılması konusunda hızlı davranmaya yöneltmiştir.

Çevremizin korunması endişesi, uygun zararlı atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Burada önem arz eden husus, bilgi edinme ve yönetim planlarıdır. Aynı zamanda amaç, zararlı atıkların üretiminin minimuma indirilmesinin teşviki veya atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde işlenmesi olmalıdır. Zararlı atıkların yönetimi sisteminin bileşenleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

Bütün bunları gerçekleştirebilmek için zararlı atık yönetim prensiplerinin ortaya konması ve irdelenmesi gerekmektedir. Zararlı atıkların yönetiminde yaygın olarak kullanılan prensipler aşağıda belirtilmiştir:

Kirleten öder prensibi: Kirletmenin sonucunda kirleten öder veya sebep olduğu her kirliliğin temizlik maliyeti kirleten tarafından karşılanmak durumundadır.

Beşikten mezara prensibi: Üretilen atığın yüklenmesinden en son bertaraf edileceği alana ulaşıncaya kadar geçen süredir.



Şekil 2.1. Zararlı Atık Yönetim Sisteminin Bileşenleri (Gözet , 1995)

Sürdürülebilir kalkınma: Yenilenebilir kaynakların uzun vadede hayatta kalabilmesi ve gezegenin yaşaması için gerekli fizyolojik hareket olanağını sağlayan sistemlerin haksız yere yargılanmasını önleyecek şekilde sosyal ve ekonomik gelişmelere izin verilmelidir.

İhtiyat prensibi: Çevre koruyucuları çevreye verilen zararı ispat etmek durumunda değildir. Buna karşılık muhtemel kirleticiler çevreye zararlarının olmadığını göstermek durumundadırlar.

En düşük maliyetle bertaraf prensibi: Atıklar yasal yollardan en düşük maliyetle bertaraf edileceklerdir. Üreticiler, bertaraf için en düşük maliyetli olanı seçmelidirler. Basel Sözleşmesi , bu stratejilerin bütünleştirilmiş bir bölümüdür (Gözet, 1995).

Zararlı atıkların oluşumunun ve sınırlar ötesi hareketlerinin önlenmesi amacıyla ülkemiz 20-22 Mart 1989 tarihlerinde Birleşmiş Milletler Çevre Programı bünyesinde "Zararlı Atıkların Sınırlar Ötesi Hareketlerinin Kontrolü ve Bertarafı" na ilişkin Basel Sözleşmesi'ni imzalamış ve 20 Eylül 1994 tarihinde TBMM'de

onaylanarak yürürlüğe girmiştir. Zararlı atıkların açık bir listesini içeren Basel Sözleşmesi esas alınarak hazırlanan "Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" 27.08.1995 tarih ve 22387 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (Soklangıç, 2000).

Basel Sözleşmesi zararlı atıkların çevresel olarak sağlıklı yönetimi için oluşturulan ana prensipleri içerir. Bunlar:

1. Önleyici prensip: Zararlı atık üretimi miktar ve tehlike potansiyeli olarak kaynağında minimum düzeye indirilmelidir.

2. Yakınlık prensibi: Zararlı atıkların üretiminin kaçınılmaz olduğu durumlarda atıklar üretildikleri alana mümkün olan en yakın mesafede bertaraf edilmelidir.

3. Bütünlük prensibi: Bertaraf yeri ve zararlı atıkların çevreyle uyumlu yönetimi garanti altına alınmalıdır.

4. Yeterlilik prensibi: Yeterli bertaraf tesisi oluşturulmalıdır.

5. Kendine yeterlilik prensibi: Atıkların çevresel bakımdan sağlıklı bir şekilde işlenmesi ve bertarafı amaç edinilmelidir.

6. Ulusal bağımsızlık prensibi: Her üye zararlı atık ithalini kendi sınırları içinde taşınmasını yasaklama hakkına sahiptir.

7. Ekolojik fırsat prensibi: Zararlı atıkların sınırlar ötesi taşınımı, minimum düzeye indirilmelidir.

Ülkelerin sosyal, politik ve ekonomik yapısı birbirinden faklı olduğu için bu prensiplerin uygulanması esnek olmalı ve bazı düzenlemeler ülkelerin iç mevzuatlarına bırakılmalıdır (Gözet , 1995).

Zararlı atıkların yönetimi, organizasyonu ve idaresi için ulusal politikalarla birlikte ortaya konan amaçlar çerçevesinde arıtım, depolama, uzaklaştırma gibi faaliyetlerin düzenlenmesi de yine ulusal yaklaşımla yapılmaktadır. Bütün bu yaklaşımlar bir planlama çerçevesinde gelişmektedir. Zararlı Atık Yönetimi için bu planlama atıkların uzaklaştırılmasında, transferinde ve arıtımında sorumlu kuruluşlar tarafından yapılmakta ve yürütülmektedir. Burada en önemli problemkubu

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

planlamanın halihazırdaki konvansiyonel atıklar için varolan planlamalar ile çakışması ve girişim yapmasıdır. Bu nedenle planlama, varolan plan ve stratejilere dönüşecek, ancak farklılaşmayı sağlayacak biçimde yapılmalıdır.

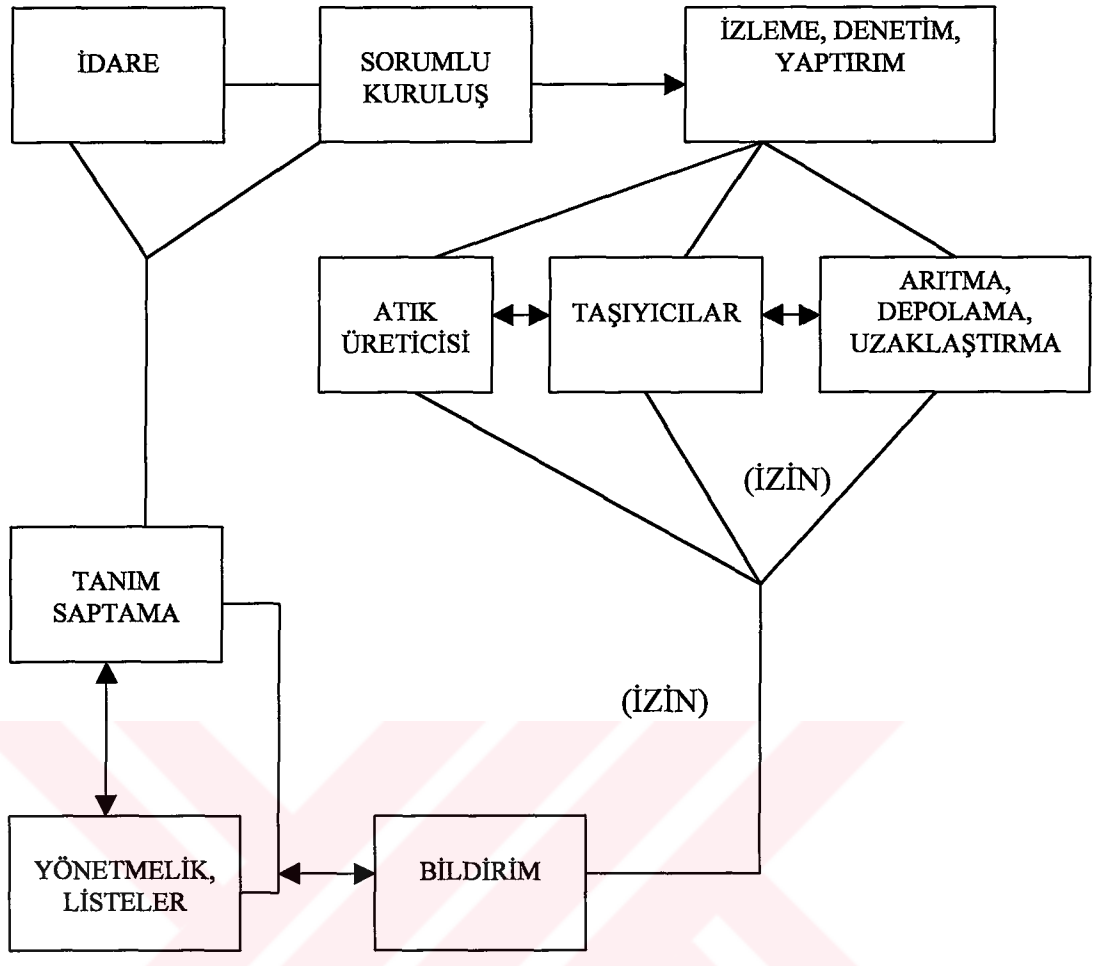
Bu zararlı atıkların çevre ve halk sağlığı üzerinde yüksek zarar-tehlike potansiyeli nedeniyle özel kontrol yöntemleri de gerekli olmaktadır. Bu atıklar için tanımlama, geçici depolama, arıtım ve uzaklaştırma aşamalarında özel dikkat ve kontrol gerekmektedir. Çoğu ülkeler bunu manifestolar (bildirim/ beyan formları) veya kontrol formları ile üretimden nihai uzaklaştırmaya kadar izleyebilmektedir (Beşikten mezara kontrol). Bu yöntemler en etkin yöntemler olarak görülmektedir. Şekil 2.2'de zararlı atıklar için beşikten mezara kontrol sistemi için bir şema verilmiştir. Bunlardan sonra ekonomik ve çevresel değerleri esas alan bir atık yönetim seçenekleri hiyerarşisi önerilmektedir.

Zararlı atıkların yönetim planlamasında 3 temel adım yer almaktadır. Bunlar;

1- Zararlı atıkların tanım ve saptanması,
2- Yasal ve idari esasların belirlenmesi,
3- Arıtma, depolama ve uzaklaştırma teknolojilerinin belirlenmesidir. (Environmental Law Book, 1993)

Her bir adım kendi içinde problemin karmaşıklığını çözecek yaklaşımlar ile diğer adımlarla girişim halindedir.

Bir zararlı atık için, atığın yasal bir tanımını yapmak ve atığı saptamak, yani teşhis etmek, kontrol sisteminin bir görevidir. Bu adımda zararlı atık tanımlamak için en iyi yaklaşım herhangi bir atığı veya ürünü diğer atıklardan (konvansiyonel atıklar) ayırma yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, bu ayrım için farklı bir atık tanımını, tanıma dayalı listeler üretmeyi ve tanımlamaya esas olan kriterler ile birlikte atığı saptayacak özellikleri ortaya koymayı zorunlu kılar.



Şekil 2.2. Zararlı Atıklar için Kontrol Sistemi

Zararlı atık tanımlamada ilk adım farklı atığı tanımlamaktır.

Farklı Atık: Konvansiyonel atıklardan farklı olarak çöp, istenmeyen atık ve çamurlardır ancak bunların bir atık arıtım tesisinden, su temini arıtım tesisinden veya hava kirliliği kontrol işleminden gelen atıklar olması gerekmektedir. Öte yandan katı, sıvı, yarı katı veya sıkıştırılmış gaz formundaki istenmeyen maddeler de farklı atık kapsamına alınmaktadır. Bu maddelerin kaynakları endüstriyel, ticari, madencilik, tarımsal ve toplumsal aktiviteler olabilir ancak evsel atıksudaki çözünmüş veya katı maddeler, sulamaya yönlendiren akımlardaki katı ve çözünmüş maddeler veya Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne uygun, noktasal kaynaklı endüstriyel deşarjlardan gelen maddeler bunun dışında olmalıdır. Ayrıca hastane ve nükleer kaynaklı istenmeyen maddeler de özel atıklar olarak kontrol edilmesi gerektiğinden farklı atık olarak düşünülmemelidir.

Zararlı Atık: Tanım olarak zararlı atık bir farklı atık karışımıdır. Ancak farklı atık tanımındaki belirlenen fiziksel formuna ilave olarak miktar, konsantrasyon, fiziksel, kimyasal ve enfeksiyonel özellikleri dolayısıyla iki önemli tehlike-zarar potansiyeline sahiptir. Bunlar;

- Ölümle sonuçlanan olaylarda, ciddi ve tedavisi güç hastalıklarda önemli artışlar,
- Arıtılmaları, depolanmaları, taşınımları yani yönetimleri sırasında insan sağlığına ve çevreye aktif veya potansiyel bir zarar-tehlike göstermesidir.

Bu bilgiler ışığında Şekil 2.3'de zararlı atık tanımlama mekanizması verilmiştir.

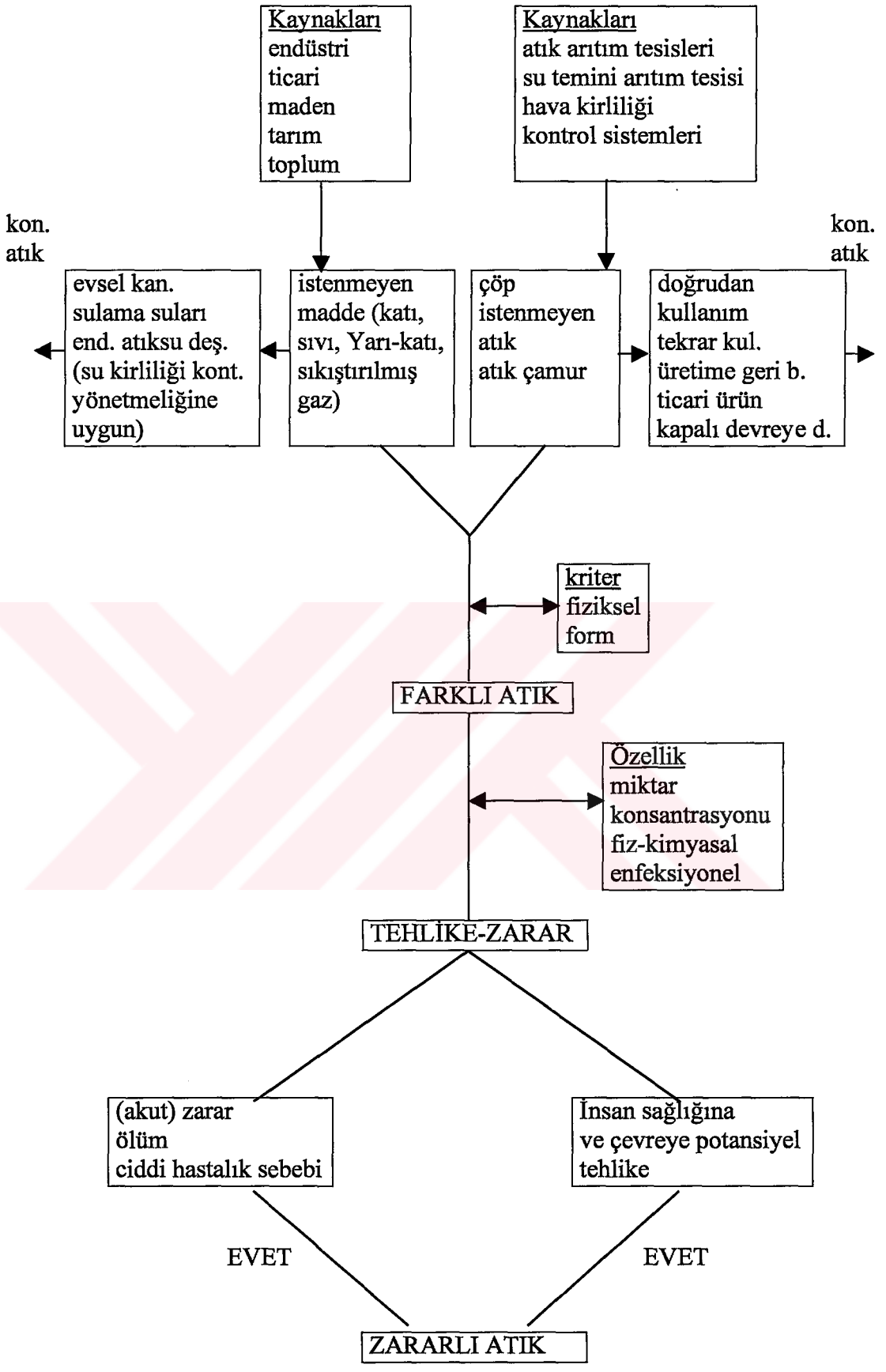
Arıtım, tekrar kullanım, enerji ve madde geri kazanımı gibi önceliklerden, son ulaştırmaya kadar atık yönetimi seçenekleri öncelik sırası ile aşağıda verilmiştir.

1- Atık azaltımı
2- Atık ayırımı
3- Atık değişimi, transferi
4- Enerji ve madde geri kazanımı
5- Atığın yakılması / arıtımı
6- Güvenli son ulaştırma (Eriş, 1996; Turan Ertaş,1997).

2.1.4.2. Zararlı Atıkların Arıtılması

Zararlı atıkların yönetimi, atığın uygulanabilir, ekonomik ve teknolojik uygun geri kazanım veya uzaklaştırma yöntemleri ile planlanarak düzenlenir. Bu düzenlemede halk sağlığı ve çevresel emniyet için geçerli standartlar göz önünde bulundurulur. Planlama kısmında açıklandığı gibi atık minimizasyonu , tekrar kullanım veya geri kazanma gibi imkanlar varsa bunlar arıtım veya son uzaklaştırmadan önce uygulanmalıdır.

Toplama , Taşınım ve Depolama: Zararlı atıkların uzaklaştırılması içinde hem teknik hem de yönetim biçimi açısından çok farklı ve çok adımlı yöntemler olduğu açıktır. Toplama , ön depolama, taşıma, arıtma merkezinde depolama ve son uzaklaştırma için depolama ve taşınım bu adımların en önemli örnekleridir.



Şekil 2.3. Zararlı Atık Tanımlama Mekanizması (Turan Ertaş,1997)

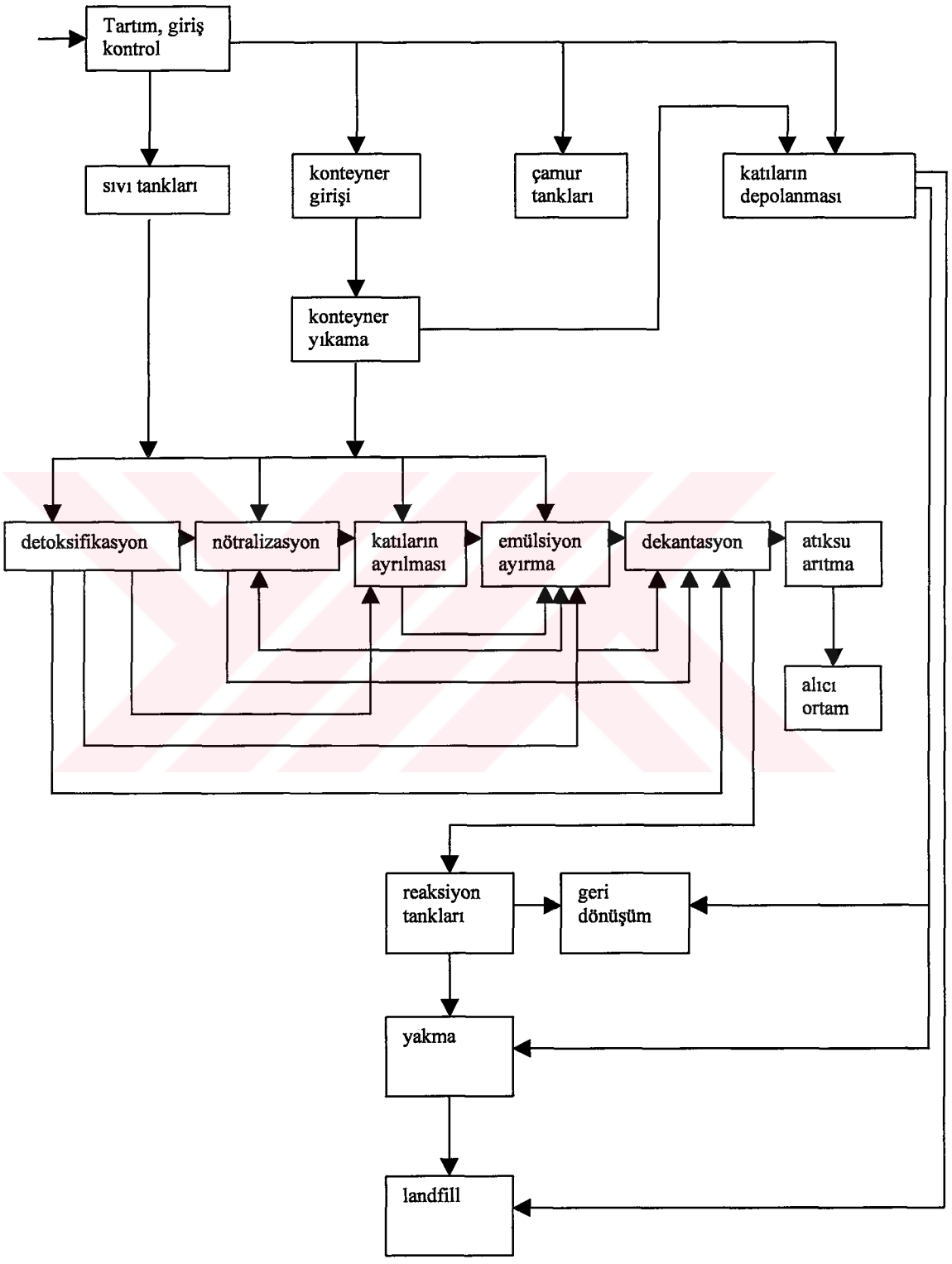
Bir atığın güvenli bir şekilde toplanması ve taşınımı , o atığın arıtım ve uzaklaştırma yeri ile üretildiği nokta arasındaki hatta çok önemli bir yer tutar. Bu nedenlerle zararlı atık üreticileri ile uzaklaştırma merkezi arasında taşınım , depolama ve toplama adımlarının uygun bir prosedürde yürütülmesi gereklidir.

Zararlı atıklar bu yönetim biçimi ile toplama sırasında ayrılarak düzenli ve/veya gerektiğinde toplama işlemleri ile arıtma ve uzaklaştırma merkezlerinin atık kabul merkezine ulaştırılırlar. Bu atık kabul merkezleri atığın ara depolanmasına imkan verir ve eğer atığın uzaklaştırma imkanları yetersiz , uzaklaştırma noktasına kadar mesafe uzak ve küçük bir endüstri çok yüksek yoğunluklu bir zararlı atık üretiyorsa bu merkezlerin kurulması yararlı görülmektedir. Şekil 2.4'te uygun bir zararlı atık uzaklaştırma faaliyet şeması verilmiştir (Turan Ertaş, 1997).

Özellikle gelişmiş ülkelerde ya doğrudan uzaklaştırma yöntemleri ya da son ulaştırmayı hedefleyen ön arıtma için sayısız atık arıtma teknolojisi geliştirilmiştir. Bu teknolojiler için amaç hep aynıdır ve atığın fiziksel, kimyasal özellikleri ile yakından ilgilidir. Örneğin atık hacmini azaltmaya yönelik teknolojiler için çöktürme, suyunu alma, faz ayırımı yöntemleri verilebilir. Zehirli bileşenlerin detoksifikasyonu, atığın solidifikasyonu, deniz veya karada yakılması, kimyasal veya biyolojik arıtımı da yaygın yöntemlerdendir.

Tüm zararlı atıklar için özel bir teknoloji bulmak genellikle mümkün değildir ve en pratik çözümün seçimi, atık ile ilgili bir çok faktöre bağlıdır. Bunlar arıtım veya uzaklaştırma imkanlarının sağlanabilir/ uygulanabilir olması, toplumsal emniyet standartları ve maliyetleridir. Ancak hiçbir uzlaştırma yöntemi veya şekli mutlak emniyeti sağlayamaz ve herhangi bir özel arıtım uzaklaştırma teknolojisi mutlaka bir risk seviyesine sahiptir. Genelde arıtım ve uzaklaştırma yaklaşımı ne kadar hassas ise maliyetler o kadar yüksektir, ancak kalıcı riskin seviyesi daha düşüktür (Talınlı ve diğ. 1995).

Bu amaç çevresinde arıtım yöntemleri dört ana başlık altında incelenebilir. Bunlar fiziksel, kimyasal, fizikokimyasal ve biyolojik arıtımdır.



Şekil 2.4. Tam Donanımlı Bir Zararlı Atık Uzaklaştırma Faaliyeti (Talınlı ve diğ. 1995)

Fiziksel Arıtım: Zararlı atık yönetiminde kullanılan fiziksel yöntemlerde, yapısında herhangi bir kimyasal veya biyolojik değişime uğramaksızın atığı sabitleştiren veya inert bir forma getiren faz ayırımı proseslerinden oluşur. Fiziksel yöntemlerle arıtımda temel faz ayırım teknikleri;

- Lagünleme,
- Çamur kurutma yatakları,
- Uzun ömürlü depolama yataklarıdır.

Tüm bu teknikler çöktürme, dekantasyon, drenaj ve evaporasyon gibi sıvı kısmı azaltmaya yönelik yöntemleri kullanırlar. Lagünleme ve depolama tankları, karışım atıklarından su ve yağ fazlarını ayırmada etkin olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Hava yüzdürmesi, filtrasyon ve santrifüjleme teknikleri gibi daha karmaşık yöntemler de özellikle faz ayrımında kullanılmaktadır. Adsorpsiyon / desorbsiyon, vakumlama ve azeotropik destilasyon gibi teknikler ise proses kalıntılarından gelen değerli kimyasalların geri kazanımın da etkin olarak yer alırlar (Talınlı ve diğ. 1995).

- Karbon Adsorpsiyonu:

Adsorpsiyon, çözünür bir kirleticinin, katı yüzeyle(adsorban) temas ederek sudan uzaklaştırıldığı bir süreçtir. Çevresel uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan adsorban, iç yüzey alanını(aktif karbon) önemli ölçüde artırmak için proses edilmiş, karbondur. Farklı hammaddelerin ve proses tekniklerinin kullanımı sonucunda, farklı adsorpsiyon karakteristikleri olan çeşitli karbonlar oluşur. Aktif karbonun hem toz hem de granül formu vardır. Granül aktif karbon, yeraltı suyundan ve endüstriyel atıklardan, toksik organik bileşiklerin giderilmesinde yaygın olarak kullanılır. Toz aktif karbon daha çok biyolojik arıtma sistemlerinde kullanılır(Tchobanoglous 1991, LaGrega ve diğ. 1994).

- Santrifüjleme: Bir akışkan karışımdaki bileşenlerden bir kısmını, mekanik olarak santrifüjleyerek faz ayırımı esasına dayanır. Gravite ile çökelmesi uygun olmayan atıklar için kullanılır (Talınlı ve diğ. 1995).

- Membran Prosesleri:

Suyu kirleticiden ayırmak için membran proseslerinin kullanılması, endüstride uygulanan iyi bir teknolojidir. Örneğin, bir membran proses (ters ozmoz), içme

suyunun mineral içeriğinin çok yüksek geldiği yarı iletken üretiminde çok yüksek kalitede su elde etmede kullanılır. Membran terimi, suyun , iyonların veya çok küçük partiküllerin geçişine izin verecek bir bariyer olarak bilinir (yarı geçirgen membran). Ancak membran prosesleri, konvansiyonel filtrasyon prosesleri gibi çalışmaz. Birçok uygulamada, çözelti membrana paralel olarak akar ve çözünen maddenin transferi doğrudan elektrik akımının uygulanmasıyla (elektrodiyaliz) veya yüksek basınçların çözeltiye uygulanmasıyla (ters osmoz ve ultrafiltrasyon) gerçekleşir. Membran katı bir matriksten veya şişkin jelden yapılabilir.

Elektrodiyaliz, ters osmoz ve ultrafiltrasyonun farklı işletim modifikasyonları vardır. Bu nedenle farklı tip membran kullanılır(LaGrega ve diğ. 1994).

- Elektroliz:

Sulu atıklardan bileşenlerin elektroliz yöntemi ile katı faza ayrılması esasına dayanır (Talınlı ve diğ. 1995).

- Elektroforez:

Sulu atıklardan yüklü partiküllerin bir elektriksel alan uygulanarak ayrılmasını sağlamak ve katı fazda toplamak esasına dayanır.

- Filtrasyon:

Sulu , likid ve yarı çamur formundaki atıklarda likid-solid ayrılması bir poröz ortam kullanılarak gerçekleştirilir. Tüm flotasyon, çöktürme ve çökelme işlemlerinin de son adımı olabilir.

- Flokülasyon, Çöktürme ve Çökelme:

Atık çözeltilerdeki askıdaki ve hatta kolloidal katı partiküllerin koagüle edilerek flokülasyonu, çöktürülmesi ve gravite ile çökelmesi esaslarına dayanan faz ayırma prosesleridir (Talınlı ve diğ. 1995).

- Flotasyon:

Atık çözeltilerde askıdaki katılar, yağlar, fiberler ve hatta kolloidal partiküllerin basınçlı veya difüze hava baloncukları yardımıyla yüzdürülmesi ve sıyrılması esasına dayanır (Talınlı ve diğ. 1995).

- Hava Sıyırma:

Hava sıyırma, hava ve su fazları arasındaki geçişi geliştirmek için, havayı sudan geçirerek sudaki bileşiklerin buharlaşmasını arttıran bir kütle transferi prosesidir. Hava sıyırma, solventler gibi uçucu organik bileşiklerle (VOC) kirlenmiş yer altı suyunu iyileştirmek için kullanılan en yaygın proseslerden biridir. Proses ideal olarak düşük konsantrasyonlarda (<200 mg/l) uygundur. Hava sıyırma, dolgu kule, sprey sistemleri, difüze havalandırma veya mekanik havalandırma kullanılarak gerçekleştirilebilir. Dolgu kuleler genellikle yeraltı suyunun iyileştirmesinde kullanılır (LaGrega ve diğ. 1994).

Kimyasal Arıtım: Nötrolizasyon, çözünürlük düşürülmesi gibi atığın kimyasal özelliklerini değiştirecek veya atığın zehirli özelliklerini bozacak reaksiyonları kullanan yöntemlerdir. Bu yöntemler içerisinde en önemli örnekler şunlardır:

- Kimyasal Oksidasyon:

Kimyasal oksidasyonun amacı, atık bileşenlerini kimyasal olarak dönüştürmek için oksitleyici bir madde ilave ederek atığı detoksifiye etmektir.

Zararlı atık arıtımı için yapılan kimyasal oksidasyonda, ilgilenilen atık bileşenlerini okside etmek için, kimyasalları indirgeyerek hizmet gören oksitleyici bir madde ilave edilir. Oksitleyici maddeler spesifik değildir ve atıktaki indirgeyici maddelerle reaksiyona girecektir. Bu nedenle, ilgilenilenler dışındaki organikler çok düşük konsantrasyonlarda olduklarında, bu prosesler en ekonomik olanlardır. Örneğin, siyanürlerin oksidasyonunda, diğer moleküllerin fazla miktarda bulunması çok miktarda okside edici madde gerektirecektir. Buna ek olarak, bazı oksitleyici maddeler (örn. klor) ve bazı organikler (örn. hidrokarbonlar) arasındaki reaksiyonlar organiğin parçalanması yerine klor yer değiştirmesiyle sonuçlanacaktır. Sonuçta oluşan klorlu hirokarbon orijinal atıktan daha toksik olabilir (LaGrega ve diğ. 1994).

- Siyanür oksidasyonu:

Isıl işlem tuzlarındaki sodyum siyanür zararlı atılarda %2- %40 konsantrasyonunda ortaya çıkmaktadır. Zehirliliği çok yüksek olan siyanürün 100 mlg'lık oral dozu erişkin bir insan için öldürücüdür. Metal varillerde atılmış olan yarı ergimiş durumdaki siyanür atıkları için ilk işlem fiziksel olarak faz ayrımı işlemidir. Küçük hacimlere indirgenen atığın bu işlem sonrası belirli kimyasal ve elektrolitik yöntemlerle detoksifikasyonu sağlanır. Çözeltiye alınan siyanür klor veya sodyum

hipoklorit ile reaksiyona sokularak, siyanür iyonu siyanata ve sonra da toksik olmayan gazlar olan azot ve karbondioksite okside edilir. Aynı yöntem metal son işlemleri endüstrisi elektrolitik kaplama proseslerinden gelen yıkama suları ve bu prosesin boşaltılan eskimiş banyo dip çamurlarında da sıklıkla kullanılır (Talınlı ve diğ. 1995).

- Ağır metal çöktürmesi:

Metal kaplama endüstrisi atıksuları bakır, nikel, çinko gibi çeşitli ağır metaller içerir. Bunlar içindeki ağır metaller genellikle suda çözünmeyen bileşikleri halinde kimyasal çöktürme ile giderilirler. Bu işlem genellikle kireç veya sodyum hidroksitin aşırısı ile gerçekleştirilir. Diğer ağır metal çöktürücü maddeler ise sodyum sülfür, tiyoüre ve ditiyokarbanatlardır. Bu maddeler metalleri sülfür formunda çöktürürler. Ancak civa ve arsenik gibi oldukça zehirli metallerin kireç ve kostik ile çöktürülmesi sonrasında son işlem olarak sülfür çöktürmesi de yapılabilir. Bazı sülfür çökeltim çamurları atmosferik oksidasyona meyilli olmaları nedeniyle zehirli ağır metallerin çözünmesine neden olabilirler. Bu konuya çamur arıtımında dikkat edilmesi gerekir (Talınlı ve diğ. 1995).

- Asit nötralizasyonu:

Çoğu endüstrilerden mineral asitlerini içeren büyük miktarlarda kuvvetli asidik atıksular oluşabilir. Bunlar aşırı derecede korozif maddelerdir, ancak kaynaklandıkları yerde korozivite problemini önlemek için nötralize edilebilirler. Büyük miktarlardaki asit nötralizasyon işlemleri için en ucuz ve sağlanabilir alkali olan kireç kullanılmaktadır. Nötralizasyon sonucunda ortaya çıkabilecek büyük miktardaki cipsler filtrasyon sonrası landfill alanlarına uzaklaştırılmalıdır (Talınlı ve diğ. 1995).

- Hidroliz:

Hidroliz reaksiyonlarına en güzel örnek, yıllardan beri kullanılan sabun yapımı prosesidir. İnorganik hidrolitik reaksiyon, su ile reaksiyon veren bir tuzun asit ve baz oluşturmasıdır ve dolayısıyla nötralizasyonun tersidir. En çok uygulandığı atıklar esterler, eterler, karbonhidratlar, sülfonik asit, halojenli bileşikler, fosfatlar ve nitriller gibi alifatik ve aromatik organikleri içeren atıklardır (Talınlı ve diğ. 1995).

- Krom (6) indirgenmesi:

Kromik asit metallerin yüzey temizleme işlemlerinde ve krom kaplama banyolarında yaygın olarak kullanılan oldukça zehirli bir maddedir. (+6) değerlikli krom, sodyum metabisülfit ile reaksiyona sokularak daha az zehirli olan krom (+3) formuna indirgenir. Öte yandan kromik asit çok kuvvetli bir oksidasyon materyali olarak siyanürlü atıkların oksidasyonunda da kullanılabilir ve bu sırada da krom (+6), krom (+3)'e indirgenir. Ancak bu proses rutin olarak tehlikesi nedeniyle sadece siyanür arıtım merkezlerinde uygulanmalıdır (Talınlı ve diğ. 1995).

- Likid-Likid Çözücü Ekstraksiyonu:

Proses bir likid çözeltiden bileşenlerini bir diğer çözücü kullanarak ayırma esasına dayanır. Bu yöntem genellikle sulardan ve solventleri içeren atıklardan belirli organik maddeleri gidermede kullanılır (Talınlı ve diğ. 1995).

- Ozonlama:

Ozonlama çok yüksek reaktiviteli bir gaz olan ozon ile yapılır. Ozon depolanamaz veya nakledilemez. Bu nedenle uygulama sırasında anında üretilmesi gerekir. Ozon çok kuvvetli bir oksidant olarak uzun yıllardan beri özellikle organik bileşiklerin karbon-karbon bağlarının açılmasında kullanılmıştır. Çok büyük bir sayıda madde için farklı reaksiyon mekanizmaları gösteren bu oksidasyonda inorganik maddeler için çok fazla bilgi yoktur. Eldeki verilerle endüstriyel atık akımlarının uygun şekilde ozonlanması mümkün olmaktadır. Ozon ayrıca antibakteriyel ve antiviral etkileri nedeniyle bir dezenfeksiyon aracı olarak da kullanılmaktadır (Talınlı ve diğ. 1995).

- Fotoliz:

Fotoliz, ışık enerjisi altında kimyasal bağların kırılması esasına dayanan bir prosestir. Birincil fotokimyasal proseste hedef türler elektriksel olarak enerji seviyesi yükseltilmiş hale gelirler ve kimyasal reaksiyona enerjitik olarak hazırdırlar. Bu şekilde fotolizle arıtma prosesinde prosesin etkinliği, kimyasalın yapısına ve reaksiyonun yürüdüğü ortam koşullarına bağlıdır. Fotoliz özellikle, UV-Ozonlama gibi kombinasyonlarla asetik asit, siyanür gibi bileşenlerin atıklardan giderilmesinde yaygın olarak uygulanmaktadır (Talınlı ve diğ. 1995).

Fizikokimyasal Arıtım

- Solidifikasyon / Stabilizasyon (S/S) Yöntemi:

Fizikokimyasal arıtım yöntemlerinden biri olan S/S yöntemi, bazı katkılar kullanılarak atıkları daha stabil hale dönüştüren, bir başka deyişle daha az toksik forma dönüştüren teknolojileri içerir. Bu yöntem, solidifikasyon işlemi kimyasal reaksiyonların yer aldığı stabilizasyon işlemini kapsadığı gibi, aynı zamanda katı madde kütlesi içinde atık partiküllerinin veya moleküllerinin fiziksel olarak bağlanması olayını da kapsar. Zararlı atığa çeşitli bağlayıcılar ilave edilerek, atık bünyesindeki kirleticiler sabitlenir, böylece atıkların doğaya zararı engellenmiş olur. S/S prosesleri zararlı atığı kaya gibi sert çözünmez bir forma dönüştürerek landfill için bir ön arıtma sağlarlar. Bu yöntem ile ilgili geniş bilgi Bölüm 2.2'de yer almaktadır.

- Buharla Sıyırma

Buharla sıyırma, uçucu (aseton, etanol gibi) ve bazen de yarı uçucu organik bileşiklerin yer altı suyundan veya atıksudan uzaklaştırılması için kullanılır. Bu proses, sudaki uçucu organik bileşikleri (VOC) çok düşük konsantrasyonlara kadar düşürebilir.

Hem buharla hem de havayla sıyırma üniteleri, organiklerin sıvı fazdan gaz faza taşınma ilkesini temel alır. Ancak, bir buhar sıyırıcıdaki, yüksek konsantrasyonlardaki organik miktarı, hava sıyırıcınınkinden daha karmaşık tasarım teknikleri gerektirir (Tchobanoglous 1991, LaGrega ve diğ. 1994).

Buhar sıyırıcı, sudaki çözünürlüğü yüksek olan uçucu organik bileşikler (örn. aseton, etanol) içeren sulara uygulanabilir. Bu tür bir uygulamanın amacı, sudaki VOC' leri artırmak ve bu sayede sonraki arıtma ünitesi için su hacmini azaltmaktır. Teoride bu yöntem uygulanabilir gibi gözükse de, pratikte ekstra bir yatırım, işletim ve bakım maliyeti getirecektir. Buhar sıyırıcının bu maliyeti, hacim oranını azaltarak elde edilecek faydadan daha ağır basacaktır (LaGrega ve diğ. 1994).

- Toprak Buhar Ekstraksiyonu:

Toprak Buhar Ekstraksiyonu (SVE), yer altı suyu seviyesi üzerindeki doymamış bölgedeki topraklardan uçucu organik bileşikleri(VOC) uzaklaştırmak için kullanılan bir iyileştirme seçeneğidir. SVE prosesi, havanın toprak içerisinden geçişini, bu sayede toprak (veya toprak/su) matrisinden hava akımına kirletici transferini kapsamaktadır.

SVE'nin öncelikli faydası, doymamış tabakadaki VOC'lerin uzaklaştırılmasında ve arıtımında, yerinde iyileştirme aracı olarak kullanılabilmesidir. Yerinde iyileştirme kullanılarak, toprak kazı ve depolama maliyetleri ve büyük çaplı kazı faaliyetlerinde meydana gelebilecek bozulmalar minimize edilmiş olur. SVE, toprak altı yapıları iyileştirmek için kullanılabilir, kimyasal madde gerektirmez ve konvansiyonel ekipman, iş ve malzeme kullanır. SVE, bütün yerleşimlerde uygulanabilecek bir iyileştirme alternatifi değildir. Düşük geçirimlilikteki topraklarda, düşük buhar basınçları olan kirleticilerin olduğu bölgelerde ve yüksek yeraltı suyu seviyeleri olan alanlarda kullanılabilir. Ancak, yerinde iyileştirmeyle ilgili belirsizlikler nedeniyle, arıtımı gerçekleştirmek için gerekli sürenin tahmin edilmesi zor olabilir (Tchobanoglous 1991, LaGrega ve diğ. 1994).

- Süperkritik Akışkanlar:

Süperkritik akışkanların (SCF) ekstraksiyonu ve süperkritik su oksidasyonu, zararlı atık arıtımında yeni gelişmeye başlamış teknolojilerdir. Süperkritik akışkanlar, yükseltilmiş sıcaklık ve basınçta, bir gazın ve bir sıvının sıcaklık ve basınç özelliklerine sahip malzemelerdir. SCF ekstraksiyonunda, topraktaki organikler, sedimentler veya su, yükseltilmiş bir sıcaklık ve basınç şartları altında akışkan içinde çözülürler ve düşük sıcaklık ve basınçta akışkandan çıkarılırlar. Süperkritik su oksidasyonunda, organik bileşenlerin tam oksidasyonunun hızla gerçekleştiği suyun kritik noktasında hava ve atıksu, biraraya getirilirler (Tchobanoglous 1994, LaGrega ve diğ. 1994).

Biyolojik Arıtım

Endüstriyel atıkların bir çoğu biyolojik olarak arıtılma imkanına sahiptir. Zararlı atıklar için bu arıtım şeklinde dikkat edilmesi gereken özellik, zehirli madde konsantrasyonlarının mikroorganizmalara akut etkileridir. Ancak biyolojik arıtma

ünitelerinde bu tür atıksuların seyreltilmesi ile ve mikroorganizmaların spesifik zehirli kimyasallara adaptasyonu ile olumlu bir sonuca varılmaktadır. Bazı organik kimyasalların özellikle yağlı atıkların biyolojik bozunması için toprağın doğal mikrobiyolojik aktivitesi de kullanılmaktadır. Yine belirli organik kimyasallar için kompostlaşma işlemi de biyolojik arıtım için örnek olarak gösterilebilir.

Biyolojik arıtımın mekanizması atık akımındaki organik bileşiklerin, mikroorganizmaları atıkla temas ettirerek bozundurulmaları esasına dayanır. Genellikle organik içerikli sulu atıklara uygulanır. Endüstriyel atık uygulamalarında biyolojik arıtma prosesleri organiklerin uzaklaştırılması için en ekonomik teknoloji olarak görülmektedir. Ancak, biyolojik arıtma endüstriyel atıksularda nötralizasyon ve dengeleme gibi prosesleri gerektirebilir ve hatta daha öncesinde kimyasal arıtma gibi hazırlık proseslerini de içerebilir. Ayrıca belirli organik ve inorganikler inhibisyon etkisi gösterebilirler ve bunların biyolojik arıtma için belirli zehirlilik eşik değerlerine kadar ön arıtımı gerekebilir.

Biyolojik arıtma proseslerinden dördü (aktif çamur, havalandırmalı lagünler, damlatmalı filtre ve stabilizasyon havuzları) aktif çamur sistemleri olarak adlandırılır ve endüstriyel atıklar için en uygun sistemlerdir. Anaerobik sistemler bu konuda çok farklı atık kompozisyonları nedeniyle kısıtlı uygulamaya sahiptir. Proseste kompleks hidrokarbonlar, uzun zincirli ve aromatik bileşenlerin arıtılması çok verimli değildir (Talınlı ve diğ. 1995).

2.1.4.3. Zararlı Atıkların Uzaklaştırılması

Atıkların uzaklaştırılması, atığın kaynağından itibaren son uzaklaştırılmasına kadar olan aşamaların tümünü veya bir bölümünü içerebilir. Bu anlamda bir atığın doğrudan arıtıma alınması veya atığın yakılması da bir uzaklaştırma amacı taşıyabilir.

Bu bölümde uzaklaştırma terimi ile belirlenen bir yöntemin verilmesi iki nedene dayanmaktadır. Bunlardan birincisi, atığın fiziksel, kimyasal bir arıtıma uygun olmaması nedeniyle çevresel olarak zararsız bir formda uzaklaştırma gereğidir. İkincisi ise, arıtım aşamasından geçse bile atığın yine çevreye zararsız bir formda bir ortama uzaklaştırılmasıdır ki buna son uzaklaştırma veya nihai uzaklaştırma demek

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

mümkündür. Bu bölümdeki uzaklaştırma terimi özellikle son uzaklaştırmayı amaçlamaktadır (Talınlı ve diğ. 1995).

Zararlı atıkların uzaklaştırılmasında aşağıdaki uzaklaştırma yöntemleri kullanılmaktadır.

1.Landfill
2.Yakma
3.Geri kazanım
4.Deniz diplerine boşaltım
5.Yeraltına uzaklaştırma
6.Derin kuyu uzaklaştırması

1. Landfill:

Landfill ve özellikle özel kimyasal atıklar için hazırlanan landfiller jeolojik, hidrojeolojik, topografik, iklimsel ve nüfus yoğunlukları gibi farklılıklar nedeniyle farklı ülkelerde, farklı uygulamalarla gelişmiş ancak buna genel kabul edilebilir tek bir uygulama yöntemi getirilememiştir. Özellikle gelişmiş ülkelerde zararlı atık landfillerinde en önemli husus potansiyel olarak bu landfillerin yüzeysel ve yer altı sularını kirletmeleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu kirlenmeler uygun olmayan landfill alanı seçimi veya işletme yanlışlıklarıyla ortaya çıkmıştır. Ancak landfill alanını iyi seçmek ve iyi işletebilmek de landfill yöntemini tüm atıklar için en iyi yöntem olarak söylemeye yeterli değildir. En yeni tekniklerle tasarımlanan ve yönetilen landfill alanları, kontrolsüz veya açık alanlara boşaltım gibi uygulamalardan kaçınması nedeni ile özellikle gelişmiş ülkelerde zararlı atıklar için uygulanmaktadır. Bir zararlı atık için açık alanlara boşaltım işlemi hiçbir şekilde kabul edilebilecek bir yöntem olmamalıdır. Özel bir atık için uzaklaştırma, landfill alanının seçim veya uygunluk kararını vermeden önce hem atığın hem de uzaklaştırma alanının temel karakterleri ortaya konularak tasarım yapılmalıdır (Talınlı ve diğ. 1995).

2. Yakma:

Yakma, gaz, likit veya katı atıkların yüksek sıcaklıkta oksidasyonlarını sağlayan bir prosestir ve bu maddeler gazlara ve artık yakılamayacak olan katı kalıntıya dönüştürülürler. Yanma gazları enerji geri kazanımlı veya doğrudan atmosfere verilirken, cüruf veya kül halindeki kalıntılar landfill alanına gönderilirler. Atmosfere verilen gazların hava kirliliği kontrolü de yapılmalıdır.

Zararlı atıkların yakılması genel olarak bazı arıtılamayan atıklar için alternatif bir arıtma yöntemidir. Yakma atık hacminin düşürülmesi ve atığın ısıl değerinden yararlanmayı esas alan en iyi yöntemlerden biridir. Uygun bir teknoloji ile uygulandığında enerji fiyatları nedeni ile önemli bir enerji kaynağı olarak görülebilir. Buna karşın hammadde olarak kullanım imkanları çok düşüktür. Bazı yakma cürufları demir-çelik endüstrisinde hammadde olarak kullanılabilmektedir. Ancak yanma sonrası kalıntıları (cüruf ve uçucu küller) evsel katı atıkların yakıldığı ortamlarda kalan kalıntılara göre kullanım için çok uygun değildir. Zararlı atık yakma kalıntıları analizleri, bu kalıntıların da zararlı atık gibi işlem görmesini gerektirebilir. Zararlı atık yakıcılarında genellikle aşağıdaki atıklar yakılarak arıtılırlar:

- Solvent atıkları ve çamurlar,
- Atık mineral yağlar,
- Vernik ve boya atıkları ile çamurları,
- Plastikler,
- Lastik ve lateks atıkları ve emülsiyonları,
- Yağ emülsiyonları ve yağ/su emülsiyonları,
- Fenolik atıklar,
- Reçine atıkları,
- Gres ve vaks atıkları,
- Pestisit atıkları,
- Asit katranı ve killer,
- Halojen, sülfür, fosfor içeren organik atıklar.

Yüksek Cl, S, N, P içeren PCB (poliklorlu bifenil) atıkları ile ağır metal içeren atıklar ve bazı kanserojen maddelerde özel yakma teknolojileri gerektirirler (Talınlı ve diğ. 1995).

3. Zararlı Atıkların Geri Kazanımı:

Genellikle ülkeler belli atık çeşitlerinin geri kazanma olayını teşvik ederler. Bununla beraber bazı durumlarda geri kazanma operasyonu sağlığı ve çevreyi tehdit etmektedir. Buna ilave olarak mali kaynakların, yeterli teknolojinin ve tesis yetersizliği açısından gelişmekte olan ülkeler, çevresel olarak sağlıklı geri döngü, geri kazanma ve yeniden kullanma aktivitelerini ortaya koymaktadırlar. Hükümetler

ellerinde olan standartları değiştirerek hammadde ve enerji tasarrufunu teşfik etmelidirler, uluslararası ve bölgesel kurumların işbirliği ile daha temiz üretim metotları için ekonomik düzenlemeleri sağlamalıdır. Yetkileri ile çevresel bakımdan altyapılı bir hükümet olmalı, geri döngü faaliyetlerini düzenleme ve kontrol yeteneğine sahip olmalıdırlar.

Atıkların tekrar kullanılması yönündeki çabalar, genellikle toplanması ve kullanılması basit teknolojiler gerektiren atıklar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Buna en çarpıcı örnek olarak kullanılmış motor yağları gösterilebilir. Ancak, genellikle sobalarda yakma ve sanayi yakıtlarına karıştırma amacıyla tekrar kullanılan yanık yağlar üzerindeki bu uygulama çevre koruma açısından yararlı değil, tersine hava kirlenmesine olan katkısı nedeniyle daha zararlı sonuçlar ortaya çıkmaktadır (Gözet, 1995).

4. Deniz Diplerine Boşaltım:

Karasal alanlarda oluşan atıkların deniz gibi çok büyük su kütlesine sahip ortamlara deşarjı ile atığın seyreltilmesi amaçlanmaktadır. Uzaklaştırma yönü için yapılan seçim atığın oluştuğu coğrafi bölgenin koşulları ile ekonomik düşüncelerini esas alır. Diğer taraftan karasal alanda tehlikeli atık uzaklaştırılmasının tüm faktörleri ve kısıtları deniz içinde geçerlidir. Okyanus üzerinde bir zararlı atık boşaltım yerinin kıyıya uzaklığı, ekonomik olarak en önemli faktördür. Denize boşaltımın en önemli faktörlerinden bir tanesi de denizlerin gerek ulusal gerekse uluslararası kullanımları ve anlaşmalar çerçevesinde bağımlı olmalarıdır. Dünyada denizler için bazı konvansiyonlar ve anlaşmalarla bu yöntem kontrol altına alınmıştır. Zararlı atıkların içerdiği mikrokirleticiler gibi bazı atık maddelerin deniz boşaltımlarında ya bir kısıt yada yetki belgesi gerektiren düzenlemeler vardır. Denizde fauna ve floraya çok uzun periyotta zarar verebilecek atık tipleri için düşük miktarlarda olmak şartıyla izin verilmektedir (Talınlı ve diğ. 1995).

5. Yeraltı Katmanlarına Uzaklaştırma:

Zararlı atıkların yeraltı katmanlarına uzaklaştırılmasındaki en uygun yol, terkedilmiş maden yataklarının gerekli araştırmalar yapıldıktan sonra bu iş için kullanılmasıdır. Özellikle tükenmiş-terkedilmiş kömür madeni ocaklarının bu yöntem için sık sık kullanıldığı görülmektedir. Bunun yanında tuz madenleri, tuzun hidroskopik ve absorplama özellikleri nedeniyle de uygun uzaklaştırma yerleri olarak seçilebilir.

Maden ocaklarına zararlı atık uzaklaştırmadaki çevresel riskler, atığın sonsuza kadar burada kalacağı varsayımı ile değerlendirilmelidir. Maden ocaklarına uzaklaştırma, atığın jeolojik olarak korunması anlamında olup, atığın doğal çevrime döndürüldüğü bir uzaklaştırma tekniği değildir. Bu yöntemde de emniyet nedenleri ile patlayıcı, parlayıcı zehirli veya diğer tehlikeli gaz hava karışımlarına neden olacak hiçbir atığa saptanan yeraltı koşullarında izin verilmemelidir. Ayrıca likit atığa da izin verilmemesine rağmen, bazı yarı katı formdakilere izin verilebilir (Talınlı ve diğ. 1995).

6. Derin Kuyu Uzaklaştırması:

Zararlı atıkların derin kuyulara enjekte edilmesi ile işletilen sistemlerdir. Farklı ülkelerde örnekleri görülen bu tip işletmelere bazı ülkelerde izin verilmemektedir. Derin kuyu enjeksiyonlarında genellikle sıvı atıklar uzaklaştırılmaktadır ve bu yöntem çevresel etkileri açısından kontrol ve izleme zorlukları nedeniyle oldukça pahalı bir yöntemdir. Ancak enjeksiyon sırasında jeolojik etüdler ile sıvının hareketi ve yeraltı suyunun bundan nasıl etkileneceği değerlendirilebilir. Buna göre eğer çevresel tehlike minimize edilebiliyorsa enjeksiyona devam edilebilir. Derin kuyu enjeksiyonu için belirli atıklar ekonomik ve çevresel açıdan çok uygundur.

Bu atıklar genellikle doğal salamura-tuzlu su atıkları olup petrol çıkarım işlemlerinden, tuz yatağı çözeltilerinden ve madenlerden kaynaklanırlar. Tükenmiş-eskimiş atıklar da derin katmanlardaki kireçli kayaçlarda (karstik) çevresel riski olmadan kolaylıkla nötralize edilirler. Nükleer enerji santrallerinden kaynaklanan "Tiritium" içeren atıksular da yarı ömrünün çok kısa olması nedeniyle bu yönteme uygun görülmektedir.

Uzaklaştırma alanları için uygulanan tüm işletme prensipleri derin kuyu enjeksiyon yöntemi için de geçerlidir. Ayrıca bazı özel yasal düzenlemeler ile bu yöntem için farklı kontroller getirilebilir. Bu yöntemde görülen en büyük sakınca yüksek basınçlı enjeksiyonda deprem oluşması riskidir ve ABD'de Denver ve Colorada'da örnekleri görülmüştür. Ayrıca bazı atık enjeksiyonlarında kimyasal ve biyolojik reaksiyonların neden olduğu püskürme-kusma olayları söz konusudur (Talınlı ve diğ. 1995).

2.1.5. Zararlı Atıkların Kontrolü İçin Yasal Çerçeve

Zararlı atıkların yönetimi ve kontrolünü sağlamada en önemli husus, sistemin yasal bir çerçevede ele alınmasıdır. Çünkü zararlı atıklar ülkelerin sosyal, politik ve ekonomik koşullarıyla farklı boyutlar içeren dinamik bir yapıya sahiptir. Zararlı atık için tanım yapmayla başlayan ve son uzaklaştırmayla son bulan sistem içinde her aşamada teknik özellikler ve teknik tanımların yanında yasal tanımların ve kontrol mekanizmalarının birlikte yürümesi zorunludur. Bir ülkenin koşulları ile ortaya koyduğu yasal sınırlamalar, bir başka ülke için geçerli olmayabilir hatta tersi mümkündür. Bu bölümde yurtiçi ve dışından, zararlı atıkların yasal yönetim biçimleri verilmiştir.

2.1.5.1. Amerika'da Zararlı Atıkların Kontrolü İçin Yasal Çerçeve

Evsel, ticari ve endüstriyel atıkların uzaklaştırılmasında çevreyi korumak için ilk federal yasa "Solid Waste Disposal Act" olarak 1965 yılında yayınlanmıştır. Bu yasa 1976 yılında "Resource Conservation and Recovery Act-RCRA" olarak düzenlenmiştir. 1984 yılında RCRA tekrar revize edilerek "Hazardous and Solid Waste Amendments-HSWA" olarak daha genişletilmiş halde yayınlanmıştır. Ayrıca A.B.D'nde 1980 yılında zararlı atk alanları ile ilgili "The Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act-CERCLA" yasası çıkmıştır.

A.B.D.'nde zararlı atık üreten, depolayan, uzaklaştıran ve taşıyan kişi ve kuruluşlar RCRA kuralları altında atıklarının zararlı atık kapsamına girip girmediğini tespit etmek ve daha sonra EPA (Environmental Protection Agency)'ya bilgi vermek zorundadırlar.

RCRA'ye göre bir atığın zararlı atık olması için atığın önce bir tanımının yapılması gerekir. Bu tanımlar ile zararlı atık saptanmasına esas olan yasal yöntem başlamaktadır. RCRA ve EPA zararlı atık yönetim mekanizması içerisinde tanımı ve tespiti yapılmış olan zararlı atıklar için zararlı atık özelliklerini ve zararlı atık listelerini oluşturmuştur.

Zararlı atık özellikleri, tutuşabilirlik, koroziflik, reaktiflik ve EP (ekstraksiyon prosedürü) zehirlilikten oluşmaktadır. Bunlar Zararlı Atık No. ları ve EP zehirlilik

özelliğine göre bileşenlerin maksimum konsantrasyonları halinde EPA tarafından listelenmiştir. Ek A'da Tablo A.1'de bu liste verilmektedir.

Zararlı Atık Listeleri (İçeren Listeler), aşağıdaki dört ana başlıkta kaynak bazında düzenlenmiştir.

1) Spesifik olmayan kaynaklardan gelen zararlı atıklar (F tipi atıklar)
2) Spesifik kaynaklardan gelen zararlı atıklar (K tipi atıklar)
3) Akut zararlı atıklar (P tipi atıklar)
4) Genel zararlı atıklar (U tipi atıklar)

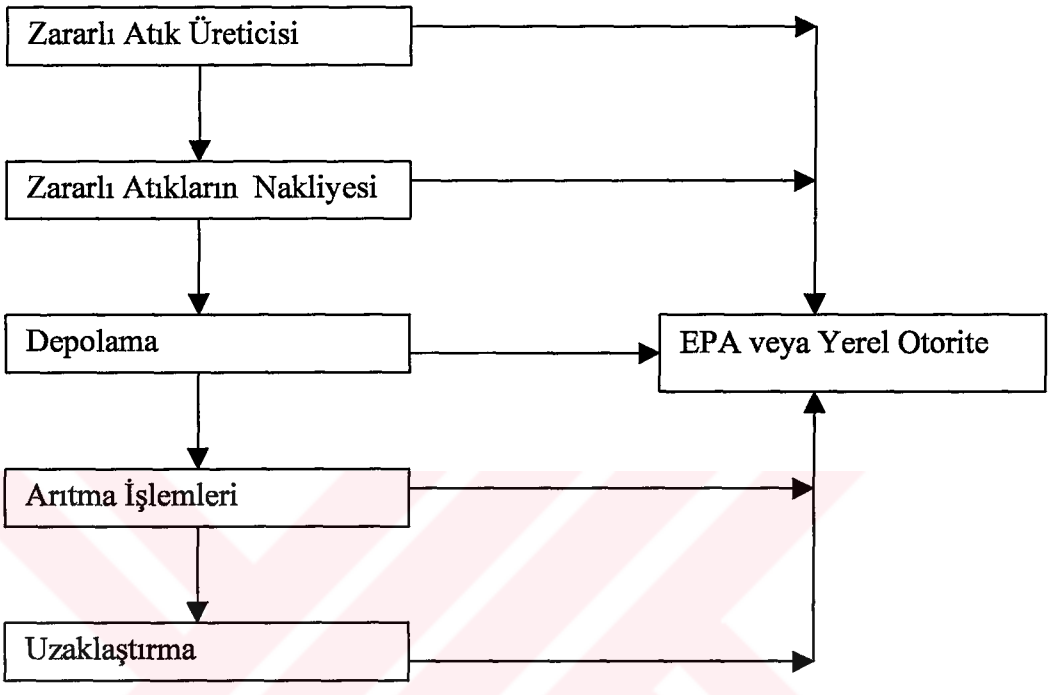
Bu listeler, ayrıca dışta bırakan bir liste yardımıyla daha anlaşılabilir bir şekle getirilmiştir. EK B'de yukarıda verilen dört tip kaynak bazlı zararlı atıkların listeleri verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise arıtma, depolama ve uzaklaştırma faaliyetlerinin yöntemleri ve belirlenmesi yapılmaktadır. Daha sonra bu faaliyetlerin özel türleri için standartlardan bahsedilmektedir. Yönetmeliğin son bölümleri uzaklaştırma için gerekli yasaklamaları ve kısıtlamaları RCRA'in talep ettiği gerekli izinleri ve programın yürütülmesi ile sorumlu izleme ve yaptırımları uygulayan idari mekanizmayı açıklamaktadır (LaGrega ve diğ. 1994; Talınlı ve diğ. 1995).

A.B.D'de zararlı atık yönetimi şematik olarak Şekil 2.5'te verilmektedir. EPA Zararlı Atık Yönetimini şu şekilde maddeler halinde vermektedir (Turan Ertaş, 1997).

1) İlk adımda üretilen zararlı atığın miktarını azaltmak,
2) "Atık değişimini" uygulamak (Bir fabrikanın zararlı atıkları bir başkasına hammadde olabilir),
3) Zararlı atıklar içinde bulunan metallerin ve diğer yararlı kaynakların geri kazanılması,
4) Kimyasal ve biyolojik arıtımla sıvı zararlı atıkları detoksifiye ve nötralize etmek,
5) 4. madde ve diğerlerinde üretilen atık çamurların suyunu alarak hacmini azaltmak,
6) Uygun kirlenme kontrolu ve izleme sistemleri ile donanımlı özel yüksek sıcaklıktaki insiratörlerde yanabilir zararlı atıkların imha edilmesi,

7) Metallerin sızıntı ile yayılımını azaltmak için 5 ve 6. maddelerden gelen çamurlar ve küllerin stabilize edilmesi / katılaştırılması,
8) Kalan arıtılmış kalıntıların özel dizayn edilmiş landfill alanlarında uzaklaştırılması.



Şekil 2.5. A.B.D.'nde Zararlı Atık Yönetimi (Turan Ertaş, 1997)

2.1.5.2. Türkiye'de Zararlı Atıkların Kontrolü İçin Yasal Çerçeve

Türkiye'de 27.08.1995 tarih ve 22387 sayılı Resmi Gazete ile "Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" adı altında bir yönetmelik ile zararlı atıkların kontrolüne yönelik bir yasal düzenleme getirilmiştir. Yönetmelik bölümleri itibari ile aşağıda özetlenmiştir (Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 1995).

➢ Yönetmeliğin birinci bölümünde;

- Amaç, kapsam, hukuki dayanak, tanımlar ve ilkeler verilmektedir.
- Amaç kısmında "ithalinin yasaklanması" ülke için en olumlu amaç maddesidir; çünkü Türkiye'de örneklerine rastlanmıştır (atık ticareti ve korsan boşaltımlar halinde).

- Tanımlar kısmında "Tehlikeli Atık" tanımı, Ek-1'de verilen "Atığı Üründen Ayıran Liste'yi", Ek-5 ve Ek-6 ile verilen "Genel Atık Kategorileri" ile "Ulusal Tehlikeli Atık Listesi'ni" ve Ek-7'de verilen "Tehlikeli Özellikler Listesi'ni" temel alarak yapılmaktadır.

- İkinci bölümde görev, yetki ve sorumluklar tanımlanmıştır. Buna göre Bakanlık, Valilik, Belediyeler, atık üreticileri ve bertaraf edenin yükümlülükleri kanunlar çerçevesinde oturtulmuştur.
- Üçüncü bölümde taşıma ile ilgili hükümler yer almaktadır. Bu hükümler çerçevesinde atığın lisanslı kişi ve kuruluşlarca taşınabileceği vurgulanarak, taşımada uyulacak esaslar verilmiştir.
- Dördüncü bölümde atığın bertarafına ilişkin hükümler yer almaktadır. Yönetmeliğimizde atıkların geri kazanılması ve tekrar kullanılması esastır. Bu durumların gerçekleşememesi durumunda yönetmelikte belirtilen çerçevede atıkların bertarafına gidilir.
- Beşinci bölümde ara depolama ve arıtım tesisleri ile ilgili hükümler yer almaktadır.
- Altıncı bölümde bertaraf tesislerine lisans verilmesi ile ilgili hükümler yer almaktadır.
- Yedinci bölümde düzenli depo tesisleri inşa ve işletimi ile ilgili hükümler yer almaktadır.
- Sekizinci bölümde atıkların sınır ötesi taşınımı esasları belirtilmiştir.
- Dokuzuncu bölümde ise diğer hükümler bulunmaktadır.

Aşağıda yönetmelikte yer alan ekler özetlenmiştir.

- Ek-1: Atığı üründen ayıran kriterler liste şeklinde yer almaktadır. Ancak liste bir yerde maddeyi, ürünü, bir yerde atığın kendisini tanımlayarak (kalıntı) kriterlere ters düşmektedir.
- Ek-2: Uygulamada karşılaşılan tüm bertaraf işlemleri burada verilen listede yer almaktadır.Bu liste bertaraf yöntemleri başlığında A ve B bölümlerinden oluşmuştur. A bölümünde kaynak geri kazanımı, yeniden işleme, arazi ıslahı, tekrar kullanım gibi yöntemlere olanak vermeyen yöntemler başlığı vardır. B bölümünde ise, A'nın tersine geri kazanmaya, yeniden işlemeye olanak veren yöntemler listelenmiştir.

- Ek-3: Zararlı atık üretilmesine neden olan aktiviteler listelenmiştir. Buna göre aktiviteler;
  - Ziraat Çiftçilik Endüstrisi
  - Enerji
  - Metalurji- Makine ve Elektrik Mühendisliği
  - Non-Metalik Mineraller-İnşaat Malzemeleri- Seramik, Cam
  - Birincil Kimya Endüstrisi
  - Birincil Kimyasallara Bağlı Ürünleri Üreten Endüstriler
  - Tekstil ve Deri- Ağaca Dayalı ve Mobilya Endüstrisi
  - Kağıt-Mukavva-Baskı
  - Ticari Hizmetler
  - Genel Hizmetler
  - Evsel Üretim
  - Kirlilik Kontrolü- Atık Bertarafı
  - Yeniden Üretim-Geri Kazanım

ana başlıkları altında toplanmış ve her birinin içinde ana aktivite ile ilgili tüm alt gruplar açıklanmıştır.

- Ek-4: Zararlı atık işaretleri yer almaktadır. Atığın tanımlanması, özellikle taşınımı sırasında atığın tehlikeli özelliğini ortaya koyan göstergeler olarak olumlu şekiller listesidir.
- Ek-5: Tehlikeli atık listesi başlığı altında genel atık kategorileri verilmiştir. Buna göre Y1-Y18 arasında karışık bir şekilde bazen proses tanımını bazen genel endüstri kategorisini vererek bir liste yapılmıştır.
- Ek-6:Ulusal Tehlikeli Atık Listesi verilmektedir. Bu listede Ek-5'de Y1-Y18 arasında verilen genel atık kategorilerindeki kaynak bazlı atıklar, kaynakları başlığında detaylandırılarak belirli kod numaraları ile önce atığın olası içeriği ile olası kaynağı, sonra ise atık türü, tehlikeli özelliği ve yasal bertaraf yöntemleri yer almaktadır.
- Ek-7: Ek-6 tanımlarına ek olarak atığın türü yanında atığın tehlikeli özellikleri de tanımlanmıştır. Burada patlayıcı, parlayıcı sıvılar, oksitleyici, organik peroksitler, zehirli (akut), enfeksiyonel maddeler, korozif maddeler, toksik, ekotoksik gibi özelliklerin tanımları yer almaktadır.
- Ek-8: Çevre Bakanlığı atık beyan form örneği yer almaktadır.

- Ek-9: Ulusal atık taşıma formları yer almaktadır.
- Ek-10: Bildirim formu açıklama klavuzu verilmiştir.
- Ek-11A: Atıkların yer üstü depo tesislerine depolanabilme kriterlerini gösteren bir tablodur. Bu tabloda bir takım parametreler için hem tehlikeli hem de inert atıklar açısından kriterler miktar belirtilerek verilmiştir.
- Ek-12: Evsel katı atık depo tesislerine depolanmasına izin verilen atık konsantrasyonlarını listelemektedir. Atık madde kolonunda asitler, ağır metaller, siyanür, fenol, yağ ve TOC gibi on dört adet tekil parametre verilmektedir.
- Ek-13: Evsel katı atık depo tesisine depolanması yasak olan atıklar listelenmektedir.
- Ek-14: Zararlı atık depo tabanı sızdırmazlık sistemi şematik olarak verilmiştir.
- Ek-15: Zararlı atık depo, işleme ve ara depolama tesislerine lisans alınması için yapılacak başvuruda bulunması gerekli bilgi ve dökümanlar yer almaktadır.
- Ek-16: Atık yakma tesisinde verimlilik ve emisyon değerleri ile ölçüm teknikleri yer almaktadır.
- Ek-17: Dioksinler ve dibenzofuranlar için toksisite eşdeğerlik faktörleri yer almaktadır (Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 1995).

Yukarıda incelenen Türkiye'de zararlı atıkların kontroluna ilişkin yönetmelik, Türkiye'de diğer çevre koruma yönetmeliklerinde olduğu gibi uygulanamamazlık problemi ile karşı karşıyadır. Yönetmelik derinlemesine incelendiğinde, problemin yönetmelikteki teknik esasların yanlış aksettirilmesinden kaynaklandığı görülecektir (Talınlı ve diğ. 1995).

2.2. Solidifikasyon/Stabilizasyon (S/S) Teknolojisi

Çeşitli endüstriyel atıksu arıtma proseslerinden kaynaklanan, zararlı atık özelliği taşıyan arıtma çamurları ve üretim proseslerinden kaynaklanan zararlı atıkların uzaklaştırılması için en yaygın uygulama düzenli depolamadır. Ancak düzenli deponi sahasında su, toprak ve havaya karışması halinde sakınca yaratabilecek atıkların bazı ön işlemlerden geçirilmesi zorunludur. Deponi sızıntı sularında, çok ciddi problemlere sebep olan ağır metallerle karşılaşılır. Sızıntı sularında ağır metal konsantrasyonları yüksek değerlere ulaştığı zaman yeraltı suyu kaynaklarını kirletir. Bu metallerin çevre ve insan üzerine kanserojenik veya toksik etkileri vardır. Ayrıca bu metaller hidrolojik çevrim yoluyla halk sağlığını tehdit eder (Cheeseman ve diğ. 1998).

Zararlı atıklar özel işlemlerden geçirildikten sonra ve içerisindeki tehlike yaratan kirleticiler minimum düzeye indirildikten sonra uzaklaştırılmalıdır. Deponi sahasında hacim azalması sağlanması, zararlı atıkların ihtiva ettiği tehlikeli özelliğinin sızıntı suyuna geçişinin önlenmesi amacıyla uygulanan en yararlı yöntem S/S teknolojisidir. Bu teknoloji zararlı atıkların yönetiminde yaygın olarak uygulanan bir metottur. Bu teknolojilerin uygulama alanları; 1) zararlı atık alanlarının iyileştirilmesi, 2) diğer atık proseslerinden çıkan atıkların arıtımı (örneğin termal arıtımdan kaynaklanan küller), 3) kirletici içeren topraklar büyük miktarlarda olduğu zaman kirleticilerin arıtılması olarak sayılabilir.

S/S teknolojisi, çimento gibi bağlayıcı özelliğe sahip katkılar kullanılarak atıkları daha stabil hale dönüştüren, bir başka deyişle daha az toksik forma dönüştüren teknolojilerdir. S/S, tehlikeli endüstriyel çamurlar için uygun bir arıtma tekniğidir, çünkü solidifikasyon ile zararlı atık bileşiklerinin katıya benzer yapılarda tutunması sağlanır ve atık bünyesindeki kirleticiler sabitlenir, böylece atıkların tehlikelilik özelliği giderilip, bu bileşenlerin sızıntı içinde bulunmaması sağlanarak doğaya zararı engellenmiş olur. Diğer bir deyişle, S/S prosesi , toksik maddelerin kararlı formlara dönüştürüldüğü bir sabitleme prosesidir. Bu uygulama ile atıktan bileşenlerin sızması minimuma indirilerek atığın toksisitesi azaltılmış olur ve atığın tehlikeli olma özelliği giderilmiş olur. Çamurun sıvı kısmının önemli

bir bölümü çamur katılaştırma sayesinde elimine edilebilmekte ve bu şekilde çamur hacminde azalma söz konusu olmaktadır (Sharma and Lewis, 1994; LaGrega ve diğ. 1994; Conner, 1990).

Çimento ile solidifikasyon işleminin temel prensibi; uygun bir katı ürün elde etmek üzere çimento-atık karışımı içinde çimentonun hidratasyon etkisidir. Yani çimentonun su ile priz yapıp sertleşmesi olayıdır. Kireç, çimento, alçı gibi malzemeler, su eklenmesi ile plastik bir hamur haline gelen ve zamanla plastikliğini kaybedip sertleşen; bağlayıcı özelliği olan malzemelerdir. Başlangıçta bu hamura istenen şekil verilebilir. Belirli bir süre sonra hamur katılaşmaya başlar, plastik şekil değişimi yapma yeteneğini kaybeder. Bu olaya priz denir. Çimento ile katılaştırma işleminde meydana gelen olaylar; katı formu oluşturan kalsiyum silikat hidratlarının ve kalsiyum alüminat hidratlarının hidratasyon prosesleri ile kütle içinde bağ yapı oluşturmasıdır. Atık bileşenleri adsorbsiyon ve hapsetme mekanizmaları ile hamur bünyesinde katılaşır, katılaşma sona erince malzeme zamanla belirli bir dayanım kazanır (Filibeli, 1998).

RCRA'a göre , eğer zararlı atıklar geri kazanma yoluyla elimine edilemez ise, yakma ve kaynağında azaltma ile solidifikasyon ve stabilizasyon zorunlu kılınmıştır. USEPA, sızıntı suyu toplama ve bertaraf sistemine sahip olan bir atık içeren bir sistemde yarı katı ve sıvı atık şeklinde olan çamurların bertarafına izin verir. Serbest sıvı akışının önlenmesini sağlamak için toprak, uçucu kül, çimento, kil gibi stabilize edici / katılaştırıcılar ile atıklar karıştırılır (Cocke, 1990; Sharma and Lewis, 1994).

Ayrıca solidifikasyon ile zararlı atık sıkıştırıldığında dayanıklılık ve sızdırmazlık artar, permeabilite ise düşer. Bu şekilde solidifikasyon, ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirerek deponi metodu için bir ön hazırlık sağlamış olur veya oluşan katılaştırılmış malzeme belli bir dayanıma sahip olur. Sızıntı testleri ile final ürünün tehlikeli olmadığı ortaya konursa bahsedildiği gibi bu ürünün yapı malzemesi olarak tekrar kullanılabilirliği mümkündür (LaGrega ve diğ. 1994). Elde edilen malzeme düzenli depolama sahalarında örtü materyali, yol inşaatlarında dolgu materyali olarak, tuğla yapımında ve arazi rekreasyonunda kullanılabilir. Böylece atığın çevreye zararlı olmaktan öte yararlı olabilecek yönde kullanımı da gerçekleştirilmiş olacaktır. Solidifikasyon işlemi için öncelikle analitik yöntemlerle atığın karakterize edilmesi gerekir. Atığın özelliklerine uygun katılaştırma yöntemi

ve özel katkı maddelerinin seçilmesi; atığın bünyesindeki tehlikeli maddelerin ön işlemlerle yeterince stabilize edilmesi ve seçilen yönteme göre katılaştırma işleminin yapılması izlenmesi gereken yol olmalıdır (Filibeli, 1998).

S/S teknolojisi zararlı atıklar için uygun bir arıtma tekniğidir, çünkü zararlı atık bileşenleri katılaştırılmış ürün içine kilitlenirler ve bu bileşenler sızıntı içinde bulunmazlar. Sızma, bileşenlerin stabilize bir yapıdan su gibi sıvı bir ortama geçmesi prosesidir. Bazı önemli çevresel problemlere sebep olmamak için solidifiye/stabilize atıkların sızıntı değerleri düşük olmalıdır. Aksi taktirde bu sızıntı suları yeraltı su kaynaklarını kirletir ve hidrolojik çevrim yoluyla halk sağlığını olumsuz yönde etkiler (Conner, 1990; LaGrega ve diğ. 1994).

S/S teknikleri, özellikle ağır metal ve inorganik tuzları içeren atıklar üzerine etkilidir. Bunula birlikte, bazı prosesler kapsüllenemeyen organik bileşenleri de içine alır. Pb, Cd, Cu, Cr ve Zn gibi yüksek kirletici ağır metalleri içeren inorganik katı atık ve çamurlar, solidifikasyon çalışmalarında en çok kullanılan atıklardır. Bununla birlikte, çimento ve diğer bağlayıcıların kirletici bileşenler ile girişimi sonucu oluşan, tam olarak anlaşılamayan reaksiyonların sonucunda oluşan fiziksel ve kimyasal değişiklikler çok uzun süreler bu tekniklerin kullanımını sağlar (Conner, 1990; Balkan, 1999).

2.2.1. Solidifikasyon/Satabilizasyon Teknolojilerindeki Kavramların Tanımlanması

Solidifikasyon işlemi kimyasal reaksiyonların yer aldığı stabilizasyon işlemini de kapsar, fakat aynı zamanda katı madde kütlesi içinde atık partiküllerinin veya moleküllerinin fiziksel olarak bağlanması olayı da mevcuttur (Wiles and Howard, 1988; Sollars and Perry, 1989; Şenol, 1993). Bu nedenle çalışmalarda hem yüksek mukavemet hem de düşük sızıntı istendiğinden dolayı , bu çalışmalar solidifikasyon /stabilizasyon olarak adlandırılır. Buradan da anlaşılacağı gibi solidifikasyon işlemi stabilizasyon , sabitleme ve kapsülleme gibi olayları da kapsamaktadır. Bu nedenle bu kavramların tanımlarını vermekte fayda vardır:

2.2.1.1. Solidifikasyon

Sıvı, katı veya çamur formundaki atıktan, homojen bir katı kütle oluşturmak üzere, atığın yapısını ve fiziksel özelliklerini geliştiren çeşitli materyallerin ilave edildiği proses solidifikasyon olarak tanımlanır. Solidifikasyon metodunda bileşenlerin sızmasında azalma olmalı, ancak solidifikasyon bağlayıcıları ile atık bileşenler arasında kimyasal bağ oluşabilir veya oluşmayabilir.

"Solidifikasyon" ve "stabilizasyon genelde aynı anlamda kullanılmakla beraber, tam olarak aynı anlama gelmezler. Daha öncede açıklandığı gibi, solidifikasyonda yüksek yapısal bir bütünlük (mukavemet) kazandırılır ve atık yapısındaki serbest haldeki su bağlanır. Katı yapıda bazı hidratasyon reaksiyonları oluşur ve bu serbest su, katı yapıya katılır.

Bu nedenle, solidifikasyon katı atıklara da uygulanabilir, ancak bu durumda katılaştırmada kullanılan bağlayıcılara bir miktar suda ilave edilmesi gerekir (Dutre' and Vandecasteele, 1993).

2.2.1.2. Stabilizasyon

Stabilizasyon, atığı dönüştürerek ve tehlikeli bileşenleri bir form içinde tutarak, çevreye kirletici taşınımını minimize etmek, toksisite seviyesini azaltmak ve atığın tehlikeliliğini azaltmak için çeşitli kimyasal katkıların kullanıldığı bir prosestir. Diğer bir deyişle, atığın kimyasal olarak kararlı bir forma dönüştürüldüğü bir prosestir. Bu terim solidifikasyonu da içerir, ama aynı zamanda toksik bileşiği toksik olmayan yeni bir bileşiğe dönüştüren bir kimyasal reaksiyonu da içerir. Stabilizasyonda,

- atığın fiziksel özelliklerini iyileştiren,
- kirletici transferi veya kaybının meydana geldiği yüzey alanını azaltan,
- atık içindeki herhangi bir kirleticinin çözünülürlüğünü sınırlayan,
- kirleticinin toksisitesini azaltan kimyasal maddeler ilave edilir (LaGrega ve diğ. 1994).

2.2.1.3. Kimyasal Sabitleme

Kimyasal sabitleme, toksik kirleticilerin tutularak çözünemeyen bileşikler halinde toksik olmayan yeni formlara dönüştürülmesi anlamına gelir. Bu proses ile atığın fiziksel özellikleri gelişir, kirletici transferi yada kaybının gerçekleştiği yüzey alanı azalır, atıkta bulunan tüm kirleticilerin çözünürlüğü sınırlanır ve kirleticilerin toksik özelliği azalır.

2.2.1.4. Kapsülleme

Toksik maddelerin yeni bir madde ile (örneğin S/S katkıları veya bağlayıcılar) kaplanması veya kuşatılması prosesine kapsülleme denir. Kirletici partiküllerin tek tek kapsüllenmesine mikro kapsülleme, yığınlar halindeki partiküllerin kapsüllenmesine makro kapsülleme denir (LaGrega ve diğ. 1994).

2.2.2. Solidifikasyon İşleminin Amaçları

Solidifikasyon işleminin temel amacı sıvı, katı veya çamur formundaki zararlı atıktan katı bir ürün elde etmek ve zararlı atığın çevreye olan zararını önlemektir.

Zararlı atık, bu yöntem ile içerdiği kirleticiler açısından standart değerleri sağlayan konvansiyonel atık karakterine dönüştürülür. Böylece zararlı atık uzaklaştırılmasında, atık azaltımı ve aynı zamanda geri kazanım ile ekonomik bir yönetim biçimi kazandırılmış olur.

Solidifikasyon / stabilizasyon teknolojisinin ana amaçları aşağıdaki gibidir:

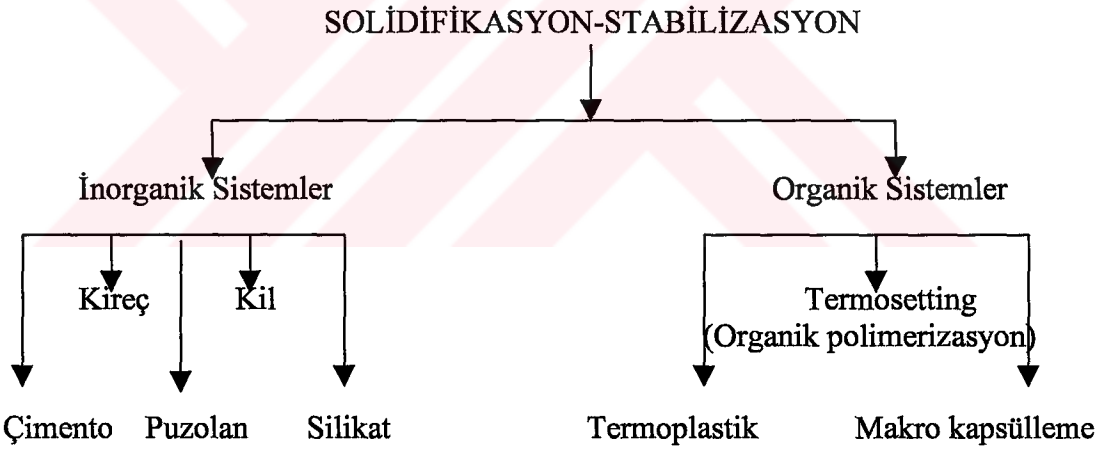
- ✓ Zararlı atık bileşelerinin izin verilebilir limitlerde tutulması,
- ✓ Sıvı atık veya çamurdan katı madde üretimi,
- ✓ Atık özellikleri ele alınarak fiziksel gelişim sağlanması,
- ✓ Birbirleri sayesinde atık bileşenlerin transferini engelleyerek yüzey alanını azaltmak,
- ✓ Sızıntı sıvısı oluştuğu zaman bileşenlerin hareketliliğini azaltarak limitlenmesini sağlamak,
- ✓ Toksik atıkları toksik olmayan formlara dönüştürmek,
- ✓ Biyolojik ve kimyasal bozunmaya karşılık, katılaştırılmış maddeleri dayanıklı hale getirmek,

- ✓ Emniyetli bir giderim metodu haline getirmek ve katılaşmış maddelerin bir yapı malzemesi olarak tekrar kullanımını sağlamak,
- ✓ Akışkanlar ile temas ettiği zaman kirletici çözünürlüğünü azaltmak (Conner, 1990; Dutre' and Vandecasteele, 1993; LaGrega ve diğ. 1994).

2.2.3. Solidifikasyon /Stabilizasyon Teknolojilerinin Genel Kategorileri

Solidifikasyon sistemleri organik ve inorganik sistemler olmak üzere iki genel kategoride incelenir. Bu kategoriler atık kompozisyonuna göre değil, kullanılan solidifikasyon katkıları temel alınarak belirlenir. Solidifikasyon kimyasal katkıları sinerjistik bir durumda birbirleriyle bağlantılı bir şekilde kullanıldığı için, bu yaklaşım kimyasal maddelerin her birinin hareket mekanizmasının incelenmesine imkan tanıyacaktır(Conner, 1990; LaGrega ve diğ. 1994).

Bu iki kategori içinde farklı tipte prosesler kullanılır. Bu prosesler aşağıdaki Şekil 2.6.'da özetlenmiştir.



Şekil 2.6. Solidifikasyon/ Stabilizasyon işlemleri (Filibeli, 1998)

Tablo 2.3'de belli atık tipleri için solidifikasyon katkılarının her birinin etkinliği gösterilmektedir. Tablo 2.3'ün uygulanması, kirleticilerin konsantrasyonu, katkı maddesinin miktarı ve çeşitli kirleticilerin ve kimyasal maddelerin sinerjistik etkileri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Tablo 2.3'deki bilgiler, bir ön eleme için ve laboratuar ölçeğinde çalışmalar yürütmek için faydalıdır.

Tablo 2.3. Atık solidifikasyon/stabilizasyonunda katkı maddelerinin uygulanabilirliği (LaGrega ve diğ. 1994)

Atık Bileşimi	Çimento-bazlı	Pozolan-bazlı	Termoplastik	Organik polimer
Polar olmayan organikler: yağ ve gres, aromatik hidrokarbonlar, halojenli hidrokarbonlar, PCB'ler	Katılaşmayı engelleyebilir. Uzun vadede sağlamlığı azaltabilir. Uçucular, karışımla birlikte kaçabilirler. Çeşitli şartlar altında etkinliği ispatlanmıştır.	Katılaşmayı engelleyebilir. Uzun vadede sağlamlığı azaltabilir. Uçucular karıştırmayla kaçabilirler. Belli şartlar altında etkinliği gösterilmiştir.	Organikler, sıcaklıkla buharlaşabilirler. Belli şartlar altında etkinliği gösterilmiştir.	Katılaşmayı engelleyebilir. Belli şartlar altında etkinliği gösterilmiştir.
Polar organikler: alkoller, fenoller, organik asitler, glikoller	Fenol, katılaşmayı önemli ölçüde geciktirecektir ve kısa vadede sağlamlık azaltır.	Fenol, katılaşmayı geciktirecektir ve kısa vadede sağlamlığı azaltacaktır. Alkoller katılaşmayı geciktirir. Uzun vadede sağlamlığı azaltabilir.	Organikler sıcaklıkla buharlaşabilirler.	Katılaşma üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır.
Asitler: Hidroklorik asit, hidroflorik asit	Katılaşmaya önemli bir etkisi olmayacaktır. Çimento asitleri nötralize edecektir. Tip II ve IV portland çimentosu Tip I'den daha iyi sağlamlık karakteristikleri gösterecektir. Etkinliği gösterilmiştir.	Katılaşma üzerinde önemli bir etkisi yoktur. Uyumludur, asitleri nötralize edecektir. Etkinliği ispatlanmıştır.	İlişkilendirilmeden önce nötralize edilebilirler.	İlişkilendirilmeden önce nötralize edilebilir. Ureaformaldehitin etkili olduğu gösterilmiştir.
Oksitleyiciler: sodyum hipoklorit, potasyum permanganat, nitrik asit, potasyum dikromat	Uyumludur.	Uyumludur.	Yapının kırılmasına, yanmasına neden olabilir.	Yapının kırılmasına, yanmasına neden olabilir.
Tuzlar: Sülfatlar, halitler, nitratlar, siyanatlar	Katılaşma süresini artırır. Sülfatlar katılaşmayı geciktirebilir ve özel çimento kullanılmadıkça parçalanmaya neden olabilir. Sülfat diğer reaksiyonları hızlandırabilir.	Halitler kolayca sızarlar ve katılaşmayı geciktirirler. Sülfatlar reaksiyonları geciktirebilir veya hızlandırabilir.	Sülfatlar ve halitler dehidrate ve rehidrate olabilirler ve yarıklar oluşmasına neden olabilirler.	Uyumludur.
Ağır metaller: kurşun, krom, kadmiyum, kadmiyum arsenik, cıva	Uyumludur. Katılaşma süresini artırabilir. Belli şartlar altında etkinliği gösterilmiştir.	Uyumludur. Belli türler üzerindeki etkinliği gösterilmiştir(kurşun, kadmiyum, krom).	Uyumludur. Belli türler(bakır, arsenik, krom) üzerinde etkinliği gösterilmiştir.	Uyumludur, arsenikle birlikte etkinliği gösterilmiştir.
Radyoaktif maddeler	Uyumludur	Uyumludur.	Uyumludur.	Uyumludur.

2.2.3.1. İnorganik Sistemler

Genel olarak inorganik atıklara, özellikle metal katyonları içeren atıklara uygulanır. Bu yöntem ile toksik olmayan, çevre açısından emniyetli ve depolamada kullanılabilen materyaller elde edilir. Bu proseste atık bileşenleri ile reaksiyona giren inorganik maddeler kullanılır. Ayrıca form olarak kimyasal ve mekanik stabil katılar birbiri içine girerek reaksiyon oluşturur. Bağlayıcılar, katalizörler ve sabitleyici maddeler arasında meydana gelen reaksiyonları temel alır. Oluşan yapı tipi toprak veya kayaya benzeyen stabil, yüksek engime noktasına sahiptir ve sert özellik gösterir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İnorganik sistemler, kimyasal karışım ve kompleks atıkların ve/veya bunların karışımlarının solidifikasyonunda kullanılırlar. Son ürün, toksik olmayan, çevre için güvenli ve düzenli deponiye uzaklaştırılabilir özelliklere sahiptir. Bu proseslerde inorganik materyaller kullanılır bu maddeler atık ürünleri ile reaksiyona girerler ayrıca kendi içlerinde de reaksiyonlara girerek, kimyasal ve mekaniksel formda stabil katılar meydana getirirler. Bu sistemlerde katı yapı üretmek için, bağlayıcı, katalizör ve kurulma reaksiyonları kontrol edilir. Oluşan ürünler, birçok katı ve kaya parçalarında bulunan, kararlı özelliklere sahip olmalıdır. Bu özellikler stabilite, yüksek ergime noktası, sertlik ve gevrekliktir. (Conner, 1990)

İnorganik sistemleri kullanılan malzemeye göre incelersek;

A) Çimento Esaslı Sistemler:

Zararlı atıkların solidifikasyon/stabilizasyonunda başlıca katkı maddesi olarak sık sık çimento kullanılır. Çimento esaslı sistemler; özellikle Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn gibi metalleri içeren metal kaplama endüstrisi atıkları başta olmak üzere, PCB içeren komplex atıklar, yağ ve çamurlar, klor ve etildiklor içeren atıklar, reçineler, plastikler, asbest ve sülfit içeren atıklar için uygun sistemlerdir. Asbest, plastik ve benzerleri karışımın dayanımını ve kararlılığını arttırabilir.

Çimento esaslı metod çoğunlukla ağır metal içeren inorganik atıkların sabitlenmesi için kullanılır. Çimento bazlı stabilizasyon için atık malzemeler çimentoyla karıştırılır ve ardından eğer atık su içermiyor ise hidrasyon için gerekli su ilave edilir. Çimentonun hidrasyonu, kalsiyum alumino-silikat içeren bir kristal yapısı oluşturur. Bunun sonucunda, kayaya benzer, monolitik, sertleştirilmiş bir kütle oluşur. Tanım olarak beton, hidrate çimento ve agrega içeren bir partikül kompozitidir.

Organik kirleticiler hidratasyon prosesi ile girişim yaparak sonuç dayanıklılığını düşürür ve kolay stabilize olmazlar. % 1-2'den fazla organik bileşen içeren atıkların katılaşması güçtür, oluşan ürün dayanıksızdır ve organikler kolayca sızabilir. Ayrıca organik malzeme, dayanım kazanma ve katılaşma süresini olumsuz yönde etkiler. Bu olumsuz etkileri minimuma indirmek için çimento ile birlikte doğal killer, sodyum silikat ve vermiculit kullanılabilir (LaGrega ve diğ. 1994; Balkan, 1999).

Çimento yüksek pH değerine sahip olduğundan dolayı ağır metalleri hapsederek, asidik atıkların nötralizasyonunu sağlar. Çözünmüş metal iyonları, çözünemeyen hidroksil ve karbonat tuzları formunda kalır , bu hidroksiller ve karbonat tuzları çimento yapısı içinde kapsüllenir ve hapsedilir. Çalışmalar kurşun, bakır, çinko, kalay ve kadmiyumun kimyasal fiksasyon yoluyla yapı(matriks) içerisinde tutulduğunu, cıvanın ise fiziksel makro kapsülasyonla hapsedilerek, çözünmeyen bileşikler oluşturduğunu göstermiştir(Conner, 1990; LaGrega ve diğ. 1994).

Spesifik bir kirleticinin stabilize edilmiş çimento yapısıyla reaksiyon gösterip göstermeyeceğini belirlemek güçtür. Zararlı atıkların çimentoyla bağlanma kimyası üzerine bir çalışmada, kurşun ve krom metallerinin yerleşimleri gözlenmiştir. Sonuçlara göre, kurşun hidratlanmış çimento partiküllerinin dış yüzeyinde çökelmiş ve krom hidratlanmış çimento partikülleri boyunca daha yaygın ve daha uniform olarak yayılım göstermiştir.

Çimentoyla stabilizasyon, inorganik atıkların fiksasyonu için önemli ölçüde kullanılmaktadır. İnorganiklerin stabilizasyonunun bu kadar yaygın kullanımı, 1)daha iyi alternatiflerin eksikliğinden (örn. metaller biyolojik olarak parçalanamaz ve ısıl işlemlere tabi tutulduklarında atomik yapılarını değiştirmezler), 2) çökelme ve adsorpsiyon gibi fizikokimyasal mekanizmaların mevcut ve anlaşılmış olmasından kaynaklanmaktadır.

Çimento esaslı stabilizasyonun çeşitli avantajları vardır. Çimento teknolojisi, üretme, karıştırma, katılaştırma ve sertleştirme açılarından oldukça iyi bilinmektedir. Çimento, inşaat alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır, bunun sonucunda malzeme fiyatları daha düşük, personel ve ekipman kolayca bulunur durumdadır. Çimento hidrasyonu için su gerektiğinden, ıslak çamur ve atıkların çok fazla susuzlaştırılması gerekli olmayabilir. Malzemeyi pompalanabilir hale getirmek için çimento esaslı stabilizasyon yeterli suyla sürdürülebilir. Sistem atığın kimyasındaki salınımları kaldırabilir. Sonuçta, çimentonun alkalinitesi, asidik atıkları nötralize edebilir. En belirgin dezavantaj, çimentonun uygun hidrasyonu geciktirebilecek veya önleyebilecek ve sonuçta malzemenin sertleşmesine neden olacak kirleticilere hassasiyetidir (LaGrega ve diğ. 1994).

Normal (adi) çimentoda tipik ağırlık özellikleri, %50 C_3S, %25 C_2S, %10 C_3A, %10 C_4AF ve % 5 diğer oksitlerdir. Yüksek alüminyum oksitli çimento, adi çimentoya

kıyasla oldukça hızlı katılaşır, fakat dayanıklılığı uzun periyotlar boyunca azalabilir. Çimento tipleri ve kompozisyonları Tablo 2.4' de özetlenmiştir.

Çimento esaslı sistemler iki genel tipe ayrılabilir;

1) Yalnız portland çimentosu
2) Sönmemiş kireç, kil, sodyum silikat, uçucu kül ve sortbentler gibi diğer katkılarla birlikte portland çimentosu

1) *Portland Çimentosu:* Kullanılan birçok çimento çeşidi arasında en yaygın olarak kullanılan ve en iyi sonuç veren portland çimentosudur. Portland çimentosu, kireç taşı ve kilin (veya bazı diğer silis kaynakları) beraber 2700 F civarında ısıtılarak cüruf kütlesine dönüşmesiyle elde edilir. Az miktarda jips ilavesi ile cüruf daha iyi bir güce sahip olur.

Portland çimentosu içeriğinde;

Trikalsiyum silikat ($3\ CaO\text{-}SiO_2$)
Dikalsiyum silikat ($2\ CaO\text{-}SiO_2$)
Trikalsiyum alümünat ($3\ CaO\text{-}Al_2O_3$)
Tetrakalsiyum alüminoferrit ($4\ CaO\text{-}\ Al_2O_3\text{-}\ Fe_2O_3$) bulunur (Balkan, 1999).

En basit formuyla, oluşan reaksiyonlar aşağıdaki eşitliklerle açıklanabilir:

- trikalsiyum silikat reaksiyonu,

$$2(3CaO.SiO_2)+6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O+3Ca(OH)_2$$

- dikalsiyum silikat reaksiyonu,

$$2(2CaO.SiO_2)+4H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O+3Ca(OH)_2$$

- portland çimentosundaki en hızlı reaksiyon,

$$3CaO.Al_2O_3+6H_2O \longrightarrow 3CaO.2Al_2O_3.6H_2O + \text{ısı}$$

Tablo 2.4. Çimento Tipleri ve Kompozisyonları (Conner, 1990)

Tipi:	Tanımı:
ASTM Tip 1	Genel amaçlı Portland Çimentosu ve genellikle en az pahalı olandır. S/S çalışmalarında en fazla kullanılandır (CSA "Normal").
ASTM Tip 1A	Tip 1'in aynısıdır. Fakat donma-erime ve pul pul dökülmeyi engelleyici hava süzülmesiz etkenler içerir.
ASTM Tip 2	Genelde belirli bir miktar sülfat aşındırmasının beklendiği ve belirli bir hidrasyon ısısının gerektiği yerlerde kullanılır. (CSA "Orta Seviye")
ASTM Tip 2A	Tip 2'nin aynısıdır. Fakat hava süzülmesiz etkenler içerir.
ASTM Tip 3	Yüksek başlangıç mukavemeti gerektiren hallerde ve soğuk havalarda kullanılır. (CSA "Yüksek Başlangıç Mukavemeti")
ASTM Tip 3A	Tip 3'ün aynısıdır. Fakat hava süzülmesiz etkenler içerir.
ASTM Tip 4	Düşük hidrasyon ısısı, sıcaklık yükselmesinin kontrol edilmesi gereken büyük yapılarda kullanılır.
ASTM Tip 5	Toprak ve yer altı suları ile yüksek sülfat içeren yerlerde kullanılır. Mukavemeti yavaş gelişir. (CSA "Sülfata Dirençli")
ASTM Tip IS. IS-A	Portland/yüksek fırın cürufu çimentolarıdır. Son tarifi hava süzülmesiz etkenler içerir. Düşük başlangıç mukavemeti, fakat sertleşme Tip 1'deki aynı değere nazaran daha yavaştır. Avrupa'da Birleşik Devletleri'nde daha yaygındır.
ASTM Tip IP, P	Pozzolan içeren çimentolardır. Uygun oranda pozzolan ile çimento cürufunun katılıp öğütülmesiyle elde edilir. Kullanımı ve özellikleri Tip IS'e benzer. Ayrıca hava süzülmesiz cinstedir.
Duvarcılık Çimentoları	Duvarcılıkta ve tuğla bağlamada harç olarak kullanılır. Genellikle bir veya daha fazla sönmüş kireç, kireç taşı, tebeşir, dış kabuk, talk (hidratlı doğal magnezyum), cüruf veya kil içerir. İyi işlenebilme, su desteği, plastiklik.

Tablo 2.4. Çimento Tipleri ve Kompozisyonları (devamı)

Tipi:	Tanımı:
Doğal Çimentolar	Portland Çimentosu gibi aynı materyallerden yapılırlar. Fakat sinterleşme (cüruflaşma) noktasının altında düşük sıcaklıklardadır. Daha çok su kirecine benzer.
Genişleyici Çimento	Cüruf ve "kalsiyum sülfo alüminat çimen tosu". (sönmüş karışım %50 jips, %25 boksit ve %25 tebeşir.) Hidrasyonda yavaşça genişler (ettringite oluşumu nedeniyle)
Yüksek Alümina	Portland Çimentosu değildir. Oldukça yüksek mukavemete çabucak ilerler, fakat uzun dönemli stabilite problemleri vardır. Sertleşme yavaştır.
Su Geçirmez Çimento	Çimento cürufuyla az miktarlarda kalsiyum, alüminyum veya diğer stearatların katılıp öğütülmesiyle yapılır.
Plastik Magnezya	Magnezyum oksiklorür çimentosu olarak da bilinir. Portland Çimentosu değildir. Magnezyum klorür solüsyonuna MgO katılmasıyla elde edilir. Reaksiyon ürünü serttir, Fakat suya dirençli değildir.

Not: ASTM 8 tip Portland Çimentosu tanımlarken, Kanada Standartlar Birliği (CSA) 5 tane tanımlar.

Portland çimentosu uzun yıllardan beri, radyoaktif atıkların solidifikasyonu için ve zararlı bileşimler içeren diğer atıkların solidifikasyonu için tek başına kullanılmıştır. Japonya'da 1974'te civa içeren 47000 ton çamurun, okyanusa boşaltımından önce beton solidifikasyonuna uğratıldığı açıklanmıştır.

Portland çimentosu prosesinde, atığın içerdiği su portland çimentosuyla kimyasal olarak reaksiyona girerek, hidrate silikat ve alüminat bileşiklerine dönüşür. Atıktaki katılar, betona dönüşmek üzere toplayıcı davranırlar. Buna karşın ıslak atıklarda karşılaşılan katı tipleri düşük dayanıklılıkta beton oluşturabilir. Atığın ve portland çimentosunun optimum kombinasyonu ve bazı katkılar, atığın tipi ve kompozisyonuna bağlı olarak değişir.

Portland çimentosu işlenebilme sağlayabilmek için minimum miktarda su gereksinimindedir. Bu minimum suyun çimentoya oranı yaklaşık olarak 0,3- 0,4 arasındadır. Fakat aynı zamanda atığın kendisine de bağlıdır. Bazı atık katılar büyük

miktarlarda su absorbe edebilirler. Çok miktarda su ilavesi, katılaşmış ürünün yüzeyinde serbest bir su tabakasına ve mukavemette azalma ile beraber final ürünün permeabilitesinde artışa neden olur.

Optimum formülasyonlar, her bir atık için ayrı ayrı düşünülerek ele alınmalıdır. Çünkü atık elemanları ile çimento arasında karşılıklı bir takım etkileşimlerin olması olasıdır. Katılaşmanın ivmelendirilmesi proses ekipmanlarında çimentonun sertleşmesi ile sonuçlanabilir. Diğer taraftan bazı maddeler (borik asit, borat tuzları gibi) portland çimentosunun katılaşmasını yavaşlatır, eğer yeterli miktarlar ilave edilirse, katılaşma bir daha çimento hiç sertleşmeyecek kadar yavaşlayabilir.

Çok sayıda amaç için kullanılan çimento tipleri olmasına rağmen S/S teknolojisinde portland çimentosu geniş bir kullanım alanına sahiptir. Oldukça fazla oranda mevcut olup, nispeten ucuz bir malzemedir. İhtiyaç duyulan proses ekipmanları pahallı değildir ve yakma gibi diğer proseslerden daha az enerji gerektirir. En önemli neden fiyatı olmakla birlikte bazı farklı nedenler ve S/S teknolojisindeki reaksiyonların çalışmaya yararları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- S/S proses çalışmalarında birkaç değişkenin bazılarının elimine edilmesiyle, kompozisyonu kaynaktan kaynağa daha kararlı hale gelir.
- Katılaştırmada , serleştirmede ve metallerin sabitleştirilmesinde portland çimentosunun reaksiyonları hakkında daha fazla bilgi mevcuttur.
- Çimento esaslı atık formlarının sızmasının çevresel etkilerinin modellenmesinde en iyi datalar nükleer atık alanlarından elde edilebilir.
- Son yıllarda yapılan çalışmaların çoğu bu proses tipinde yapılmıştır.

Portland çimentosu prosesleri, bugünün geçerli ticari S/S teknolojisi mizacındaki puzolanik reaksiyonlarından bazılarına benzemektedir. Ancak bu benzerliğin boyutları tam olarak saptanabilmiş değildir (Conner, 1990; LaGrega ve diğ. 1994).

2) *Katkılarla Birlikte Portland Çimentosu:* Büyük miktarlarda değişen katkıların kullanıldığı birçok çimento esaslı proses mevcuttur:

- Çimento/Kireç: Bazı durumlarda portland çimentosuna sönmemiş kirecin katılmasıyla çeşitli atık bileşimlerinin yavaşlatıcı etkilerinin azaldığı ve izin verilebilir elverişli katılaşma ve sertleşmenin başarıldığı bulunmuştur. Radyoaktif

borat içeren sıvıların solidifikasyonunda bunun yararlı olacağı ortaya çıkarılmıştır.

Çamurların stabilizasyonu genellikle, kalsiyum hidroksit $Ca(OH)_2$ veya kireç (hidratlanmış kireç) ilavesiyle sağlanır. Atık içerisindeki reaksiyonlar, kalsiyum silikat, kalsiyum alumina veya kalsiyum alumina silikat oluşumuyla sonuçlanabilir. Bu malzmeler kireç içindeki kalsiyumun ve atık içindeki alumino-silikatların reaksiyonu sonucu oluşur. Bütün katkı maddeleriyle olduğu gibi, ek stabilizasyon küçük miktarlardaki diğer bileşenlerin kullanımıyla sağlanabilir. Kirecin, ana stabilzasyon reaksiyonlarını sağlayan uçucu kül gibi diğer maddelerle birlikte asidik çamurların pH'ını yükseltmek için de kullanılabileceği unutulmamalıdır. Kireç-bazlı stabilizasyon inorganik kirleticiler için çok uygundur ve metal çamurları için yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Çimento/Kil veya Sorbent: S/S sisteminde, organikleri ve metalleri sorbedecek kadar iyi kullanılabilir. Suyu azaltmak ve viskoziteyi kontrol etmek için az miktarda kil kullanılmaktadır. Silisli toprak, magnezyum mikası, pirinç kabuğu külü gibi diğer sorbentler ve mineral absorbentlere uzanan çeşitler test edilmiş ve bazıları kimyasal maddelerin formüle edildiği ticari S/S sistemlerinde kullanılmıştır. Özellikle büyük çimento ilaveleri gerektirecek düşük katı madde içeren atıklar için, sözü edilen karışımların faydası yüksektir.

  Kil, deponide sızıntıyı engelleyici tabaka olarak kullanılır. Ayrıca organik atıkların solidifikasyon /stabilizasyonunda kullanılırlar. Organik olarak modifiye edilmiş kil, son zamanlarda stabilize olabilen atıkların organik kısımlarını tutabilmek için diğer stabilizasyon malzemeleri ile birlikte kullanılır. Kil orjinal olarak organofobik bir malzemedir. Kilin kristalize yapısı sayesinde organik bileşenler ile inorganik bileşenler yer değiştirir. Bu yer değiştirme prosesinden sonra, organik moleküller kilin kristalize yapısı ile absorplanır. Organik olarak değişen kilin üretiminde, iç kristal bölgedeki yer değiştirebilen inorganikler, organik bileşenlerle yer değiştirir. Yani kil organik bileşenlere bağlanması açısından solidifikasyon/stabilizasyon formülüne katılan bir malzemedir (Conner, 1990; LaGrega ve diğ. 1994).

- Çimento Karışımları: S/S sistemleri kullanımı için çoğu formülasyonlar, aşırı su ve atık bileşimlerinin etkilerini dengelemek ve spesifik bileşimleri, özellikle metalleri, sabitlemek için birden fazla çimento içerirler. Genellikle Tip 1 Portland çimentosu fiyatı azaltır. Daha pahalı çimentonun, minimum miktarlarını kullanarak projeyi başarmak amaçtır.

- Çeşitli Çimento Katkı Maddeleri: Literatürde, özellikle de patent literatürde, oldukça geniş katkı maddesi türleri tanımlanmıştır. Bunların çoğu ya ticari olarak kullanılmamış ya da spesifik projeler için, çoğu kez S/S girişiminin kendi kendini geliştirmesi için yalnızca sınırlı kullanım bulmuşlardır (Conner, 1990).

B) Puzolan Esaslı Sistemler:

Puzolanlar, içinde fazla miktarda kolloidal özellikte silis içeren maddelerdir. Puzolanların tek başına bağlayıcı özelliği yoktur. Ancak başka bir bağlayıcı ile kireç veya çimento ile karıştırılınca bağlayıcılık özelliği kazanır. Bu nedenle bu reaksiyonun oluşabilmesi için puzolanın serbest olmayan kireç içermesi gerekir. Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Yapay puzolanların önemlileri; pişmiş kil, uçucu kül ve yüksek fırın atıklarıdır (cüruf). Termik santrallerde toz halinde kömürün yanmasından sonra baca filtrelerinde kalan malzemeye uçucu kül denir. Çimento inceliğindeki bu malzemenin puzolanlık özelliği vardır ve çimentoya karıştırılarak kullanılır (Baradan,B.;1984). Puzolanların kullanıldığı ve kullanılmadığı sistemler arasındaki en belirgin fark, puzolanlı sistemlerde kimyasal maliyetinin daha düşük olmasıdır. Bunun nedenide puzolan olarak kullanılan uçucu kül gibi bazı atık ürünlerinin kullanılmasıdır. Puzolanların kullanılmadığı sistemlerde ise kimyasal maliyetinin yüksek olmasına rağmen , hacim artışının ve ağırlığın düşük olmasından dolayı toplam maliyet daha az olacaktır.

Puzolanik terimi; su ve sönmemiş kireç ile karıştırıldığında sıkışarak katı forma dönebilen atık maddeler için kullanılır. Puzolanları çimento vb. maddelerden ayıran temel özellik yüksek miktarda silikat içermeleridir. Son ürün olarak oluşan yapı malzemesi gevşek maddeden sıkı bağlayıcı maddeye kadar değişiklik gösterebilir. Alumino-silikat malzeme, kireç ve su reaksiyonu sonucunda, pozolanik beton adı verilen bir ürün elde edilir. Sonuçta oluşan pozolanik yapılar "amorflu alümino-silikat" olarak adlandırılır.

Puzolan esaslı solidifikasyon/ stabilizasyon sistemi, bakır, kurşun, aluminyum, nikel, arsenik, krom gibi çeşitli metaller içeren metal kaplama çamurları, yağ çamurları, atık asitleri ve kreozot(katran ruhu) içeren inorganik toksik atıklara uygulanır . Ağır metal içerikli atıklar için yüksek pH şartları oluşturulur. Literatürden bir örneğe göre, bir imhoff çürütücü tankından alınmış arıtılmamış çamur, kadmiyum, krom, bakır, demir, kurşun, magnezyum, manganez, selenyum, gümüş ve çinkoyu stabilize etmek için uçucu kül ve kireçle muamele edilmiştir. Stabilize malzemenin toprağa benzer bir uyumunun olmasına rağmen, sızdırma testleri, stabilizasyonun bu bileşenlerin bazılarının sızmasını geciktirdiğini göstermiştir. Uçucu küldeki yanmamış karbon, atıktaki organikleri adsorbe edebilir. Sonuç olarak, uçucu kül gibi bir pozolanın, hem organik hem de inorganik türlerin stabilizasyonunda faydalı etkileri olabilir.

Uçucu kül en çok kullanılan puzolanik materyaldir. Portland Çimentosu ile çok büyük benzerlik gösteren puzolanik uçucu kül, sönmüş kireç ve nemden oluşan bir üründür. Uçucu kül, %45 SiO_2, %25 Al_2O_3, %15 Fe_2O_3, %10 CaO, %10 MgO, %1 K_2O, %1 Na_2O ve %1 SO_3 oranındadır. Yanmamış karbon oranı kaynaktan kaynağa değişir.Zararlı atıkların uzaklaştırılması için, en az %70 miktarında silikondioksit, aluminyum dioksit ve demir oksit bulunmalıdır. Çeşitli çalışmaların sonucu, ince uçucu külün, kalın olandan çok daha iyi puzolanik özelliğe sahip olduğunu göstermiştir. Kullanılan uçucu külün %34'ünden fazlasının 45 μm'lik elekte tutulabilir nitelikte olması tavsiye edilmektedir .

Malzemelerin bağlanmasına engel olan girişimler, çimentolaşma reaksiyonları ile birlikte puzolanik reaksiyonlar tarafından önlenir. Puzolanik reaksiyonlardaki bağlar kalsiyum silikat ve alümünat hidratın formuna bağlıdır. Sodyum borat, kalsiyum sülfat, potasyum bikromat ve karbonhidratlar gibi malzemeler reaksiyona girerek, bağlanmayı engelleyebilir. Yağ ve gres de fiziksel olarak atık partiküller üzerinde tabakalaşarak bağlanmaya engel olabilir .

Puzolan esaslı sistemler atıkların solidifikasyon yöntemi ile bertarafında çimento esaslı sistemlerden sonra gelen en iyi seçenektir. Çimento inşaat endüstrisinde çok talep edilen yoğun bir enerji ürünüdür, bu nedenle solidifikasyon prosesinde çimento kullanılması yüksek bir maliyet getirmez. Doğal zeolit gibi mineraller ve güç merkezlerinin uçucu külleri gibi atıkların da içinde bulunduğu bazı puzolanlar doğal

olarak ortaya çıkar. Doğal puzolanlar bol miktarda temin edilebiliyor ise, bu sistemlerin kullanımı da caziptir. (LaGrega ve diğ. 1994; Balkan, 1999).

2.2.3.2. Organik Sistemler

Bu sistemler, endüstriyel atıkların bertarafında pek kullanılmazlar. Sadece radyoaktif solidifikasyonunda kullanılırlar, oldukça pahalı yöntemlerdir.

Radyoaktif atıkların solidifikasyonunda üre-formaldehit, bitüm ve polimerizasyon sistemleri çeşitli oranlarda uygulanır. Bu sistemler bazen doğada hidrofobik halde bulunurlar, bu durumlarda su temelli sistemlere katılımları konusunda çeşitli zorluklarla karşılaşırlar. Bunlar ayrışma problemleri oluşturur ve buna ilaveten organik sistemlerde mikroorganizmalar, ultraviole ışın gibi çeşitli çevresel faktörlerden kaynaklanan dengesizlik problemleri de çekerler.

A) Termoplastik Metodlar:

Bu teknikte kurutulmuş atık 100 °C den yüksek sıcaklıklarda termoplastik materyalle karıştırılır. Bu maddelere örnek olarak asfalt polipropilin, polietilen, bitüm, sülfür ve parafin verilebilir. Daha sonra karışım soğutulur, solidifikasyon soğuma evresinde gerçekleşir. Soğutuldukları zaman, katılaştırılmış malzeme, termoplastik kaplı malzeme olarak karakterize edilirler ve nihai depolama için konteynırlara konurlar.

Termoplastik metod; elektro kaplama, metal ve organikleri içeren boyama ve rafineri çamurları, kuru yakma külleri, fabrika filtre tozları ve radyoaktif atıklar için uygulanır. Termoplastik metod; PCB'ler, dioksinler, yakma külleri gibi organik kirleticiler ve diğer kanserojenik kimyasal atıklar içinde iyi sonuç verir.

Bitüm kullanıldığı zaman atık:bitüm oranı 1:1 ve 2:1 alınmıştır. Organikler, proses esnasında hava emisyonlarının kontrolünü gerektirerek, işletme sıcaklıklarında uçucu hale getirilir. Termoplastik stabilizasyonun kullanımı hem tehlikeli hem de radyoaktif olan karışık atıklar için ilgi çekicidir. Atık stabilize edilir ve tehlikeli olma özelliği indirgenir. Daha sonra radyoaktif atıkların gerektirdiği gibi depolanır.

Bu tekniğin potansiyelini gösteren çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Başlıca sınırlamalar, matriks içinde termoplastik malzemeye zarar verebilecek maddelerin varlığı ve termoplastik malzemeyi çözücü olarak hareket eden organik kimyasalların varlığıdır. Eğer bu maddeler atık içinde bulunuyorsa, uzun dönem bir bozulma potansiyeli var

demektir. Termoplastik olarak stabilize edilmiş atıklar, sızmaya ve biyolojik olarak parçalanmaya oldukça dayanıklıdır.

Çok çözücü ve toksik atıkların solidifikasyonunda bu metodun uygulanması, çimento ve puzolan esaslı sistemlere göre çok daha avantajlıdır. Diğer taraftanda oksitleyiciler, katı hidrokarbonlar ve sülfür ile karışırsa, sıcaklık yükseldikçe reaksiyona girebilir, bu nedenle güçlü oksitleyiciler bu yöntem ile katılaşmayabilir. Ayrıca, gres ve bazı çözücüler ise asfalt maddelerinin yumuşamasına ve bu yolla solidifikasyonun durmasına sebep olurlar. Ayrıca bu teknik özel karıştırma ekipmanlarına ve eğitimli personele ihtiyaç duyduğundan diğer tekniklere göre daha pahalıdır.

B) Organik Polimerizasyon Metodu (Termosetting):

Organik polimerizasyon öncelikle radyoaktif atıklara uygulanır. Bu teknoloji, organik kloritler, fenoller, boya çamurları, siyanitler ve arsenik içeren atıklara da sınırlı olarak uygulanır. Polimerizasyon ayrıca, baca gazı desülfrizasyonu, elektro kaplama çamurları ve nikel/ kadmiyum pil atıklarına da uygulanabilir.

Prosedüre göre, başlangıçta monomer maddesi katılır ve çamura karıştırılır, ardından polimerizasyon katalizörleri eklenir. Sonuç olarak süngerimsi bir yapı oluşur ve katı partikülleri tutacak forma gelir. Ancak, bu proses bazı atıkları özellikle sıvı atıkları tutulmamış olarak bırakabilir. Organik polimer arıtımının termosettinginden sonra sıvı atıklar genellikle kaldığı için, nihai atık ürün depolanmadan önce genellikle kurutulur ve konteynırlara alınır. Bu teknikte kullanılan polimerlere örnek olarak üre-formaldehit (çoğunlukla polimer kullanılır), epoksi, polisakkaritler ve polycrylimitler verilebilir.

Bu prosesin başlıca faydası, diğer fiksasyon teknikleriyle kıyaslandığında düşük yoğunluklu bir malzeme elde edilmesidir. Atıkları katılaştırmak için çok küçük miktarda katkı maddesi gereklidir. Bu teknik, sıvı, uçucu olmayan, organik zararlı atıkların katılaştırılmasında oldukça elverişlidir. Bu metot, düşük-seviyede radyoaktif atıklara depolamadan önce de uygulanabilmektedir.

Bu metodun en büyük dezavantajı, yukarıda da bahsedildiği gibi süngerimsi bir kütle oluşumu, polimerizasyon esnasında su içindeki bazı metal iyonlarının tutulamayıp kaçması ve organik polimerlerin bazılarının biyolojik olarak bozunmasıdır.

Bu teknolojiler, maliyetleri, yangın tehlikesi, atık yapısından su üretimi, organiklerin uçucu hale getirilmesi nedeniyle alan iyileştirmelerinde genellikle pratik değillerdir.

C) Kapsülleme Metodu:

Kapsülleme metodu iki alt başlık altında incelenebilir; mikrokapsülleme ve makrokapsülleme . Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, mikrokapsülleme metodunda atıklar kapsülleyici malzeme içinde dağılır ve bu yapıda polimerler atık partiküllerinin etrafını sararlar. Makrokapsülleme metodunda ise konteynır içinde inert polimerler atıkların yüzeylerini bir ceket gibi örterler. Bu metod genellikle çok çözücü ve yüksek miktarda toksisite içeren çamurlar için kullanılır. Bu metodlar özel ekipmana ihtiyaç duyarlar, polimer kullanımı ve proses maliyeti çok yüksektir (LaGrega ve diğ. 1994; Balkan, 1999).

2.2.4. Solidifikasyon/ Satbilizasyon Teknolojilerinin Avantaj ve Dezavantajları

S/S işlemlerinin avantaj ve dezavantajları prosese, bağlayıcılara, atığa, arazi şartlarına ve diğer bazı faktörlere göre değişiklik gösterir. Örneğin puzolan-çimento tipi reaksiyonların kullanıldığı prosesler nispeten düşük maliyetli ve kullanımı kolaydır. Ancak bu proses ile atık hacmi ve ağırlığı artınca, büyük miktarda ham malzemeye ihtiyaç duyulur. Bunun yanında çimento hidrasyon mekanizması tamamen anlaşılamamıştır ve kesin olarak hidrasyona engel olan inhibitörler vardır (Balkan, 1999). Polimerik materyallerde kapsülleme durumunda ise hacim artış çok küçük olur ve bazı durumlarda ürün performansı önemli derecede artar. Ancak bazen maliyette artışlar ve proseste güçlükler oluşabilir. S/S proseslerinin avantaj ve dezavantajları karşılaştırıldığında özel şartlar dikkatle düşünülmelidir. Solidifikasyon/Stabilizasyon proseslerinin karşılaştırılarak, avantaj ve dezavantajlarının neler olduğu Tablo 2.5'de anlatılmıştır.

Tablo 2.5. Solidifikasyon Proseslerinin Karşılaştırılması (Cheeseman ve Knight, 1998; Balkan, 1999)

Solidifikasyon Prosesleri	Avantajları	Dezavantajları
Çimento Esaslı Prosesler	*Proses Ekipmanları ve malzemeler kolay elde edilebilir, *Bu teknik çok iyi geliştirilmiştir, *Çamurlardaki kimyasal değişiklikler tolare edilebilir, *Kullanılan katkı malzemeleri ve karıştırma ekipmanları uygun fiyatlarda, *İyi bir katılaşma ve kuvvetli reaksiyonlar gerçekleşir, *Metallerin hapsolması sağlanır, *Düşük sızdırma ve geçirimsizlik sağlanır. *Katılaştırılan ürünün dayanımı ve permeabilitesi ilave edilen çimento miktarı ile ayarlanabilir. * Çimento ile karıştırma ve muamele kolaydır.	*Düşük mukavemetli çimento-atık karışımları asidik çözeltilerce etkilenebilir. Bu durumda stabilize materyalin ayrışması söz konusu olabilir. *Çimentonun sertleşmesinde olumsuz etki yapan maddeler içeren bazı atıkların katılaştırılmasında pahalı ön işlemler ve pahalı çimento türleri veya katkı malzemeleri gerekebilir. *Çimento ve diğer katkı maddeleri atığın ağırlık ve hacminin artmasına sebep olur. *İnhibitör bileşenler ve kirleticiler olabilir. *Proses basit görünmekle beraber uzmanlık gerektrir.

Tablo 2.5. Solidifikasyon Proseslerinin Karşılaştırılması (devamı)

Solidifikasyon Prosesleri	Avantajları	Dezavantajları
Termoplastik Prosesler	*Kirleticilerin sızıntı miktarı daha düşüktür. *Son ürün, sıvı çözeltilere karşı dirençlidir. *Termoplastik maddeler katkı malzemelerine yapışırlar.	*Pahalı bir metoddur, özel ekipman ve eğitimli personele ihtiyaç vardır. *Termoplastik maddeler yanıcı özelliğe sahiptir. *Kirletici içeren çamurlar düşük sıcaklıklarda uçucudurlar ve dikkatle kontrol edilmelidirler. *Islak çamurlar, termoplastik maddelerle karıştırılmadan önce kurutulmalıdırlar.
Organik Polimer Prosesleri	*Küçük miktarlarda katkı ilaveleri yeterlidir. *Bu teknik hem ıslak hem de kuru çamurlarda uygulanabilir. *Son ürün düşük yoğunluğa sahiptir.	*Bazı organik polimerler biyolojik olarak parçalanabilir. *Son ürün olarak kirleticiler hafif bağlı reçine matriksi üzerinde tutulurlar. *Son ürün uzaklaştırılmadan önce konteynıra yerleştirilir. *Düşük pH'ta yüksek çözünebilirlik gösteren metaller varoldukça üreformaldehit gibi asidik katalizörler, metallerin su içine kaçmasına sebep olurlar.

Tablo 2.5. Solidifikasyon Proseslerinin Karşılaştırılması (devamı)

Solidifikasyon Prosesleri	Avantajları	Dezavantajları
Kapsülleme Prosesleri	*İyi çözünebilen kirleticiler için etkin verime sahiptir. *Örtücü materyaller güçlü ve inert olduklarından ikinci bir konteynıra ihtiyaç yoktur.	*Bu yöntem için kullanılan malzemeler oldukça pahalıdır. *Kaplama(ceket) formu için sıcak arıtım ve özelleştirilmiş ekipman gerekir. *Prosese verilmeden önce çamur kurutulmalıdır. *Kesin kaplama (ceket) materyalleri yanıcı özelliktedir.

2.2.5. Solidifikasyon/Stabilizasyon Teknolojisinin Mekanizmaları

Stabilizasyon maddelerinin etkinliğini kontrol eden fiziksel ve kimyasal mekanizma esaslarının anlaşılması, stabilizasyonun bir zararlı atık yönetim teknolojisi olarak doğru bir şekilde uygulanması için önemlidir. Ayrıca yeni katkı malzemelerinin geliştirilmesi yada var olanların modifiye edilmesinde, yeni ve farklı atıklara uygulanması gibi gelişmelerin değerlendirilmesinde temel stabilizasyon mekanizmaları dikkate alınır. Başarılı bir stabilizasyon aşağıdaki mekanizmalardan bir veya birkaçını içerir (La Grega ve diğ. 1994).

- Makro kapsülleme
- Mikro kapsülleme
- Absorpsiyon
- Adsorpsiyon
- Çöktürme
- Toksisite Giderimi

2.2.5.1. Makro Kapsülleme

Makro kapsülleme zararlı atık içeriğinin daha büyük bir yapısal form içinde fiziksel olarak tutulduğu bir mekanizmadır. Yani zararlı atık bileşenleri stabilizasyon maddelerinin içindeki gözeneklerde tutulur. Stabilize edilen maddenin fiziksel bozulması söz konusu olursa , geniş ebatlardaki partiküller şeklinde tutulan maddeler kopup serbest hale geçebilir. Stabilize olan kütleler zamanla artan çevresel baskılarla parçalanabilir. Nem, kuruma, donma, fiziksel yükleme gibi çevresel etkiler kirleticilerin kapsülden kaçmasına sebep olur ve kirleticiler sızıntı suyuna geçer. Bu nedenle, eğer kütle bütünlüğü korunamıyor ise, makro kapsülleme kirleticilerin stabilizasyonunda tek başına yeterli değildir.

Makro kapsülleme ile stabilize edilmiş yağlı bir atık ele alınırsa, uçucu kül, kireç ve çimento ile kapsüllenmiş yağlı atık açık gri bir yapı görünümünde olup, yağlı atık siyah nodüller şeklinde görünür. Bu gözeneklerdeki atıklar stabilize yapı içinde sadece fiziksel olarak tutunmuştur. Donma ve erime yada ıslanma ve kuruma döngülerine bağlı olarak, bu yapı içindeki stabilize olmuş yağlı atık kapsülden çıkabilir ve çevreye yayılabilir.

Makro kapsüllemenin derecesi, karışımın her bir birim kütlesindeki çeşit ve enerjiye bağlı olarak değişim gösterir. Laboratuvarda hazırlanan örneklerde genellikle sahada yapılan karışım ile karşılaştırıldığı zaman, yüksek enerji ile daha iyi karıştırılır. Labaratuvarda yapılan makro kapsüllemede, sahada yapılandan daha yüksek derecede makro kapsülleme görülür. Bu nedenle laboratuvar çalışmaları normal saha karışım şartları standartında sürdürülmelidir (La Grega ve diğ. 1994).

2.2.5.2. Mikro Kapsülleme

Mikro kapsülleme, zararlı atık bileşenlerini katılaştırılmış malzemenin kristal yapısı içinde mikroskobik seviyede tutan bir mekanizmadır. Sonuç olarak , stabilize olmuş materyal oldukça küçük partiküllere parçalansa bile stabilize olmuş zararlı atığın çoğu tutulu kalır. Bununla beraber, makro kapsüllemede olduğu gibi, atık kimyasal olarak değişmediği veya kimyasal olarak bağlanmadığı için, partikül boyutlarındaki küçülme ve daha fazla yüzey alanı meydana geldiğinden dolayı, stabilize edilen yapıdan ayrılan kirletici madde miktarı artabilir.

Mikro kapsüllemede de örnek gösterilen yağlı atık, uçucu kül, kireç ve çimento ile açık gri bir yapının küçük gözenekleri içinde kapsüllenmiştir. Atık çok küçük gözenekler içinde makrokapsüllemeye benzer tarzda stabilize kütle içinde, sadece fiziksel olarak tutulur. Eğer stabilize malzemeler, çok küçük partiküllere parçalanırsa, uzun süre sonra stabilize yağlı atık serbest hale geçebilir.

Makro kapsüllemede de bahsedildiği gibi labaratuvarda hazırlanan örneklerin karıştırılması doğal koşullar da sahada yapılan karışım ile karşılaştırılırsa daha yüksek enerjide ve daha iyi karıştırılmış olurlar. Bu da solidifikasyonun kullanılıp kullanılmayacağına karar verilirken göze alınması gereken bir husustur (La Grega ve diğ. 1994).

2.2.5.3. Absorpsiyon

Absorpsiyon prosesinde kirleticiler süngerin suyu içine aldığı gibi bir sorbent içinde tutulur . Stabilizasyonda uygulandığı gibi atıktaki serbest sıvının absorpsiyonlanması için bazı katı maddelerin (sorbentlerin) eklenmesi gerekir . Bu proses , atığın katılaştırılması yanında öncelikle atığın taşınma özelliklerini geliştirerek serbest sıvının giderilmesini gerçekleştirir. Bu proses, sıvıların katı ortamdan sızmasına

engel değildir, sadece taşıma özelliklerini geliştirmede geçici bir önlem olarak dikkate alınır. En yaygın absorbanlar:

- toprak,
- uçucu kül,
- çimento fırın tozu,
- kireç fırını külü,
- kil mineralleri (bentonit, kaolinit, zeolit),
- kereste tozları,
- kuru ot, samandır.

Çimento gibi bazı absorbanların puzolanik özelliklerinden dolayı ek faydaları vardır. Bu tip maddeler ayrıca stabilizasyon maddesi olarak da kullanılır (La Grega ve diğ. 1994).

2.2.5.4. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon mekanizması ile kirleticiler yapı içindeki stabilize edici ve katılaştırıcı maddelere sadece fiziksel olarak bağlanmazlar, bunun yanında elektrokimyasal olarak da bağlanırlar. Adsorpsiyon, kirleticilerin katı yapı içinde stabilizasyon maddeleriyle elektrokimyasal olarak bağlandığı bir olaydır. Bu bağlanma olayı yüzeyde gerçekleşir ve Van der Waal's kuvvetleri yada hidrojen bağı yardımıyla olur. Stabilizasyon katısına kimyasal olarak adsorbe edilmiş kirleticiler, adsorbe edilmemişlere oranla daha az yayılma eğilimi gösterirler. Partikül parçalanmalarının kirletici yayılımını kolaylaştıracağı, mikro kapsülleme ve makro kapsüllemeden farklı bir şekilde, adsorblanan yüzeylerden kirleticiyi desorbe etmek için ek bir fizikokimyasal baskı gereklidir. Sonuçta arıtma daha kalıcı olacaktır (LaGrega ve diğ. 1994).

2.2.5.5. Çöktürme

Bazı stabilizasyon prosesleri, atık bileşenlerini daha kararlı forma dönüştürerek, atıktaki kirleticileri çöktürür. Hidroksitler, sülfitler, silikatlar, karbonatlar ve fosfatlar gibi çöktürücüler malzeme yapısının bir parçası olan stabilize olmuş kütle yapısının içerisinde biriktirilirler. Bu, özellikle metal hidroksit çamurları gibi inorganik atıkların stabilizasyonunda gerçekleşir. Örneğin metal karbonatlar, metal

hidroksitlerine göre daha az çözünür durumdadır. Yüksek pH'ta metal hidroksit çamurundan bir metal karbonat oluşturma reaksiyonu şöyledir;

$$Me(OH)_2 + H_2CO_3 \longrightarrow Me\,CO_3\,(s) + 2H_2O$$

Me: Metalik katyon

Metal ve metalik karbonat karışımının sürekliliği diğer etkilerin yanında en çok pH'a bağlıdır. Bu örnekte metalik karbonat, düşük pH haricinde oldukça dengeli kabul edilebilir. Çok yüksek asidik koşullarda metal tekrar çözülebilir ve çevreye yayılabilir. Bu nedenle stabilizasyon veriminin değerlendirilmesinde mevcut ve gelecekteki çevre koşulları uygun bir şekilde göz önüne alınarak yapılmalıdır (LaGrega ve diğ. 1994).

2.2.5.6. Toksisite Giderimi

Stabilizasyon prosesi sürecinde yer alan bazı kimyasal reaksiyonlar sonucunda atığın toksisitesi düşürülebilir. Kimyasal bir bileşiği daha az toksik yada toksik olmayan diğer bir bileşiğe dönüştüren herhangi bir mekanizma toksisite giderimi olarak adlandırılır.

Buna örnek olarak, çimento bazlı maddelerle yapılan stabilizasyon süresince (+6) değerlikli kromun (+3) değerlikli kroma indirgenmesi verilebilir. (+3) değerlikli kromun (+6) değerlikli kroma göre çözünürlüğü ve toksisitesi daha düşüktür. Değerliğini düşürerek kromu detoksifiye eden çeşitli fiksasyon sistemleri vardır; demir sülfat ve demir sülfat- sodyum sülfat kombinasyonu etkin bulunmuştur. İndirgenmiş kromun sızmasının etkisi, (+6) değerlikli kromun sızmasından daha az tehlike arz edecektir (LaGrega ve diğ. 1994).

2.2.6. Solidifikasyon/Stabilizasyon Prosesinin Uygulama Alanları

S/S teknolojileri için üç ana uygulama alanı vardır:

- Araziye uzaklaştırma – emniyetle deponiye uzaklaştırmak için önce atıkların stabilizasyonu,
- Saha iyileştirme – kirlenen sahaların iyileştirilmesi,
- Endüstriyel atıkların solidifikasyonu – tehlikeli veya tehlikesiz, çamur gibi kararlı olmayan atıkların solidifikasyonu

2.2.6.1. Araziye Uzaklaştırma

Sıvı atıkların araziye uzaklaştırılması kirleticilerin toprağa sızması olasılığını arttırır. Sıvı atıklar, nemli çamurlar ile birlikte deponiden önce stabilize edilmelidir. Stabilizasyon maddeleri etkin olmalı, bazı maddeler deponi ortamında fazla yüke maruz kaldıkları zaman çözünebilmektedirler. Sıvıları etkin bir şekilde stabilize etmek için, stabilize edici maddeler olarak talaş gibi absorblayıcı maddeler kullanılamaz. Bu tip maddeler kullanıldığı zaman absorbe edilen sıvılar, gelen yükle birlikte desorpsiyona uğrayabilir. Bu nedenle sıvılar, stabilizasyon maddeleri ile fiziksel ve kimyasal olarak bağlanmalı ve bu şekilde de kirleticilerde fazla basınç veya sızma ile dışa çıkmamalıdır. Amerikan Yönetmelikleri'ne göre, organik atıklar için arıtma yöntemi olarak yakma tercih edilmektedir. Bununla birlikte , araziye uzaklaştırma da alternatif bir teknoloji olarak gösterilebilir (LaGrega ve diğ. 1994).

2.2.6.2. Saha İyileştirme

Organik atıklar, inorganik atıklar ve kirli topraklarla kirlenen alanların iyileştirilmesi S/S teknolojileri kullanılarak sağlanabilir. Saha iyileştirmede bu teknolojinin kullanılma amaçları; 1) atıkların uzaklaştırma şeklini ve fiziksel karakteristiklerini geliştirmek, 2) kirleticilerin çözünülürlüklerini limitleyerek, kirletici transferinin gerçekleştiği yüzey alanını azaltmak ve bu şekilde kirleticilerin sızma oranını azaltmak, 3) kirleticilerin toksisitesini azaltmaktır.

S/S, özellikle düşük seviyelerde kirlilik içeren toprakların büyük miktarlarına tehlikeli madde karışmış olan alanlar için oldukça uygun bir seçenektir. Bazı durumlarda, düşük seviyede kirlenmiş toprakların kazınması, taşınması, depolanması, yakılması çevresel açıdan uygun veya ekonomik olmayabilir. Bu teknolojilerin saha iyileştirmede kullanımı günden güne artmaktadır (LaGrega ve diğ. 1994).

2.2.6.3. Endüstriyel Atıkların Solidifikasyonu

Geçmişteki atık yönetimi çalışmalarından kaynaklanan bir durum olarak, havuz ve lagünlerde inorganik ve organik endüstriyel atıkların bulunabileceğini söyleyebiliriz. Mukavemet ve sıkışabilirlik gibi fiziksel özellikleri etkileyen solidifikasyon, çevreye kirleticilerin taşınım oranını azaltabilir. Bununla birlikte zararsız atıkların çoğu

çevreye ve halk sağlığına tehlike yaratmayabilir, ancak kararsız yapıdadırlar ve estetik olarak uygun değillerdir, bu nedenle kullanım alanlarından uzaklaştırılmalıdırlar. Bu nedenle solidifikasyonun birincil amacı atık malzemenin yapısal bütünlüğünü geliştirmektir. Bu tür solidifikasyon projelerinde prosesin verimliliği, genellikle malzemenin mukavemetinin ölçümüyle değerlendirilir (LaGrega ve diğ. 1994).

Yeni bir uzaklaştırma metodu olarak yer alan solidifikasyonun yanında, çamurların uzaklaştırma tekniklerindeki tarihsel gelişimler Tablo 2.6' da verilmektedir.

Tablo 2.6. 1900 – 2000 Yılları Arasındaki Çamur Uzaklaştırma Tekniklerinin Tarihsel Gelişimi (Balkan, 1999)

1900.....Yıllar.....2000					
Uzaklaştırma Yöntemleri					
	Zirai kullanım		Çamur çiftlikleri		
		Döner fırınlarda yakma	Çok gözlü fırınlarda yakma	Akışkan yataklarda yakma	Erime prosesleri
Denize deşarj	Önerilen bölgelere uzaklaştırma	Lagünler	Kurutma	Saha iyileştirme	Solidifikasyon
		Kompostlaştırma	Kontrollü depolama alanları	Reaktörde kompotlaştırma	Piroliz
		Çamur yatakları		Sazlık alanlara uzaklaştırma	Gazlaştırma
				Yapı malzemeleri	Yağ üretimi
					Yaş oksidasyon

Solidifikasyon/stabilizasyon teknikleri ile arıtılan endüstriyel atıklar Tablo 2.7'de özetlenmiştir.

Tablo 2.7. Solidifikasyon işleminin uygulandığı çeşitli endüstriyel atıklar (Filibeli, 1998)

Endüstri	Atık Tipi	Kirleticiler
Elektro kaplama	Filtre keki ve çamur	Cd, Cr, Pb, Cu, Ni, Zn, Siyanür
Galvanizleme	Filtre keki ve çamur	Zn
Elektrik aletleri üretimi	Filtre keki ve çamur	Karbon, Siyanür, Sn, Pb
Organik kimyasallar	Sıvı Atık	Pb,Ti
Gaz temizleme	Sıvı Atık	Alkali Sülfürler
Petro kimyasal katalizler	Katı Atık	Co, Mo, Ni
Metal işleme	Sıvı Atık	Siyanür, Asit, Alkali, Zn, Mg, Ba
İlaç üretimi	Filtre keki ve çamur	Zn, Hg, Ba, Be
Metal geri kazanma	Katı Atık	Cu, Ni, Zn
Yakma tesisi atıklar	Katı Atık	Mn, Fe, Pb, Zn, V
Asit Pikling	Filtre keki ve çamur	Asit, Cr, Zn, Fe,
Alüminyum	Filtre keki ve çamur	Alkaliler, Asitler, Cu, Cr

2.2.7. Katılaştırılmış Materyalin Kalitesinin Değerlendirilmesi

Arıtma tesisindeki atığın başlangıç tanımlaması ve nihai bertarafı kademeleri arasında uygulanan beş temel işlem vardır:

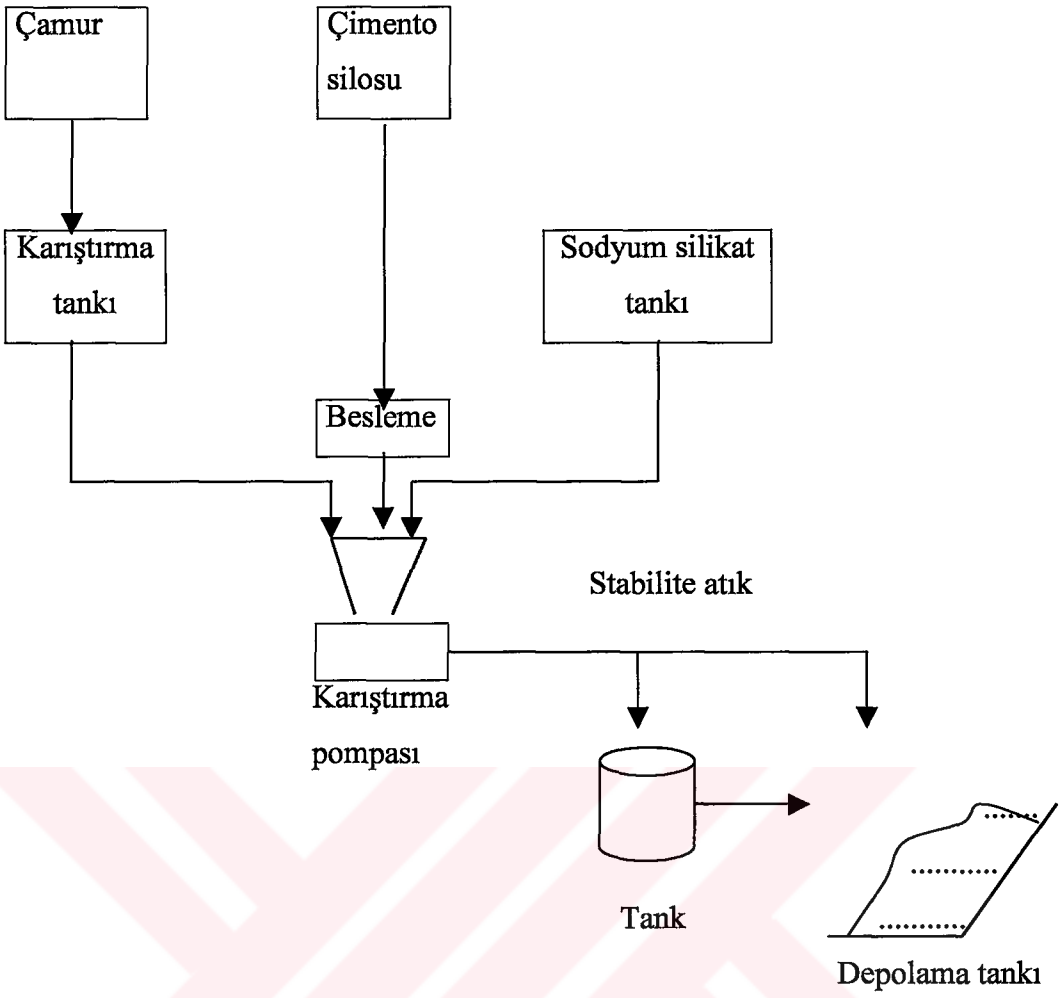
a) Analiz ve değerlendirme
b) Ön arıtma
c) Bağlayıcı ve katılaştırıcı madde ilavesi
d) Son ürünün kalite kontrolü
e) Son ürünün kullanımı ve nihai bertarafı

Herhangi bir atık katılaştırma işlemine tabi tutulmadan önce atığın özelliklerini belirlemek için bazı analizlerin yapılması gereklidir. Çimento ile yapılan katılaştırma işlemlerinden önce atıkta yapılması gerekli analizler şu şekilde sıralanabilir: görünüş, özgül ağırlık, yanma noktası, toplam kuru madde (sıvılarda), toplam inorganik katı madde (katılarda), kül, pH, asidite, alkalinite, siyanür, sülfür ve kadmiyum, krom, bakır, demir, nikel, kurşun, çinko gibi ağır metal içerikleri. Endüstriyel açıdan zaman ve maliyet önemli faktörler olduğundan her numune için, bu analizlerin hepsinin

yapılması pratik olmayacaktır. Fakat operatörün bilgisi ve atık üzerindeki deneyimi bütün analizler yerine minimum düzeyde gerekli rutin analizlerin belirlenmesine yardımcı olacaktır. Genel olarak inorganik atık materyaller büyük bir aralıkta birlikte düşünülebilir, fakat bazı bileşenlerin fazla miktarlarda bulunması katılaştırma işlemleri sırasında büyük zorluklara neden olur. Büyük oranda organik madde içeren atıklar da katılaştırma için genellikle uygun olmayan atıklardır; fakat arıtma işleminden önce diğer atıklar ile uygun bir şekilde karıştırılırsa bunlar da bazen katılaştırılabilir.

Solidifikasyon işleminden önce atıkların arıtmaya uygun forma dönüştürülebilmesi için tesis içinde ekonomik ön arıtma işlemleri gerçekleştirilebilir. Burada ana prensip; toksik bileşenlerin toksik olmayan bileşenlere veya nihai üründen sızıntı ile geçebilecek bu tür materyal miktarının minimize edildiği çözünmeyen türlere dönüştürülmesidir. Örneğin asit atıklar kireç veya pH'ı 9 ve 10 arasındaki atık alkali ilavesi ile nötralize edilebilir. Bu pH değerinde herhangi bir toksik materyal hidroksitler formunda olacaktır ve çökelecektir.

Diğer yandan kuvvetli alkali atıklar ya asit ile veya asit içeren atıklar ile nötralize edilebilir. Siyanür atıkları normal olarak hipoklorit ile parçalanabilir. Bununla beraber metal kompleksleri formundaki metaller (örneğin kobalt, nikel ve demir) oksidasyona çok dirençlidirler. Bu nedenle bunların ya atık içinde bulunmasına veya oksidasyona mani olacak seviyelerin altında olmasına özellikle dikkat etmek gerekir. Kimyasal stabilizasyon sistemine ait akım diyagramı Şekil 2.7'de verilmiştir. Katılaştırılmış materyalin kalitesinin değerlendirilmesinde katı materyalin dayanımı, permeabilitesi ve sızma özelliği gibi parametreler dikkate alınır. Nihai ürünün kalitesini karakterize eden parametreler Tablo 2.8'de özetlenmektedir (Filibeli,1998).



Şekil 2.7. Kimyasal stabilizasyon sistemine ait akım diyagramı (Filibeli,1998)

Tablo 2.8. Katılaştırılmış materyalin kalitesini belirleyen parametreler (Filibeli,1998)

Özellik	Sağlanması gereken değer	Karşılaştırma değeri
Permeabilite (28 gün)	$<1*10^{-7}$ m/s	Kum:$1*10^{-4}$ -$5*10^{-5}$ m/s Silt:$1*10^{-6}$- $1*10^{-7}$ m/s Beton: $1*10^{-8}$ m/s
Dayanım (28 gün)	< 0.34 MN/m² (3.4 kgf/cm²)	Beton: 30 MN/m² Mortar: MN/m²
Yıkama suyu kalitesi* (sızıntı suyu kalitesi)	pH=8-11 KOI < 280 g/m³ Toplam CN < 1 g/m³ Toplam sülfür <5 g/m³ Toplam fenol< 5 g/m³ NH3 < 40 g/m³ Toksik ağır metaller Zn <10 g/m³, Hg < 0.5 g/m³ Diğerleri (Cd,Cr,Cu,Ni, Pa, V, Ba,Co,Mo,Sn,As,Se,Sb)<5 g/m³ Pestisidler <0.1 g/m³	- - - - - - - - - -

*28 gün bekletilmiş 50 gr katılaştırılmış materyal ince toz haline getirilir; 500 ml destile su ile 1 saat karıştırılır; Whatman No.2 filtre kağıdından süzülür.

2.2.8. Solidifikasyon/ Stabilizasyon Proseslerinde Kullanılan Fiziksel Ve Kimyasal Testler

Bir zararlı atığın stabilize ve solidifiye olduğunu söylemek, S/S prosesinin etkinliğini ölçmek, solidifiye malzemenin sağlamlığını belirlemek ve kirleticilerin stabilize malzemeden ne kadar hızlı sızabildiğini tespit etmek oldukça karmaşıktır. Stabilizasyonun veriminin değerlendirilmesi, stabilize edilmiş malzemenin fiziksel, mühendislik ve kimyasal özelliklerinin ölçülmesini gerektirir. Ölçülen özellik, ölçüm tekniğine bağlıdır. Aynı özellik için farklı testler, bu özelliğin farklı ölçümlerini verir. Stabilize edilmiş malzemelerin hangi aralıktaki çevresel baskılara maruz kalacağı tahmin edilemezse, bu baskılar laboratuarda simule edilemez.

Stabilizasyonun etkinliğini değerlendirmek için çeşitli laboratuar testleri kullanılmaktadır. Bütün atıklar ve uygulamalar için ideal olan bir test yoktur. Uygun bir şekilde yorumlandığında bu testlerin herbiri, spesifik bir atık için belli bir stabilizasyon tekniğinin ve kimyasal madde karışımının etkinliğine kısmi bir bakış sağlar. Uygun testlerin seçilmesi ve test sonuçlarının yorumlanması stabilizasyon programının amaçlarına bağlıdır (LaGrega ve diğ. 1994).

Literatürde, S/S prosesinin verimliliğini değerlendirmek için birçok fiziksel ve kimyasal test yöntemleri tanımlanmaktadır. En yaygın fiziksel testler; basınç testleri, permeabilite, dayanıklılık, hacim ağırlığı ve indeks özellikleri testleri. Kimyasal test olarak da ekstraksiyon ve sızıntı testleri sayılabilir (Balkan, 1999).

2.2.8.1. Fiziksel ve Mühendislik Özellikleri Testleri

Stabilize malzemenin fiziksel bütünlük ve mühendislik (mukavemet, sıkışabilirlik, geçirimlilik) özelliklerini değerlendirmek için çeşitli testler uygulanabilir. Bunlar Tablo 2.9'da görülmektedir.

Tablo 2.9. Fiziksel, Mühendislik ve Sağlamlık Özellikleri Testleri (LaGrega ve diğ. 1994)

Özellik	**Amaç**
Fiziksel Özellikler	
Nem içeriği	Faz hesaplamaları (doygunluk, boşluk oranı)
Islak ve kuru hacim yoğunluğu (birim ağırlık)	Basınç ve hacim hesaplamaları
Spesifik gravite	Faz hesaplamaları (doygunluk ve boşluk oranı)
Atterberg limitleri	Mühendislik özellikleriyle korele edilebilir.
Partikül boyut dağılımı	Sınıflandırma tanımlayıcısı (örn. kum, silt ve kil)
Laboratuar Koni İndeksi	Karışımın mukavemeti gibi
Cep penetrometresi	Karışımın mukavemeti gibi
Mikro-yapı incelemesi;	
* X-Işını Difraksiyonuyla	Kristalleştirme
* Mikroskop	
* SEM (tarama elektron mikroskopu)	
Katılaşma Oranı	
İyileştirme esnasında süpernatant oluşumu	Aşırı sıvı
Mühendislik Özellikleri	
Mukavemet	Stabilite analizi
Sıkışabilirlik	Çökelme analizi
Permeabilite	Akış ve taşıma hesapları
Sağlamlık Özellikleri	
Islak/kuru	Uzun dönem bütünlük
Donma/erime	Uzun dönem bütünlük

Fiziksel test yöntemleri arasında araştırmalarda yer alan en önemli testlerden biri basınç dayanımı testleridir. Basınç dayanımı ve sızdırmazlık testleri katılaşmış yapı içindeki ağır metallerin bağlanmasında katkıların etkinliklerinin ve mukavemet derecelerinin iyi bir göstergesidir.

Basınç Dayanımı (Mukavemet) Testleri:

Endüstriler için S/S tekniklerinin etkisi basınç dayanımı testi ile yaygın olarak değerlendirilir. Katılaşmış zararlı atığın mukavemeti S/S prosesinin etkisini gösterir. Uygulamanın başarıya ulaşabilmesi için, katılaşıp stabil forma dönüşmüş maddelerin yeterli mukavemete sahip olmaları gerekir. Ayrıca test sonuçları, hidratasyon matriksi ile bağlanan organiklerin, inorganik atıkların sstabilizasyon etkileri ile korelasyon halinde bulunmalıdır. Basınç testleri oldukça hızlı ve pahalı olmayan testlerdir. Gerekli ekipman kolay elde edilebilir ve genelde jeotekni ve beton santrali laboratuarlarında mevcuttur. Bu makinelerde yük döngüsü cihazları çeşitli amaçlar için kullanılır.

Bir deponi tesisinde 50 psi (3.52 kgf/cm^2) mukavemet değerine sahip olan bir katılaşmış/stabilize malzeme genelde kabul edilir (LaGrega ve diğ. 1994; Balkan, 1999).

Silindirik veya kübik katılaştırılmış numune kırılmak üzere cihaz üzerine yerleştirilir. Numuneye kırma basıncı uygulanır, kırılma anındaki mukavemet değeri cihaz göstergesinden okunur ve basınç dayanımı olarak kaydedilir.

2.2.8.2. Kimyasal Özellik Testleri

Stabilize edilmiş malzemenin kimyasal testlerinin çoğu ekstrakte edilmiş sıvının analizi veya atık içindeki kirleticilerin belirlenmesi şeklindedir. Bu nedenle bu bölümde ekstraksiyon ve sızdırma testleri üzerinde durulacaktır.

Kirleticilerin hareketinin azaltılmasında prosesin etkinliği , sızıntı testleri yardımı ile değerlendirilir. Bu testler çeşitli amaçlar için uygulanabilir. Bu testlerden bir prosese karar verirken düzenleyici olarak yararlanılır ve oluşturulacak prosesin ne gibi sonuçlar doğuracağı sonucuna varılır. Ayrıca bu testlerin sonuçları bir başka amaç olarak taşınım analizleri ve risk değerlendirmelerinin yapılmasında, dünyada kirliliklerin taşınımının modellemesinde kullanılabilir. Bağlayıcıların mekanizmaları

ve girişimleri incelenirken, stabilizasyon teknolojilerinin diğer önemli esasları incelenirken bu testlerden faydalanılabilir. Bu nedenle, sızıntı testleri deponilerde karşılaşılan gerçek şartlara benzetilerek dizayn edilmelidir (LaGrega ve diğ. 1994; Balkan,1999).

Sızıntı testleri için uygun koşulları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

- Atık ağırlığının, sızdırma ortamının ağırlığına oranı 1/10- 1/20 aralığında olmalıdır.
- Sızdırma ortamı destile su veya pH 5'e tamponlayan asetat, asetik asit çözeltisi (pH=3) veya pH=3 olan sülfürik ve nitrik asit karışımı olabilir.
- Sızdırma süresi metoddan metoda değişiklik gösterir ve kesin testteki karıştırma zamanıda ayrıca farklıdır.
- Ekstraksiyon sıvılarının sayısı testlerin çoğunda 1-15 aralığındadır (Balkan, 1999).

Çökelme, stabilize atığı infiltre ederken, kirleticiler stabilize kütleden suya doğru hareket ederler ve çevredeki seyahatlerine devam ederler. Kısa dönem amaçlar, tabii ki çökme infiltrasyonunu minimize etmek ve çevreye yayılımından önce sızıntı suyunu toplamaktır.

Sızdırma testleri Tablo 2.10'da listelenmektedir. Kirleticilerin taşındığı akışkan leachant olarak adlandırılır. Bu akışkan kirleticilerle kirlendikten sonra sızıntı suyu (leachate) adını alır. Ekstraksiyon ve sızdırma terimleri birbirlerinin yerine kullanılabilir ve kirleticilerin katı veya stabilize bir matriksten akışkana taşınması prosesi olarak tanımlanırlar. Stabilize malzemenin kirleticileri sızdırma yeteneğine de sızdırabilirlik (leachability) denir.

Sızdırma testlerinin tek bir amacı yoktur. Bir sızdırma testi yapmanın çeşitli nedenleri vardır. Sızdırma testi, uygun bir karar verme süreci için temel oluşturmak için uygulanan düzenleyici(yasal) bir test olarak sürdürülebilir. Bu durumda sonuçlar daha önceden belirlenmiş standartlarla karşılaştırılır. Stabilize edilmiş malzeme geçer ya da kalır.

Tablo 2.10. Sızdırma Testleri (LaGrega ve diğ. 1994)

Sızdırma Testleri
Boya Filtresi Testi
Sıvı Açığa Çıkarma Testi
Ekstraksiyon Prosedürü -Toksisite Karakteristikleri (EPTox)
Sızdırma Prosedürü - Toksisite Karakteristikleri (TCLP)
Modifiye Edilmiş Uniform Sızdırma Prosedürü (ANS 16.1)
Olası Maksimum Konsantrasyon Testi
Denge Sızdırma Testi
Dinamik Sızdırma Testi
Kesikli Sızdırma Testi (Kesikli Kimyasal Ekstraksiyon)
Çoklu Ekstraksiyon Prosedürü

Buna alternatif olarak, bir sızdırma testi, gerçekte meydana gelen kirletici taşınımını modellemede veri üretmek için uygulanan bir tahmin testi olabilir. Temel bağlama mekanizmalarını, girişim faktörlerini ve stabilizasyon teknolojisinin altında yatan prensipleri araştırmak için araştırma testleri de sürdürülebilir. Bu test tiplerinin her birinin farklı amacı olduğu için farklı test metotları belirlenmiştir.

Akışkan, kütle içinden geçerken, kirletici örnekleri stabilize kütleden akışkana taşınır. Kirleticiler akışkan içinde çözüldükçe, stabilize malzeme yüzeyinden yıkandıkça veya kirleticiler stabilize kütleden akışkanın içine difüze oldukça bu olay meydana gelir. Bu nedenle, sızdırma özelliği, hem stabilize malzemenin hem de akışkanın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Sızdırma durumunu etkileyen temel faktörler, stabilize edilmiş ürünün alkalinitesi, atığın yüzey/hacim oranı, dolambaçlılığı, difüzyon için yol uzunluğunun bir ölçümü şeklinde sıralanabilir. Test seçiminde sızdırma mekanizmaları da değerlendirilmelidir.

Test metodu, örneğin sızdırma durumunu etkiler. Özellikle, sızıntı suyundaki kirletici konsantrasyonlarını etkileyen çeşitli test değişkenleri vardır:

- Akışkan/atık oranı
- Atığın yüzey alanı (örn. stabilize kütleyi küçük parçalara bölmek)
- Akışkan tipi (örn. distile su, asetik asit, simule edilmiş asit yağmurları)
- Akışkanın pH'ı

- Temas süresi
- Çalkalama derecesi
- Temiz akışkanın yer değiştirme sayısı
- Ekstraksiyon kuyusu
- Sıcaklık

Örneğin akışkanın atığa oranı ne kadar büyükse, stabilize kütleden sızan kirletici miktarı da o ölçüde fazla olacaktır (LaGrega ve diğ. 1994).

Tablo 2.10'da verilen sızdırma testleri aşağıda tanımlanmıştır:

1) Boya Filtresi Testi:

ABD'nde sıvı zararlı atıkların depolanması yasaklanmıştır. Boya filtresi testi de zararlı atık içindeki serbest sıvıların varlığını veya yokluğunu değerlendirir. Bu test, çabuk, ekonomik, yapılması ve değerlendirilmesi kolay bir testtir. Bu testte atıklar, standart bir boya filtre içine konur. Eğer 5 dakika içinde sıvı kendi ağırlığıyla akış gösterirse, zararlı atığın serbest sıvı içerdiği ve depolanmadan önce arıtılması gerektiği söylenebilir. Bu test stabilizasyondan sonra, stabilizasyon prosesinin atıktaki serbest sıvıları giderip gidermediğini belirlemek için kullanılabilir. En temkinli yorumlardan birine göre, boya filtresi testi, sisteme bir akışkan ilave edilmediği için bir sızdırmazlık testi değildir. Boya filtresi testi, alan iyileştirmesi gibi uygulamalar için stabilizasyon veriminin değerlendirilmesinde yeterli değildir.

2) Sıvıları Açığa Çıkarma Testi:

Bu test, katılaştırılmış bir sıvı atığın depolama için uygun olup olmadığını belirler. Prosedürler, sıvı atıkları katılaştırmak için hızar talaşı gibi sorbentlerin kullanımını engellemek için geliştirilmişlerdir. Bu testte katılaşmış kütleden sızıntı suyunun nasıl çıktığını test etmek için bir mukavemet baskısı uygulanır (LaGrega ve diğ. 1994).

3) Ekstraksiyon Prosedürü-Sızdırma Testi (EP):

EP toksisite testi, düzenli depolamadaki şartlara benzer bir şekilde dizayn edilir. Atığa asetik asit çözeltisi ilave edilerek bir karıştırıcı içinde çözdürülüp, sızdırmazlık testi için ekstraksiyon sıvısı hazırlanır. Atık içinde ayrışmadan kalan zararlı atıklar düzenli depolama için kötü koşullar oluşturur. EP testleri materyalin tehlikeli veya tehlikesiz olarak sınıflandırılmasında kullanılan testlerdir. Listede bulunmayan atıklar bu testi geçmiş demektir yani tehlikeli özellikleri standartların altındadır.

Kullanım ve benzeri çevresel koşulların etkileri düşünülerek atık uygun ölçekli partikül boyutu olan 9,5 mm'ye gelinceye dek ezilir. Sızdırmazlık testi için kullanılacak olan numune 100g kuru kütle içermelidir. Eğer daha büyük miktarlarda örnek alınırsa, örnek içine büyük hacimlerde su içeren kümeli materyal karışabilir. Seyreltilmiş çamur genelde %5'ten daha az miktarlarda kuru kalıntı içerirler ve bu çamurlar yer değişimi sırasında su kaybederler. Eğer test miktarları uygulanacaksa mutlaka homojen örneklere ihtiyaç vardır. Örnekler için bahsedilen bu koşullar sağlanmazsa örnek bütünüyle incelenmek zorundadır. 0.04 M asetik asit (pH=5) sızdırma çözeltisi 16:1 sıvı/katı oranında kullanılır. Ekstraksiyon, 24 saat çalkalama yapılarak sürdürülür. Ekstraksiyon tablo 2.11'de görülen spesifik kimyasal bileşenler için analiz edilir. Stabilize bir kütle için ekstraksiyon sıvısı, deiyonize su ve asetik asitin istenen pH sağlanacak şekilde karıştırılmasıdır. Spesifik organik ve inorganik bileşenlerin konsantrasyonlarının belirlenmesi için, filtre edilmiş ekstraksiyonun Tablo 2.11'de görülen spesifik kimyasal bileşenlerinin kimyasal analizleri yapılır.

Seyreltilmiş çamur sızdırmazlık testinden önce filtreden geçirilebilir. Filtrede kalan atık daha sonra sızdırılabilir. İnceleme için kullanılan çamur kütlesi, filtre atıklarından kalan kuru kalıntı miktarına bağlıdır. Sıvı faz veya filtrelenmiş materyalin hacmi ve yoğunluğu ölçülür. Sızdırma deneyi oda sıcaklığında ve 200 ml'lik geniş ağızlıklı şişede gerçekleştirilir. Sızdırmazlık zamanı 24 saat seçilebilir.

Uygun hacimli ve yaklaşık 1 gr ağırlığındaki geniş ağızlıklı şişe içine alınan 100gr kuru kütle içerikli örnek 1lt su ile seyreltilir ve yavaşça saat yönünde döndürülür veya çalkalanır. Örnekte bir hareket gözlenir. Sızdırmazlık süresi aşıldıktan sonra filtre yardımı ile çözünmemiş kısım sıvı fazdan ayrılır. Örneğin başka bir sıvı veya su ile çalkalanmasına izin verilmez. Örneğin pH'ı ve elektriksel iletkenliği ölçülür (Conner, 1990; Balkan,1999).

Arıtma çamurundaki organik ve inorganik bileşenlerin sızma özelliği, araziye verilen atığın toprağı veya yeraltısuyunu kirletip kirletmediğini belirlemek ve zararlı atık olarak sınıflandırılıp sınıflandırılamayacağını tespit etmek açısından çok önemli bir kriterdir. 1990 yılından önce, katı atıkların ve endüstriyel çamurların toksisitesini belirlemek için "Ekstraksiyon Prosedürü Toksisite Testi-EP" kullanılmaktaydı. EP testi, deponi sahasındaki atıkların sızıntı durumunu simule etmek üzere dizayn edilmiştir. EP testine göre sızıntı suyu sekiz ağır metal, dört pestisit ve iki herbisit

için test edilmektedir. EP sızıntı suyundaki bu 14 kimyasalın konsantrasyonları eğer EPA'nın öngördüğü limit değerleri (Tablo 2.11) aşarsa atık tehlikeli olarak sınıflandırılır.

Sonuç olarak EPA, çamurların ve katı atıkların toksisitesini değerlendirmek için mevcut kriterleri revize etmiş EP testini TCLP testiyle değiştirmiştir. TCLP geliştirilmiş ve daha iyi tanımlanmış bir sızıntı testidir ve EP ile ilgili olarak bazı operasyonel problemler ve sınırlamalar söz konusu olduğu için geliştirilmiştir (Dietrich ve diğ. 1995).

Tablo 2.11. EP Toksisite Karakteristikleri, Kirletici Standartlarının Maksimum Konsantrasyonları (LaGrega ve diğ. 1994)

EPA Zararlı Atık Numarası	Kirletici Madde	Standart (mg/l)
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
D013	Lindan	0.4
D014	Metoxiklor	10.0
D015	Toxafen	0.5
D016	2,4-D (2,4- diklorofenoxiasetik asit)	10.0
D017	2,4,5-TP Silvex(2,4,5-triklorofenoxipropiyonik asit)	1.0

4) Toksisite Karakteristikleri- Sızdırma Testi (TCLP):

TCLP, arıtma teknikleri ve stabilizasyon proseslerinin etkinliğinin karşılaştırılmasında yararlı bir metoddur. TCLP metodunda, sızıntı miktarlarının standartlara uygun olup olmadığı araştırılarak zararlı olan veya yüksek değerlere sahip olan maddeler belirlenir.

TCLP ABD'de 1986'da kabul edilen, EP toksisite testlerinin yerine geçmek üzere yasaların gerektirdiği bir testtir. Belli bir atığın depolanmadan önce teknoloji bazlı arıtma standartlarını karşılayıp karşılamadığını belirlemek için yapılır. Bu metotta, stabilize edilmiş malzeme 9.5 mm'den küçük boyutlara parçalanır. Parçalanan malzeme, zayıf asetik asit ekstraksiyon sıvısıyla karıştırılır. Sıvının sıvı:katı oranı 20:1'dir.Döner ekstraktörde 18 saat çalkalanır ve 0.6-0.8 mikrometre cam elyafı filtresinden süzülür. Bu sıvı TCLP ekstraksiyonu olarak adlandırılır. Bu ekstraksiyon sıvısı, uçucu organikler, yarı-uçucu organikler, metaller ve pestisitler açısından analiz edilir.

TCLP'nin stabilizasyon veriminin değerlendirilmesinde kullanımı, çeşitli yönlerden eleştirilmektedir. İlk olarak, katılaştırılmış monolitik kütle 9.5 mm elekten geçirilmek üzere kırılmaktadır, bu da makroenkapsülasyon ve mikroenkapsülasyonla gelen faydaları ortadan kaldırmaktadır. Partikül boyutu küçüldükçe sızdırma oranı artmaktadır. Eleştirilmesine rağmen, TCLP bir arıtma teknolojisinin diğeriyle veya bir stabilizasyon karışımının diğeriyle karşılaştırılmasında özellikle faydalıdır.

TCLP, EP'ye göre daha fazla organik bileşiğin tayinini kapsar (20 solvent ve uçucu organik bileşik, 16 yarı uçucu organik bileşik ve 2 ek pestisit). EP testindeki 14 inorganik ve organik kimyasallar için verilen düzenleyici limitler, TCLP testinde tekrar ele alınmış ve revize edilmiştir. Ayrıca bu testte belirlenen 38 organik kimyasal için yeni düzenleyici limitler oluşturulmuştur.

Her iki toksisite testi de katı atıklardaki organik ve inorganik bileşenlerin yağmur suyu etkisiyle sızmasını simule edecek şekilde dizayn edilmiştir ve her iki testtede katı örneklerden metallerin ve organiklerin ekstrakte edilmesi için zayıf asit çözeltisi kullanılmaktdır. EP ve TCLP toksisite testlerinin her ikiside çamur yada katı maddedeki organik ve inorganik bileşikleri kantitatif olarak ölçmemektedir (Dietrich ve diğ. 1995).

5) Amerikan Nükleer Topluluğu Sızdırma Testi (ANS 16.1):

Bu test, "Modifiye Edilmiş Uniform Sızdırma Prosedürü" olarak da adlandırılır. Katılaştırılmış radyoaktif atıkların sızdırma durumunu belirlemek için kullanılır. Bu test katı malzeme bloğu için tasarlanmıştır ve toprak benzeri ürünler için uygulanamaz. Test, yüzey alanının tam hesaplanmasını gerektirir, bu sayede difüzivite belirlenebilir ve çok miktardaki atık için kirletici kaybı oranı tahmin edilebilir. Bu testte katılaştırılmış bir örnek havalandırılmış demineralize suda yıkanır ve 30 saniyelik bir yıkamadan sonra örnek spesifik zaman aralıkları için reaktif olmayan bir konteynırda çalkalanır. Sızdırma ortamı (demineralize su) uzaklaştırılır ve 14 günlük test süresince çeşitli zaman aralıklarında yer değiştirir. Test, difüzyon katsayılarıyla ilişkilendirilebilecek sızdırılabilirlik indeksi olarak adlandırılan bir rakam verir.

6) Olası Maksimum Konsantrasyon Testi:

Bu test, bir doygunluk ortamı oluşturarak test malzemesindeki kirleticilerin çözünürlüklerinin belirlenmesini amaçlayan bir çalkalama testidir. Bu testte distile su, kuru ve toz haline getirilmiş örnekle birlikte çalkalanır ve belli kirletici konsantrasyonları ölçülür.

7) Denge Sızdırmazlık Testi:

Bu test, ekstraksiyon sıvısı olarak distile su kullanan kesikli bir ekstraksiyon prosesidir. Bu testte, kurutulmuş örnek, elekten geçirilir ve 4:1 sıvı/katı oranıyla distile su ile karıştırılır. Karışım 7 gün çalkalanır ve filtre edilen özüt toplam çözünmüş katılar açısından analiz edilir. Çeşitli kimyasal analizlere de başvurulabilir.

8) Dinamik Sızdırmazlık Testi:

Bu test, çoklu ekstraksiyon prosedürü gibi sızdırma oranı ile ilgili bilgi verir. Diğer testlerde elde edilen konsantrasyonlar (ANS 16.1 hariç) "denge" veya "statik" değerlerdir ve açığa bırakma oranıyla veya bunun zamanla değişimiyle ilgili bir şey söylemez. Bu açığı kapatmak için, dinamik sızdırma testleri uygulanır. Bu testte monolitik katılaştırılmış örnek distile suda emilir. Yapılan çeşitli işlemlerden sonra örnek çeşitli zaman aralıklarında organikler, inorganikler açısından analiz edilir. Bu verilerle zamana bağlı davranış, difüzif taşınma değerlendirilebilir ve uzun dönem sızma oranı tahminlerinde kullanılabilir.

9) Kesikli Sızdırma Testi (Kesikli Kimyasal Ekstraksiyon):

Bu test metallerin katı bir maddeden sızma durumunu değerlendirmek için kullanılır. Farklı aşındırıcılık özelliklerine sahip 5 kimyasal ekstraksiyon uygulanarak, kimyasallar 5 fraksiyona ayrılır: iyon değişim fraksiyonu, yüzeydeki oksit ve karbonata bağlı metal iyonları, demir ve mangan oksitlere bağlı metal iyonları, organik madde ve sülfüre bağlı metal iyonları ve kalan metal iyonları. Bu testte örnek fırında 60°C'de kurutulur ve elekten geçirilir. Ekstraksiyon yapıldıktan sonra kimyasal analizler yapılır.

10) Çoklu Ekstraksiyon Prosedürü:

Bu test, uygun bir şekilde tasarlanmamış depolama alanındaki atıkların asit yağmurlarıyla sürekli teması sonucu maruz kalacağı sızdırma şartlarını oluşturmaya çalışır.

Deneyin başında izlenen prosedürler EP toksisite testiyle aynıdır. Ancak kalan katı kısım sentetik asit yağmuru ekstraksiyon sıvısıyla 9 kere daha yeniden ekstrakte edilir.Her ekstraksiyon sonrası karışım 24 saat çalkalanır ve ayrılır. Ekstrakt analizi yapılır (LaGrega ve diğ. 1994).

2.2.9. BS 6920

"British Standards" BS 6920 (İnsan Tüketimi İçin Tasarlanan Su Kalitesi Üzerine Etkileri Gözönünde Tutularak Su ile Temasta Kullanılan Metal Olmayan Ürünlerin Uygunluk Standartı- 1996) , su kalitesi üzerindeki etkilenmeyi tespit eden standart bir yöntemdir. Bu yöntemler;

- Suyun tadı (BS 6920: Part 1. Clause 4),
- Suyun rengi (BS 6920: Part 1. Clause 5),
- Suyun bulanıklık değerleri (BS 6920: Part 1. Clause 5),
- Su mikroorganizmalarının gelişme hızı (BS 6920: Part 1. Clause 6),
- Suya geçen metaller (BS 6920: Part 1. Clause 8),
- Sudan madde ekstraksiyon ile zehirlilik (BS 6920: Part 1. Clause 7),

olarak verilmektedir. BS 6920 standartına göre bazı metallerin izin verilebilir maksimum konsantrasyonları Tablo 2.12'de verilmektedir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tablo 2.12. Bazı Metallerin Maksimum İzin Verilebilir Konsantrasyonları (BS 6920, 1996)

Metaller	**Maksimum İzin Verilebilir Konsantrasyonlar (μg/l)**
Alüminyum	200
Antimon	10
Arsenik	50
Baryum	1000
Kadmiyum	5
Krom	50
Demir	200
Kurşun	50
Mangan	50
Civa	1
Nikel	50
Selenyum	10
Gümüş	10

Bu çalışmada, BS 6920 standartının, "Su mikroorganizmalarının gelişme hızı" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılma amacı, çimento ve otomotiv sektörü zararlı atıkları ile hazırlanan ürünlerinin düzenli depolama sahalarına uzaklaştırılması veya grobeton olarak kullanılması sonucu içme suyuna çözünerek geçmesi ile sağlık tehdidi yaratıp yaratmayacağının değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme yaklaşımında, elde edilen en önemli parametre ürünün kullanım amacı ile ilgili olarak suya geçmesindeki faktör olan çözünürlüktür. Ürün içindeki atık maddelerin katılaştırılmış durumda (çimento ile) sudaki çözünülürlüğü değerlendirilmiştir. Katı ve suda çözünülürlüğü hiç olmayan bir maddenin çevresel koşullar göz önüne alınarak suya geçmesi ile herhangi bir sağlık riski yaratması düşünülmemektedir (BS 6920, 1996; Talınlı, 2000).

2.2.10. Literatürdeki Çalışmalar

Solidifikasyon / stabilizasyon (S/S) prosesleri çevre teknolojisinin önemli ve kabul edilebilir bir bölümü olarak yerini bulmuştur. Bunun sonucu olarak son dönemlerde pek çok S/S metodu geliştirilmiş, zararlı ve endüstrilerden , belediyelerden ve hükümet kaynaklarından elde edilen diğer atıkların arıtımı için önerilmiştir (Connera ve Hoeffnerb, 1999). Bu konuda birçok çalışma yapılmıştır. Bu tez kapsamında özellikle ağır metal içeren çamurların bağlayıcı olarak çimento ilavesiyle S/S proseslerinin uygulandığı çok sayıda araştırma incelenmiştir.

Stegemann ve Cote' (1996), atıkları daha ucuz olan depolamaya uygun hale getirmek ve hatta faydalı kullanımlarını sağlamak için, zararlı atıkların kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirmede solidifikasyon teknolojilerinin potansiyel olarak faydalı olduğunu vurgulamışlardır. Ancak daha önce zararlı atık olarak sınıflandılıp işlem görmüş atığa bu prosesi uyguladıktan sonra elde edilmiş zararsız atığın tekrar sınıflandırılması için bir mekanizmanın bulunmadığını belirtmişlerdir. Böyle bir mekanizmaya olan ihtiyaca cevap vermek üzere "Atıksu Teknoloji Merkezi", çimento bazlı solidifiye atıklar için test metotlarının bir protokolünü önermiştir. Bu önerilen test metotları, kimyasal fraksiyonların bir sonucu olarak kirleticilerin ayrılmasını ve katılaşmış atık yapıdaki kirleticilerin hareketliliğini temel alarak kirleticilerin serbest kalması için bir potansiyeli inceler. Önerilen test metotlarının çoğu, zararlı ve radyoaktif atıkların alanlarından alınan standartlardır ve bunlardan bazıları "Çevresel Kanada" tarafından başlatılan solidifikasyon prosesinin satıcıları ile bir işbirliği çalışmasında değerlendirilmiştir. Bu testlerde, solidifiye olmuş ürünlerin performansına dayanarak, dört farklı faydalanma ve uzaklaştırma senaryosu düşünülmüştür: sınırsız kullanım, kontrollü kullanım, ayrı depolama ve düzenli depolama. Sonuç olarak, hazırlanan bu protokol, farklı uzaklaştırma senaryolarının kapsamında, solidifiye olmuş atıkların fiziksel ve sızma karakteristikleri açısından bir yönetim aracı geliştirmede ilk girişimi yapmıştır.

Glasser (1997), yaptığı bir çalışmada çimento esaslı S / S prosesinin temel yönlerini incelemiştir. Bu incelemede, çimento matriksli malzemelerin bağlayıcı olmak için kendi formülasyonlarını oldukça değiştirdiklerini ve ayrıca cüruf, uçucu kül ve benzer katkı maddelerinin çimentoya eklenmesinin ekonomik olduğu ve teknik avantajlar sağladığını vurgulanmıştır. Ayrıca, atık türlerinin çimento bileşenleri ile

reaksiyona girerek çözünemeyen maddelerin oluşumu ile kimyasal bir kontrol sağlandığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda çimento ile katılaştırılan bileşiklerin çevreye atıldığı zaman bazı kimyasal değişikliklere uğramış olduğu ve bu malzemelerin gelecekte nasıl bir özellik gösterdiği konusunun araştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Chang ve diğ. (1999), bağlayıcı olarak çimento, uçucu kül, cüruf ve kabuklu kireç kullanarak optimum bir S/S prosesi dizaynını değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada katılaşmış ürünün basınç dayanımı ve sızıntı suyundaki metal konsantrasyonları belirlenmiştir. Sonuç olarak optimum karışımın % 14 cüruf, % 55 uçucu kül, % 14 kabuklu kireç ve % 17 çimento içerdiği ve bu optimum karışımın elektro kaplama ve tabakhane atık çamurlarına sadece sızmanın azalması hususunda etkili olduğu görülmüştür. Hem kabul edilebilir bir basınç dayanımı hem de sızmada azalma sağlanması için çimentonun arttırılması ve su / çimento oranının azalması gerekmektedir. Ayrıca uygun şekilde karıştırılan puzolanik malzemelerin de solidifikasyonda bağlayıcılık görevi gördüğü sonucuna varılmıştır.

Andre's ve diğ. (1998), bağlayıcı olarak endüstriyel bir yan ürün olan anhidrit ($CaSO_4$) kullanarak ağır metal çamurlarına S / S prosesi uygulamıştır. Bu çalışmada bağlayıcı / atık oranı, $CaSO_4$'ın partikül büyüklüğü, Cd, Cr ve Pb içeren sentetik çamurun S / S prosesindeki su miktarı gibi değişkenlerin etkisi incelenerek, TCLP yöntemiyle katılaştırılmış materyalin sızma davranışları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, S / S prosesinde bağlayıcı olarak anhidrit kullanılmasının mümkün olduğu, bu yöntemle sızan ağır metal konsantrasyonlarında önemli bir azalma olduğu ve bu proses ile arazide depolama kriterlerinin sağlandığı görülmüştür.

Diet ve diğ. (1998), krom ve /veya çinko hidroksit çamurlarını farklı oranlarda portland çimento ile karıştırarak, çimento hidratasyon prosesi üzerine atığın sebep olduğu makroskopik ve mikroskopik etkilerini değerlendirmişlerdir. Başlangıç sabitleme zamanı, hidratasyon esnasındaki ısı üretimi, sızma karakteristikleri ve numunelerin mikro yapısını farklı teknikler kullanılarak araştırmışlardır. Bu araştırmada, katı hidratasyon fazının çökmesi nedeniyle, çinko hidroksit çamurlarının birkaç dakika sonra hidratasyonu durdurduğu görülmüştür. Çamur / çimento oranının 2-3 / 1 oranının altında kalması, krom hidroksit çamurlarının çimento hidratasyonunu hızlandırdığı ve daha yüksek oranlarda sızıntıdaki pH'ın artmasıyla krom

oksidasyonu azalarak, hidratasyonun engellendiği görülmüştür. Ayrıca çamurdaki kromat iyonlarının varlığı ile ilişkili olarak bazı mikro yapısal değişiklikler tespit edilmiştir.

Andre's ve Irabien (1994),proses değişkenlerinin etkilerini (karıştırma zamanı, atık / bağlayıcı oranı ve su / katı oranı) inceleyerek, çelik döküm kumlarına S / S prosesini uygulamışlardır. S / S prosesi sonrasında elde edilen katılaşmış ürünün sızıntısında biyotoksisite, Cr, Cd, Pb ve Zn konsantrasyonları kontrol edilip , bu miktarların temelde metal hidroksit çözeltilerinin bir fonksiyonu olarak atık / bağlayıcı oranına bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu çalışma ile çelik döküm atık kumları için S / S prosesinin uygun olduğu kanıtlanmıştır.

Chan ve diğ. (2000), yaptıkları bir çalışmada otomobil fren fabrikası faaliyetlerinden kaynaklanan asbest içeren fren astarlama atık tozlarının S / S prosesiyle bertarafını incelemişlerdir. S / S prosesinde bağlayıcı malzeme olarak tek başına portland çimentosu ve portland çimentosu ile aktif karbon karışımını kullanmışlardır. Bu yöntem ile Ba, Zn, Cr, Pb, Cu ve Fe ağır metallerinin ne kadarının hazırlanan katı materyal içinde tutulduğu TCLP yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Burada USEPA tarafından belirlenen limit değerler gözönünde tutulmuştur. Bu çalışma sonucunda, çimentoya aktif karbon eklenmesiyle , çimentonun tek başına kullanılmasına göre metal sızmasında ilave olarak % 4 - 24 bir azalma olduğu görülmüştür.Ayrıca yapılan TCLP deneyleri çimento tek başına kullanıldığında en yüksek sızıntı oranının Ba'da daha sonrada sırasıyla Zn, Pb, Cr, Cu ve Fe'de olduğunu, çimentonun aktif karbon ile karıştırıldığında da benzer sızma özelliklerinin sergilendiğini, bununla beraber daha düşük sızma oranları elde edildiğini göstermiştir. Çimento esaslı S / S prosesinde atık miktarı % 40'dan % 70'e çıkarıldığında numunelerin katılaşıp belli bir dayanıma ulaşmasının 30 saatten 96 saate ulaştığı belirlenmiştir. Katılaştırılmış materyallerde basınç dayanımlarının spesifik bir değer olan 414 kPa (4.14 kgf / cm^2) değerinin üzerinde olan 1 – 12 Mpa (10 – 120 kgf / cm^2) değerlerine ulaştığı görülmüştür. Bu çalışma sonucunda yapılan ekonomik analiz ile bu atıkların düzenli depolama ile uzaklaştırılmasında çıkan maliyete göre, çimento ile S / S prosesi uygulanmasıyla maliyette % 40.3, aktif karbon ile birlikte çimento kullanılması durumunda maliyette % 43.8 ilave bir artış olduğu gösterilmiştir. Bu durumda , fren atık tozları içinde bulunan ağır metallerin S / S prosesi ile tutulmasının etkili olduğu, ancak maliyetler gözönünde bulundurulduğunda, yeni yönetmelik ihtiyaçlarının

yürürlüğe girmediği sürece bu yöntemin ticari adaptasyonunun engellenebileceği sonucuna varılmıştır.

Lee ve diğ. (1988) , arsenik arıtma prosesinden kaynaklanan çamurların içerdiği arseniğin insana ve çevreye olan potansiyel zararını önlemek için uygun bir şekilde arıtılması ve uzaklaştırılması gerektiğini vurgulamışlardır. Buna dayanarak, arsenik çamurlarının endüstriyel atık olan uçucu kül ve kullanılmış kalsiyum karpit ile solidifikasyon prosesi kullanarak arıtılması konusunda bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, solidifikasyon öncesi, çamura $CaCl_2$ veya $Ca(OH)_2$ eklenerek bir ön arıtma yapılmıştır. Bu ön arıtmada, çamura, 1, 3, 5, 10 ve 15 oranlarında $CaCl_2$ eklenerek karıştırılmıştır. En yüksek basınç dayanımı, $CaCl_2$ / As oranının 3 olduğu durumda gözlenmiştir. Bu olayda, çamurdaki arsenat iyonları kalsiyum arsenat oluşumu ile stabilize olmuştur. Katılaşmış numunelere yapılan ekstraksiyonda, numunelerin nem odasında bekletme süreleri arttırıldığında, ekstrakttaki arsenik konsantrasyonunun düştüğü görülmüştür. Ayrıca, en düşük arsenik konsantrasyonu, $CaCl_2$ / As oranının 3 ve 5 olduğu durumda elde edilmiştir. Denemeler sonucunda, $CaCl_2$ eklenerek yapılan ön arıtmanın, ekstraksiyon çözeltisindeki arsenik konsantrasyonunu düşürmede etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca bu şekilde bir ön arıtma yapılarak, solidifikasyonda kullanılan uçucu kül, kullanılmış kalsiyum karpit ve çimento miktarınında azaltılmış olduğu belirtilmiştir.

Dutre' ve Vandecasteele (1993), çok büyük miktarlarda arsenik (% 42) içeren endüstriyel atıklarının S / S prosesi ile bertarafı konusunda çalışmışlardır. S / S prosesinde bağlayıcı olarak çimento ve puzolanik malzemeler kullanılmıştır. Bu çalışmada, sızıntıdaki az çözünür kalsiyum- arsenik bileşenlerinin oluşmasıyla, katılaşmış materyalden sızan arsenik konsantrasyonunun azalmasında ana faktörün kireç ilavesi olduğu ortaya konmuştur. Katılaştırılmış atıktan sızma mekanizmasını araştırmak için yarı- dinamik sızıntı testleri yapılmıştır. Bu testlerin kapsamında bulunan statik sızıntı testleri, sızıntıdaki arseniğin davranışı hakkında daha fazla bilgi vermiştir. Ayrıca, sızıntıdaki arseniğin As^{+3} formunda olması, arseniğin $CaHAsO_3$ formunda çökebilecek şekilde ortamda mevcut olduğuna bir delildir. Bu çalışma sonucunda çimento ve kireç ile solidifikasyonun, katılaşmış atıktan arsenik sızıntısını azaltmak için çok uygun olduğu ve katılaştırılmış atık malzemenin sızıntısında $CaHAsO_3$ bileşenlerinin oluşumu sayesinde sızıntıdaki arsenik konsantrasyonunun azalmasında kalsiyumun çok önemli olduğu vurgulanmıştır.

Dutre' ve Vandecasteele (1995) yaptıkları başka bir çalışmada, bir metalurji prosesinin bakır rafine işlemlerinden kaynaklanan büyük miktarlarda (% 42) arsenik içeren bir endüstriyel atığın uygun bir arıtma metodu olan S / S prosesi ile arıtılmasını incelemişlerdir. S / S prosesi uygulanan atıktan arseniğin sızmasında oluşan azalma üzerinde durularak ve bu proseste kullanılan tüm katkıların (atık asit, sıcak fırın cürufu, sönmüş kireç, çimento) etkileri ölçülerek sistem optimize edilmiştir. Bu optimizasyon ile S / S prosesi oldukça basitleştirilmiştir. Bu çalışmada, atığa kireç ilavesinin, çözünmeye karşı dayanıklı olan kalsiyum- arsenik bileşenlerini oluşturması ile sızıntıdaki arsenik konsantrasyonunun azalmasında çok önemli bir faktör olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca alüminyum ve baryum tuzlarının ilavesi ile diğer zor çözünebilir bileşenlerin oluşumu sayesinde sızıntıdaki arsenik konsantrasyonunun azaltılması üzerinde durulmuştur. Çimento veya diğer puzolanik malzemelerin kullanımının da katı yapı oluşumunda uzun dönem sızma özelliklerinde çok önemli rol oynadığı vurgulanmıştır.

Dutre' ve Vandecasteele (1996) yaptıkları çalışmada, As_2O_3 olarak büyük miktarda arsenik içeren endüstriyel atığa S / S prosesini uygulamışlardır. Bu proses ile atığa çimento, kireç ve fırın cürufu eklenerek arıtılmıştır. S / S prosesini optimize etmek için bu bağlayıcı malzemeler farklı miktarlarda ve kombinasyonlarda eklenerek 10 farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan katılaştırılmış numunelere DIN 38414 ekstraksiyon testi ve yarı-dinamik sızıntı testi uygulanarak, sızan arsenik miktarları belirlenmiştir. Burada, kirleticilerin (As, Sb, Pb) katılaşmış örneklerden uzun vadedeki sızma özelliği hakkında kantitatif bilgi edinmek üzere yarı-dinamik sızıntı testleri uygulanmıştır. Çalışmanın sonucu sızıntı suyundaki arsenik konsantrasyonunun pH'a ve az çözünebilir $CaHAsO_3$ formundaki Ca konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, serbest hale geçen kümülatif fraksiyonlar ile sızma süresinin karakökü arasında lineer bir ilişki olduğu gözlenmiştir ve bu durumda serbest hale geçme mekanizmasının difüzyon olduğu sonucuna varılmıştır. Örneklerde incelenen tüm elementlerin mobilitesinin düşük olduğu, bu bağlamda Ca en yüksek mobiliteye sahipken, bunu As ve Sb'nin izlemekte olduğu ve Pb'un ise en düşük mobiliteye sahip olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, S / S örneklerindeki kalsiyum miktarının arttırılmasıyla sızan arseniğin azaldığı ve dolayısıyla çimentoya nazaran kireç eklenmesinin daha etkili olduğu izlenimleri elde edilmiştir.

Cla'udio (1991) dokuz ay boyunca elektro kaplama atıksuyu arıtma çamurlarının çimento ile solidifikasyonu konusunda laboratuvar çalışması yapmıştır. Bu çalışma kapsamında, portland çimentosu, puzzolan çimento ve sıcak fırın çimentosu olmak üzere üç tip çimento kullanılmıştır ve yapılan işlemler aşağıdaki basamaklardan oluşmuştur:

- elektrokaplama endüstrisi atıksu arıtma çamurunun karakterizasyonu ve çamur-çimento karışımlarının belirlenmesi,
- 3 farklı su/çimento oranı için çamur- çimento karışımlarının hazırlanması,
- karışımların kıvamının ölçülmesi,
- solidifiye olmuş örneğin basınç dayanımının ve sızıntı kalitesinin belirlenmesi,
- çamur- çimento karışımındaki analitik belirlemeler,
- suda çözünebilirlik testinin uygulanması,
- numuneyle muamele edilen suda siyanür ve ağır metallerin analitik olarak belirlenmesi.

Bu çalışmanın sonucu, elektrokaplama atıksu arıtma çamurlarında büyük konsantrasyonlarda bulunan Cr, Ni, Cu veya Zn gibi metallerin ve Cd, Hg, Pb gibi toksik metal iyonlarının sabitlenmesi için çimento solidifikasyonunun etkili bir teknoloji olduğunu göstermiştir. Sızıntı suyunda Al^{+3} dışındaki diğer metal iyonlarının içme suyu standartları altında kaldığı görülmüştür. Ayrıca çamur-çimento karışımı ile hazırlanan numunelerin 90 gün sonraki basınç dayanımları beton yapısına benzer bir performans göstermektedir.

Janusa ve diğ. (1998), ağır metal olarak ağırlıkça % 10 ve % 15'lik kurşun nitrat kullanarak bu atığın yaygın bir metod olan S / S prosesi ile en ekonomik ve en etkili bir biçimde arıtımı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada atık / çimento karışımına şeker kamışı posası katkı olarak ilave edilmiştir. Hazırlanan karışımlar, 24 °C'de 7, 14 ve 28 gün nem odasında bekletilmiştir. Katkı ilave edilerek hazırlanan katılaştırılmış numunelere TCLP metodu uygulanmıştır. Çalışma sonucunda hazırlanan tüm numunelerde ekstraksiyondaki kurşun konsantrasyonunun yaklaşık 0.5 mg/l olduğu bulunmuştur. Bu numunelerin katkı içermediği durumda ekstrakttaki kurşun konsantrasyonlarının % 10'luk kurşun içeren numunelerde 5 mg/l, % 15'lik kurşun içeren numuneler için 45 mg/l olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlarda,

kurşunun S / S prosesi ile arıtımında çimentoya şeker kamışı posası ilave edimesinin etkili olduğunu göstermiştir.

Parapar ve diğ. (1998) tarafından yapılan bir çalışmada, zararlı atıklara S / S prosesi uygulanarak elde edilmiş katı materyalin sızıntısındaki kimyasal analizler araştırılmıştır. Katılaşmış metal atıkların sızıntılarının kontrolünde, sızıntının pH değerinin çok önemli bir parametre olduğu ve bu yüzdende sızıntıdaki en düşük konsantrasyonların pH'ın optimum oranları içinde ortaya çıktığı görülmüştür. Bu çalışmada metal endüstrisi atıklarının arıtımında kullanılan farklı formülasyonların sızıntılarının sonuç pH'ını tahmin etmek için bir metot önerilmiştir. Bu metot, S / S prosesinde kullanılan malzemelerin oranlarının ayarlanmasına yardımcı olmaktadır. Öncelikle karışım bileşenlerinin asetik asit ile titrasyonu ile nötralizasyon eğrileri elde edilmiş, bu eğriler baz alınarak S / S katılarının alkali tamponlama kapasiteleri tanımlanmış ve sızıntıdaki sonuç pH tahmin edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, tahmin edilen değerler ile test sonuçları arasında mükemmel bir uygunluk görülmüştür. Bununla beraber, bazı atıklar için ve S / S katkı malzemeleri için farklılıklar oluşabileceği de düşünülmektedir. Bunun sebebide , eğer tahmin edilen sızıntı pH'ı sonuçtan daha düşük ise sistem içinde oluşan alkali tüketme reaksiyonlarıdır. Sonuç olarak bu metot, proses içi oluşan reaksiyonların tanımlanmasına yardımcı olur ve elde edilen katıların zaman geçtikçe nasıl değiştiğini gözlemlemeye yardımcı olur.

Rha ve diğ. (2000)'nin yapmış olduğu bir çalışmada, S / S prosesi esnasında toksik atıklar ile katılaşan cüruf karışımının kimyasal kararlığı üzerine krom ve kurşun iyonlarının etkileri incelenmiştir. Ayrıca, cürufun hidratasyonu üzerine Cr ve Pb'un etkileri araştırılmıştır. Sodyum silikat (Na_2SiO_3) ağırlıkça % 5'lik cüruf ile birlikte kullanılmıştır, bunun amacı cürufun hidratasyonu için alkali bir faaliyet oluşturmaktır. Cürufun yanında uçucu kül ve alçı taşı içeren katılaştırılmış materyalin fiziksel kararlılığı da incelenmiştir. Çalışma sonucunda, cürufa alçı taşı ilave edildiği zaman katılaşmış materyalin basınç dayanımının arttığı gözlenmiştir. Bu olayda oluşan fazlar mikroyapının yoğunlaşmasına sebep olmuştur, aynı zamanda ağır metal iyonlarının sızma miktarlarının da azaldığı görülmüştür. Aynı şekilde, cürufa uçucu kül eklendiği zaman da basınç dayanımı artmış ve alüminyum hidratların oluşumu ve iyon değişimi ile sızma miktarları azalmıştır. Katılaşmış cürufun hidrate olmuş yapısı sayesinde, fiziksel kapsülleme oluşmuş ve kurşun

iyonları çoğunlukla stabilize olmuştur. Sonuç olarak, ortamda krom iyonları varlığında, alüminyum hidratların yapısındaki alüminyum atomları ile katı solüsyon içindeki bir başka iyonla oluşturduğu bileşik sayesinde, temelde solidifikasyonun oluştuğu gözlenmiştir.

Jang ve Kim (2000) yaptıkları bir çalışmada, maden atıklarının ve uçucu külün elementel komposizyonunun belirlenmesi için üç tip asidik çözelti (0.1 N HCL, HNO_3 – $HClO_4$ ve HNO_3 – HCl) uygulamışlardır. Ayrıca, kimyasal fraksiyonların belirlenmesi için bir ardışık ekstraksiyon prosedürü gerçekleştirilmiştir. Solidifiye ve stabilize olmuş materyal için uygun çimento, atık ve uçucu kül oranının tespit edilmesi amacıyla üçüncü, yedinci ve yirmi sekizinci günlerde basınç dayanımı ölçümleri yapılmıştır. En yüksek dayanımın elde edildiği karışım oranı % 85 çimento, % 5 maden atıkları ve %10 uçucu kül şeklindedir. Maden atıklarının ve uçucu külün fizikokimyasal özelliklerinin , hava şartlarına ve ayrıca kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklı olan çevresel nötr bileşiklerin oluşumuna karşı, etkili olduğu gözlenmiştir. Özellikle Cd ve Cr'un diğer elementlere göre değişebilir formlarda daha yüksek bir fraksiyona sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, S / S prosesinde hazırlanan numunelerin daha uzun süreler nem odasında bekletilmeleri durumunda, ağır metal sızma miktarının azaldığı görülmüştür.

Grilc ve Petkovsek (1997), uçucu kül, portland çimento, bunların karışımları ve sönmüş kireç gibi farklı mineral katılaştırıcı maddeler ile bor içeren mineral çamurların stabilizasyonu üzerine bir araştırma geliştirmişlerdir. Alkali çamur (pH=10), % 1 civarında çözünmüş sodyum borat içermektedir. Bu çalışmada, karışımdaki uçucu kül miktarı en az çamur miktarı kadar olduğunda , katılaştırma işleminden sonra sızıntıdaki bor miktarının 40-50 faktör düştüğü görülmüştür. Katılaşmış karışımların fiziksel bir bütünlüğe sahip olması ve hidrolik geçirimsizliğinin sağlanması deponinin güvenliği açısından önemlidir. Bu durumun daha az portland çimento ilavesiyle (çamur ağırlığının % 10'u kadar) sağlanabildiği ancak kireç ilavesinin çamur üzerine çok küçük stabilizasyon etkisi gösterdiği tespit edilmiştir. Ham nemli çamurun bir kg'ı başına 0.1-0.15 kg çimento kullanılarak tatmin edici fiziksel bir bütünlük sağlanarak, düşük geçirimlilik ve sızdırmazlık elde edilmiştir. Uçucu külün daha az etkili olduğu ve çamur ağırlığının 2-3 kat fazla miktarda uçucu küle ihtiyaç olduğu görülmüştür. Bu durum, deponiye gidecek olan atık miktarınıda arttıracaktır. Bu çalışma sonucunda deponi sahasında yapılan deney

sonuçlarının laboratuvarda elde edilen deney sonuçlarına yakın olduğu görülmüştür. Bu yöntem ile elde edilen stabilize çamurun Slovenia'da yeni yapılan düzenli deponi sahalarının tabanında kullanıldığı belirtilmiştir.

Park (2000), ağır metal içeren zararlı atıkların solidifikasyon ve stabilizasyonunu araştırmak için üç farklı katılaştırma materyali kullanmıştır.Bu materyaller, portland çimento (OPC), klinker fırın tozu (CKD) değiştirilmiş OPC ve CKD ile hızlı katılaştırmayı sağlayan bir madde (QSA) içeren OPC'sudur. Bu araştırmada, kullanılan CKD'undaki yüksek alkaliler katılaşma ve çimentonun hidratasyonunu hızlandırıcı ve QSA ise hızlı katılaştırıcı ve çimentonun basınç dayanımını arttırıcı etki yapmaktadır. Çelik endüstrisindeki ağır metallerine S / S prosesi uygulandığında, yüksek alkali CKD tozu içeren modifiye çimento ile atık formundan sızan ağır metalin azaldığı ve atık formunun basınç dayanımının arttığı gözlenmiştir. CKD ve QSA içeren çimento ile S / S prosesi uygulandığında da sızıntıdaki ağır metal miktarının çok az olduğu, hidrat oluşumunun çok fazla olması nedeniyle yüksek basınç dayanımının elde edildiği tespit edilmiş ve çok ağır metal içeren zararlı atıkların stabilizasyonunda en etkili yöntemin bu olduğu sonucuna varılmıştır.

Pera ve diğ.(1997) yaptıkları literatür araştırması sonucunda, atık- bağlayıcı girişimleri üzerine verilere tam olarak ulaşılamadığı ve bunun bir gereksinim olduğunu belirtmişlerdir. S / S mekanizmaları ile tutunma için bağlayıcıların formülleri üzerine yapılan araştırmalar sonucunda bazı bağıntılar bulunduğu vurgulanmıştır. Bu nedenle, paralel olarak bu iki olayın birlikte yapılabilmesine izin veren iki katlı bir program geliştirmişlerdir. Bu programda, her bağlayıcı tipi için ağır metallerin S / S'nunda yer alan mekanizmaların anlaşılması ve ağır metallerin sabitlenmesi için bağlayıcı kapasitesi oranlarının anlaşılması olmak üzere iki hedef yer almıştır. Deneysel yöntem iki konuya dayandırılmıştır: 1) iletkenlik ölçer, iyon kromotografisi, kolorimetre vb. yöntemler vasıtasıyla ortamda çözünemeyen bileşenlerin incelenmesi, 2) sızıntı testleri ve mikroyapısal özelliklerin belirlenmesi için saf bağlayıcıların çalışılması. Bu çalışmada, % 100 portland çimento (OPC), % 80 OPC / % 20 uçucu kül (FA), % 80 OPC / % 20 metakaolin, % 80 granüle sıcak fırın cürufu (GGBFS) / % 20 OPC, % 50 OPC / % 25 GGBFS / % 25 FA ve % 75 GGBFS / % 25 OPC(ultra ince çimento) olmak üzere 6 farklı bağlayıcı araştırılmıştır. Çalışma, atıkların S / S için bir bağlayıcı kabul etmenin yeterli olmadığını göstermiştir. Atık olarak sodyum dikromat seçilmiştir ve bu atığa

belirtilen altı bağlayıcı uygulanmıştır. Sonuçlar, en etkili bağlayıcının çimento olduğunu göstermiştir. Uçucu kül ve metakaolin eklenmesinin, kromat sabitlenmesine karşı uygun olmadığı görülmüştür. Çimento esaslı cüruf karışımı, toplam porozite ve gözenek dağılımına göre difüzyon testleri dışında genelde iyi sonuç vermiştir. Çalışmanın sonucu, hidratasyon ile kirleticilerde azalma olup olmadığını, solidifikasyonun önemi gözönünde bulundurulmadan bağlayıcı stabilizasyonunun kapsamının kolay tespit edilebildiğini ve gerekli mekanizmaları açıkladığını göstermektedir.

Hong ve diğ. (1988), atık stabilizasyonu için çimento bazlı teknik üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, çimentonun yüksek miktarda ağır metal ve asit içeren atıklar için oldukça etkili olduğu, çünkü çimentonun doğal alkalinitesinin asidik çözeltileri nötralize, pek çok ağır metali de immobilize ettiğini vurgulamışlardır. Aynı zamanda bu teknik ile atığa arazide depolanabilmesi veya yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi için yeterli bir yapısal dayanım sağlandığı belirtilmiştir. Bu çalışma ile bazı ağır metallerin fiziksel karaktesistiklerinin belirlenmesi ve bu bilgiyi kullanarak normal çimento kimyasının nasıl etkilendiğinin ifade edilmesi amaçlanmıştır. Pil üretim endüstrisinden alınan atıklar kullanılmıştır. Bu atıklar Tip I adi portland çimentosu ile ve ağırlıkça 1:1 oranında çimento, ince dövülmüş çeltik kabuğu külü karışımı ile ve çimento ocağı tozu gibi solidifiye edici malzemelerle karıştırılmıştır. Bu çalışmada kontrol edilen fiziksel özellikler basınç dayanımı ve sızma özelliğidir. Bu özellikler, dayanımın derecesini ve katılaşmış materyalin içerdiği bağlayıcı malzemelerin etkinliğini belirlemedeki tipik göstergelerdir. Deneylerde kadmiyum ve kurşun, bu metalleri adsorbe etmede en başarılı bağlayıcı malzemeyi bulmada indikatör olarak kullanılmıştır. Testler atıktaki ağır metal miktarlarını ve su/ çimento oranlarını (0.35:1, 0.50:1 ve 0.70:1) her bir örnekte değiştirmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Örneklerin sızma özellikleri, örneklerin yüzey alanı / hacim oranlarını değiştirerek ve EP Toksisite Ekstraksiyon prosedüründeki ekstrakt çözeltisi pH'ını değiştirerek (2.7 ve 10) yapılmıştır. Ayrıca denemeler sonucunda muamele süresinin basınç dayanımı ve sızma özelliği üzerindeki etkileri de belirlenmiştir.

Lin ve diğ. (1993) doymamış polyester (U.P.) ve portland çimento kullanarak krom ve siyanür içeren çamurların S / S prosesi ile arıtımı konusunda bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, katılaştırılmış numuneler, elektron mikroskobu (SEM),

X-ray (XRD) , Zehirlilik Özellikleri Sızıntı Yöntemi (TCLP) kullanılarak ve basınç dayanımı ölçülerek karakterize edilmiştir. Çalışma sonuçları, U.P / çimento ile katılaşmış numunelerin basınç dayanımlarının, U.P kullanılmadan hazırlanan numunelere göre daha fazla olduğunu göstermiştir. Ayrıca, tüm katılaşmış numunelerin Cd, Cr, Pb, As ve Zn konsantrasyonlarının TCLP yasal limitleri içinde kaldığı görülmüştür. Bununla beraber, katılaşmış numunelerden bakır sızmasının da çimentoya eklenen doymamış polyester ilavesinden kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

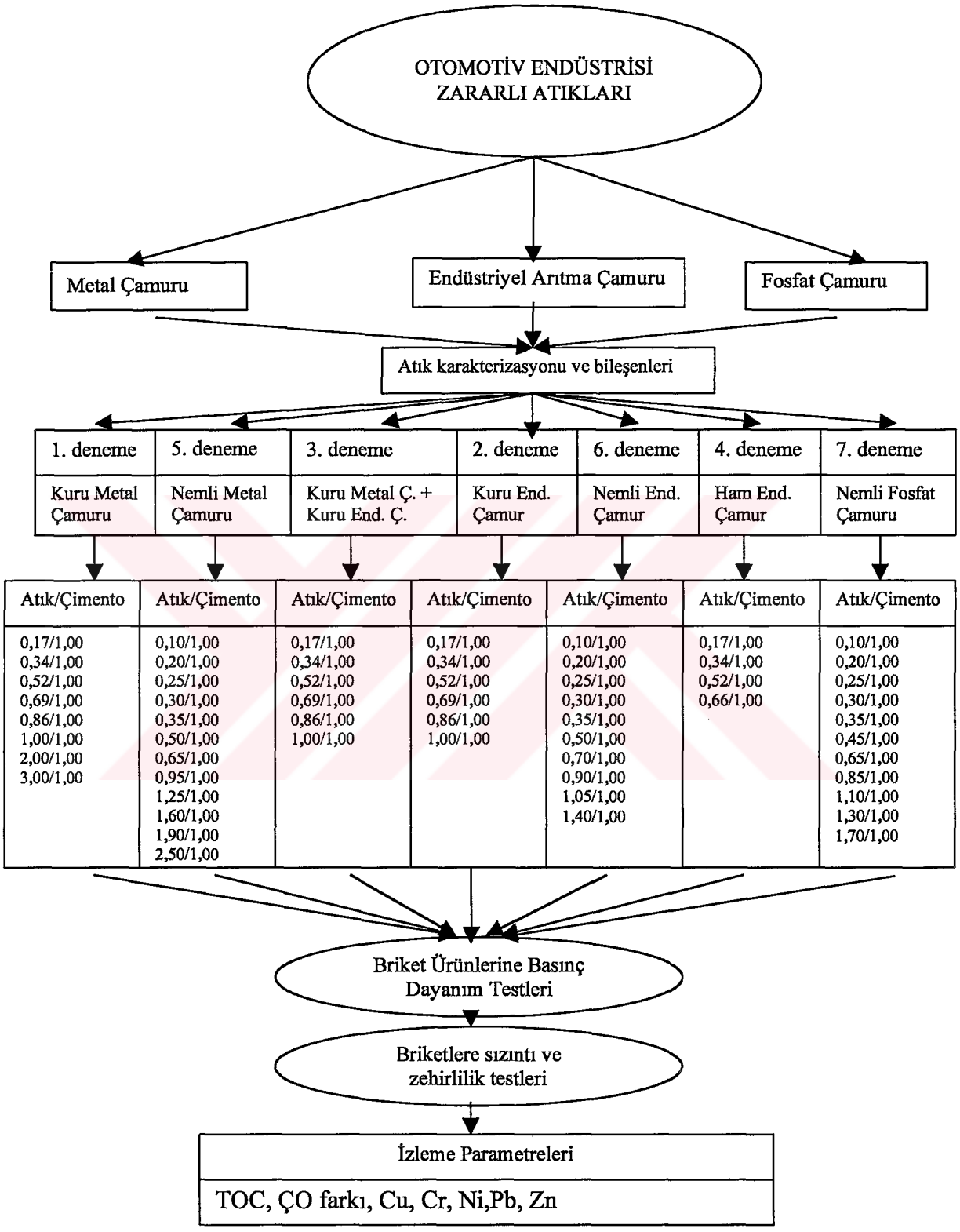
3.1. Deneysel Yaklaşım Planı

Deneysel çalışmalar Şekil 3.1'de gösterildiği gibi planlanıp gerçekleştirilmiştir. Araştırma dört aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada, atık olarak seçilen otomotiv endüstrisine ait metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun karakterizasyonu ve bileşenleri belirlenmiştir. İkinci aşamada bu atıklarla katılaştırılmış materyal (briket) hazırlanmıştır. Üçüncü aşamada, hazırlanan briketlerin dayanımının tespiti için basınç testleri yapılmıştır. Dördüncü aşamada ise, solidifikasyon prosesinde hazırlanan briketlerin sızıntı özellikleri tespit edilmiştir.

3.2. Seçilen Otomotiv Endüstrisinin Tanıtımı

3.2.1. Genel

Son yıllarda, tüm dünyada toplumun her kesiminde giderek artan bir oranda önem verilen konulardan biri de çevre sorunlarıdır. Ekolojik sisteme insanoğlunun yaptığı etkiler, sonuçta çevre sorunu olarak otaya çıkmaktadır. Sahip olduğu potansiyel ile otomotiv sektörü ve kara taşımacılığı da çevre sorunlarında önemli bir paya sahiptir. Diğer bir yaklaşımda AB ülkeleri üreticilerini artan rekabete karşı korumak amacıyla WTO (World Trade Organisation) kuralları ile uyumlu ve özgün tarife dışı engeller gündeme getirilmiştir. Bu tarife dışı engellerden biri de çevre korumasıdır. Bugüne kadar gıda ve tekstil sektöründe karşılaşılmış, son yıllarda otomotiv sektörünün de önüne çıkmıştır. Bu bağlamda otomotiv sektörünün günümüzün modern toplumundaki tartışılmaz konumu sürekli olarak güçlenmekte, aynı zamanda çevreye olan duyarlılıkta artmaktadır. Bu sebeple otomotiv sektöründe çevresel girişimler teknolojik gelişmenin



Şekil 3.1. Deneysel Yaklaşım Planı

bir göstergesi haline gelmiştir. Bütün dünyada üreticiler daha az yakıt tüketen , daha az emisyon veren veya hiç vermeyen, tamamen geri dönüşümü mümkün olan, zararlı malzeme kullanılmayan otomobiller üretme yarışı içindedirler. Diğer taraftan üretim sırasında oluşan önemli çevresel etkilerin önlenmesi yada yasal normlar dahilinde azaltılması için bugün yeterli teknolojiler geliştirilmiştir. Aynı zamanda, toplumdaki çevre duyarlılığı, üreticilerin de çevre sevimli proseslere yönelmesine yol açmaktadır.

Türkiye'de 1996 yılında, OSD (Otomotiv Sanayii Derneği) bünyesinde kurulan Çevre Komitesi'nde yer alan 17 firma, çevre konusundaki çalışmalarını koordineli olarak yürütmeye başlamıştır. Otomotiv endüstrisinin çevre etkilerini, üretim aşamasında oluşan atıklar ve ürünün kullanımından oluşan atıklar olarak ikiye ayırdığımızda, birinci gruba atık sular, katı atıklar, zararlı atıklar, baca gazı emisyonları, gürültü; ikinci gruba egzoz emisyonları, gürültü ve kullanılma ömrü tamamlanmış hurda atıklar dahil olmaktadır. Üretim bazında oluşan atıkların yönetimi konusunda sektördeki durum şöyle özetlenebilir: Faaliyet halindeki firmalardan oluşan 1.5 m^3 civarındaki atık suyun tamamı arıtılmaktadır. Tüm firmaların yıllık yakıt ihtiyacı 45.000 ton eşdeğeri petrol civarındadır. Kullanılan yakıtlar doğal gaz, özel kalorifer yakıtı ve LPG'dir. Üretimden kaynaklanan saç, talaş, döküm hurdası gibi katı atıklar % 85 oranında geri kazanılırken, atık su arıtma çamurları, boya ve fosfat çamuru, atık yağ, boya ve tinerden oluşan zararlı atıkların miktarı yaklaşık 2500 ton / yıl'dır (Hanhan ve Ergun, 1997).

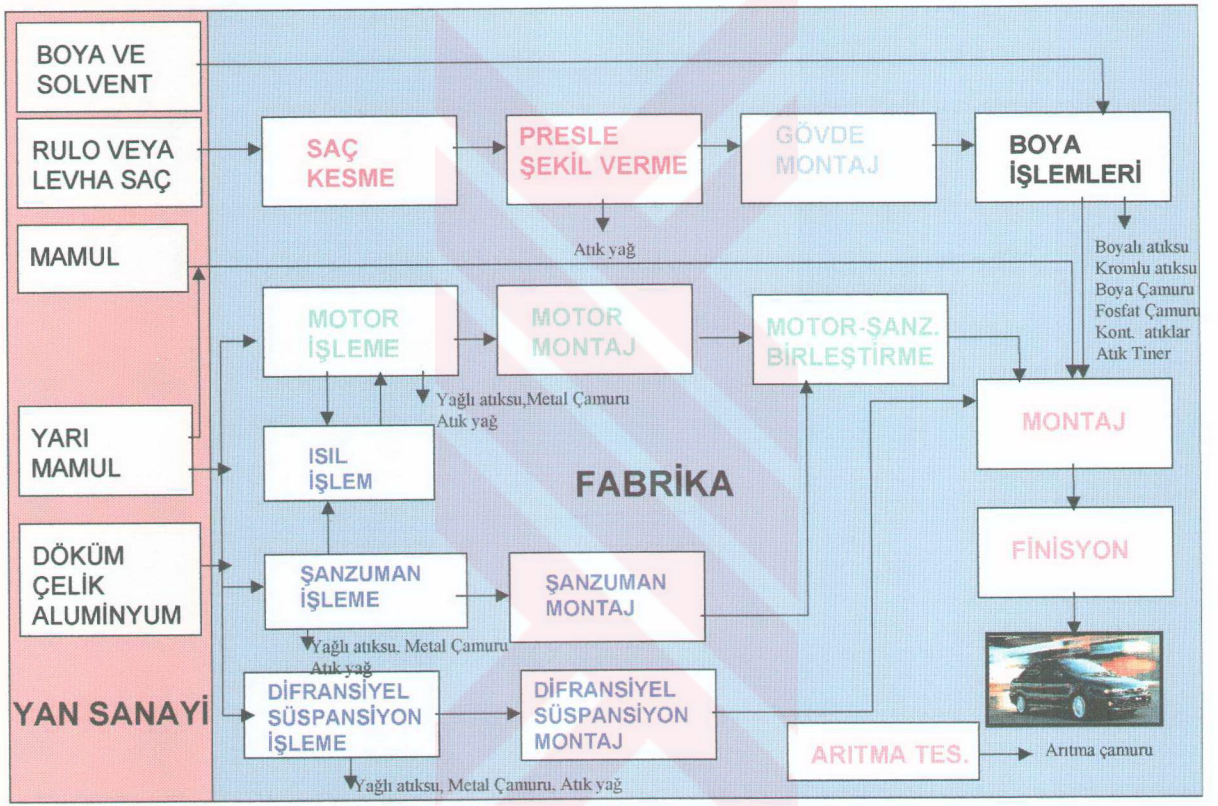
3.2.2. Otomotiv Endüstrisi Üretim Prosesi ve Prosesten Kaynaklanan Zararlı Atıklar

Otomobil üretmek üzere fabrikaya hammadde olarak gelen saç, hidrolik presler ile basılarak kalıplanır. Hazırlanan karoseri parçaları, robot ve manuel punto makinalarında birleştirilerek karoseri haline dönüşür. Tamamlanan karoseriler, yüzey hazırlama (pretreatment) hatlarında sırasıyla yağ alma, aktivasyon, fosfatlama ve pasivasyon banyolarından geçer. Korozyona karşı pasive edilmiş karoserilere , elektro kaplama (kataforez) banyosunda elektroliz yolu ile boya tatbik edilir. Bu banyoda otomobil başına 6 kg emülsiyon boya ve 1.8 kg emülsiyon pasta kullanılır. Banyodan çıkan karoseriler, kurutma fırınlarında 170 °C'de 20 dakika kalır ve kataforez boyanın pişmesi

sağlanır. Korozyona karşı birincil koruyucu özelliği olan bu boyanın tatbikinden sonra karoserilerin gövde altı ve yan eteklerine macun ve otomatik PVC uygulaması yapılır. Otomobil başına uygulanan macun 4300 kg/oto ve PVC 6.750 kg/ oto'dur.Astar boya kabinlerine gelen gövdelere, elektrostatik astar uygulaması yapılır. Kullanılan astar boyası otomobil başına 2.3 kg'dır. Astar kabinlerinden çıkan gövdeler, kurutma fırınlarına girerek 140°C'de 20 dakika kalır ve PVC macun ve astar boyanın pişirilmesi sağlanır. Son olarak, astar fırınlarından çıkan gövdeler, son kat renkli boya kabinlerine gelir ve robotik uygulama ile son kat boya ve elektrostatik vernik uygulaması yapılır. Gövdeye kullanılan son kat boya metalik 6.0 kg/oto, akrilik vernik 2.0 kg/oto ve akrilik boya 4.5 kg/oto'dur. Boyanan gövdeler tekrar son kat boya fırınına girer ve 140°C'de 20 dakika süre ile son kat boyanın pişmesi sağlanır. Kalite kontrol ünitesinden geçen gövdelere son olarak wax ve köpük uygulaması yapılır ve montaj atelyesine sevk edilir. Çeşitli yan sanayilerden gelen montaj parçaları ile mekanik atelyelerde oluşturulan motor, aktarma organları ve oto yan parçaları montaj atelyesi hatlarında, boya atelyesinden gelen gövdelere monte edilir.

Üretimin her aşamasında oluşturulan kalite kontrol birimlerinden geçen gövde ve motor parçalarından uygun özellikte olmayanlar elenerek ıskartaya çıkarılır. Ayrıca çeşitli testlere tabi tutulur. Montaj atelyesinde tamamlanan otomobiller pist sahasında test edilir ve satışa sevk edilir.

Otomotiv sektörü proses akış şeması ve bu prosesten çıkan zararlı atıklar Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi zararlı atık kapsamında özel bertaraf tesislerinde (yakma veya özel depolama) uzaklaştırılması gereken atıkların başlıcaları; sprey boya kabinlerinden toplanan boya çamurları, fosfatlama tesisi fosfat çamurları, arıtma çamurları, mekanik işlemler ve pres ünitelerinde oluşan atık yağlar ve metal çamurları, boya renk değişimi sırasında oluşan atık solventler, forklift akümülatörleri ve kontamine olmuş üstübü ve bezlerdir. Zararlı atıkların miktarı birim oto üretimi başına 10-15 kg'dır. Bütün dünyadaki büyük otomotiv firmalarında oluşan atıkların yönetimi, miktarların büyüklüğü ile doğru orantılı olarak geniş kapsamlı organizasyon ve sistemlerin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Fabrikalarda oluşan atıkların ayrıştırılması,



Şekil 3.2. Otomotiv Sektörü Üretim Proses Şeması ve Prosesten Kaynaklanan Zararlı Atıklar

fabrika içerisinde geçici depolanması, taşınması ve geri kazanılması ve nihai olarak uzaklaştırılması atık yönetim sisteminin ana unsurlarını oluşturur. Bu konuda Fiat Auto tarafından geliştirilen ve uygulamaya sokulan FENICE projesi İtalya'daki tüm fabrikaların atıklarının merkezi olarak yönetilmesi amacı ile oluşturulmuştur. Her fabrika CRL adı verilen bir software ve intranet ile birbirine bağlanmış olup, atıkların taşınması ve geri kazanılması, merkezi olarak yönetilmekte ve lojistik destek sağlanmaktadır. Geri kazanılamayan atıklar 2 adet yakma tesisine yine merkezi yönetim ile gönderilmekte ve böylece atıkların optimum olarak yakılabilmesi için gerekli atık menüsü oluşturabilmekte ve enerjiye dönüştürülmektedir (Atalay, 1997).

3.2.3. Otomotiv Endüstrisinde Zararlı Atık Yönetimi

Kapsamlı bir atık yönetim sisteminin oluşturulması ile hem kanuni yükümlülüklerin yerine getirilmesi hem de ekonomik kazanımların elde edilmesi mümkün olacaktır. Türkiye'de çevre koruma konusunun tarife dışı engeller çerçevesinde gündeme gelmesi ile birlikte Çevre Kanunu işlerlik kazanacağından detaylı bir atık envanterinin hazırlanmış olması, atıkların kanuni şekilde uzaklaştırılmasını kolaylaştıracak, geri kazanılan maddelerin getirisi de uzaklaştırma maliyetlerinin düşmesinin yanısıra ekonomik açıdan bir kazanım sağlayacaktır.

Atık yönetimi atığın oluştuğu noktadan uzaklaştırma noktasına kadar uygulanmalıdır. Sistem sırasıyla atığın oluşmasının önlenmesi, atığın azaltılması, değerlendirilmesi, geri kazanılması ve en son alternatif olarak da uzaklaştırılması prensibine dayanmaktadır. Atıkların değerlendirilmesinde özellikle atık kategorizasyonu çerçevesinde atıkların sınıflandırılarak toplanmasını sağlamak hem atık nakliyesinden ve uzaklaştırılmasından doğacak maliyeti düşürecek, hem de bu şekilde doğal kaynakların korunması sağlanmış olacaktır (Hanhan ve Ergun, 1997).

Otomotiv sektöründe zararlı atık yönetiminin unsurlarını atık tanımlama, ayrıştırma, etiketleme, geçici depolama, taşıma, uzaklaştırma ve geri kazanım ile kayıt sistemleri oluşturur.

3.2.3.1. Zararlı Atıkların Tanımlanması

Otomotiv sektöründe oluşan ve Tehlikeli Atıkların Kontrolu Yönetmeliği (R.G. 27.08.1995) (madde 4) kapsamına giren zararlı atık çeşitleri ve ilgili atık kodları aşağıda Tablo 3.1'de verilmiştir. Bu atık kodları atıkların tanımlanmasında kullanılmakta olup, yönetimin her aşamasında özellikle uzaklaştırma maliyetlerinin belirlenmesinde çok önem taşımaktadır. Her ne kadar üretim proseslerinde işletmeden işletmeye bir takım değişiklikler olsa da oluşan atıklar genel olarak sınıflandırılabilmektedir. Otomotiv sektöründe genel olarak üretilen zararlı atık miktarı 10-15 kg/oto'dur. Bu miktarın yarısını boya atıkları oluşturmaktadır.

Tablo 3.1. Otomotiv endüstrisi zararlı atık envanteri

OSD ZARARLI ATIK ENVANTERİ			
NO	ATIK İSMİ	T.A.K.Y (R.G.27.08.99) ZAR. ATIK KODU	AB (94/904/EC) ZAR. ATIK KODU
1	BOYA ÇAMURU	T-Y1204	080107
2	FOSFAT ÇAMURU	T-Y1703	110108
3	ATIK YAĞ	T-Y0802	130106
4	ATIK TİNER	T-Y0607	140103
5	HALOJENLİ YAĞ ALMA MADDELERİ	T-Y0605	140102
6	HALOJENSİZ YAĞ ALMA MADDELERİ	T-Y0906	-
7	METAL ÇAMURU	T-Y1702	120111
8	BOYA/PVC BULAŞMIŞ MADDELER/MASKELER	T-Y1204	-
9	YAĞLI BEZ, FİLTRE, ELDİVEN VE ABSORBANLAR	T-Y0813	070110
10	ARITMA ÇAMURU	T-Y1801	190201
11	BOŞ KİMYASAL MADDE AMBALAJLARI	T-Y4602	-
12	ISKARTA BOYA, MASTİK VB. MADDELER	T-Y1204	080102
13	KURŞUNLU AKÜLER	T-Y3103	160601
14	NİKEL/KADMİYUM PİLLER	T-Y2604	160602
15	PETROL TANKLARI DİP BİRİKİNTİLERİ	T-Y0609	160706
16	ASBEST İÇEREN BALATA, İZOLATÖR VE ETERNİTLER	T-Y3601	170601
17	DOYMUŞ İYON DEĞİŞTİRME REÇİNELERİ	T-Y1305	190806

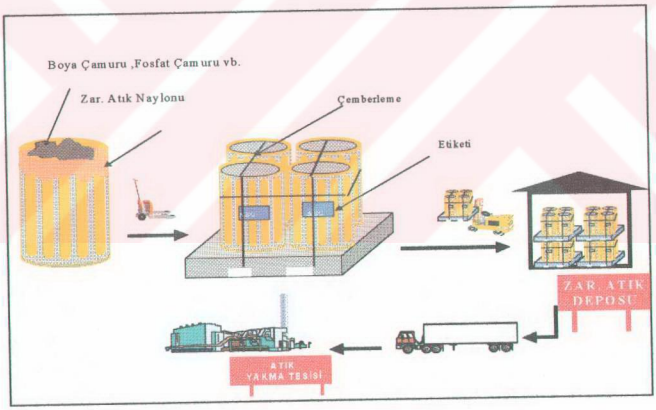
3.2.3.2. Atıkların Ayrıştırılması

Atık yönetiminin en önemli aşaması atıkların kaynağında ayrıştırılarak ambalajlanmasıdır. İşletmelerde çok çeşitli atık ambalajları kullanılabilmektedir. Bunlar; vidalı veya kasnaklı metal variller, plastik bidonlar, naylon torbalar, özel çelik konteynerler vb.'dir.

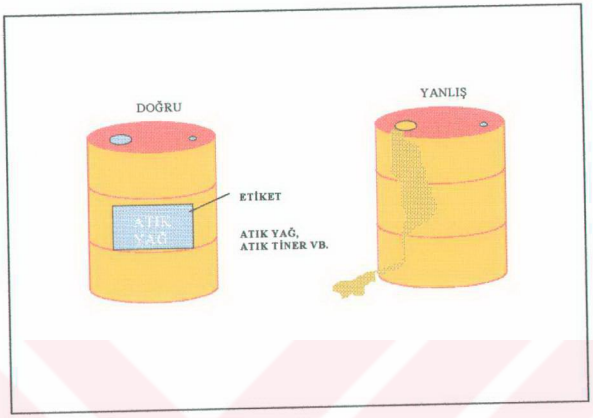
Atık özellikleri dikkate alınarak aşağıda belirtilen standart bir ayrıştırma modeli tanımlamak mümkündür:

- Çamurumsu atıklar - Kasnaklı metal variller, özel konteyner vb. (Şekil 3.3)
- Sıvı atıklar - Vidalı metal veya plastik variller, özel konteyner vb. (Şekil 3.4)
- Kontamine olmuş katı atıklar - Özel naylon torbalar, bigbag, vb. (Şekil 3.5)

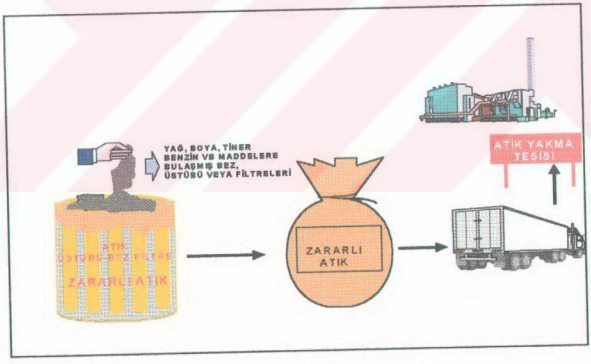
Aşağıda bu ayrıştırma sistemlerine birer örnek şematik olarak gösterilmiştir:



Şekil 3.3. Çamurumsu zararlı atıkların ayrıştırılması



Şekil 3.4. Sıvı Atıkların ayrıştırılması



Şekil 3.5. Kontamine olmuş katı atıkların ayrıştırılması

Aşağıda Tablo 3.2'de atıklar için uygun olabilecek ambalaj yöntemlerine örnekler verilmiştir.

Tablo 3.2. Atık ambalajlama yöntemleri

NO	ATIK İSMİ	ATIK AMBALAJI
1	BOYA ÇAMURU	Kasnaklı Varil, Özel Konteyner vb.
2	FOSFAT ÇAMURU	Kasnaklı Varil, Özel Konteyner vb.
3	ATIK YAĞ	Vidalı Varil, Özel Konteyner, Özel tank vb.
4	ATIK TİNER	Vidalı Varil, Özel Konteyner vb.
5	HALOJENLİ YAĞ ALMA MADDELERİ	Vidalı Varil, Özel Konteyner vb.
6	HALOJENSİZ YAĞ ALMA MADDELERİ	Vidalı Varil, Özel Konteyner vb.
7	METAL ÇAMURU	Kasnaklı Varil, Özel Konteyner vb.
8	BOYA/PVC BULAŞMIŞ MADDELER/MASKELER	Naylon Torba, BigBag vb.
9	YAĞLI BEZ, FİLTRE, ELDİVEN VE ABSORBANLAR	Naylon Torba, BigBag vb.
10	ARITMA ÇAMURU	Kasnaklı Varil, BigBag, Özel Konteyner, vb.
11	BOŞ KİMYASAL MADDE AMBALAJLARI	-
12	ISKARTA BOYA, MASTİK VB. MADDELER	Kasnaklı Varil
13	KURŞUNLU AKÜLER	Özel konteyner
14	NİKEL/KADMİYUM PİLLER	Özel konteyner
15	PETROL TANKLARI DİP BİRİKİNTİLERİ	Kasnaklı Varil
16	ASBEST İÇEREN BALATA, İZOLATÖR VE ETERNİTLER	Naylon Torba
17	DOYMUŞ İYON DEĞİŞTİRME REÇİNELERİ	Kasnaklı Varil

3.2.3.3. Atıkların Etiketlenmesi

Atık etiketi mutlaka atık kaynağında, ambalajlanma sırasında yapılmalıdır. Standart bir etiket aşağıdaki atık bilgilerini içermelidir:

- Atık adı ve kodu (Tehlikeli Atıkların Kontrolu Yönetmeliği'ne göre)
- Firma ve ilgili telefon
- Atığa ait tehlikeli özellikler (yanıcı, parlayıcı, ekotoksik vb.)
- Ambalajlama tarihi

Etiketler, kolay uygulanabilir bir yönetim açısından hazır yapışkanlı olarak hazırlanabilir ve atığın üretildiği birimlere yeteri kadar dağıtılabilir. Tanımsız atıklar her zaman sorun olduğundan, etiketleme yerinde yapılacak eğitim ve denetimler ile mutlaka standart bir uygulama haline getirilmelidir. Aşağıda Şekil 3.6'da, bir atık etiketi örneği verilmiştir:

ATIK ÜRETİCİSİ	TESLİM TARİHİ
ABC A.Ş.	
ATIK TÜRÜ	ATIK KODU
ATIK YAĞ	T Y 0 8 0 2
	BERTARAF KODU
İÇERİK	☐ Katı ☐ Çamurumsu ☐ Sıvı pompalanabilir
TEHLİKE DERECESİ	R - İşareti
ÇEVRE İÇİN TEHLİKELİ PARLAYICI	R8, R11, R58
	S - İşareti
	S4, S7, S16, S41, S56, S60
İlave Tehlike Durumu	
İLGİLİ BİRİM	TELEFON
ABC A.Ş. Çevre Servisi	

Şekil 3.6. Atık etiketi örneği

3.2.3.4. Atıkların Geçici Olarak Depolanması

Tehlikeli Atıkların Kontrolu Yönetmeliği Madde 9'a göre atıklar üretim sahası içerisinde en fazla 6 ton ve 180 gün süre ile geçici olarak depolanabilir. Genel olarak bu miktar ve süre yönetim açısından yetersiz olduğundan, Resmi Merciden (İl Çevre Müdürlüğü) belirli sürelerle geçici depolama izni almak gerekir. Zararlı atık geçici depolama tesisinin genel yapısı Şekil 3.7'de gösterilmektedir.

Atıkların depolanmasında dikkat edilmesi gereken konular şunlardır:

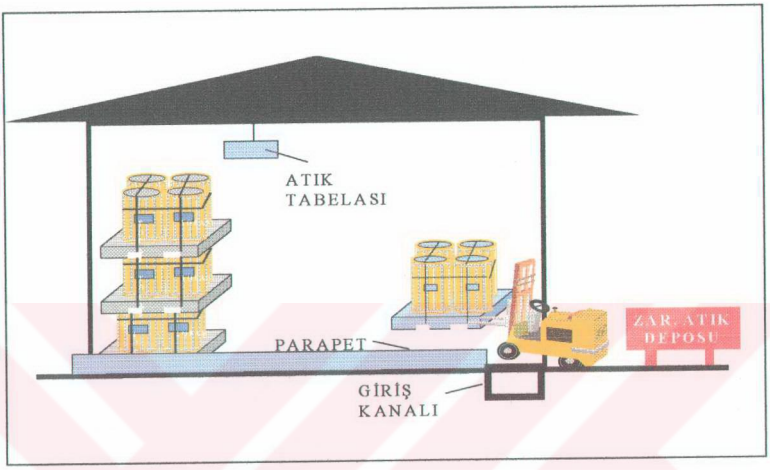
- Depo alanı izole edilerek doğal çevre ile bağlantısı kesilmelidir. Bu amaçla depo tabanı geçirimsizliği sağlanmalı ve betonlanmalıdır.Depo alanı parapet ile çevrilerek olası sızıntıların dışarı çıkışı engellenmelidir. Depo giriş kapısına en az 1 palet hacminde atığı tutacak şekilde kanalet yapılmalı ve üzerine ızgara konulmalıdır.
- Mümkün ise depo üzeri kapatılmalıdır.
- Atıklar en fazla 3 sıra halinde paletler üzerinde dizilmelidir.
- Atıklar gruplandırılmalı ve birbirleri ile tepkimeye girebilecek atıklar farklı yerlerde depolanmalıdır. Ayrıştırılan atık grupları etiketlenerek tanımlanmalıdır.
- Sızıntılara ve yangına karşı, acil müdahale malzeme ve ekipmanları hazır bulundurulmalı ve periyodik olarak denetlenmelidir.

3.2.3.5. Atıkların Taşınması

1. Fabrika içinde "Atıkların Ayrıştırılması" bölümünde tanımlanan şekilde ayrılmış olan atıkların uzaklaştırma / geri dönüşüm tesisine aşağıda tanımlandığı şekilde taşınabilir.

Sıvı atıklar :

- Santrifüj pompa ile pompalanabilen, max. %25 katı madde içeriğine sahip sıvı atıklar (atık yağlar, atık solventler, kirli sulu atıklar vb.) → Tanker veya vidanjör.
- Suyla reaksiyona girmeyen sıvılar, yüksek güvenlik riski taşıyan ve diğer kimyasallarla temasında şiddetli reaksiyona giren sıvılar → Özel sıvı konteynerlar (tanklar).
- Miktarı az olan sıvılar → Sızdırmaz metal varil veya plastik bidon.



Şekil 3.7. Zararlı atık geçici depolama tesisi genel yapısı

Çamurumsu ve kontamine olmuş katı atıklar:

- Katı madde oranı % 75' den büyük olan katı atıklar ve katı madde oranı % 25-75 olan pastöz atıklar (doymuş iyon değiştirme reçineleri, boya çamuru, arıtma çamurları, boş kimyasal madde ambalajları, kontamine olmuş bez eldiven atıkları vb.) ➔ Kendiliğinden boşaltma yapabilen damperli kamyonlarla veya forkliftle boşaltma yapabilen endüstriyel dökme konteynerlar.
- Tozlu, kokulu, teneffüs edildiğinde insan sağlığına zarar verebilen ve diğer atıklarla reaksiyona girebilen katı ve pastöz formda bulunan atıklar ➔ içine plastik torba yerleştirilmiş, dolu ağırlığı max. 100 kg. olan , sızdırmaz varil veya plastik fıçı.
- Miktarı az olan çamurumsu katı atıklar ➔ Sızdırmaz metal/ plastik varil.

2. Taşıyıcı Araç Lisansı: Yönetmeliğe göre zararlı atıklar sadece lisans almış araçlar tarafından taşınabilir. Ayrıca sürücünün, acil durumlara müdehale konusunda (Uluslararası Taşıyıcılar Birliği'nden) eğitim sertifikası olması gerekir.

3. Ulusal Atık Taşıma Formu: Atıkların taşınmasında kullanılması zorunlu olan Ulusal Atık Taşıma Formu, atık üreticisi tarafından 3 kopya şeklinde (beyaz- mavi – pembe renkli olarak) ve Tehlikeli Atıkların Kontrolu Yönetmeliği'nde tanımlanmış olan formata göre düzenlenir. Üretici firma atıklarını bertaraf firmasına göndermeden önce Ulusal Atık Taşıma Formu'nun 3 nüshasını doldurur. Doldurulan 3 kopyanın 3. kopyası (beyaz kopya) atık üreticisinde kalır. Diğer 2 kopya (mavi ve pembe) taşıyıcıya verilir. Taşıyıcı, atıkları uzaklaştırma firmasına götürdüğünde 2 kopyanın (mavi ve pembe) ilgili bölümünü uzaklaştırma firmasına doldurtur. Mavi kopyayı uzaklaştırma firmasında bırakır, pembe kopyayı atık üreticisine geri getirir. Üretici firma pembe formun bir kopyasını Çevre Bakanlığı'na (İl Çevre Müdürlüğü'ne) gönderir. Taşıma işlemi yapacak araçlarda taşıma formu bulundurmak zorunludur.

4. Atıkların sevkiyatında, atık ambalajlarının tamamının üzerinde, "Atıkların Etiketlenmesi" bölümünde tarif edilen atık etiketi olmalıdır.

5. Taşıma aracının her türlü acil müdahale ekipman ve malzemelerini bulundurduğu kontrol edilmelidir. Atık hakkında taşıyıcıya bilgi verilmelidir.

6. Varil / fıçı / bidonlar sağlam paletler üzerinde tek kat ve üst kısımlar yukarı bakacak şekilde yerleştirilmelidir. Yatay ve dikey bantlarla palet üzerine sabitleştirilmelidir. Her palet üzerine aynı tip atık yerleştirilmelidir. Paletler taşıta tek sıra halinde yüklenmelidir. Atığın cinsine göre maximum doluluk oranı belirlenmeli ve varil / fıçı / bidonlar buna göre doldurulmalıdır.

7. Atıklar atık bertaraf tesisinin belirlediği kabul standartına / usulüne göre hazırlanmalıdır.

8. Kendiliğinden alev alabilen ve alevlenme noktası 50 ^{0}C nin altında kalan atıklar, toz halinde bulunan atıklar, gaz çıkışı olan atıklar , güçlü kokuya sahip atıklar, insan sağlığına zarar veren atıklar dökme atık sınıfına girmez.

3.2.3.6. Atıkların Uzaklaştırılması ve Geri Kazanılması

Atıkların uzaklaştırılması veya geri kazanımı için uygulanabilir yöntemler ve 1999 yılı İzaydaş birim fiyatları aşağıda Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Atık uzaklaştırma yöntemleri

NO	ATIK İSMİ	ATIK UZAKLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ	İZAYDAŞ BİRİM UZAKLAŞTIRMA FİYATI DM/ton
1	BOYA ÇAMURU	Yakma, boya geri kazanımı, düzenli depolama	300 (Yakma) 135 (Depolama)
2	FOSFAT ÇAMURU	Yakma, düzenli depolama	300 (Yakma) 135 - 172 (Depolama)
3	ATIK YAĞ	Yakma, yağ geri kazanımı	90 - 460 (Yakma)
4	ATIK TİNER	Distilasyon, boya geri kazanım, yakma	90 - 225 (Yakma)
5	HALOJENLİ YAĞ ALMA	Yakma	225 (Yakma)
6	HALOJENSİZ YAĞ ALMA MADDELERİ	Yakma	90 - 225 (Yakma)
7	METAL ÇAMURU	Yakma, düzenli depolama	955 (Yakma) 135 (Depolama)
8	BOYA/PVC BULAŞMİŞ MADDELER/MASKELER	Yakma	955 (Yakma)
9	YAĞLI BEZ, FİLTRE, ELDİVEN VE ABSORBANLAR	Yakma	955 (Yakma)
10	ARITMA ÇAMURU	Düzenli depolama	135 (Depolama)
11	BOŞ KİMYASAL MADDE AMBALAJLARI	Yakma, yıkayarak geri kazanma	500-1000 (Yakma)
12	ISKARTA BOYA, MASTİK VB. MADDELER	Yakma	955 (Yakma)
13	KURŞUNLU AKÜLER	Asiti nötralize ederek kurşun geri kazanımı, düzenli depolama	135 (Depolama)
14	NİKEL/KADMİYUM PİLLER	Düzenli depolama	135 (Depolama)
15	PETROL TANKLARI DİP BİRİKİNTİLERİ	Yakma	955 (Yakma)
16	ASBEST İÇEREN BALATA, İZOLATÖR VE ETERNİTLER	Düzenli depolama	135 (Depolama)
17	DOYMUŞ İYON DEĞİŞTİRME REÇİNELERİ	Yakma	955 (Yakma)

Tehlikeli Atıkların Kontrolu Yönetmeliği (R.G. 27.08.1995) madde 14'e göre atıkların geri kazanılması ve tekrar kullanılması esastır. Buna göre otomotiv sanayiinde geri

kazanılması ve tekrar kullanılması mümkün olan atıklar için uygun olabilecek yöntemler aşağıda verilmiştir;

- Atık çözücüler destile edilerek saflaştırılabilir ve üretim hatlarında tekrar kullanılabilir.
- Atık yağlar ise filtrelenerek bir başka amaçla tekrar kullanılabilir.
- Boya çamurları ve atık tinerler karıştırılarak ikinci kalite antipas boya elde edilebilir.
- Atık akülerin içerisindeki asit boşaltılıp arıtma tesisinde nötralize edilerek, akü içlerinde bulunan kurşun ve plastik geri kazanılabilir.
- Metal variller ve plastik kaplar ise yıkandıktan sonra atık ambalajı olarak kullanılabilir, veya ürün üreticisine iade edilebilir.
- Bu çalışmada belirtildiği gibi çamur formdaki atıklara solidifikasyon uygulanıp, atıklar bir yapı malzemesine dönüştürülebilir.

Atıkların geri kazanılmasının ve tekrar kullanılmasının mümkün olmadığı durumlarda atıklar, çevre ve insan sağlığına zarar vermeden uzaklaştırılmalıdır. Atıkların uzaklaştırma yöntemi zararlı atık özellikleri, içerdikleri yağ, nem miktarı ve kalorifik değerleri dikkate alınarak belirlenir.

Buna göre, depolama alanları kabul kriterleri:

- pH > 6
- Yağ oranı max. % 4
- Su miktarı max. % 60

olan katı atıklar ve çamurlar düzenli depo sahasında depolanabilir.

Yakma kabul kriterleri:

Düzenli depo alanlarına kabul edilmeyen atıklar Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne uygun şekilde yakılır.

3.2.3.7. Atık Kayıtları

Zararlı atık yönetimi kapsamında yasal olarak tutulması gereken kayıtlar aşağıdadır:

a) Ulusal Atık Taşıma Formları

Yönetmeliğe göre (madde 12), üç nüsha olarak düzenlenen Ulusal Atık Taşıma Formu'nun bir kopyası işletmede kalır bir kopyası uzaklaştırma/geri kazanım tesisine ve bir kopyası da Çevre Bakanlığında gönderilir. Toplam atık kayıtları "Ulusal Atık Taşıma Formları" dikkate alınarak belirlenir.Her sevkiyat ve her atık türü için ayrı ayrı form doldurulmalıdır.Ayrıca bu formlara birer sıra numarası verilmesi takip açısından çok yararlıdır. Atık sevkiyatları her ay gözden geçirilmeli, o ay içerisinde yapılan toplam atık sevkiyatları, maliyetleri ve depo stok durumu belirlenmelidir. Gönderilen ve alınan tüm taşıma formlarının 3 yıl süre ile saklanması ve denetimle yetkili idarelerce istendiğinde hazır bulundurulması zorunludur.

b) Atık Beyan Formu

Her yıl bir önceki yıla ait toplam atık miktarları Tehlikeli Atıkların Kontrolu Yönetmeliği (madde 9-g) doğrultusunda "Atık Beyan Formu" ile Çevre Bakanlığı'na bildirilir. Bildirilen atık miktarları, "Ulusal Atık Taşıma Formları" ve aylık atık sevkiyat raporları dikkate alınarak belirlenmelidir.

c) Uzaklaştırma/ Geri Kazanım Lisanları

Yönetmeliğe göre, lisanssız herhangi bir uzaklaştırma veya geri kazanım tesisine atık sevkiyatı mümkün olmadığından işletmelerin atıklarını sevk ettikleri tesislere ait yasal lisansların birer kopyalarını bulundurmaları gerekir. Uzaklaştırma tesisi lisansları 3 yıl için geçerlidir ve bu süre sonunda yenilenmelidir.

d) Atık Taşıma Lisansları

Atık taşımak isteyen gerçek ve tüzel kişiler taşımak istedikleri atığın çeşidi, hangi özellikte olduğu ve ne miktarda olduğunu, ne çeşit araçla taşıyacaklarını belgelemek ve nakil işleminde kullanılan aracın bu işe uygunluğunu bilimsel kuruluşlar veya valiliğin uygun göreceği diğer kuruluşlardan aldığı belge ve dokümanlarla kanıtlamalıdır. Firma valiliğe başvurmalı, firma ve araç için lisans almalıdır. Atıkları taşıyan taşıma firma ve araçlarının lisanslarının birer kopyası resmi merci denetimleri için arşivlenmelidir. Yönetmeliğe göre (madde 13), lisanslar 3 yıl için geçerlidir ve bu süre sonunda yenilenmelidir.

e) Geçici Atık Depolama İzni

Yönetmeliğe göre (madde 9-m), ayda 100 kg'a kadar atık üreten üretici, biriktirilen atık miktarı 6000 kg'ı geçmemek kaydı ile Valilikten izin almaksızın atıklarını arazisinde en fazla 180 gün geçici depolayabilir. Bu durumda herhangi bir tehlike halinde arazide önlem alabilmek için en az bir kişiyi görevlendirmekle ve bu kişinin, adını, telefonunu valiliğe bildirmekle yükümlüdür.

3.2.4. Otomotiv Endüstrisinde Solidifikasyon Uygulanabilecek Zararlı Atıklar

Otomotiv sektöründe Şekil 3.2'de hangi üretim biriminden çıktığı gösterilen metal çamurları, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamuru gibi zararlı atıklara solidifikasyon yöntemi uygulanabilir. Bu atıklar aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

a) Metal Çamurları:

Motor ve aktarma organlarının üretildiği birimde bulunan metal işleme (taşlama) prosesinden kaynaklanan atıklardır. İşleme sırasında çıkan metal tozları, soğutma maksatlı kullanılan emülsiyon sıvısı ile karışmaktadır. Bu karışım içindeki metal tozu, mıknatıs özellikli manyetik disklerle sıvıdan ayrılmaktadır ve metal çamuru olarak ayrı toplanmaktadır. Metal çamurunun yaklaşık % 70'i sıvıdır, bu sıvının % 2-5'i bor yağı olup, kalan kısmı ise sudur.Fabrikada oluşan metal çamuru miktarı 1 kg/oto'dur.

b) Fosfat Çamuru:

Otomobilin kasa kısmı metali iyileştirmek (korozyon ve paslanmaya karşı) amacıyla fosfat banyolarına girmektedir. Fosfat banyolarında oluşan bir reaksiyon ile çinko fosfat meydana gelip, banyo altındaki dekantörlerden fosfat çamuru şeklinde toplanmaktadır. Bu malzeme, fosfatı geri kazanmak amacıyla geri kazanım tesisisine gönderilir. Bu tesis sonucunda filtrepres ile fosfat çamuru %30 KM şeklinde alınmaktadır. Oluşan fosfat çamuru miktarı 0.5 kg/oto'dur.

c) Endüstriyel Arıtma Çamurları:

Bu atıklar, endüstriyel atıksu arıtma tesisisinden kaynaklanmaktadır. Bu tesiste 7.5 kg/oto endüstriyel çamur oluşmaktadır. Otomotiv üretimi sırasında ortaya çıkan endüstriyel atıksu çeşitleri:

- Boya üretimi içerisindeki yağ alma, aktivasyon, fosfatlama, pasivasyon, kataforez, durulama işlemleri ve sprey boya kabinlerinde üretilen boyalı atıksular,
- Motor ve aktarma organları üretimi sırasında ortaya çıkan atık talaşlı imalat soğutma sıvıları

Üretilen atıksuyun miktarı yaklaşık olarak her birim oto başına 5-9 m^3'dür. Aşağıda tipik bir otomobil atıksuyunun karakterleri verilmiştir:

KOI	450 kg/100 oto
AKM	160 kg/100 oto
BOI	150 kg/100 oto
Yağ-Gres	200 kg/100 oto
Cr^{+6}	2 kg/100 oto

Endüstriyel atıksulara uygulanan arıtma prosesleri arasında;

- Boyalı Atıksular: Koagülasyon, nötralizasyon, flokülasyon, sedimentasyon ve biyolojik arıtma,
- Yağlı Atıksular: Ultrafiltrasyon veya asitle parçalama, koagülasyon, nötralizasyon, flokülasyon, DAF, biyolojik arıtma,
- Kromlu Atıksular: İyon değiştirme veya krom indirgeme sayılabilir.

3.3. Deney Materyalleri

Bölüm 3.1'de bahsedildiği gibi, çalışma dört aşamada yürütülmüştür. Bu aşamalarda kullanılan deney materyalleri aşağıda anlatılmıştır.

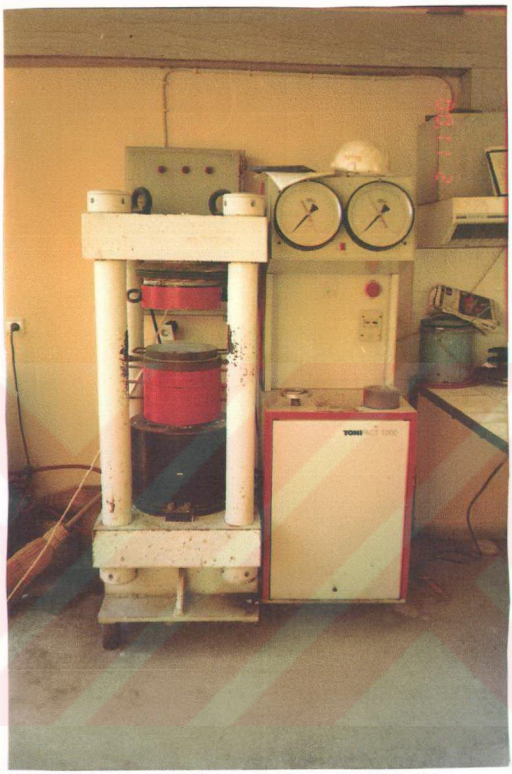
3.3.1. Kullanılan Cihazlar

Birinci aşamada ve dördüncü aşamada, atıkların ve katılaştırılmış materyallerin bileşenleri tespit edilirken "Shmatzu Marka Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi" kullanılmıştır. İkinci aşamada, tartı ve 50 dm^3 kapasiteli kanatları çift yönlü hareket edebilen elektrikli deney mikseri kullanılmıştır. Bu ekipmanın resmi, Şekil 3.8'de görülmektedir. Üçüncü aşamada ise Şekil 3.9'da görülen basınç dayanım

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

deney presi kullanılmıştır. "TONI TECHNIK" marka preste maksimum uygulanabilir yük 1500 kN'dur. Pres çift göstergeli olup, üstteki pres silindiri sabit, alttaki silindiri hareketlidir. Dördüncü aşamada, solidifiye edilmiş atıkların sızıntı özellikleri tespitinde "JENWAY Marka 9071 Model Çözünmüş Oksijen Ölçüm Cihazı" kullanılmıştır.Bu cihaz 0-19.9 mg/l aralığında ölçüm yapabilmektedir.

Şekil 3.8: Elektrikli Deney Mikseri



Şekil 3.9: Basınç Dayanım Deney Presi

3.3.2. Kullanılan Malzemeler

Araştırmada aşağıda verilen malzemeler kullanılmıştır:

1. Bir otomotiv endüstrisine ait metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamuru: Bu atıklar ile ilgili genel bilgiler Bölüm 3.2.4'te verilmiştir. Bu atıkların karakterizasyonu ve bileşenleriyle ilgili bilgiler Bölüm 4.1'de verilecektir.

2. Katılaştırma malzemesi olarak PÇ 42.5 çimentosu ve resmi Şekil 3.10'da görülen beton yapımında kullanılan doğal kum, kırma kum, kalın mıcır(12/22) ve ince mıcır(5/12) gibi diğer malzemeler de kullanılmıştır. PÇ 42.5 çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3.4'de verilmiştir. Kullanılan doğal kum 0.5 mm çapında yıkanıp elenmiş dere kumudur. Kırma kum 0.5 mm çapında kalkerin kırılmış taş tozudur. Kullanılan mıcırlarda kalın olanı 12 mm ile 22 mm elekler arası uygun granülometriye sahip, ince olanı 5 mm ile 12 mm elekler arası uygun granülometriye sahip kırıcı tesislerde kırılmış kalkerdir.

3. Katılaştırma işleminin gerçekleştiği 15*15*15 ebatlarında küp şeklinde resmi Şekil 3.11'de görülen standart kalıplar kullanılmıştır.

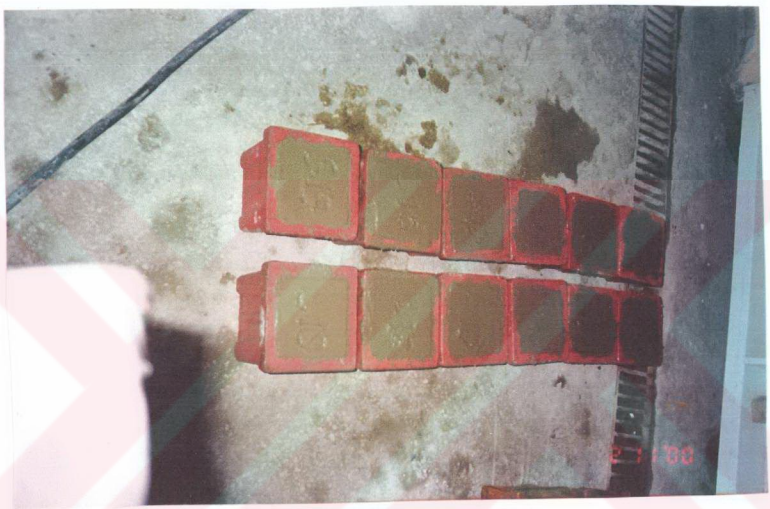
Tablo 3.4. PÇ 42.5 Çimentosunun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

KİMYASAL ÖZELLİKLER		Değerler	Standart Değerler	
			En Az (Min)	En Çok (Max)
Kızdırma Kaybı	%	1.54		4.0
Çözünmeyen Kalıntı	%	0.13		1.5
Magnezyum Oksit(MgO)	%	0.88		5.0
Kükürt Trioksit (SO_3)	%	2.44		3.5
Klorür (Cl)	%	0.009		0.1
FİZİKSEL ÖZELLİKLER				
Özgül Yüzey	cm^2/g	3337	2800	
2 Günlük Basınç Dayanımı	N/mm^2	24.3	20	
7 Günlük Basınç Dayanımı	N/mm^2	41.2	31.5	
28 Günlük Basınç Dayanımı	N/mm^2	54.3	42.5	
Priz Başlangıcı	dak	150	60	
Priz Sonu	sa/dak	03:32		10:00
Hacim Genleşmesi	mm	2		10

Şekil 3.10: Beton Yapımında Kullanılan Malzemeler

3.4. Deney Yöntemi

Solidifikasyon işleminde bağlayıcı malzeme olarak, literatür çalışmaları ışığı altında çimento seçilmiştir. Deney planında bahsedildiği gibi araştırma dört aşamada yürütülmüştür.



Şekil 3.11: Katılaştırmada Kullanılan Standart Kalıplar

3.4.1. Araştırmada Kullanılan Zararlı Atıkların Karakterizasyonu ve Bileşenleri

Solidifikasyon deneylerinin başında, deneylerde kullanılan metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ve EPA listelerine göre karakterizasyonu yapılmıştır ve bu bilgiler bölüm 4.1'de verilmiştir.

Solidifikasyon deneyleri yapılmadan önce metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun serbest haldeki ve toplam (çözünmüş)bileşenlerinin analizleri yapılmıştır. Analizler yapılmadan önce hesaplamalarda gerekli olan, atıkların nem oranları tespit edilmiştir. Bunun için, porselen krozeler sabit tartıma getirilip, örneğin

belli miktarları porselen krozelere konarak 24 saat, 105 °C'de bekletilmiştir. Tartımları alınarak nem oranları hesaplanmıştır.

Analiz için , Cu, Cr, Zn, Pb ve Ni ağır metalleri ve TOC parametresi seçilmiştir. Bölüm 4.1'de (Tablo 4.5) verilen serbest haldeki bileşenlerin analiz sonuçları, çalışılan otomotiv endüstrisinden alınmıştır. Atıklar nitrik asit ile yakılarak ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyonda, Shmatzu Marka Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi kullanılarak, belirlenen ağır metallerin toplam miktarlarının analizleri yapılmıştır.

3.4.2. Katılaştırılmış Numunelerin (Briket) Hazırlanması

Denemelerde, solidifikasyonda yaygın olarak kullanılan çimento (PÇ 42.5) bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Mukavemeti arttırmak için, çimento dışında beton yapımında kullanılan doğal kum, kırma kum , ince ve kalın agrega ve karışım suyu karışımlara eklenmiştir.

Başlangıçta , yapılan numuneleri karşılaştırmak amacıyla kontrol numunesi olarak BS 20 betonu hazırlanmıştır. Kontrol numunesi su/çimento= 0.71 oranıyla hazırlanmıştır. Denemelerde kullanılmak üzere, kontrol numunesinin yapılmasında kullanılan çimentodan yeterli miktarda temin edildi (Bunun nedeni çimento özelliğine göre , farklı torbadaki çimento ile hazırlanan karışımın mukavemeti değişebilmektedir). Kontrol numunesi hazırlanmadan önce, Tablo 3.5'de verilen malzeme miktarları hesaplanmıştır. Tablonun ilk kolonunda (Hesaplanan Değerler) TS 500'e göre BS 20 betonunun 1 m^3'ünde kullanılan malzeme miktarları verilmiştir.İkinci ve üçüncü kolonda agrega tipi malzemelerin su içeriği(%) ve su emmesi(%) deneylerle tespit edilip verilmiştir. Dördüncü kolon (Düzeltmede Kullanılacak Değerler) ikinci ve üçüncü kolonun farkı alınarak hesaplanmıştır. 5. kolon 1. kolondaki malzeme miktarlarının 4. kolonda verilen yüzde değerlerinin hesaplanması ile oluşturulmuştur. 6. kolonda 1. ve 5. kolondaki değerlerin toplanması ile 1 m^3 betondaki malzeme miktarları elde edilmiştir. 7. kolonda karışım için gerekli malzeme miktarları 6. kolon baz alınarak hesaplanmıştır. Bu tablodaki hesaplamalar, malzemelerin mevcut su miktarları gözönünde bulundurularak su düzeltmesi ile karışım suyu miktarını doğru olarak tespit edebilmek için yapılmaktadır (TS 500, 200).

Tablo 3.5. Solidifikasyon Deneyleri İçin Hazırlanan Şahit Numune Reçetesi ve Basınç Dayanımı Sonucu

Beton Sınıfı	BS 20
Çimento Tipi	PÇ 42,5
Su /Çimento Oranı	0,71

Şahit Betonda Kullanılan Malzemeler							
Malzemeler	Hesaplanan Değerler (kg/m3)	Agrega Su İçeriği %	Agrega Su Emme %	Düzeltmede Kullanılacak Değer	Düzeltme Miktarı (kg)	Düzeltme Sonundaki Değerler (kg)	
						1 m3 için	8 dm3 için
ÇİMENTO	290					290	2,32
KARIŞIM SUYU	203					193,97	1,652
DOĞAL KUM	626	6	2	4	25,04	651,04	5,208
KIRMA KUMU	329	0	-2	-2	-6,58	322,5	2,58
AGREGA(7/15)	442	0	-1	-1	-4,42	437,58	3,5
AGREGA(15/25)	501	0	-1	-1	-5,01	495	3,968
ATIK	0						
TOPLAM	2391				9,03	2391	19,228

Şahit Beton Deney Sonuçları	
Slump (cm)	7
G (kg)	8046
G (kgm3)	2384
Basınç Dayanımı (7 günlük) (kgf/cm2)	154
Basınç Dayanımı (28 günlük) (kgf/cm2)	264

Diğer deney karışımları da Tablo 3.5'de yapılan hesaplamalar doğrultusunda hazırlanmıştır. Hesaplanan miktarlara göre, malzemeler tartılıp , mikserde homojen hale gelene kadar karıştırılıp, slump (kıvam) deneyi yapıldıktan sonra kalıplara yerleştirilmiştir. Slump deneyi, slump hunisi kullanılarak karışımların kıvamını tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Çökme metoduyla kıvam testi yapılmıştır. Bu testte 30 cm yüksekliğinde çelik huni ve şişleme çubuğu kullanılmıştır. Çelik huni üç kademede doldurularak her kademede 25 kere şişleme çubuğu ile şişlenmiştir. Numune huniye bu şekilde yerleştirildikten sonra huni dik bir şekilde çekilerek çöken kısım ölçülüp slump

değeri olarak kaydedilmiştir.Bu deney yapılarak tüm karışımlarda slump değeri 7-8 civarında tutulmaya çalışılarak, su miktarının basınç dayanımına olumsuz etkileri ortadan kaldırılmıştır. Kullanılan kalıplar standartlara uygun olarak 15*15*15 cm boyutlarında küp şeklindedir. Kalıplara konan numuneler, kalıp alma süreleri dolduktan sonra kalıplardan çıkarılıp kür havuzlarına alınarak 28 gün bekletilmiştir. Kalıp alma süresi dolduktan sonra, kür havuzuna konmadan önce numunelerin durumunu gösteren resim, Şekil 3.12'de görülmektedir. Kür havuzları kirece doygun su ile dolu olup, havuzların bulunduğu odanın sıcaklığı 21 ± 2 °C ve rölatif nemide min % 95'tir. Kür havuzunun resmi Şekil 3.13'te görülmektedir.

Seçilen üç tip atık ile yedi ayrı deneme yapılmıştır. Bu denemelerde, hesaplamalar örneği Tablo 5'de verildiği gibi yapılmıştır. Denemelerde değişken olarak atık miktarı seçilmiştir. Karışımın diğer bileşenlerinde sadece su düzeltmeleri yapılmıştır, miktarlar değiştirilmemiştir. Atık dışındaki malzemelerin su ihtiyaçları hesaplanmıştır, ancak atık için slump değerleri gözönünde bulundurularak, ilave su miktarları belirlenerek karışımlar hazırlanmıştır. Denemelerde kullanılan atık miktarları ve atık/çimento oranları sırasıyla Tablo 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13'te verilmiştir.

İlk deneme yıkanmış metal çamuru (A1) ile yapılmıştır. Metal çamuru içinde bor yağının alınması amacıyla, alındığı fabrikada yıkanmaktadır. Atık karışım içinde homojen olarak dağılımını sağlamak amacıyla kurutulup, öğütülerek kullanılmıştır. Bu denemede A1 /Ç (metal çamuru / çimento) = 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0, 2.0, 3.0 olmak üzere 8 karışım hazırlanmıştır. Şahit ile aynı kıvam tutturulmaya çalışılarak göz kararı atık için gereken ilave su miktarı belirlendi. Bu belirlemeye göre su /atık = 0.28 oranıyla karışıma atık için ilave edilecek su ihtiyaçları hesaplanmıştır.

İkinci denemede atık olarak susuzlaştırılmış endüstriyel arıtma çamuru (A2) kullanılmıştır. İlk denemede yapıldığı gibi atık kurutulup, öğütülerek karışıma eklenmek üzere hazırlanmıştır. A2 / Ç = 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0 olmak üzere 6 karışım hazırlanmıştır. Su / atık = 0.5 olarak belirlenerek , bu orana göre atık için ilave edilecek su ihtiyaçları hesaplanmıştır.

Şekil 3.12. Kür Havuzu Öncesi Hazırlanan Numuneler

Üçüncü denemede atık olarak metal çamuru (A1) ile birlikte susuzlaştırılmış endüstriyel arıtma çamuru (A2) karıştırılarak kullanılmıştır(A3). Atıklar kurutulup öğütülerek karışıma A3 /Ç = 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0 oranlarında katılarak toplam 6 karışım hazırlanmıştır. Bu denemede su / atık = 0.41 olarak belirlenmiş olup, atıklar için ilave edilecek olan su ihtiyaçları hesaplanmıştır.

Şekil 3.13. Kür Havuzu

Dördüncü deneme, ham çamur (A4) ile yapılmıştır. Ham çamur, endüstriyel arıtma prosesi çıkışından alınarak %99 su oranında preslenmeden kullanılmıştır. Ham çamur karışıma 0.2, 0.3, 0.5, 0.7 oranlarında katılarak toplam 4 karışım hazırlanmıştır. Bu atık ile çalışıldığında karışıma ilave su eklemeye gerek kalmamıştır, atığın içerdiği su karışım için yeterli olmuştur. Bu denemede daha yüksek atık oranları denenememiştir, çünkü daha yüksek atık oranlarında, atığın içerdiği su miktarı karışım için fazla gelmektedir.

Beşinci deneme, yıkanarak yağı alınmış metal çamuru ile yapılmıştır. Metal çamuru karışıma, 0.1, 0.2, 0.25, 0.30,0.35, 0.50, 0.65, 0.95,1.25, 1.60, 1.90, 2.50 oranlarında katılarak toplam 12 karışım hazırlanmıştır. İlk 6 karışımda nem oranı % 25, diğer 6 karışımda yaklaşık %37'dir.

Altıncı deneme, filtre pres çıkışı % 65 nem oranına sahip endüstriyel arıtma çamuru ile yapılmıştır. Endüstriyel arıtma çamuru karışıma, 0.1, 0.2, 0.25, 0.30,0.35, 0.50, 0.70, 0.90,1.05, 1.40 oranlarında katılarak toplam 10 karışım hazırlanmıştır.

Yedinci deneme, 3.2 bölümünde tanımlanan fabrika üretim prosesinden kaynaklanan % 57 nem oranına sahip fosfat çamuru ile yapılmıştır. Fosfat çamuru karışıma, 0.1, 0.2, 0.25, 0.30,0.35, 0.45, 0.65, 0.85,1.10, 1.30, 1.70 oranlarında katılarak 11 karışım hazırlanmıştır.

3.4.3. Solidifikasyon Ürünlerinin Basınç Dayanımlarının Tespit Edilmesi

Örnekler, oda sıcaklığında su dolu havuzlarda 28 gün bekletildikten sonra, basınç dayanımlarının tespiti için uygun bir duruma gelmiştir. Basınç dayanımlarının ölçümü bölüm 3.3.1'de özellikleri verilen cihaz ile yapılmıştır. Yapılan yedi denemenin 28 günlük ve bazı karışımlara ait 7 günlük ve 3 aylık basınç dayanımı sonuçları Bölüm 4.2'de (Tablo 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13) verilmiştir. Özellikle ilk üç denemede 7 günlük basınç dayanımlarıda ölçülerek 28 günlük sonuçlarla bir bağlantı kurularak, yapılacak olan diğer karışım oranlarının planlanmasında faydalanılmıştır. Ayrıca karışımların basınç dayanımlarının 28 günden daha uzun sürelerde nasıl bir değişim gösterdiğini tespit etmek amacıyla bazı karışımlarda 3 aylık basınç dayanımları da ölçülmüştür. Bu sayede atığın katı materyal bünyesinde daha uzun sürelerde nasıl bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

3.4.4. Solidifikasyon Ürünlerinin Sızıntı Özelliklerinin Tespit Edilmesi

Solidifikasyon ürünlerinin sızıntı özelliklerini tespit etmek için, "Standart Metotlar"da yer alan nitrik asit ile yaş yakma yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem bölüm 3.4.1'de anlatıldığı gibi kullanılan atıklara da uygulanmıştır. Bu sayede atıklarda ve bu atıklarla

yapılmış briketlerde mevcut, toplam haldeki Cu, Cr, Zn, Pb ve Ni ağır metallerinin toplam miktarları tespit edilmiştir.

Analizler için, briketler ezilerek toz haline getirilmiştir. Delik çapı 1 mm olan elekten geçirilmiştir. Miktarı belli numunelere nitrik asit ile yaş yakma uygulandıktan sonra elde edilen ekstrakt filtreden geçirilip 100 ml'ye tamamlanmıştır. Sonuçta elde edilen ekstraksiyon sıvısına ağır metal analizleri yapılmıştır (APHA ve diğ. 1992).

Sızıntı özelliklerinin tespit edilmesi için ayrıca su kalitesi üzerindeki etkilenmeyi tespit etmek için " British Standards" BS 6920 (1996)'dan faydalanılmıştır. Bu standart kapsamında olan "Su Mikroorganizmalarının Çoğalması Deneyi" uygulanmıştır. Deney için solidifikasyon prosesi sonucu elde edilen briketler 5-7 hafta sürede yüzeysel suda inkübe edilmiştir. Bu deneyin başında ve sonunda çözünmüş oksijen ölçümü yapılmıştır. Bu yönteme göre başlangıçtaki ve sonuçtaki 5-7 haftalık çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının farkının 2.4 mg/ l'den küçük bulunması, bu ortamda mikroorganizmal bir çoğalmanın gerçekleşmeyeceğini gösterir. Buna dayanarak çözünmüş oksijen ölçümlerinin farkı alınmıştır (BS 6920, 1996). Ayrıca 7 hafta sonra briketin bekletildiği suda TOC, Cu, Cr, Ni, Pb ve Zn ölçümü yapılmıştır. TOC ölçümü, Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Laboratuarında Shamatzu TOC-5000A Total Organic Carbon Analyzer marka cihaz ile yaptırılmıştır, ağır metal ölçümleri ise Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi kullanılarak Bursa Tübitak Laboratuarları'nda yaptırılmıştır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Araştırmada otomotiv endüstrisine ait üç tip zararlı atık ile çalışılmıştır. Bu atıklar metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurudur. Bu üç atık tipine solidifikasyon yöntemi uygulanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, atıkların karakterizasyonları ve bileşenleri belirlenmiş, ikinci aşamasında solidifikasyon deneyleri yapılarak, üçüncü aşamasında basınç dayanımları tespit edilmiş ve dördüncü aşamasında ise elde edilen solidifikasyon ürünlerinin sızıntı özellikleri belirlenmiştir. Bu dört aşamada elde edilen deney verileri aşağıda tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur. Çalışmada toplam 61 solidifikasyon deneyi, TOC, ÇO ve beş ağır metal bileşeninin analizleri yapılmıştır.

4.1. Kullanılan Zararlı Atıkların Karakterizasyonunun Değerlendirilmesi

Solidifikasyon deneylerinin başında, deneylerde kullanılan metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne (TAKY) göre karakterizasyonu yapılmıştır ve sırasıyla Tablo 4.1,4.2 ve 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Metal Çamurunun Karakterizasyonu (TAKY'ne Göre)

	KOD NO	**AÇIKLAMA**
Kategori	Y17	Metal ve plastiklere yüzey işlemleri uygulanmasından kaynaklanan atıklar
Atığın Muhtemel Kaynağı	A241	Makinede işlem
Atığın Tanımı	T-Y1702	Hidrokarbon içeren metal işleme çamurları
Tehlikeli Özellikleri	H12	Ekotoksik

Tablo 4.2. Fosfat Çamurunun Karakterizasyonu (TAKY'ne Göre)

	KOD NO	AÇIKLAMA
Kategori	Y17	Metal ve plastiklere yüzey işlemleri uygulanmasından kaynaklanan atıklar
Atığın Muhtemel Kaynağı	A243	Yüzey işlemi
Atığın Tanımı	T-Y1703	Krom, kobalt, bakır, molipten, nikel ve diğer ağır metalleri veya berilyum içeren çamurlar
Tehlikeli Özellikleri	H12	Ekotoksik

Tablo 4.3. Endüstriyel Arıtma Çamurunun Karakterizasyonu (TAKY'ne Göre)

	KOD NO	AÇIKLAMA
Kategori	Y18	Sınai atıkların bertaraf işlemlerinden kaynaklanan atıklar
Atığın Muhtemel Kaynağı	A930	Endüstriyel atıksu arıtım tesisleri
Atığın Tanımı	T-Y1801	Suyu giderilmiş metal hidroksit çamurları
Tehlikeli Özellikleri	H6.1 H12	Zehirli (Akut) Ekotoksik

Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3'de yapılan tespite göre metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun TAKY'ndeki kategorisi, atığın muhtemel kaynağı, tanımı ve tehlikelilik özelliği tanımlanmıştır. Görüldüğü gibi, her üç tip atığın da tehlikelilik özelliğinin ekotoksik olduğu görülmektedir. Ekotoksik ifadesi yönetmelikte, serbest halde bulunmaları durumunda, biyoakümülasyon yoluyla çevre üzerinde ani veya gecikmeli olarak olumsuz etkiler yaratan veya yaratabilecek olan ve/veya biyotik sistemlerde toksik etkiler yaratan veya yaratması muhtemel olan maddeler veya atıklar olarak tanımlanır. Ayrıca Tablo 4.3'den görüldüğü gibi, endüstriyel arıtma çamuru ekotoksik özellik dışında zehirli (akut) özellikte göstermektedir. Zehirli (akut) ifadesi yönetmelikte, yutulması, solunması veya deri ile temas etmesi durumunda ölüme, ciddi şekilde yaralanmaya veya insan sağlığının zarar görmesine neden olabilecek maddeler veya atıklar olarak tanımlanmaktadır.

Ayrıca EPA Zararlı Atık listelerine görede atık karakterizasyonu yapılmıştır. Bu karakterizasyon Tablo 4.4'te verilmektedir.

Tablo 4.4. Metal Çamuru, Fosfat Çamuru ve Endüstriyel Arıtma Çamurunun EPA Zararlı Atık Listelerine Göre Karakterizasyonu

ATIK	ENDÜSTRİ VE EPA ZARARLI ATIK NO	ZARARLI ATIK TANIMI	ZARAR KODU
Metal Çamuru	F010	Proseste siyanür kullanan metal ısıl işlemlerinden gelen yağlı banyoların kalıntıları	R, T
	F011	Metal ısıl işlemlerinden gelen tuz banyosunun siyanür içeren temizleme çözeltileri	R, T
Fosfat Çamuru	F011	Metal ısıl işlemlerinden gelen tuz banyosunun siyanür içeren temizleme çözeltileri	R, T
	K008	Krom oksit yeşili pigmentlerin üretiminden gelen fırın kalıntıları	T
Endüstriyel Arıtma Çamuru	F006	Aşağıdaki prosesler haricindeki elektrolitik kaplama işlemlerinden gelen atıksuların arıtım çamurları: (1) Sülfirik asit ile aluminyum anotlaştırması, (2) Karbon çelik üzerine kalay kaplanması, (3) Karbon çelik üzerine çinko kaplanması, (4) Karbon çelik üzerine aluminyum veya çinko- aluminyum kaplanması, (5) Karbon çelik üzerine kalay, çinko ve aluminyum kaplanma ile ilgili temizleme, sıyırma işlemleri ve (6)aluminyum öğütülmesi ve kimyasal işlenmesi.	T
	K002	Krom sarısı ve oranj pigmentlerinin üretiminden gelen atıksu arıtım çamurları	T
	K007	Demir mavi pigmentlerin üretiminden gelen atıksu arıtım çamurları	T

R: Reaktiv, T: Toksik

Solidifikasyon deneyleri yapılmadan önce metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun toplam (çözünmüş) ve serbest haldeki bileşenlerinin analizleri de belirlenmiştir ve Tablo 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.5'te, üç tip atık için belirlenen 5 ağır metal (Cu, Cr, Ni, Pb ve Zn) konsantrasyonunun toplam değerleri verilmiştir. Tablodan endüstriyel çamurda ve fosfat çamurunda en yüksek konsantrasyonun çinkoya ait, metal çamurunda ise bakıra ait olduğu görülmektedir. Özellikle fosfat çamurunda çok yüksek bir çinko konsantrasyonu elde edilmiştir. Çünkü bu çamur otomotiv endüstrisindeki fosfatlama banyolarının altında bulunan dekantörden alınan çinko fosfat çökeleğidir.

Tablo 4.6'da verilen değerler çalışmada kullanılan atıkların temin edildiği otomotiv endüstrisinden alınmıştır. Bu değerlere göre, sadece endüstriyel çamurun TOC ve nikel parametresi açısından T.A.K.Y (Ek 11A)'ya göre zararlı atık sınıfında olduğu görülmektedir. Metal çamuru ve fosfat çamurunun mevcut verileri için bir sonuca varılamamaktadır. Bu iki atık için gerekli tüm parametreler firma tarafından analizlenmemiştir.

Tablo 4.5. Otomotiv Endüstrisi Endüstriyel Arıtma Çamuru, Metal Çamuru ve Fosfat Çamuru Bileşenlerinin Toplam Miktarları

Parametre	**Birimi**	**End. Arıtma Çamuru**	**Metal Çamuru**	**Fosfat Çamuru**
Cu	mg/kg	168.1	6701.3	17.4
Cr	mg/kg	1797.4	96.5	34.8
Ni	mg/kg	2001.6	126.2	2281.1
Pb	mg/kg	1223	16.7	100.5
Zn	mg/kg	9627.7	226.5	135318

Tablo 4.6. Otomotiv Endüstrisi Endüstriyel Arıtma Çamuru, Metal Çamuru ve Fosfat Çamurunun Serbest Haldeki Bileşenleri

Parametre	**Birimi**	**End. Arıtma Çamuru**	**Metal Çamuru**	**Fosfat Çamuru**	**T.A.K.Y. EK-11A**
pH		7.4		2-3	4-13
Nem Oranı	%	61	37	57	
Toplam Organik Karbon	mg/l	800	50	20	40-200
Arsenik	mg/l	<0.02			0.2-1
Kurşun	mg/l	0.196	1.2		0.4-2
Kadmiyum	mg/l	<0.01			0.1-0.5
$Krom^{+6}$	mg/l	<0.03			0.1-0.5
Bakır	mg/l	0.95			2-10
Nikel	mg/l	8	1.8	0.25	0.4-2
Cıva	mg/l	<0.005			0.02-1
Çinko	mg/l	0.24	1.2	5.9	2-10
Fenoller	mg/l	0.57			20-100
Florür	mg/l	26			10-50
Amonyum Azotu	mg/l	<0.05			200-1000
Klorür	mg/l	463			1200-6000
Sülfat	mg/l	179			200-1000
Nitrit	mg/l	<0.3			6-30

Yapılan karakterizasyon sonucunda, otomotiv endüstrisine ait metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun T.A.K.Y ve EPA listelerinde yer alan ve tehlikeli özellik gösteren zararlı atıklar olduğu tespit edilmiştir.

4.2. Solidifikasyon Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Seçilen üç tip atık ile yedi ayrı deneme yapılmıştır. Bu denemelerde, hesaplamalar örneği Tablo 3.5'de verildiği gibi yapılmıştır. Denemelerde değişken olarak atık miktarı seçilmiştir. Yapılan yedi denemenin 28 günlük ve bazı karışımlara ait 7 günlük ve 3 aylık basınç dayanımı sonuçları ve kullanılan atık miktarları Tablo 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13'te verilmiştir. Her bir denemede elde edilen atık / çimento oranlarına karşı gelen basınç dayanım değerleri Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7'deki grafiklerde görülmektedir.

Denemelerin başlangıcında kontrol numunesi olarak BS 20 betonu hazırlanmıştır. Kontrol numunesinin basınç dayanımı değeri 264 kgf/cm^2 olarak elde edilmiştir. Hazırlanan karışımlardan elde edilen basınç dayanımları kontrol numunesine göre yorumlanmıştır.

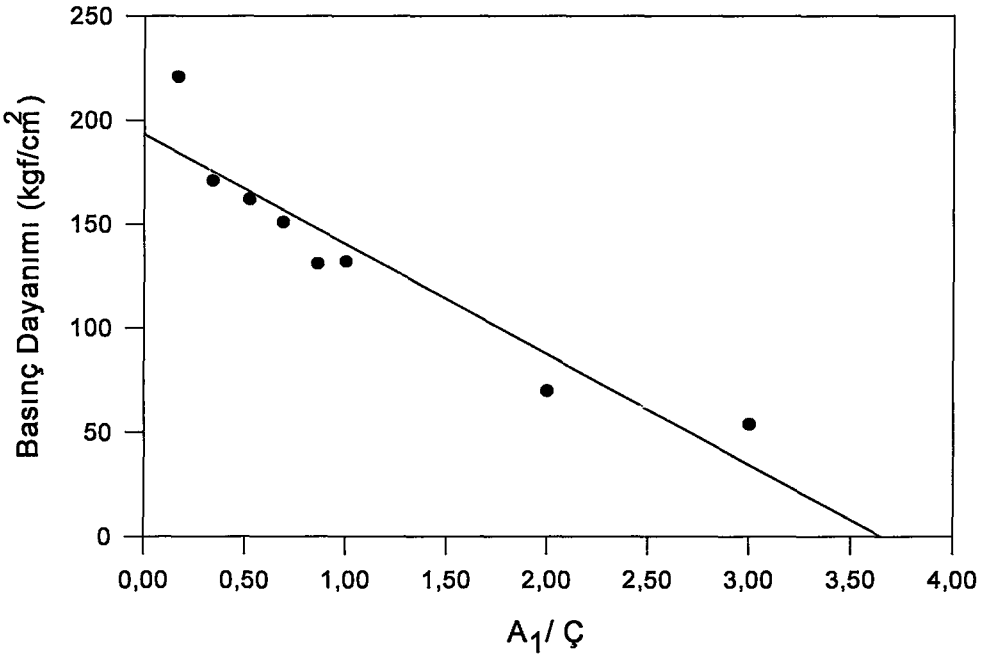
1. deneme, kuru metal çamuru ile yapılmıştır. Bu denemede hazırlanan 8 karışımın, atık/çimento oranına karşı elde edilen basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.1'de verilen grafikte, elde edilen basınç dayanımlarının atık / çimento oranlarına göre karşılaştırılması yapılmıştır. Basınç dayanımı olarak en yüksek 221 kgf/cm^2 değeri A1 / Ç = 0.2 oranında, en düşük ise 54 kgf/cm^2 değeri A1 / Ç = 3 oranında elde edilmiştir. Karışımdaki atık miktarı arttıkça basınç dayanımlarının düştüğü görülmüştür.

Tablo 4.7. Kuru metal çamuru ile yapılan deneme (1. Deneme) sonuçları

KARIŞIM NO	A1 / Ç ORANI	A1 / Ç (kg / kg)	7 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	3 aylık basınç dayanımı (kgf/cm^2)
S7	0.2/1.0	0.40/2.32	163	221**	-
S6	0.3/1.0	0.80/2.32	134	171**	-
S5	0.5/1.0	1.20/2.32	126	162**	-
S4	0.7/1.0	1.60/2.32	119	151**	-
S3	0.9/1.0	2.00/2.32	102	131**	-
S2	1.0/1.0	2.32/2.32	86	132**	-
S24	2.0/1.0	4.64/2.32	-	70*	73
S25	3.0/1.0	5.22/1.74	-	54*	48

* Literatür bilgileri ışığı altında atıkların solidifiye olduğu 28 günlük minimum basınç dayanım değeri 10 kgf/cm^2 alınmıştır (10.2 .kgf/cm^2 = 1 MPa = 1 N / mm^2).
** Yapılan araştırma ve görüşmeler neticesinde elde edilen briketlerin grobeton olarak kullanımı için 28 günlük minimum basınç dayanım değeri 100 kgf/cm^2 olarak alınmıştır.

Minimum atık oranı ile elde edilen maksimum basınç dayanımı değerininin (221 kgf/cm^2) kontrol numunesinin basınç dayanımı değerine (264 kgf/cm^2) oldukça yakın olduğu görülmektedir. Daha uzun süre sonra atığın katılaşmış malzeme içerisinde davranışı konusunda fikir edinmek için iki numune 3 ay bekletilerek basınç dayanımı testi uygulanmıştır. Tablo 4.7'de verilen bu sonuçlara göre, atığın uzun süreler katı yapıda bir değişiklik yaratmadığı görülmüştür. Çünkü 28 günlük ve 3 aylık basınç dayanımı değerleri çok yakın değerlerdir. Solidifiye olmuş atıkta, literatür bilgisi ışığı altında düzenli depolamaya kabul sınırı 10 kgf/cm^2 olarak, yapılan araştırma ve görüşmeler neticesinde elde edilen briketlerin grobeton olarak kullanımı için sınır değer 100 kgf/cm^2 olarak kabul edilmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında 1. denemede hazırlanan tüm numuneler düzenli depolama ile uzaklaştırılabilir. Ancak solidifiye atığın geri kazanılması düşünüldüğünde ancak atık / çimento oranı 1 ve daha küçük olan numunelerin geri kazanılmasının mümkün olduğu görülmektedir.

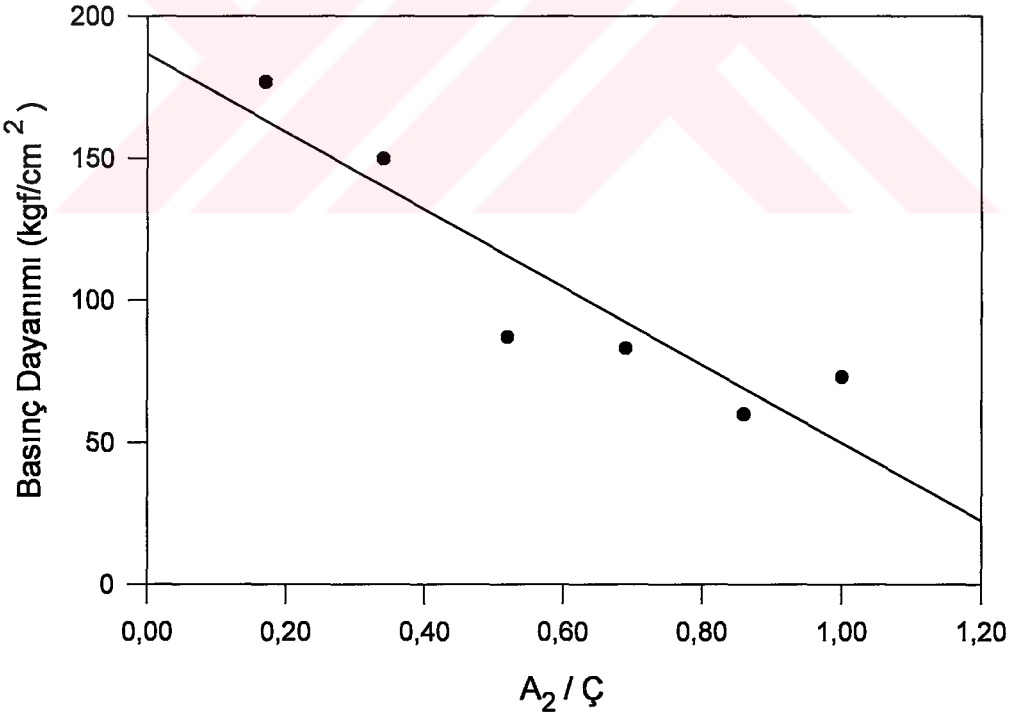


Şekil 4.1. 1. Denemede Farklı Atık Oranlarında Elde Edilen Basınç Dayanımları

2.deneme kuru endüstriyel çamur ile yapılmıştır. Bu denemede hazırlanan 6 karışımın, atık /çimento oranına karşı elde edilen basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.8'de verilmiştir. Atık / çimento oranına göre elde edilen basınç dayanımı sonuçları Şekil 4.2'de verilen grafikte karşılaştırılmıştır. Basınç dayanımı olarak, atık / çimento = 0.2 olan karışımda, en yüksek değer olan 177 kgf/cm^2, atık / çimento = 0.9 olan karışımda ise en düşük değer olan 60 kgf/cm^2 elde edilmiştir. Bu denemede elde edilen en düşük basınç dayanımı en yüksek atık oranında elde edilmemiştir. Atık miktarının daha fazla olduğu S8 karışımında elde edilen değer 73 kgf/cm^2 iken atık miktarının daha az olduğu S9 karışımında 60 kgf/cm^2 elde edilmiştir. Bunun nedeni hazırlanan S8 karışımının akıcılığının S9 karışımına göre daha az olmasıdır. Bir diğer deyişle, S8 karışımındaki su oranı S9 karışımındaki su oranına göre daha azdır. Solidifikasyonda, karışımlardaki su / atık oranı da, betondaki su / çimento oranında olduğu gibi mukavemet üzerine etkili bir faktördür. Bu tez kapsamında bu oran, aynı deneme içindeki tüm karışımlarda aynı tutulmaya çalışılmıştır. Ancak atık tipine ve miktarına göre su ihtiyacı, yani atığın su emme ihtiyacı değişim göstermektedir. Bu oran slump deneyi ile kontrol altında

Tablo 4.8. Kuru endüstriyel çamur ile yapılan deneme (2. Deneme) sonuçları

KARIŞIM NO	A2 / Ç ORANI	A2 / Ç (kg / kg)	7 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)
S13	0.20/1.00	0.40/2.32	120	177**
S12	0.30/1.00	0.80/2.32	91	150**
S11	0.50/1.00	1.20/2.32	65	87*
S10	0.70/1.00	1.60/2.32	47	83*
S9	0.90/1.00	2.00/2.32	51	60*
S8	1.00/1.00	2.32/2.32	49	73*



Şekil 4.2. 2. Denemede Farklı Atık Oranlarında Elde Edilen Basınç Dayanımları

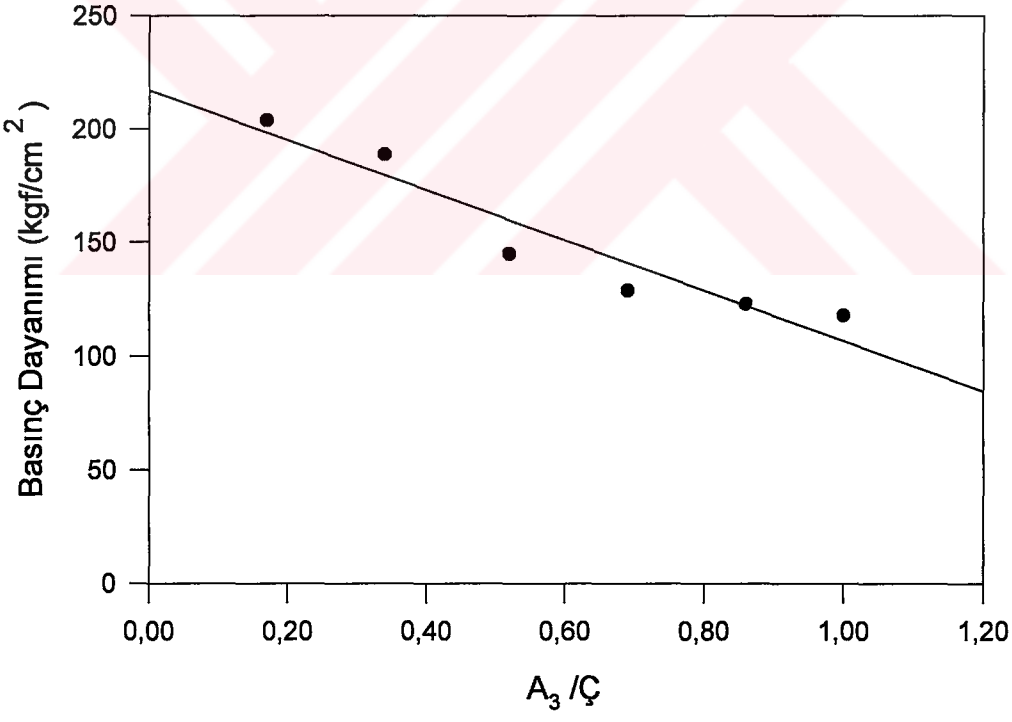
tutulmuştur. Ancak büyük sapmalar gözlendiğinde karışımlar tekrar hazırlanarak, deneyler tekrar edilmiştir. Bu denemede oluşan sapma küçük olduğu için deney tekrarı yapılmamıştır.

Kuru endüstriyel çamur ile yapılan bu denemede en düşük atık oranında (A2 / Ç = 0.2) elde edilen maksimum basınç dayanımı değerinin (177 kgf/cm^2) , kuru metal çamuru ile yapılan aynı karışım oranında elde edilen basınç dayanımı değerinden (221 kgf/cm^2) daha düşük bir değer olduğu görülmektedir. Aynı şekilde hazırlanan tüm karışım oranları da bu şekilde karşılaştırıldığında 2. denemede daha düşük basınç dayanımları elde edildiği görülmüştür. 2. denemede hazırlanan tüm katılaştırılmış numunelerin, solidifikasyon alt sınırı olan 10 kgf/cm^2 basınç dayanım değerinin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Solidifiye atığın tekrar kullanımı düşünüldüğünde, ancak atık / çimento oranı 0.2 ve 0.3 olan numunelerin tekrar kullanımının mümkün olduğu görülmektedir. Bu sonuçtan yola çıkarak, bu iki tip atık karıştırılmış ve 3. deneme yapılmıştır

3.denemede endüstriyel çamur ve metal çamurunun kuru formları eşit oranlarda karıştırılmıştır. Bu denemede hazırlanan 6 karışımın, atık /çimento oranına karşı elde edilen basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.9'da verilmiştir. Atık / çimento oranına göre elde edilen basınç dayanımı sonuçları Şekil 4.3'te verilen grafikte karşılaştırılmıştır. Bu denemede en düşük basınç dayanımı 118 kgf / cm^2 iken, en yüksek değer 204 kgf / cm^2 bulunmuştur. Karışımdaki atık miktarı arttıkça basınç dayanımlarının düştüğü görülmüştür. Yapılan ilk üç denemeye göre bir karşılaştırma yapıldığında, kuru formdaki metal çamuru ile hazırlanan karışımlarda elde edilen basınç dayanımı değerlerinin, aynı oranlarda kuru formdaki endüstriyel çamur ile hazırlanan karışımlarda elde edilen değerlere göre daha yüksek olduğu ve 3. denemede yapıldığı gibi iki tip atık karıştırıldığında, kuru formdaki metal çamurunun karışım içinde mukavemet arttırıcı bir etki yaptığı görülmüştür. Bu denemede elde edilen basınç dayanımı sonuçlarına göre, bu karışım ile elde edilen solidifiye malzemenin hem düzenli deponi ile uzaklaştırılabileceği, hem de grobeton olarak kullanımının mümkün olduğu söylenebilir.

Tablo 4.9. Kuru metal çamuru ve kuru endüstriyel çamur karışımları ile yapılan deneme (3. Deneme) sonuçları

KARIŞIM NO	A1 / A2 / Ç (A3 / Ç) ORANI	A1 / A2 / Ç (A3 / Ç) (kg/kg/kg)	7 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)
S19	0.09/0.09/1.00	0.20/0.20/2.32	162	204**
S18	0.17/0.17/1.00	0.40/0.40/2.32	128	189**
S17	0.26/0.26/1.00	0.60/0.60/2.32	95	145**
S16	0.34/0.34/1.00	0.80/0.80/2.32	82	129**
S15	0.43/0.43/1.00	1.00/1.00/2.32	72	123**
S14	0.50/0.50/1.00	1.16/1.16/2.32	61	118**

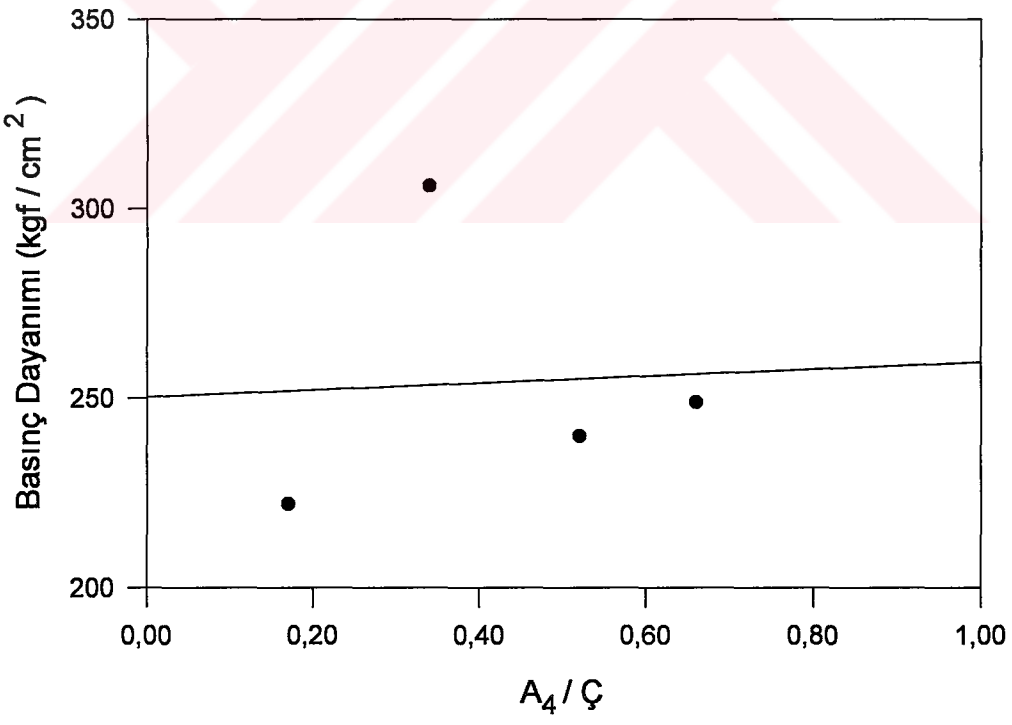


Şekil 4.3. 3. Denemede Farklı Atık Oranlarında Elde Edilen Basınç Dayanımları

Hazırlanan ilk üç denemede, atık malzemelerin karışım içinde homojen bir şekilde dağılımını sağlamak için atıklar kurutulup öğütüldükten sonra kullanılmıştır. Ancak bu işlem prosese hem ilave masraf hem de işçilik getirmektedir. Bu nedenle yine homojenliği sağlamak amacıyla 4. denemede %99 neme sahip endüstriyel ham çamur kullanılarak 4 karışım hazırlanmıştır. Bu karışımlara ait basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.10'da ve bu sonuçların atık /çimento oranına göre karşılaştırılmasıda Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu denemede , çalışma kapsamında hazırlanan 61 karışım arasında en yüksek değer olan 306 kgf / cm^2 basınç dayanımı değeri, A4 / Ç= 0.3 oranında elde edilmiştir. En düşük basınç dayanımı değeri olan 222 kgf / cm^2 ise A4 / Ç= 0.2 oranında elde edilmiştir. Bu denemede ham çamurun su oranı çok yüksek olduğu için karışıma maksimum A4/Ç=0.7 oranında atık eklenebilmektedir. Bu denemede hazırlanan 4 karışımın atık oranları birbirine yakın değerlerdedir, dolayısıyla da birbirine yakın basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Tablo 4.10'dan görüldüğü gibi 3 ay sonra yapılan basınç dayanımı değeri (342 kgf / cm^2), 28 günlük değerden yüksek bir değerdir. Buradan, karışıma eklenen atığın katılaşmayı geciktirici bir etki yaptığı görülmektedir. Bu çalışmada beton hazırlanmasında uyulan kurallar gözönünde bulundurulmuştur. Beton hazırlanmasında, TS 500 Standartı (Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları) kullanılmaktadır. Bu standarta göre ve hemen hemen bütün ülkelerin standartlarına göre hesaplarda gözönüne alınacak beton basınç mukavemeti, 28 günlük mukavemet olarak kabul edilmiştir (Aka ve diğ., 1996). Bu çalışmada da 28 günlük basınç dayanımı değerleri gözönünde bulundurulmuştur. Ancak bazı karışımların 3 aylık değerleride kontrol edilmiştir. Bu denemede de görüldüğü gibi ham endüstriyel arıtma çamuru için 28 günlük katılaşma (priz) süresi yeterli olmamış ve 28 günden sonrada dayanım artmaya devam etmiştir. Buradan da görüldüğü gibi solidifikasyon çalışmalarında her tip atık için 28 günlük katılaşma süresi optimum süre olmayabilir. Katılaşma süreside ayrıca araştırılması gereken bir konudur.

Tablo 4.10. Ham endüstriyel çamur ile yapılan deneme (4. Deneme) sonuçları

KARIŞIM NO	A4 / Ç ORANI	A4 / Ç (kg / kg)	7 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	3 aylık basınç dayanımı (kgf/cm^2)
S22	0.2/1.0	0.394/2.32	189	222**	-
S23	0.3/1.0	0.79/2.32	-	306**	342
S21	0.5/1.0	1.206/2.32	231	240**	-
S20	0.7/1.0	1.52/2.32	212	249**	-



Şekil 4.4. 4. Denemede Farklı Atık Oranlarında Elde Edilen Basınç Dayanımları

Bu denemede elde edilen en yüksek basınç dayanımı en düşük atık oranında elde edilmemiştir. Atık miktarının en düşük olduğu S22 karışımında elde edilen değer 222 kgf/cm^2 iken atık miktarının daha fazla olduğu S23 karışımında 306 kgf/cm^2 elde edilmiştir. Bunun nedeni, hazırlanan S22 karışımının akıcılığının S23 karışımına göre daha fazla olmasıdır. Bir diğer deyişle, S22 karışımındaki su oranı S23 karışımındaki su oranına göre daha fazladır. Bu denemede de su / çimento oranının mukavemet üzerindeki önemi bir kez daha görülmektedir. Bu denemede atığın su oranı çok yüksek olduğu için, çimentonun hidratasyonu için gerekli su miktarı atığın bünyesinde bulunan sudan sağlanmıştır. Bu nedenle atık oranı 0.7 oranının üzerine çıkılamamıştır. Daha fazla atık oranı kullanılması durumunda, çimento hidratasyonu için gerekli su miktarından daha fazla su, karışım içinde yer alacağından basınç dayanımı düşük değerlerde olacaktır. Yüksek değerlerde basınç dayanımı elde etmek için optimum bir su miktarı vardır. Optimum değerden daha az su kullanılması veya daha fazla su kullanılması halinde beton mukavemeti düşük olacaktır. Yapılan deneylere göre;

Su miktarının optimum değerden	Mukavemette
%10 eksik olması	% 10 azalmaya
%20 eksik olması	% 60 azalmaya
%20 fazla olması	% 30 azalmaya
%30 fazla olması	% 50 azalmaya
%100 fazla olması	% 80 azalmaya

neden olmaktadır (Postacıoğlu, 1987). Ayrıca bazı atık tipleri daha büyük miktarda su absorbe edebilir, çok miktarda su ilavesi, katılaşmış ürünün yüzeyinde serbest bir su tabakasına ve mukavemette azalma ile beraber final ürünün permeabilitesinde artışa neden olur (Conner, 1990). Bu çalışma kapsamında yapılan denemelerde de betona benzer şekilde karışıma eklenen su miktarının doğru bir şekilde belirlenmesi, hazırlanan materyalin basınç dayanımı açısından önem arz etmektedir.

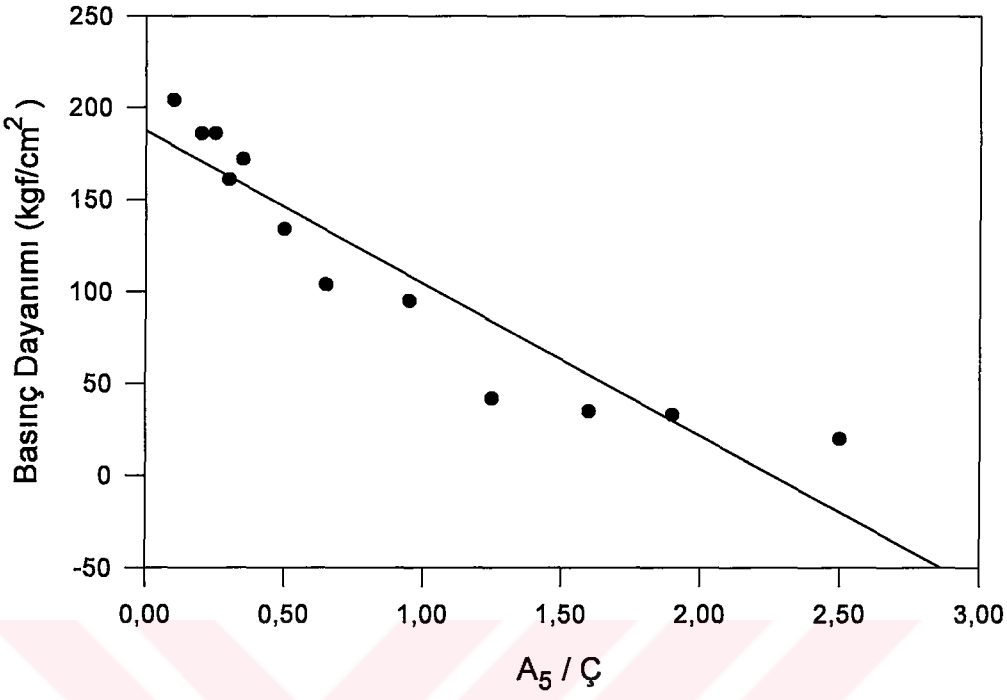
4. denemede elde edilen basınç dayanımı sonuçlarının oldukça yüksek ve birbirine yakın değerler olduğu Tablo 4.10 ve Şekil 4.4'ten görülmektedir. Bu sonuçlara göre bu denemede elde edilen katılaştırılmış materyal solidifiye olmuştur, grobeton olarak kullanılabilir, hatta taşıyıcı olan bir beton olarak da kullanılabilir. S23 karışımında elde

edilen basınç dayanımı (306 kgf / cm^2), kontrol numunesinin basınç dayanımından (264 kgf / cm^2) yüksektir. Elde edilen katılaştırılmış materyal basınç dayanımı açısından C 20 betonu olabilecek bir malzemedir. Ancak basınç dayanımı dışında betona uygulanan diğer deneyler yapıldıktan sonra bu şekilde kullanımına karar verilebilir. TS 500'e göre C 16 beton dayanımı 200 kgf / cm^2, C18 beton dayanımı 220 kgf / cm^2'dir. Bu denemede elde edilen tüm karışımların basınç dayanımı açısından C16 ve C18 betonu olarak kullanılabileceği görülmektedir.

İlk üç denemede yapılan kurutma öğütme işleminin ekonomik olmadığı, 4. denemede ise çok yüksek su oranından dolayı ancak çok az miktarda atığın uzaklaştırılmasının mümkün olduğu düşünülerek atıkların fabrikadan uzaklaştırıldığı formlar kullanılarak denemelere devam edilmiştir. Metal çamuru, yağı alınmak üzere yıkanarak fabrikadan uzaklaştırılmaktadır. 5. Denemede, % 25 ve % 37 nem oranına sahip yıkanmış metal çamuru kullanılmıştır. Bu denemede hazırlanan 12 katılaştırılmış materyalin basınç dayanımı değerleri Tablo 4.11'de , bu değerlerin atık / çimento oranlarına göre karşılaştırılması da Şekil 4.5'teki grafikte verilmiştir. Bu denemede en yüksek basınç dayanımı (204 kgf/ cm^2) S55 karışımında, en düşük atık oranında (A5 / Ç= 0.1) , en düşük basınç dayanımı da (20 kgf / cm^2) en yüksek atık oranında (A5 / Ç = 2.5) elde edilmiştir. 1. deneme ile 5. deneme basınç dayanımı sonuçları karşılaştırıldığında aynı atık oranlarında, kuru metal çamuru değerlerinin nemli metal çamuru değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin atık oranı 0.2 iken, 1. denemede elde edilen değer 221 kgf / cm^2, 5. denemede 186 kgf / cm^2'dir. Bunun nedeni, daha önce de izah edildiği gibi karışıma ilave edilen su miktarı ile yani karışımın akıcılığı ile ilgilidir. 1. denemede tüm karışımların slump değerleri 8 cm, 5. denemede ise tüm karışımların slump değerleri 12 civarında tutulmuştur. Yani 1. deneme karışımları daha koyu kıvamlı, bir başka deyişle karışıma eklenen su oranı daha düşük, 5. deneme karışımları ise daha akıcı ve su oranı daha yüksek olan karışımlardır. Sonuç olarak, su oranı düşük olan karışımlarda daha yüksek basınç dayanımı elde edildiği görülmektedir.

Tablo 4.11. Nemli metal çamuru ile yapılan deneme (5. Deneme) sonuçları

KARIŞIM NO	A5 / Ç (kg / kg)	NEM (%)	A5 / Ç (kg KM / kg)	A5 / Ç ORANI	7 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	3 aylık basınç dayanımı (kgf/cm^2)
S55	0.23/1.74	25	0.17/1.74	0.10/1.00	-	204**	-
S56	0.47/1.74	25	0.35/1.74	0.20/1.00	-	186**	-
S57	0.59/1.74	25	0.44/1.74	0.25/1.00	-	186**	-
S58	0.69/1.74	25	0.52/1.74	0.30/1.00	-	161**	-
S59	0.81/1.74	25	0.61/1.74	0.35/1.00	-	172**	-
S60	1.16/1.74	25	0.87/1.74	0.50/1.00	-	134**	-
S26	1.74/1.74	37	1.1/1.74	0.65/1.00	-	104**	-
S61	2.61/1.74	37	1.65/1.74	0.95/1.00	-	95*	-
S28	3.48/1.74	37	2.2/1.74	1.25/1.00	-	42*	-
S29	4.35/1.74	37	2.75/1.74	1.60/1.00	-	35*	41
S30	5.22/1.74	37	3.30/1.74	1.90/1.00	-	33*	-
S31	6.961.74	37	4.39/1.74	2.50/1.00	-	20*	18



Şekil 4.5. 5. Denemede Farklı Atık Oranlarında Elde Edilen Basınç Dayanımları

Bu denemede Şekil 4.5'teki grafiğe bakıldığında, atık oranı arttıkça, basınç dayanımının düştüğü görülmektedir. Yapılan 3 aylık basınç dayanımı deney sonuçlarına göre, 3 aylık sonuçların , 28 günlük sonuçlardan pek farklı olmadığı görülmektedir (Tablo 4.11). Buradan , bu atık için katılaşma süresi olarak 28 günlük sürenin yeterli olduğu söylenebilir. Ayrıca, 0.65 atık oranında ve daha az oranlarda solidifiye materyalin grobeton olarak kullanılabileceği, 0.65'ten daha yüksek atık oranlarında ise elde edilen malzemenin geri kazanımı mümkün olmayıp, sadece düzenli depolama tesislerinde depolanabilir.

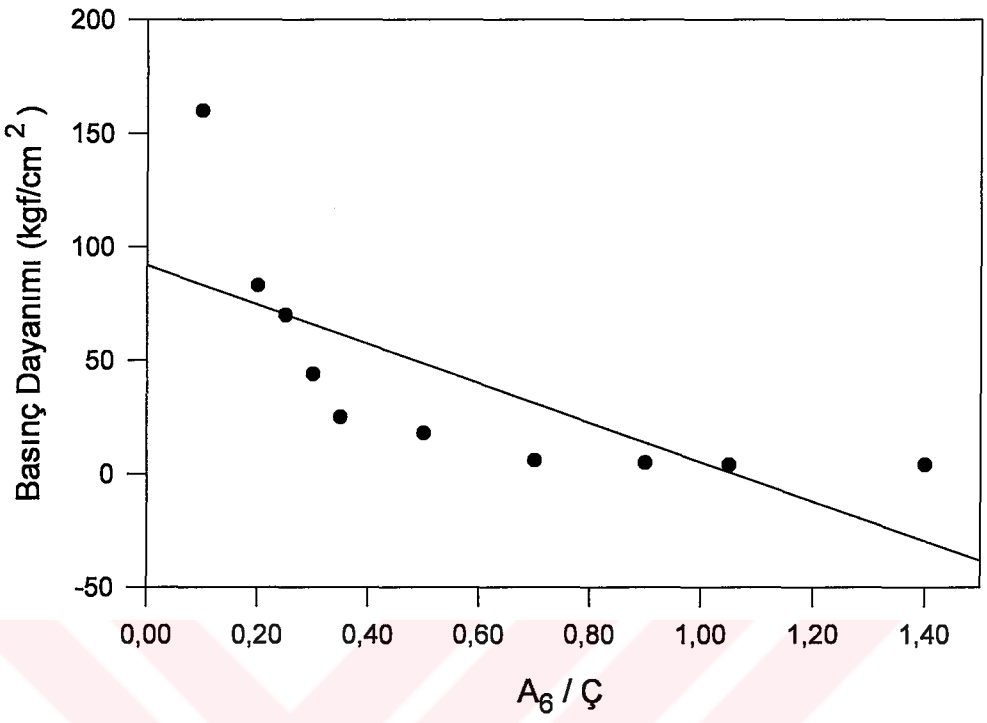
6. denemede %64-65 nem oranına sahip susuzlaştırılmış endüstriyel arıtma çamuru kullanılmıştır. Bu denemede hazırlanan 10 karışıma ait basınç dayanımları Tablo 4.12'de, bu değerlerin atık /çimento oranlarına göre karşılaştırılması da Şekil 4.6'daki grafikte verilmiştir. Tablo ve grafiğe bakıldığı zaman, en yüksek basınç dayanımı değeri olan 160 kgf / cm^2 değerinin en düşük atık oranı olan 0.1 değerinde elde edildiği, en

düşük basınç dayanımı değerinin de (4 kgf / cm^2) 1.05 ve 1.4 atık oranlarında elde edildiği görülmektedir. Kurutulmuş endüstriyel arıtma çamur ile yapılan 2. deneme basınç dayanımı sonuçları (Tablo 4.8) ile susuzlaştırılmış endüstriyel arıtma çamuru (% 65 nem içeren) ile yapılan 6. deneme basınç dayanımı sonuçları (Tablo 4.12) karşılaştırıldığında, aynı atık oranlarında, 2. deneme sonuçlarının 6. deneme sonuçlarına göre oldukça yüksek değerler olduğu görülmektedir. Örneğin atık oranı 0.2 iken 2. denemede elde edilen değer 177 kgf / cm^2, 6. Deneme de 83 kgf / cm^2'dir. Diğer atık oranlarında da benzer şekilde büyük farklar oluşmuştur. Bunun nedeninin metal çamurunda olduğu gibi karışıma eklenen su miktarıyla ilgili olmadığı düşünülmektedir. Çünkü 2. ve 6. denemede slump değeri 14 cm civarındadır. Basınç dayanımları arasında oluşan bu farklılığın atık içinde bulunan organik maddeden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Organik bileşikler, ince kum, kömür, linyit kömürü, bazı inorganik tuzlar ve metal bileşikleri gibi bazı maddeler atık ile portland çimentosunun katılaşma reaksiyonlarını yavaşlatıcı ve engelleyici etki yapabilir (Conner, 1990). Bölüm 4.1'de, Tablo 4.5'de görüldüğü gibi endüstriyel arıtma çamurunun TOC değeri 800 mg/l gibi yüksek bir değerdir. Buradan da görüldüğü gibi atık içinde bulunan organik bileşik 6. denemede mukavemeti azaltıcı bir etki yapmıştır. Ancak, 2. denemede bu etki görülmemiştir. Çünkü, 2. denemede atık kurutularak kullanılmıştır ve bu işlem esnasında organik bileşiklerin yanmış olabileceği ve organiklere bağlı metallerin form değiştirdiği düşünülmektedir. Ortamdan organiklerin uzaklaşması ile mukavemette bir azaltıcı etki olmadığı görülmüştür.

Bu denemede Şekil 4.6'daki grafiğe bakıldığında, atık oranı 0.5 oranına kadar arttırıldığında, basınç dayanımının daha keskin bir düşüş gösterdiği, ancak bu orandan sonraki atık oranlarında birbirine yakın değerlerde basınç dayanımı elde edildiği görülmektedir. Ayrıca 0.5 atık oranı üzerindeki oranlarda 10 kgf / cm^2'nin altında basınç dayanımı elde edilmiştir. Dolayısıyla bu oranın üzerinde atık oranı kullanıldığında atık solidifiye olmamıştır. Solidifikasyon 0.5 ve daha küçük atık oranlarında başarılmıştır. Bu denemede sadece en küçük oran olan 0.1 atık oranında elde edilen katılaştırılmış materyal grobeton olarak kullanılabilir Yapılan 3 aylık basınç dayanımı deney sonuçlarına göre, 3 aylık sonuçların, 28 günlük sonuçlardan pek farklı olmadığı

Tablo 4.12. Susuzlaştırılmış endüstriyel çamur ile yapılan deneme (6. Deneme) sonuçları

KARIŞIM NO	A6 / Ç (kg / kg)	NEM (%)	A6 / Ç (kg KM / kg)	A6 / Ç ORANI	7 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	3 aylık basınç dayanımı (kgf/cm^2)
S50	0.47/1.74	64	0.17/1.74	0.1/1.00	-	160**	-
S51	0.97/1.74	64	0.35/1.74	0.2/1.00	-	83*	-
S52	1.22/1.74	64	0.44/1.74	0.25/1.00	-	70*	-
S53	1.44/1.74	64	0.52/1.74	0.3/1.00	-	44*	-
S32	1.74/1.74	65	0.61/1.74	0.35/1.00	-	25*	-
S33-S54	2.61/1.74	65	0.91/1.74	0.5/1.00	-	12-18*	-
S34	3.48/1.74	65	1.22/1.74	0.7/1.00	-	6*	8
S35	4.35/1.74	65	1.52/1.74	0.9/1.00	4	5*	-
S36	5.22/1.74	65	1.83/1.74	1.05/1.00	-	4*	-
S37	6.96/1.74	65	2.44/1.74	1.4/1.00	-	4*	3



Şekil 4.6. 6. Denemede Farklı Atık Oranlarında Elde Edilen Basınç Dayanımları

sürenin yeterli olduğu söylenebilir. Ayrıca , 0.5 atık oranında solidifikasyon deneyi tekrar edilmiştir. Aynı şartlarda hazırlanan her iki karışımda da (S33 – S54) elde edilen basınç dayanımı değerleri birbirine çok yakındır. Sonuç olarak kullanılan oranlar uygulandığında çok küçük sapmalar oluşmaktadır.

7. deneme % 57 nem oranına sahip fosfat çamuru ile hazırlanmıştır. Bu denemede 11 farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlara ait basınç dayanımları Tablo 4.13'de, bu değerlerin atık/çimento oranlarına göre karşılaştırılması da Şekil 4.7'deki grafikte verilmiştir. Tablo ve grafiğe bakıldığı zaman, en yüksek basınç dayanımı değeri olan 177 kgf / cm^2 değerinin en düşük atık oranı olan 0.1 değerinde elde edildiği, en düşük basınç dayanımı değerinin de (17 kgf / cm^2) 1.70 atık oranında elde edildiği görülmektedir.

Bu denemede Şekil 4.7'deki grafiğe bakıldığında, atık oranı 0.45 oranına kadar arttırıldığında, basınç dayanımının daha keskin bir düşüş gösterdiği, ancak bu orandan sonraki atık oranlarında birbirine yakın değerlerde basınç dayanımı elde edildiği görülmektedir. Tablo 4.13'de 3 karışım için yapılan 3 aylık sonuçlara bakıldığında bu değerlerin 28 günlük değerlerin yaklaşık iki katı olduğu görülmektedir. Buradan fosfat çamuru için 28 günlük sürenin katılaşma süresi olarak yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. 28 günden sonrada katılaşmış materyalin basınç dayanımında artış devam etmektedir. Bu atık için daha uzun katılaşma süreleri denenebilir.

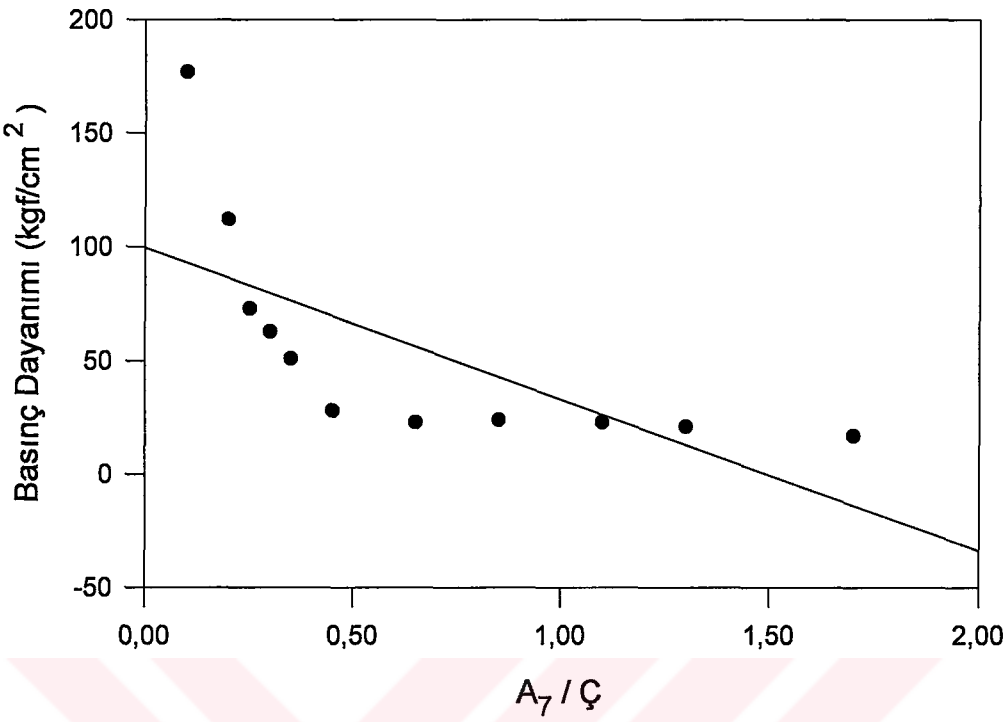
Bu denemede elde edilen bütün ürünlerin basınç dayanımı solidifikasyonun alt sınırı olan 10 kgf / cm^2 değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Sadece en düşük atık oranları olan 0.1 ve 0.2 atık oranında elde edilen basınç dayanımları elde edilen ürünün grobeton olarak kullanımına imkan vermektedir.

Ayrıca, 0.65 atık oranında solidifikasyon deneyi tekrar edilmiştir. Aynı şartlarda hazırlanan her iki karışımda da (S39 – S44) elde edilen basınç dayanımı değerleri birbirine çok yakındır. Sonuç olarak kullanılan oranlar uygulandığında çok küçük sapmalar oluşmaktadır ve deneylerin tekrar edilmesi mümkündür.

Metal çamuru, endüstriyel çamur ve fosfat çamurlarının fabrikadan alındığı formuyla (belli nem oranlarında) yapılan denemeler (5, 6, ve 7 deneme) birbirleriyle basınç dayanımı yönünden karşılaştırıldığında metal çamuru ile yapılmış numunelerde daha yüksek basınç dayanımı elde edildiği görülmüştür. Bu değer metal çamurunda 204 kgf/cm^2 iken endüstriyel çamurda 160 kgf/cm^2 ve fosfat çamurunda 177 kgf/cm^2 olarak elde edilmiştir. Ancak fosfat çamuru ile yapılan 7. denemede 28 günün, katılaşma süresi için yeterli olmadığı düşünülürse, daha uzun süre bekletip basınç dayanım deneyi uygulanırsa metal çamurundan daha yüksek bir değer elde edilebileceği düşünülmektedir.

Tablo 4.13. Nemli fosfat çamuru ile yapılan deneme (7. Deneme) sonuçları

KARIŞIM NO	A7 / Ç (kg / kg)	NEM (%)	A6 / Ç (kg KM / kg)	A7 / Ç ORANI	7 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	3 aylık basınç dayanımı (kgf/cm^2)
S49	0.30/1.74	57	0.13/1.74	0.10/1.00	-	177**	-
S48	0.59/1.74	57	0.30/1.74	0.20/1.00	-	112**	-
S47	0.90/1.74	57	0.40/1.74	0.25/1.00	-	73*	-
S46	1.20/1.74	57	0.50/1.74	0.30/1.00	-	63*	-
S45	2.00/2.32	57	0.86/2.32	0.35/1.00	-	51*	112
S38	1.74/1.74	57	0.75/1.74	0.45/1.00	-	28*	-
S39-S44	2.61/1.74	57	1.13/1.74	0.65/1.00	-	22-23*	-
S40	3.48/1.74	57	1.50/1.74	0.85/1.00	-	24*	53
S41	4.35/1.74	57	1.90/1.74	1.10/1.00	13	23*	-
S42	5.22/1.74	57	2.30/1.74	1.30/1.00	-	21*	-
S43	6.96/1.74	57	3.00/1.74	1.70/1.00	-	17*	27



Şekil 4.7. 7. Denemede Farklı Atık Oranlarında Elde Edilen Basınç Dayanımları

Sonuç olarak, solidifikasyonun başarılı olduğu 10 kgf/cm^2 değeri metal çamurunda 2.50/1.00, endüstriyel çamurda 0.50/1.00 ve fosfat çamurunda 1.70/1.00 oranlarının altındaki atık oranlarında elde edilmiştir. Görüldüğü gibi solidifikasyonda bu üç atık arasında bir sıralama yapıldığında, metal çamurunun ve fosfat çamurunun bu teknolojiye en uygun atıklar olduğu, endüstriyel çamurda ise bu yöntemin ancak düşük atık oranlarında başarılı bir sonuç verdiği görülmüştür. Bunun nedeninin arıtmaya gelen yağlı ve boyalı atıklar ile bu atıklardan kaynaklanan yüksek TOC parametresi olduğu düşünülmektedir.

4.3. Solidifikasyon Ürünlerinin Sızıntı Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Atıklarda ve bu atıklarla yapılmış briketlerde mevcut, toplam haldeki Cu, Cr, Zn, Pb ve Ni ağır metallerinin miktarları tespit edilmiştir. Ayrıca BS 6920 Standartına uygun yapılan deneylerde briketlerin bekletildiği sularda çözünmüş oksijen farkları, TOC ve belirtilen beş ağır metal ölçülmüştür. Deney sonuçları Tablo 4.14, 4.15 ve 4.16'da

verilmiştir. Ayrıca, briketlerde elde edilen ağır metal sonuçları ile bu numunelerin basınç dayanımları atık / çimento oranına karşı grafiklere geçirilmiştir (Şekil 4.8 – 4.42).

ÇO Farkı, TOC ve ağır metal deneyleri her denemede minimum ve maksimum basınç dayanımı elde edilmiş 2 yada 3 karışım için yapılmıştır. Tablo 4.14'te metal çamuru ve metal çamurundan hazırlanmış briketlerin sonuçları yer almaktadır. Bu tablodan da görüldüğü gibi 1., 3. ve 5. denemede metal çamuru kullanılmıştır. Ayrıca 3. denemede metal çamuru ile endüstriyel çamur karıştırıldığı için bu tabloda endüstriyel çamura ait sonuçlarda verilmiştir. Tablo 4.15'te fosfat çamuru ve fosfat çamurundan hazırlanmış briketlerin sonuçları yer almaktadır. Tablodan görüldüğü gibi sadece 7. denemede fosfat çamuru kullanılmıştır. Tablo 4.16'da ise endüstriyel arıtma çamuru ve bu atık ile hazırlanmış briketlerin sonuçları bulunmaktadır. Bu atık 2. ,3. ,4. ve 6. denemelerde kullanılmıştır.

Sızıntı özelliklerinin tespit edilmesinde su kalitesi üzerindeki etkilenmeyi tespit etmek için "British Standards" BS 6920 yönteminden faydalanılmıştır. Bu yöntem kapsamında olan "Su Mikroorganizmalarının Çoğalması Deneyi" uygulanmıştır. Bu deney kapsamında ölçülen çözünmüş oksijen değerlerinin farkları Tablo 4.14, 4.15 ve 4.16'da görülmektedir. Bu deneyler sabit sıcaklıkta deney materyalinin yüzeysel su ile 5-7 haftalık inkübasyonu sonucunda ÇO konsantrasyonları ortalaması ile başlangıçtaki değer arasındaki fark olarak verilmiştir. Deneyler yaz döneminde yapılmış olup, başlangıçtaki ÇO konsantrasyonu 7.2 mg/l bulunmuştur. Fark değerlerinin 2.4 mg/l'den küçük olması standartta verilmektedir. Bu değerlerde mikroorganizmal bir çoğalmanın gerçekleşmediği varsayılmaktadır. Bu durumda organik bir madde çözünmesinin olmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca briketlerin bekletildiği suda TOC ve 5 ağır metal ölçülmüştür. TOC ve ağır metal konsantrasyonlarının başlangıçtaki değerlerden çok düşük olması suya metal ve organik madde geçişi olmadığını ve bu atığın solidifikasyon ile zehirliliğinin giderildiğini göstermektedir.

Tablo 4.14. Metal çamuru ve metal çamuru ile yapılmış briketlerin sızıntı özellikleri

DENEME NO	NUMUNE	A / Ç	Basınç Dayanımı (BD) (kgf/cm2)	ÇO Farklarının Ortalaması (mg/L)	TOC (mg/L)	Cu		Cr		Ni		Pb		Zn	
						brikette (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)	brikette (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)	brikette (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)	brikette (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)	brikette (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)
	Metal Çam.	-	-	-	50	6701*		97*		126*		17*		227*	
	End. Çam.	-	-	-	800	168*		1797*		2002*		1223*		9628*	
1	S7	0.17	221	0.4	5	411	<0.1	21	<0.1	49	<0.1	33	<0.1	30.7	<0.05
	S25	3.00	54	0.3	5	3789	<0.1	54	<0.1	99	0.2	66	<0.1	124	<0.05
3	S14	1.00	118	0.1	7	771	<0.1	111	<0.1	263	0.25	193	0.3	1572	0.3
	S19	0.17	204	0.1	9	154	<0.1	43	<0.1	98	<0.1	77	0.2	305	0.1
5	S26	0.65	104	0.4	5	2031	<0.1	53	<0.1	90	<0.1	32	<0.1	85	<0.05
	S31	2.50	20	0.8	6	4158	<0.1	66	<0.1	185	<0.1	53	0.2	159	<0.05

* Atıktaki ağır metal konsantrasyonları

Tablo 4.15. Fosfat çamuru ve fosfat çamuru ile yapılmış briketlerin sızıntı özellikleri

DENEME NO	NUMUNE	A / Ç	Basınç Dayanımı (BD) (kgf/cm2)	ÇO Farklarının Ortalaması (mg/L)	TOC (mg/L)	Cu		Cr		Ni		Pb		Zn	
						brikette (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)	brikette (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)	brikette (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)	brikette (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)	brikette (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)
	Fosfat Çam.			-	20	17*		35*		2281*		101*		135318*	
7	S43	1.70	17	0.5	3	19	<0.1	36	<0.1	1756	0.2	71	<0.1	39219	0.2
	S49	0.10	177	0.6	7	13	0.15	23	<0.1	117	<0.1	61	<0.1	1703	0.3

* Atıktaki ağır metal konsantrasyonları

Şekil 4.8 – Şekil 4.42 arasında verilen grafiklerde her deneme için brikette belirlenmiş 5 ağır metal analizleri ile basınç dayanımları, atık / çimento oranı ile karşılaştırılmıştır. Grafiklerden görüldüğü gibi atığın karışımdaki miktarı arttırıldıkça, solidifikasyon sonucu elde edilen briketin basınç dayanımı değeri azalmakta, stabilize edilen ağır metal konsantrasyonu artmaktadır. Ayrıca, bu grafiklerle solidifikasyonda min basınç dayanımı değeri olan 10 kgf/cm^2 ve elde edilen briketlerinin grobeton olarak tekrar kullanılması için gerekli 100 kgf/cm^2'lik basınç dayanımı değerine karşı gelen atık oranları belirlenmiş ve bu atık oranlarında ve elde edilen bu basınç dayanımlarında stabilize edilen metal konsantrasyonları tespit edilmiştir. Bu tespit edilen değerler, grafikler üzerinde indisler ile gösterilmiştir. Grafiklerde solidifikasyon oranı RS (ratio solidification) ile, geri kazanım oranı RR (ratio recovery) ve stabilize edilebilen metal konsantrasyonu SM (stabilization metal) indisleri ile gösterilmiştir.

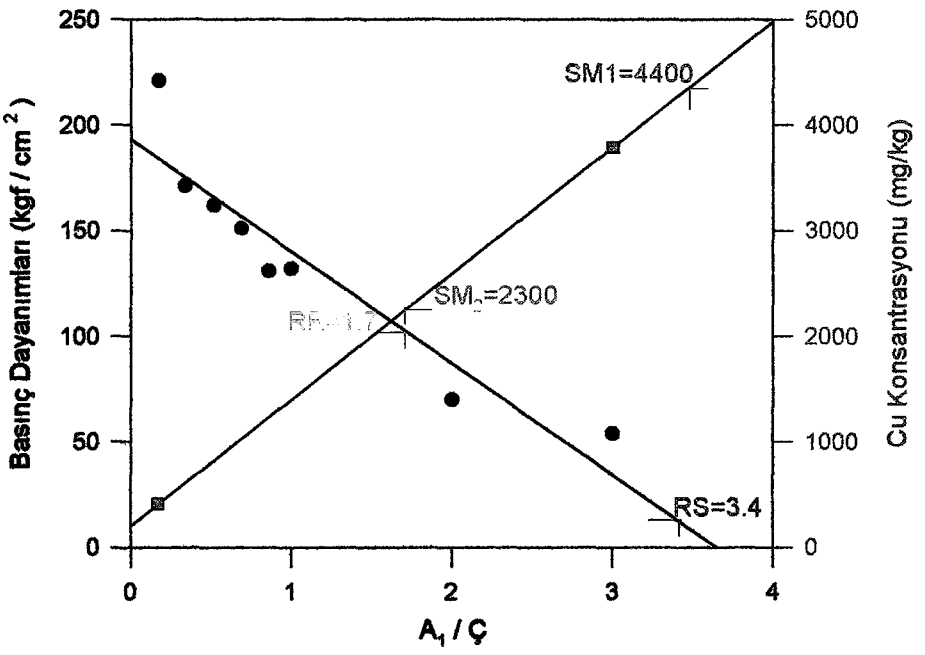
Şekil 4.8'de görüldüğü gibi, 1. denemede elde edilen briketlere ait basınç dayanımları ve Cu konsantrasyonları , atık / çimento oranına karşı grafiğe geçirilmiştir. Bu grafikten, solidifikasyon atık oranı RS=3.4, bu oranda stabilize olan Cu konsantrasyonu SM_1=4400 mg/kg ve geri kazanım atık oranı RR=1.7, bu oranda stabilize olan Cu konsantrasyonu SM_2= 2300 mg/kg olarak bulunmuştur. Buradan, geri kazanım düşünülmeyip, sadece solidifikasyon amaçlandığında iki kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun paralelinde de yaklaşık iki kat daha fazla Cu stabilize edilebileceği sonucuna varılır.

Şekil 4.9'da , 1. denemede elde edilen Cr konsantrasyonları aynı şekilde grafiğe geçirilmiştir. Bu grafikten, RS= 3.4, SM_1=58 mg/kg, RR= 1.7 ve SM_2= 40 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre sadece solidifikasyon düşünüldüğünde, iki kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında 1.5 kat daha fazla Cr konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

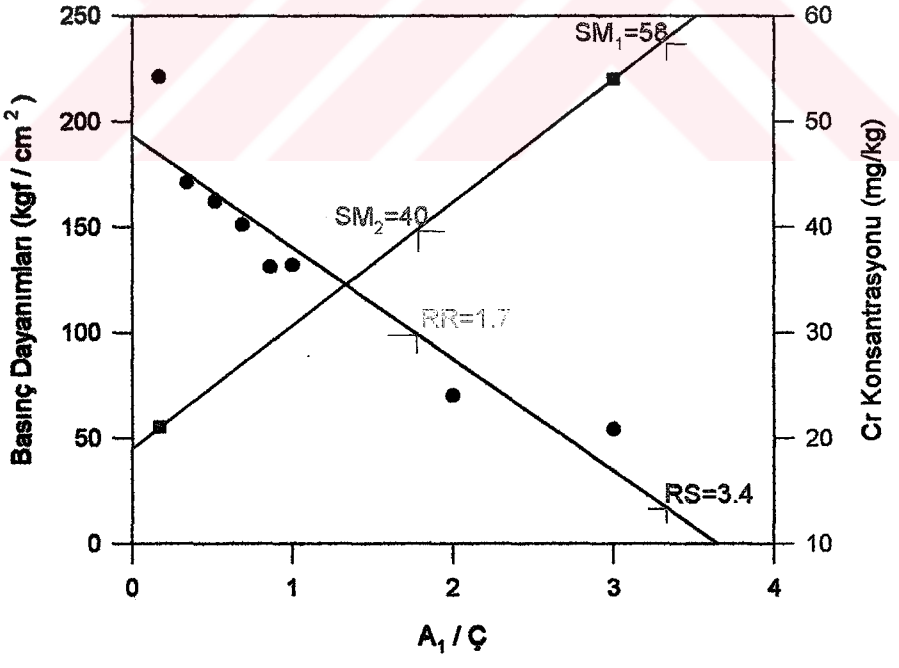
Tablo 4.16. Endüstriyel çamur ve endüstriyel çamur ile yapılmış briketlerin sızıntı özellikleri

DENEME NO	NUMUNE	A / Ç	Basınç Dayanımı (BD) (kgf/cm2)	ÇO Farklarının Ortalaması(mg/L)	TOC (mg/L)	Cu		Cr		Ni		Pb		Zn	
						briket (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)	briket (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)	briket (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)	briket (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)	briket (mg/kg)	sızıntıda (mg/L)
	End. Çamur			11	800	168*		1797*		2002*		1223*		9628*	
	Metal Çam.	-	-	-	50	6701*		97*		126*		17*		227*	
2	S9	0.86	60	0.9	9	38	0.2	206	0.15	350	<0.1	244	0.25	2250	<0.05
	S13	0.17	177	0.5	8	22	0.15	93	0.15	162	<0.1	96	0.15	644	<0.05
3	S14	1.00	118	0.5	10	771	<0.1	111	<0.1	263	<0.1	193	0.15	1572	0.1
	S19	0.17	204	0.7	10	154	<0.1	43	0.2	98	0.2	77	0.2	305	0.1
4	S22	0.17	222	0.2	5	21	0.15	21	0.25	48	0.25	52	0.2	119	0.15
	S23	0.34	306	0.1	3	21	0.25	10	<0.1	47	0.25	35	<0.1	89	0.1
6	S32	0.35	25	0.8	4	14	<0.1	11	<0.1	196	<0.1	84	0.2	440	0.1
	S33	0.5	18	0.1	9	12	<0.1	17	<0.1	180	<0.1	74	<0.1	359	<0.05
	S36	1.05	4	0.2	9	14	<0.1	18	<0.1	280	0.2	101	0.25	574	0.1

* Atıktaki ağır metal konsantrasyonları



Şekil 4.8: 1. Deneme Basınç Dayanımları ve Cu Konsantrasyonları



Şekil 4.9: 1. Deneme Basınç Dayanımları ve Cr Konsantrasyonları

Şekil 4.10'da Ni konsantrasyonları grafiğe geçildiğinde, RS=3.4, SM_1=107 mg/kg, RR= 1.7 ve SM_2=78 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre sadece solidifikasyon düşünüldüğünde, iki kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında yaklaşık 1.5 kat daha fazla Ni konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

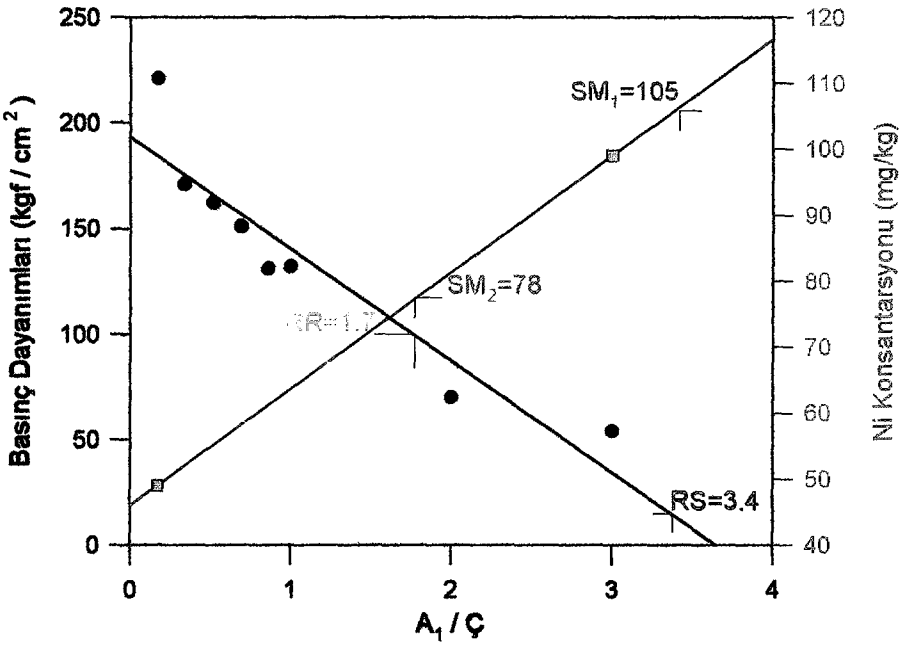
Şekil 4.11'de Pb konsantrasyonları grafiğe geçildiğinde, RS=3.4, SM_1=70 mg/kg, RR=1.7 ve SM_2=51 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre sadece solidifikasyon düşünüldüğünde, iki kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında yaklaşık 1.5 kat daha fazla Pb konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

Şekil 4.12'de Zn konsantrasyonları grafiğe geçildiğinde, RS=3.4, SM_1=135 mg/kg, RR=1.7 ve SM_2=80 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre sadece solidifikasyon düşünüldüğünde, iki kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında yaklaşık 1.5 kat daha fazla Zn konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

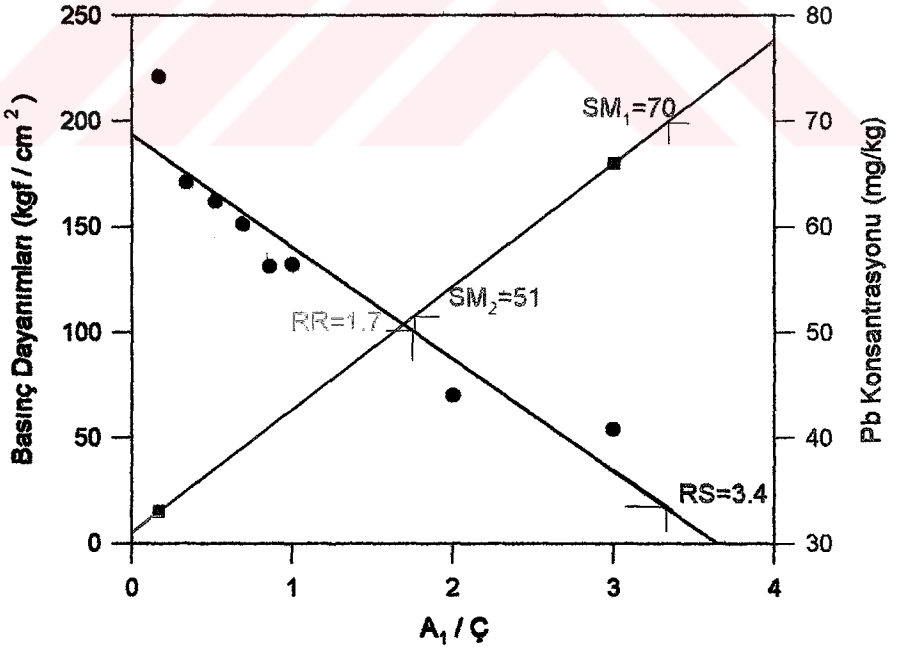
Şekil 4.13-4.17 arasında verilen grafiklerde 2. deneme için belirlenmiş 5 ağır metal analizi ile basınç dayanımları, atık / çimento oranı ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.13'te Cu konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=1.3, SM_1= 43 mg/kg, RR= 0.65 ve SM_2= 31 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde, iki kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında yaklaşık 1.5 kat daha fazla Cu konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

Şekil 4.14'te verilen grafikte , 2. denemede Cr konsantrasyonları grafiğe geçirilmiştir. Bu grafiğe göre, RS=1.3, SM_1= 275 mg/kg, RR= 0.65 ve SM_2= 165 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde, iki kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında yaklaşık 1.5 kat daha fazla Cr konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

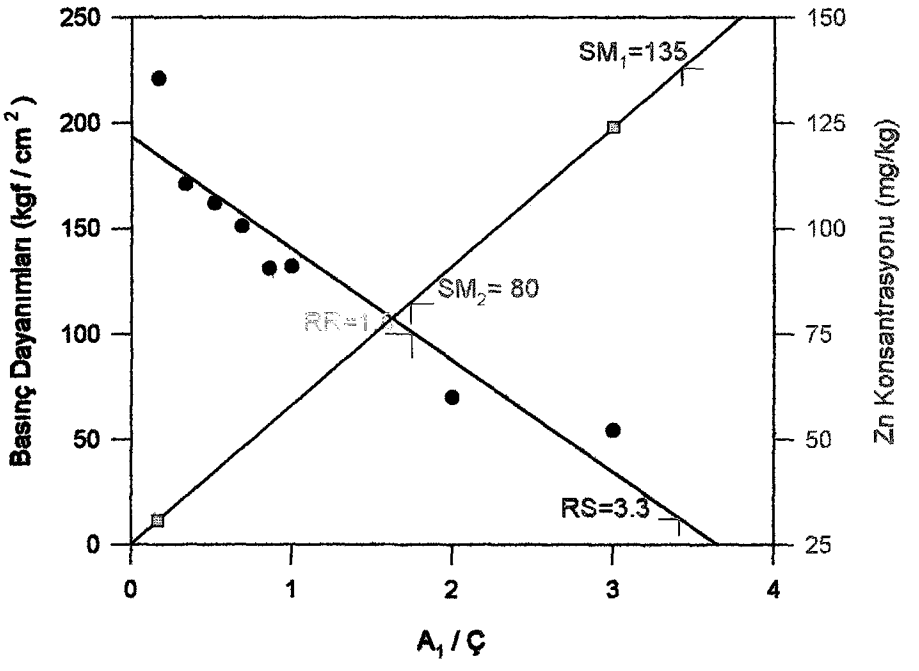
Şekil 4.15'te , 2. deneme Ni konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=1.3, SM_1= 470 mg/kg, RR= 0.65 ve SM_2= 280 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde, iki kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında yaklaşık 1.5 kat daha fazla Ni konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.



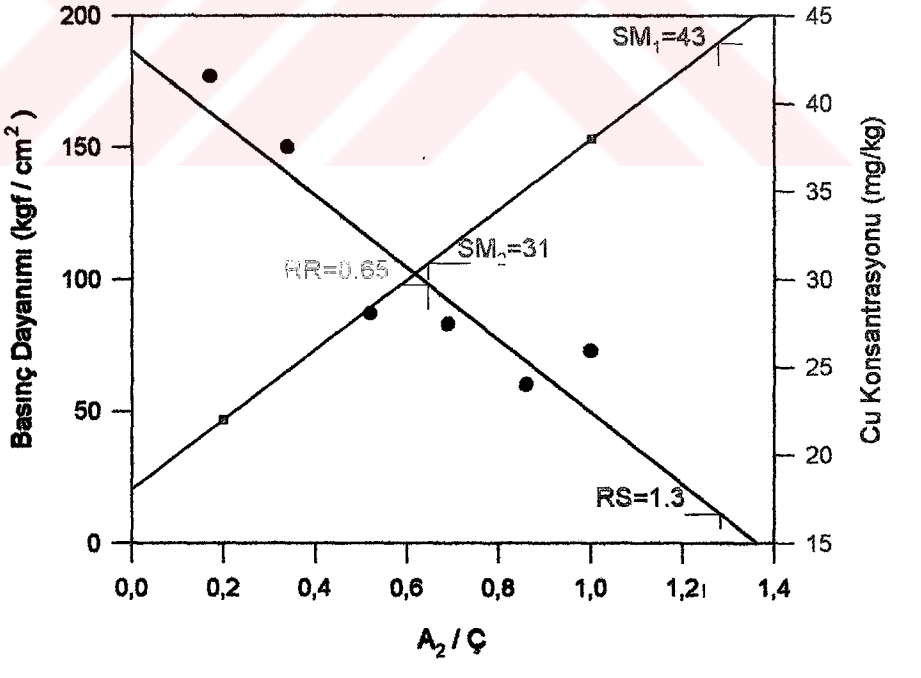
Şekil 4.10: 1. Deneme Basınç Dayanımları ve Ni Konsantrasyonları



Şekil 4.11: 1. Deneme Basınç Dayanımları ve Pb Konsantrasyonları



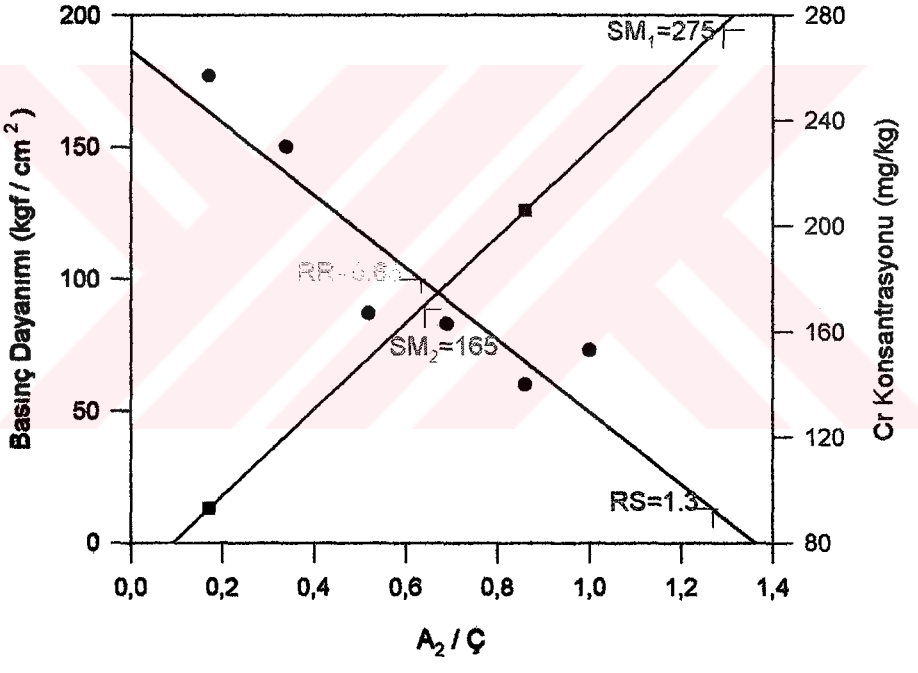
Şekil 4.12: 1. Deneme Basınç Dayanımları ve Zn Konsantrasyonları



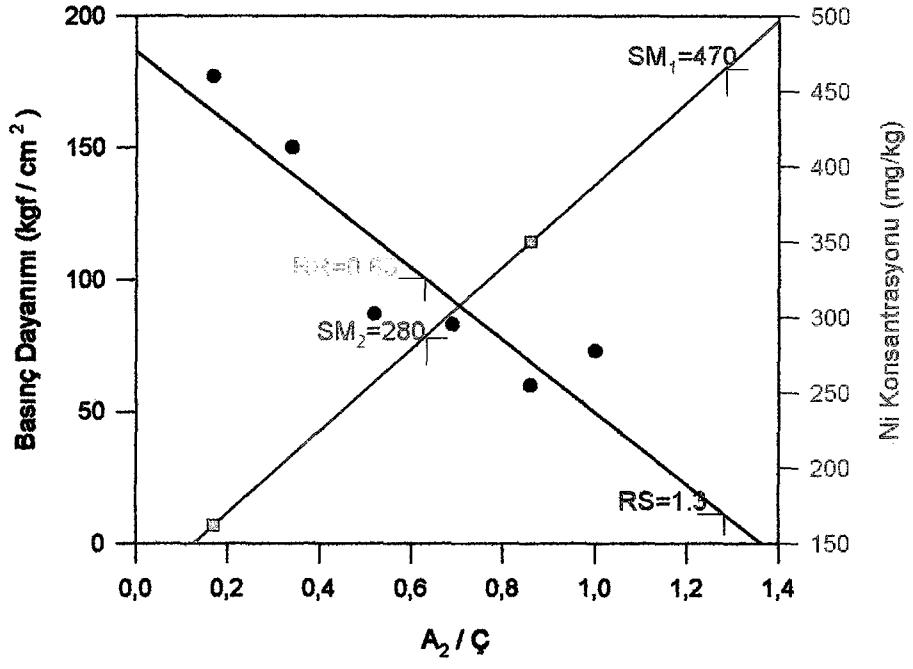
Şekil 4.13: 2. Deneme Basınç Dayanımları ve Cu Konsantrasyonları

Şekil 4.16'da, 2. denemede Pb konsantrasyonları grafiğe geçirilmiş ve RS=1.3, SM_1=300 mg/kg, RR= 0.65 ve SM_2= 170 mg/kg değerleri bulunmuştur. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde, iki kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında yaklaşık 1.8 kat daha fazla Pb konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

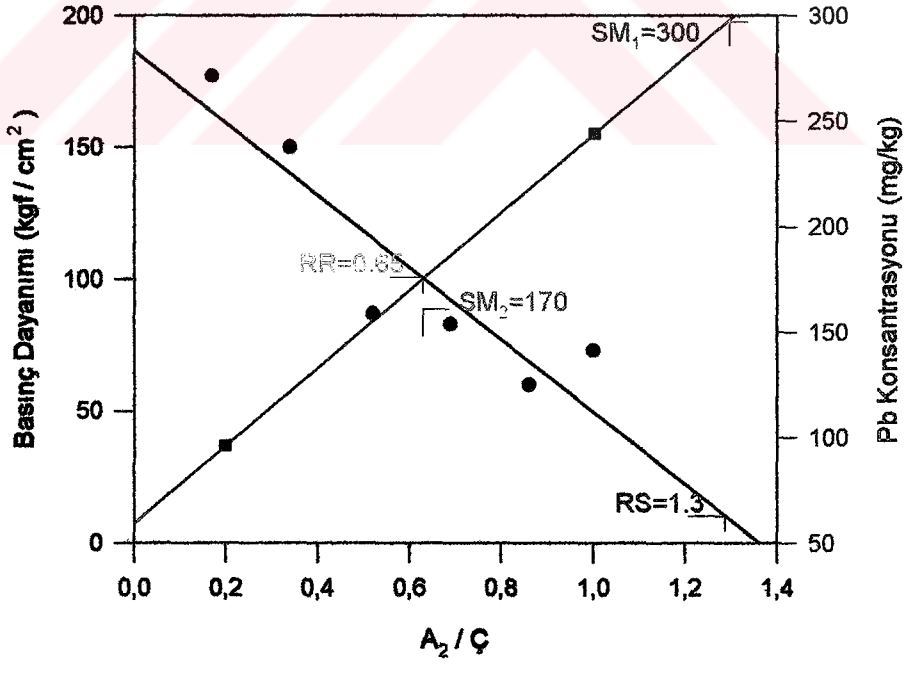
Şekil 4.17'de , 2. Deneme Zn konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=1.3, SM_1=2150 mg/kg, RR= 0.65 ve SM_2= 1300 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde, iki kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında yaklaşık 1.7 kat daha fazla Zn konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.



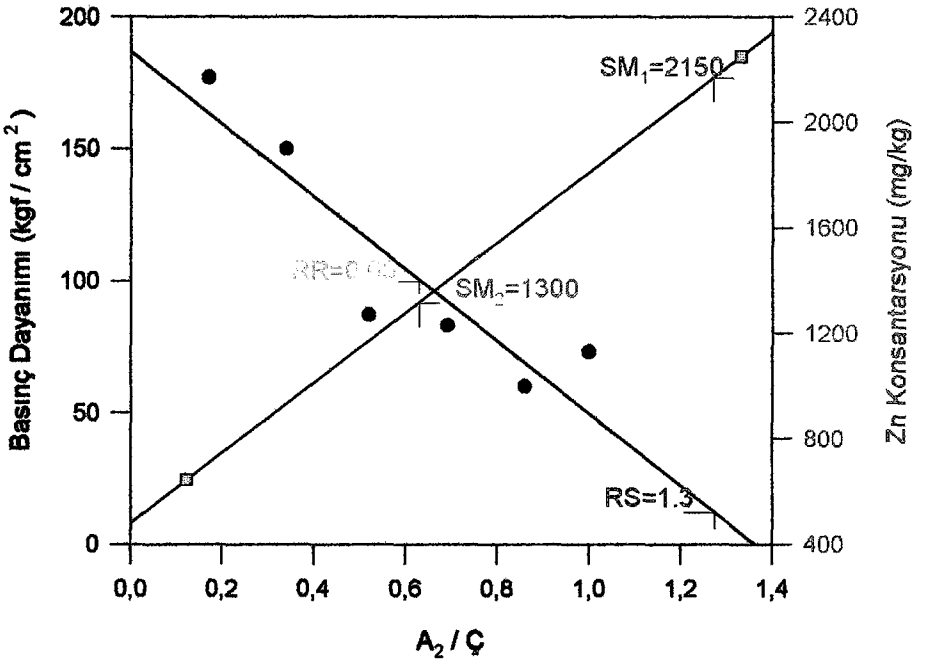
Şekil 4.14: 2. Deneme Basınç Dayanımları ve Cr Konsantrasyonları



Şekil 4.15: 2. Deneme Basınç Dayanımları ve Ni Konsantrasyonları



Şekil 4.16: 2. Deneme Basınç Dayanımları ve Pb Konsantrasyonları

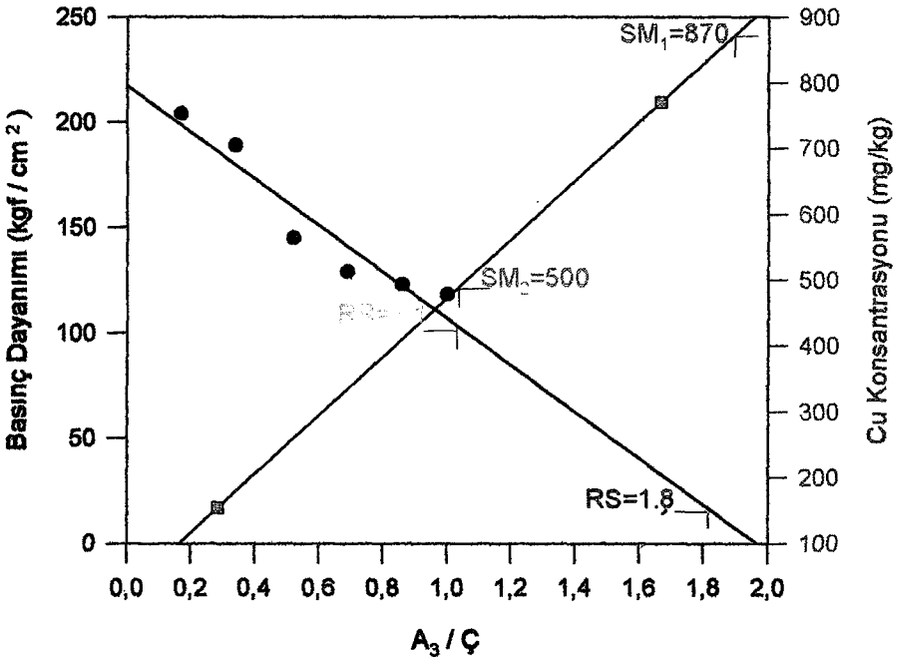


Şekil 4.17: 2. Deneme Basınç Dayanımları ve Zn Konsantrasyonları

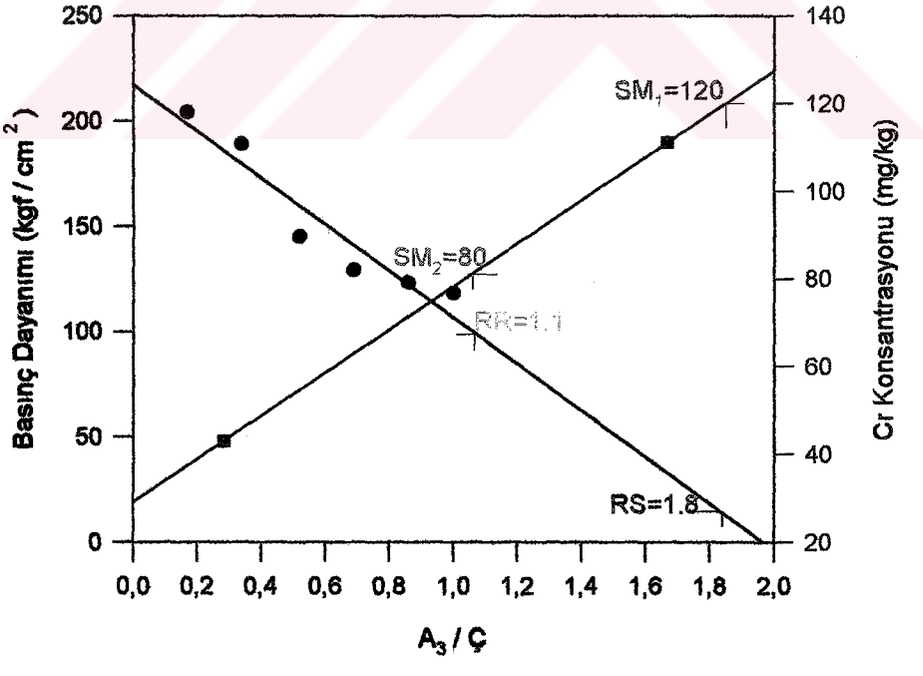
Şekil 4.18 – 4.22 arasında verilen grafiklerde 3. deneme için belirlenmiş 5 ağır metal analizleri ile basınç dayanımları, atık / çimento oranı ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.18'de Cu konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=1.8, SM_1= 870 mg/kg, RR= 1.1 ve SM_2=500 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde, yaklaşık 1.7 kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında yaklaşık 1.7 kat daha fazla Cu konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

Şekil 4.19'da verilen grafikte , 3. denemede Cr konsantrasyonları grafiğe geçirilmiştir. Bu grafiğe göre, RS=1.8, SM_1= 120 mg/kg, RR= 1.1 ve SM_2= 80 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde,yaklaşık 1.7 kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında 1.5 kat daha fazla Cr konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

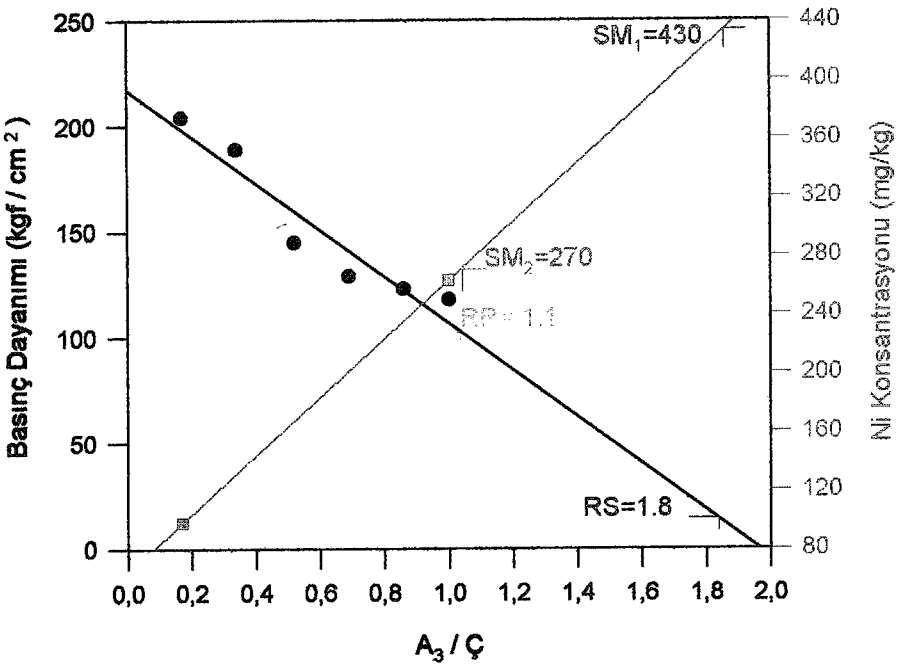
Şekil 4.20'de, 3. Denemede Ni konsantrasyonları grafiğe geçirilerek, RS=1.8, SM_1= 430 mg/kg, RR= 1.1 ve SM_2= 270 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde,yaklaşık 1.7 kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında yaklaşık 1.6 kat daha fazla Ni konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.



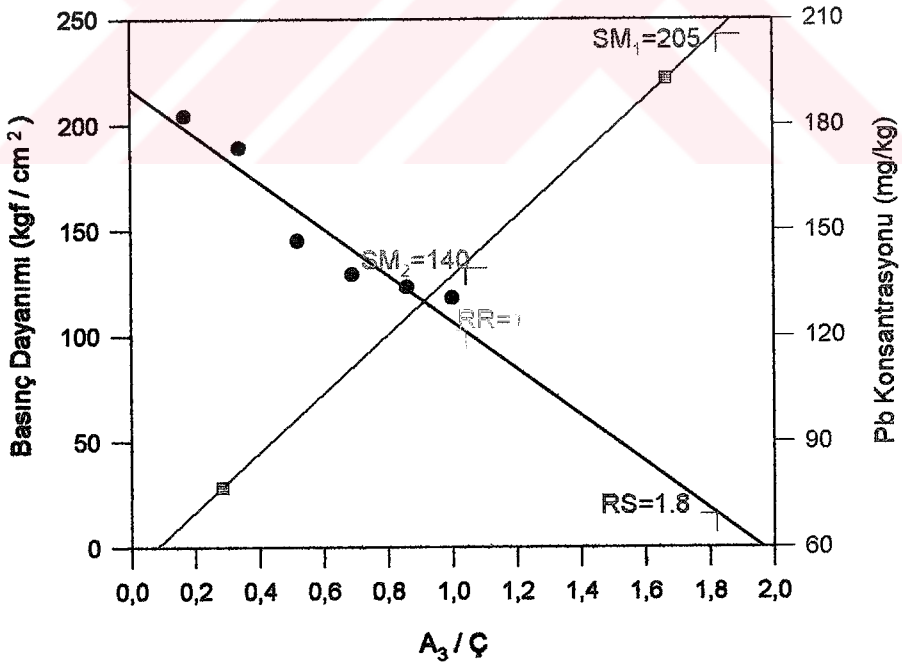
Şekil 4.18: 3. Deneme Basınç Dayanımları ve Cu Konsantrasyonları



Şekil 4.19: 3. Deneme Basınç Dayanımları ve Cr Konsantrasyonları



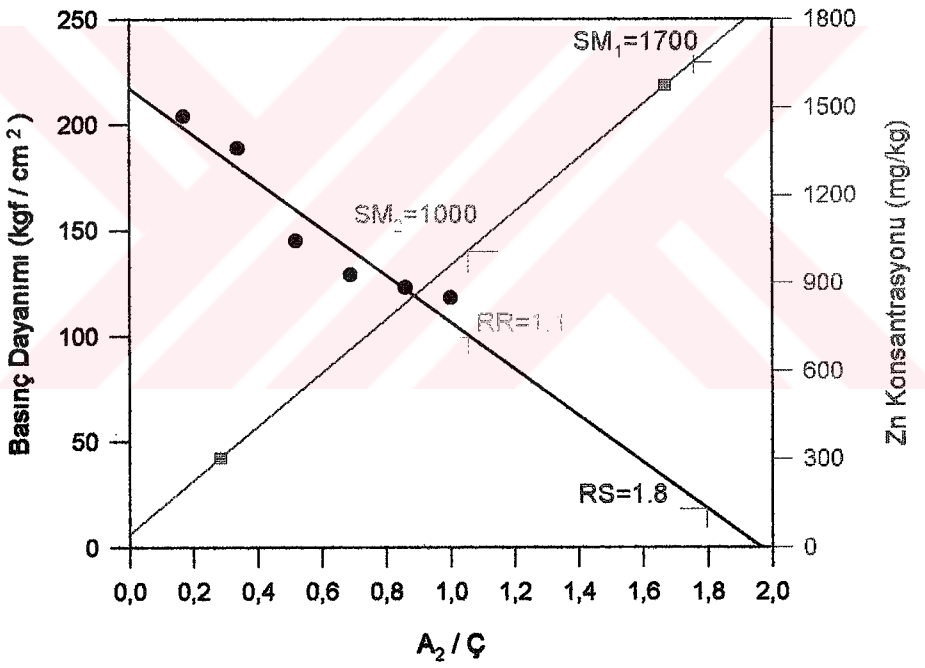
Şekil 4.20: 3. Deneme Basınç Dayanımları ve Ni Konsantrasyonları



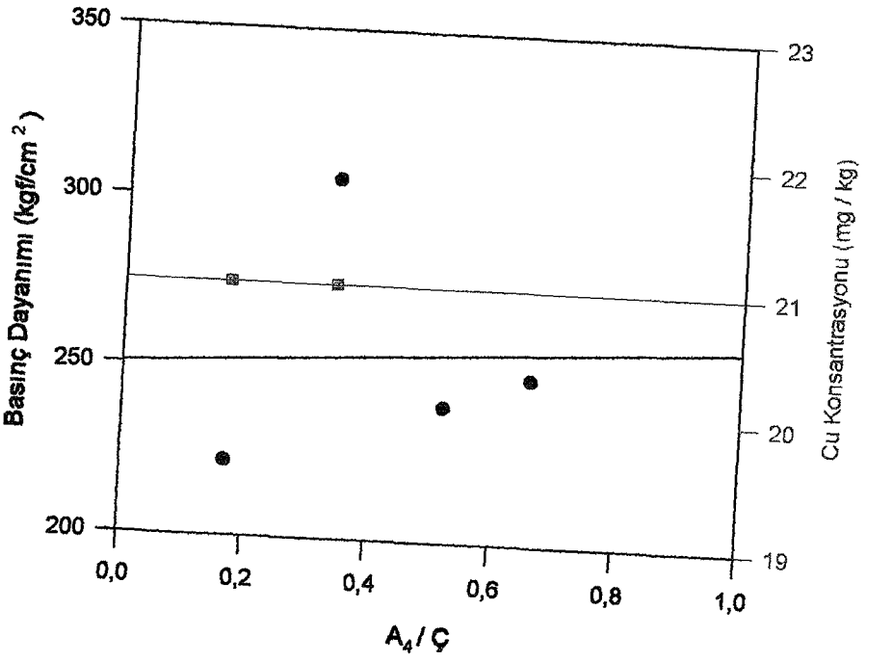
Şekil 4.21: 3. Deneme Basınç Dayanımları ve Pb Konsantrasyonları

Şekil 4.21'de verilen grafikte , 3. Denemede Pb konsantrasyonları grafiğe geçirilmiştir. Bu grafiğe göre, RS=1.8, SM_1= 205 mg/kg, RR= 1.1 ve SM_2= 140 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde,yaklaşık 1.7 kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında yaklaşık 1.5 kat daha fazla Pb konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

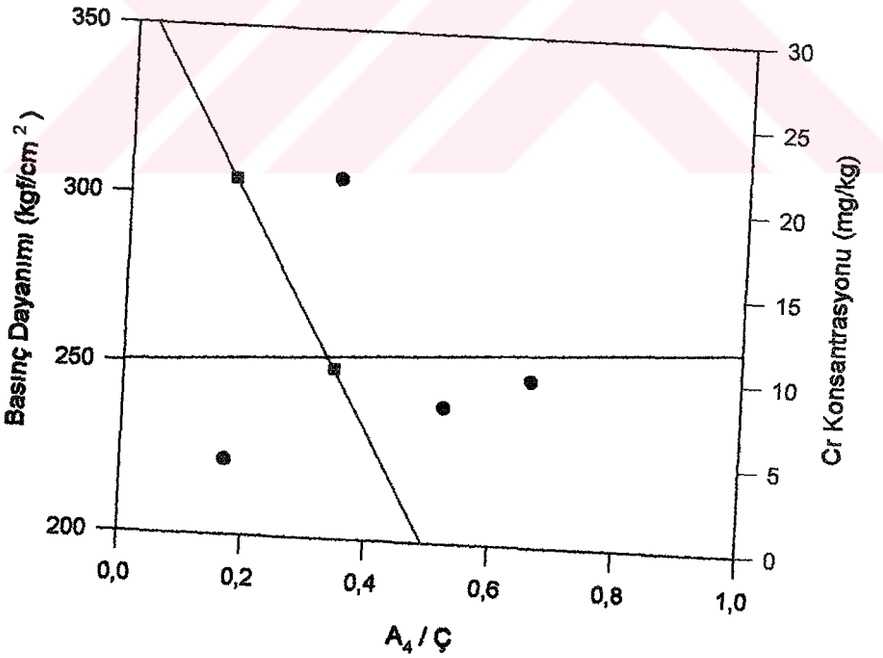
Şekil 4.22'de verilen grafikte , 3. Denemede Zn konsantrasyonları grafiğe geçirilmiştir. Bu grafiğe göre, RS=1.8, SM_1= 120 mg/kg, RR= 1.1 ve SM_2= 80 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde,yaklaşık 1.7 kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında 1.5 kat daha fazla Zn konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.



Şekil 4.22: 3. Deneme Basınç Dayanımları ve Zn Konsantrasyonları

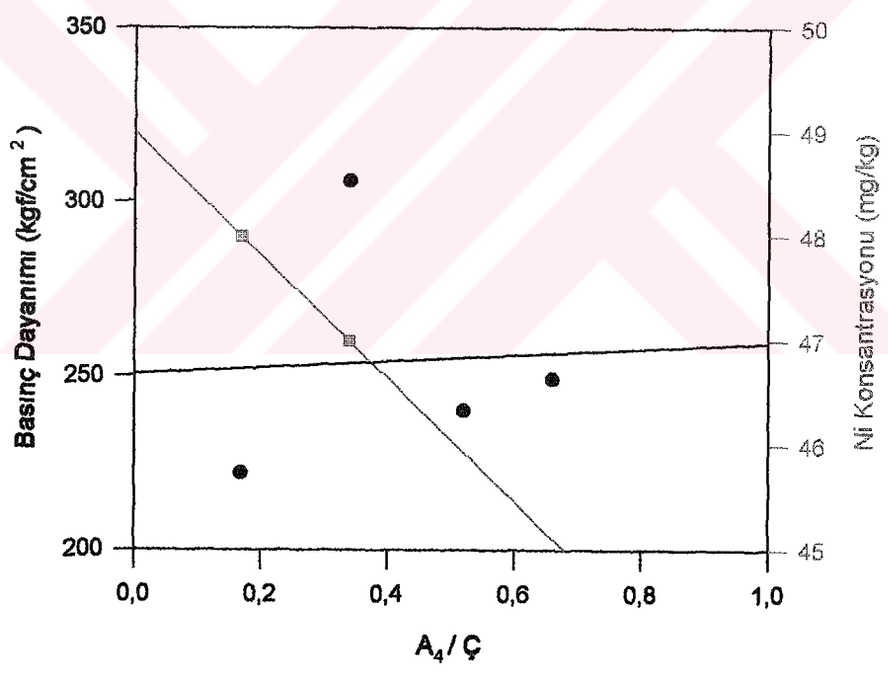


Şekil 4.23: 4. Deneme Basınç Dayanımları ve Cu Konsantrasyonları

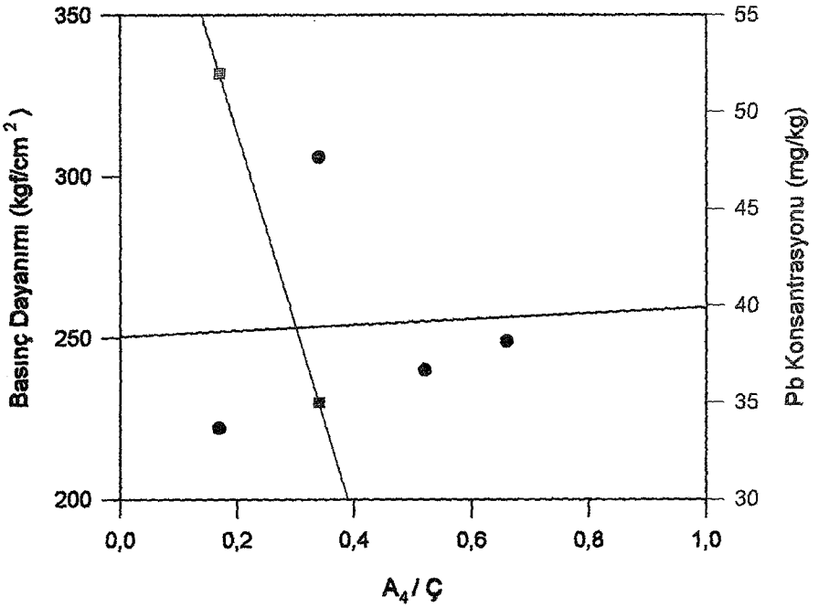


Şekil 4.24: 4. Deneme Basınç Dayanımları ve Cr Konsantrasyonları

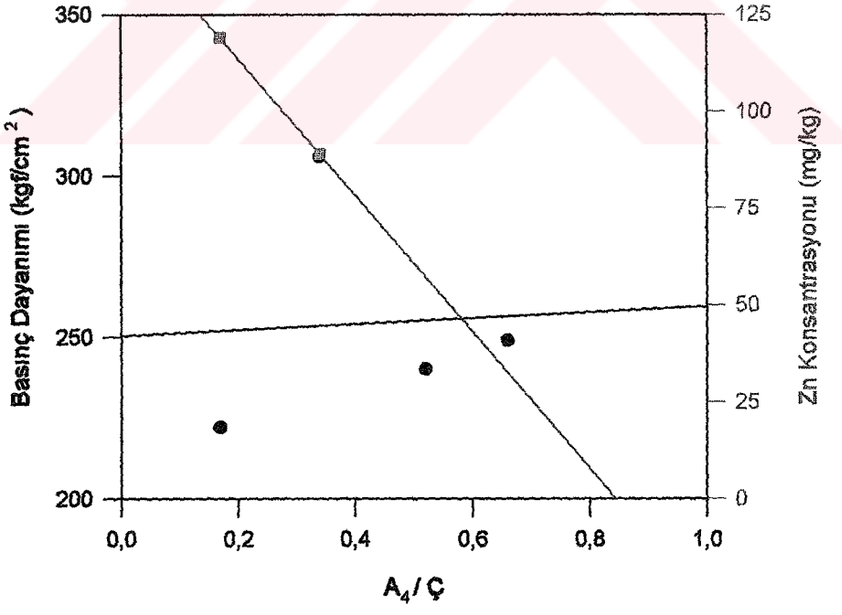
Şekil 4.23 – 4.27 arasında verilen grafiklerde 4. deneme için belirlenmiş 5 ağır metal analizi ve basınç dayanımları, atık / çimento oranı ile karşılaştırılmıştır. Daha önceki bölümde (Bölüm 4.2) açıklandığı gibi bu denemede kullanılan ham çamurun su oranı çok yüksek olduğu için karışıma çok yüksek oranlarda atık katılamamıştır. Bu denemede hazırlanan 4 karışımda atık oranları birbirine çok yakın değerlerdir, dolayısıyla birbirine çok yakın basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi basınç dayanımı doğrusu yataya yakın bir doğrudur. Elde edilen basınç dayanımı değerleri 222 kgf/cm^2 ile 306 kgf/cm^2 arasındadır. Yani min solidifikasyon değeri olan 10 kgf/cm^2 ve min geri kazanım değeri olan 100 kgf/cm^2 değerlerinin çok üstünde olan basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen briketler grobeton dışında daha yüksek basınç dayanımı gerektiren başka bir malzeme olarak kullanılabilir. Ancak, ham çamur ile çalışıldığında, çok düşük atık miktarları uzaklaştırılabilmektedir.



Şekil 4.25: 4. Deneme Basınç Dayanımları ve Ni Konsantrasyonları



Şekil 4.26: 4. Deneme Basınç Dayanımları ve Pb Konsantrasyonları



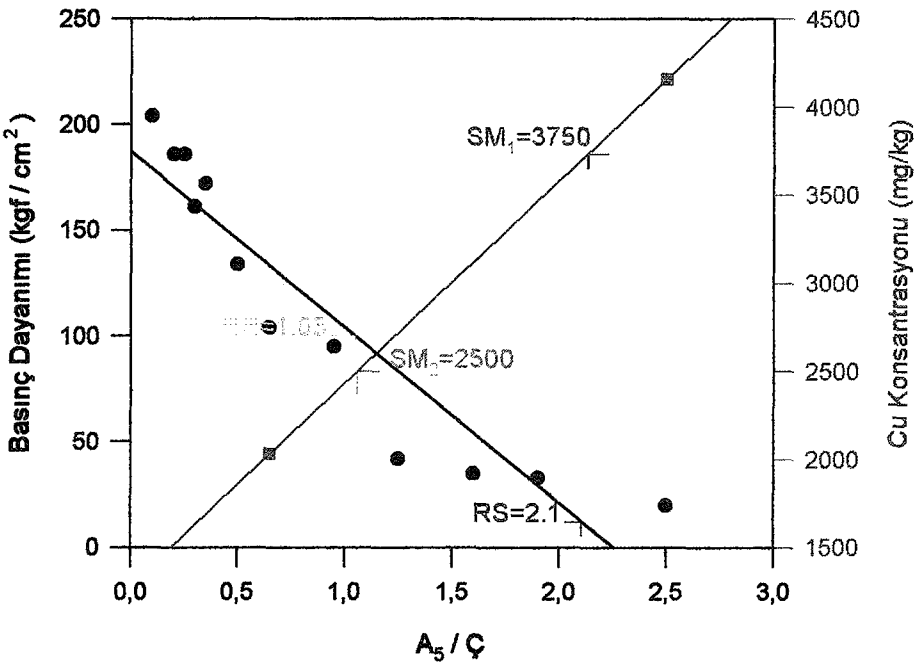
Şekil 4.27: 4. Deneme Basınç Dayanımları ve Zn Konsantrasyonları

Şekil 4.23'te, 4. denemede elde edilen Cu konsantrasyonları grafiğe geçirilmiştir. Grafikten, hazırlanan 2 karışımda Cu analizi yapıldığında 21 mg/kg Cu konsantrasyonunun solidifikasyon ile stabilize edilebileceği görülmektedir. Şekil 24'te, 4. denemede elde edilen Cr konsantrasyonları grafiğe geçirilmiştir. Grafikten, hazırlanan atık / çimento oranı 0.17 olan karışımda 21 mg/kg Cr stabilize edildiği görülmektedir. Bu oranın iki katı atık ile karışım hazırlandığında 10 mg/kg Cr stabilize edilmiştir. Halbuki atık oranı arttırıldığında daha yüksek Cr konsantrasyonunun stabilize edilebileceği düşünülmektedir. Ancak bulunan değerler birbirine çok yakındır. Burada atık oranları birbirine çok yakın, elde edilen basınç dayanımları ve ağır metal konsantrasyonlarıda birbirine çok yakın değerlerdedir. Dolayısıyla bu sonuçlara göre deney hatalarıda gözönünde bulundurulmalıdır. Aynı şekilde, Şekil 4.25, 4.26 ve 4.27'de benzer şekilde yorumlanabilir. Bu denemede yaklaşık 48 mg/kg Ni, yaklaşık olarak 35-52 mg/kg Pb ve 90-120 mg/kg Zn stabilize edilmiştir.

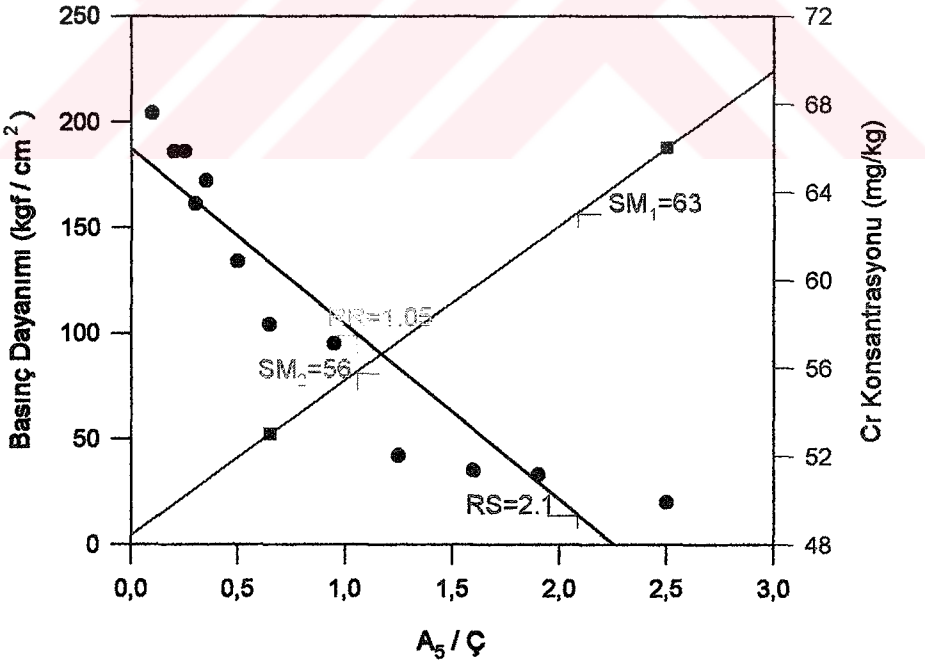
Şekil 4.28 – 4.32 arasında verilen grafiklerde 5. deneme için belirlenmiş 5 ağır metal analizi ve basınç dayanımları, atık / çimento oranı ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.28'de Cu konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=2.1, SM_1= 3750 mg/kg, RR= 1.05 ve SM_2=2500 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde, 2 kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında 1.5 kat daha fazla Cu konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

Şekil 4.29'da , 5. denemede Cr konsantrasyonları grafiğe geçirilmiştir. Bu grafiğe göre, RS=2.1, SM_1= 63 mg/kg, RR= 1.05 ve SM_2= 56 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde, 2 kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında birbirine çok yakın değerlerde Cr konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

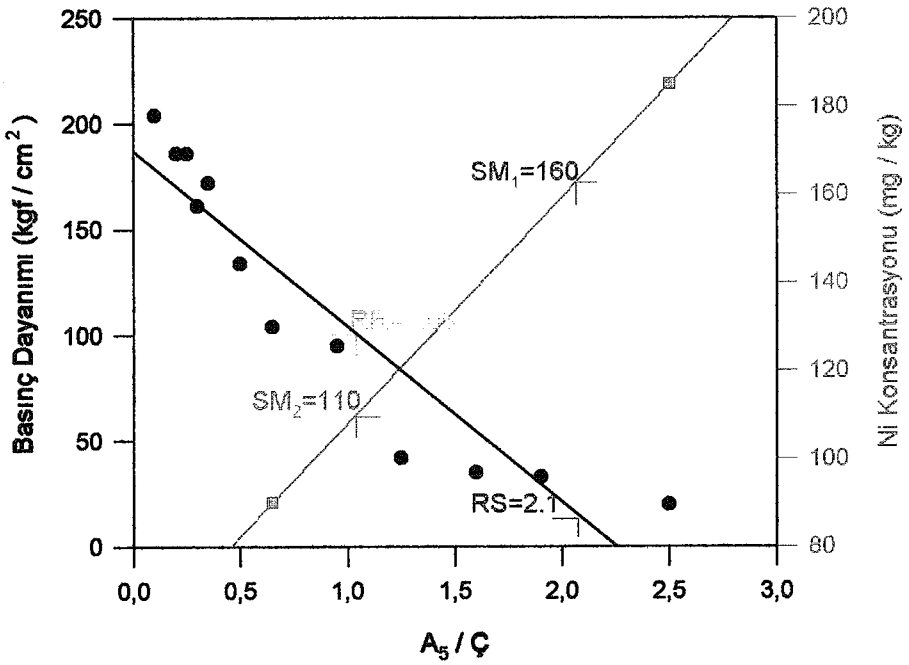
Şekil 4.30'de, 5. denemede Ni konsantrasyonları grafiğe geçirilerek, RS=2.1, SM_1= 160 mg/kg, RR= 1.05 ve SM_2= 110 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde,2 kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında yaklaşık 1.5 kat daha fazla Ni konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.



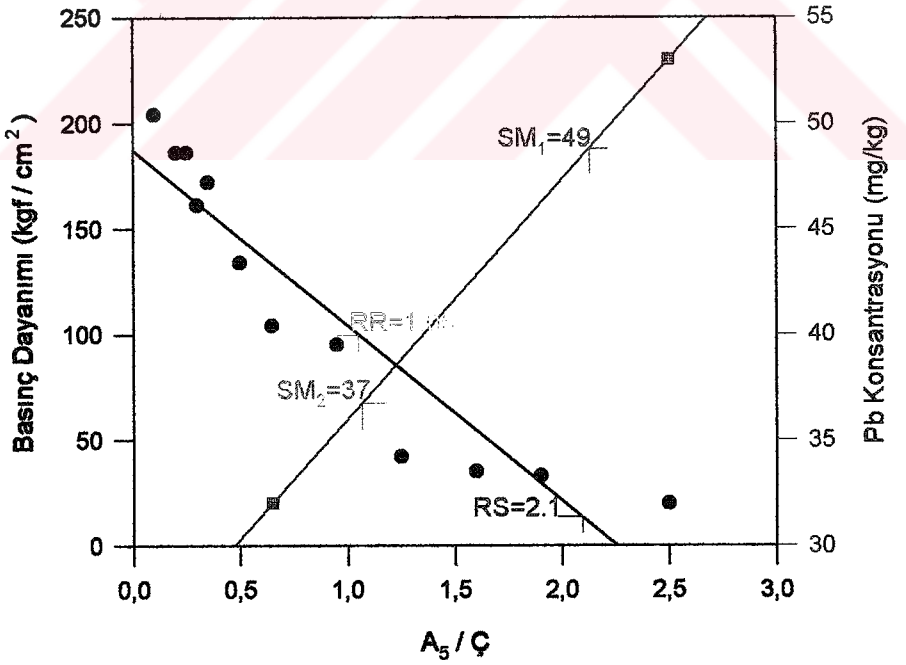
Şekil 4.28: 5. Deneme Basınç Dayanımları ve Cu Konsantrasyonları



Şekil 4.29: 5. Deneme Basınç Dayanımları ve Cr Konsantrasyonları



Şekil 4.30: 5. Deneme Basınç Dayanımları ve Ni Konsantrasyonları

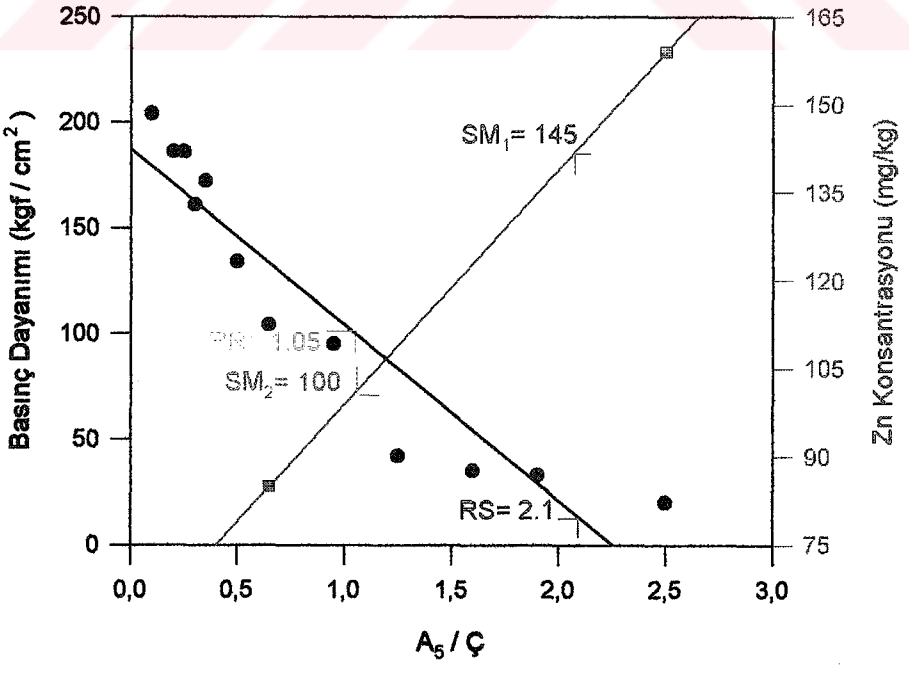


Şekil 4.31: 5. Deneme Basınç Dayanımları ve Pb Konsantrasyonları

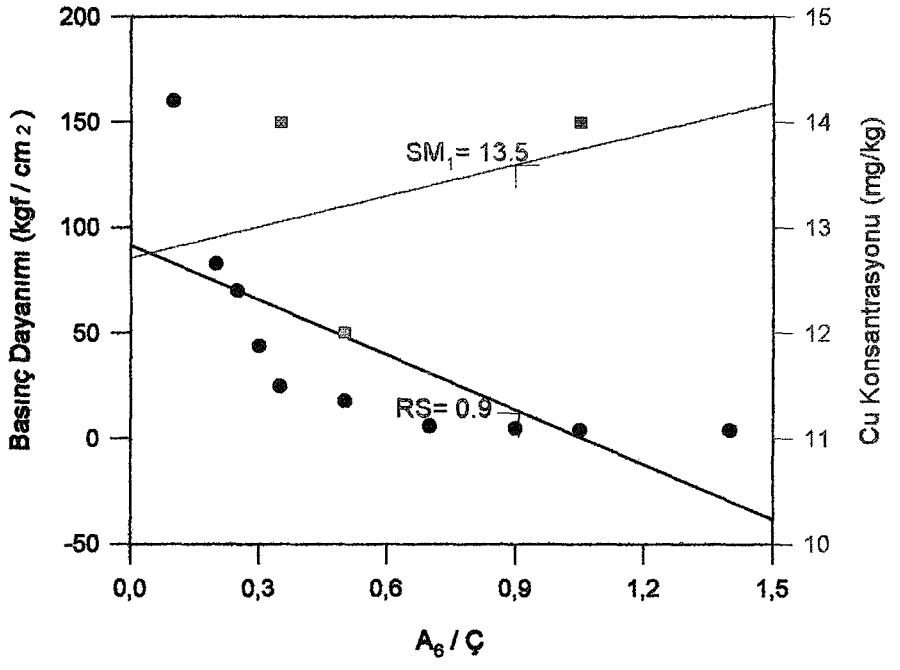
Şekil 4.31'de , 5. denemede Pb konsantrasyonları grafiğe geçirilmiştir. Bu grafiğe göre, RS=2.1, SM_1= 49 mg/kg, RR= 1.05 ve SM_2= 37 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde, 2 kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında yaklaşık 1.3 kat daha fazla Pb konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

Şekil 4.32'de, 5. denemede Zn konsantrasyonları grafiğe geçirilerek, RS=2.1, SM_1= 160 mg/kg, RR= 1.05 ve SM_2= 110 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu durumda sadece solidifikasyon düşünüldüğünde, 2 kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği, bunun yanında yaklaşık 1.5 kat daha fazla Zn konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

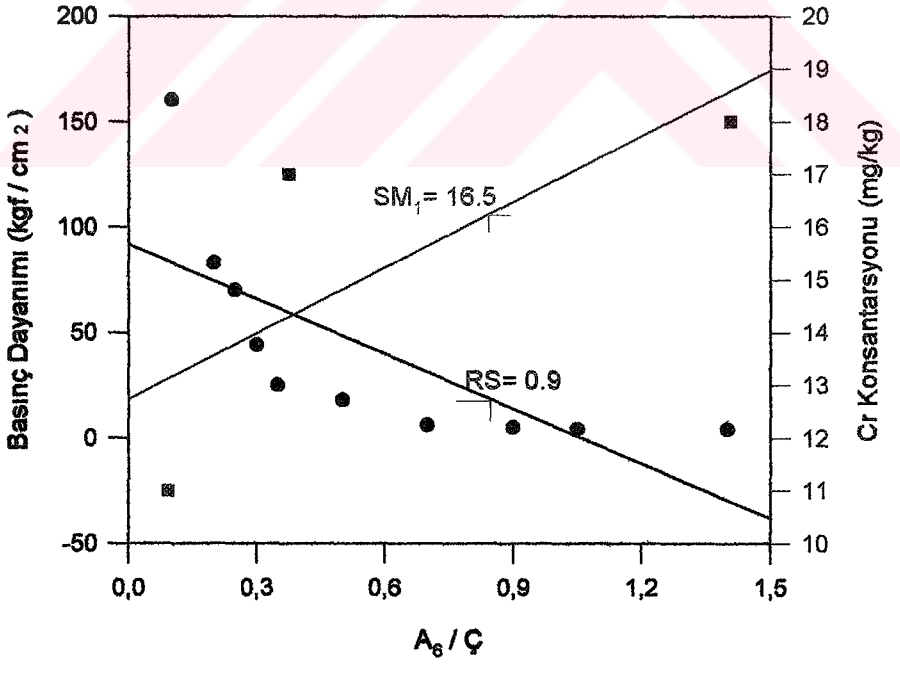
Şekil 4.33 – 4.37 arasında verilen grafiklerde 6. deneme için belirlenmiş 5 ağır metal analizi ve basınç dayanımları, atık / çimento oranı ile karşılaştırılmıştır. Bu grafiklerde RR ve SM_2 indisleri yer almamaktadır. Çünkü doğrunun kestiği en yüksek basınç dayanımı değeri 100 kgf / cm^2'nin altında bir değerdir. Dolayısıyla bu denemede sadece solidifikasyon gerçekleşebilir, geri kazanım düşünülemez sonucuna varılmıştır. Solidifikasyon yöntemiyle en fazla 0.9 atık oranının uzaklaştırılabileceği grafiklerden görülmektedir.



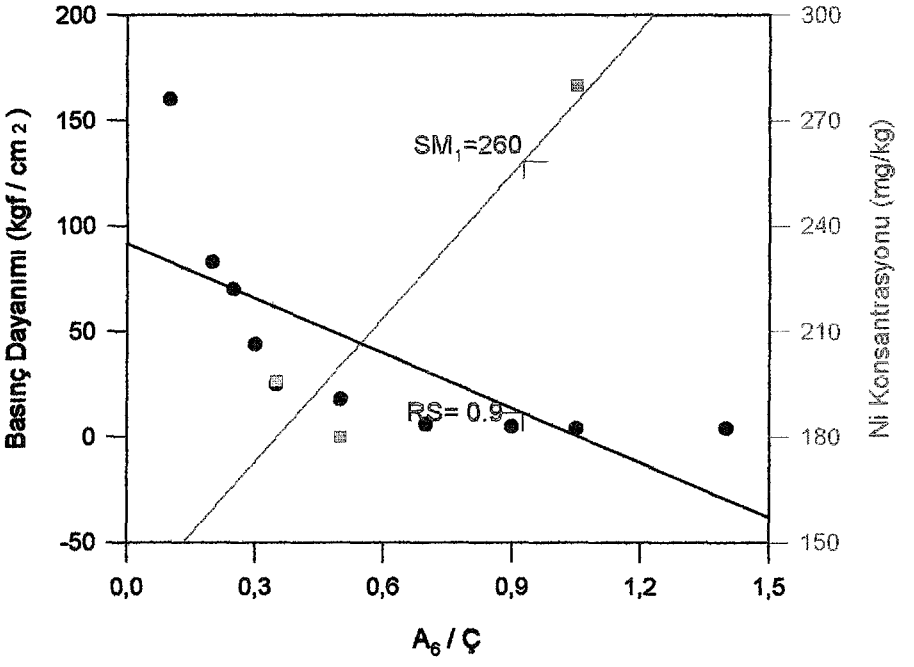
Şekil 4.32: 5. Deneme Basınç Dayanımları ve Zn Konsantrasyonları



Şekil 4.33: 6. Deneme Basınç Dayanımları ve Cu Konsantrasyonları



Şekil 4.34: 6. Deneme Basınç Dayanımları ve Cr Konsantrasyonları



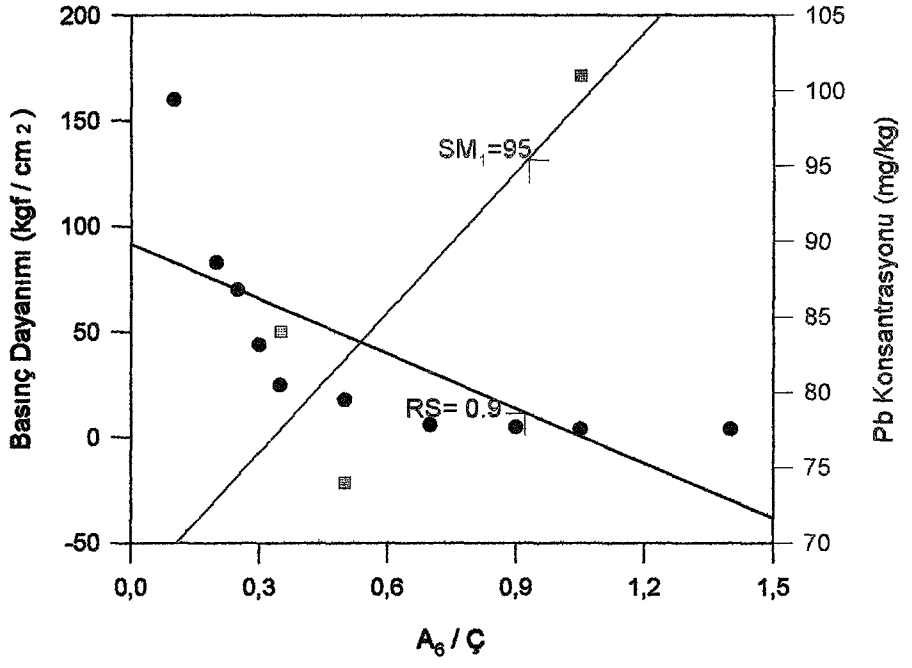
Şekil 4.35: 6. Deneme Basınç Dayanımları ve Ni Konsantrasyonları

Şekil 4.33'de, 6. deneme Cu konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=0.9, SM_1=13.5 mg/kg, olarak tespit edilmiştir. Bu durumda solidifikasyon yöntemi ile maksimum 13.5 mg / kg Cu konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

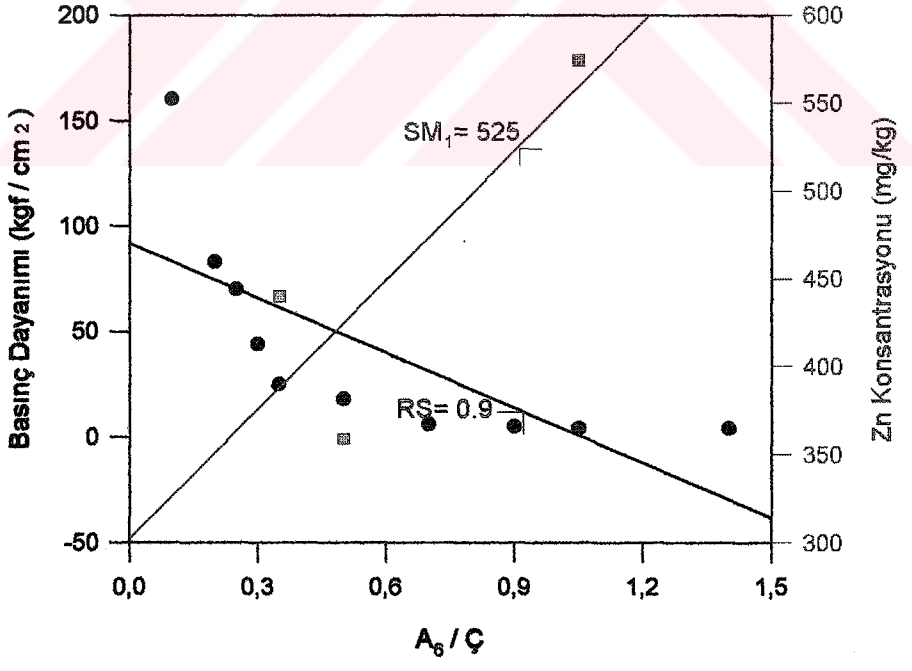
Şekil 4.34'de, 6. deneme Cr konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=0.9, SM_1=16.5 mg/kg, olarak tespit edilmiştir. Bu durumda solidifikasyon yöntemi ile maksimum 16.5 mg / kg Cr konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

Şekil 4.35'de, 6. deneme Ni konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=0.9, SM_1= 260 mg/kg, olarak tespit edilmiştir. Bu durumda solidifikasyon yöntemi ile maksimum 260 mg / kg Ni konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

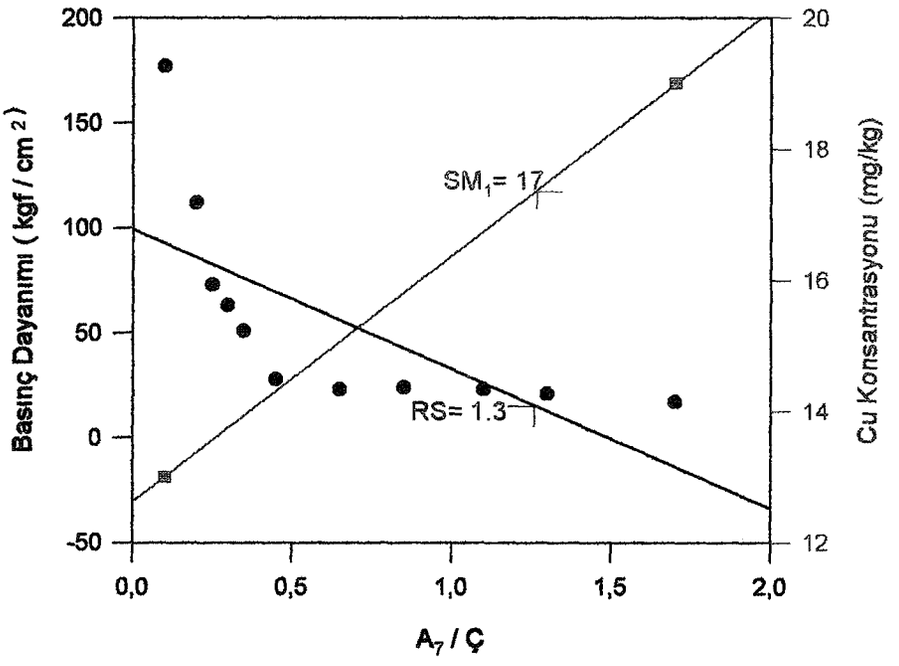
Şekil 4.36'da, 6. deneme Pb konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=0.9, SM_1= 95 mg/kg, olarak tespit edilmiştir. Bu durumda solidifikasyon yöntemi ile maksimum 95 mg / kg Pb konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.



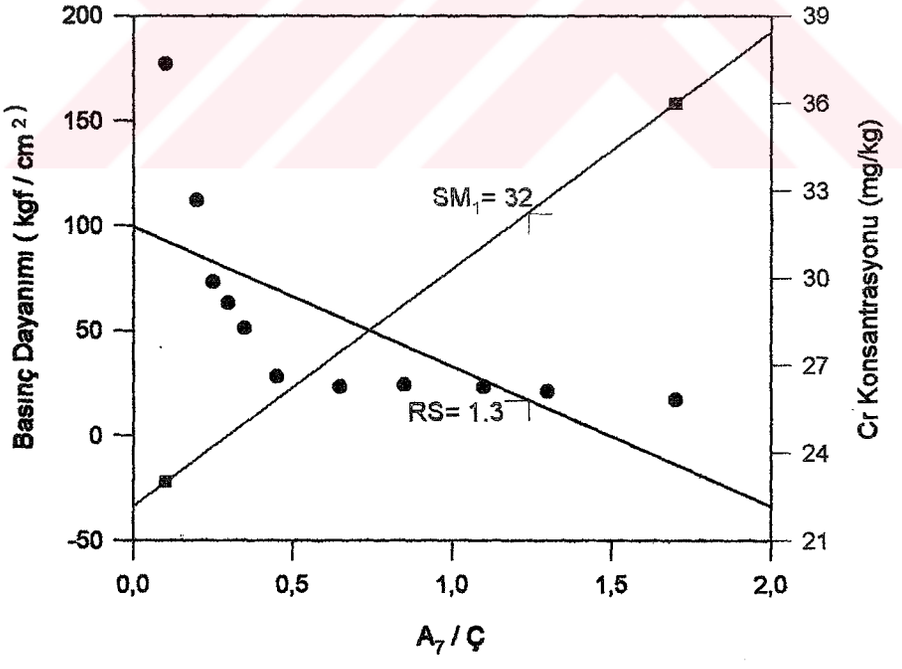
Şekil 4.36: 6. Deneme Basınç Dayanımları ve Pb Konsantrasyonları



Şekil 4.37: 6. Deneme Basınç Dayanımları ve Zn Konsantrasyonları



Şekil 4.38: 7. Deneme Basınç Dayanımları ve Cu Konsantrasyonları

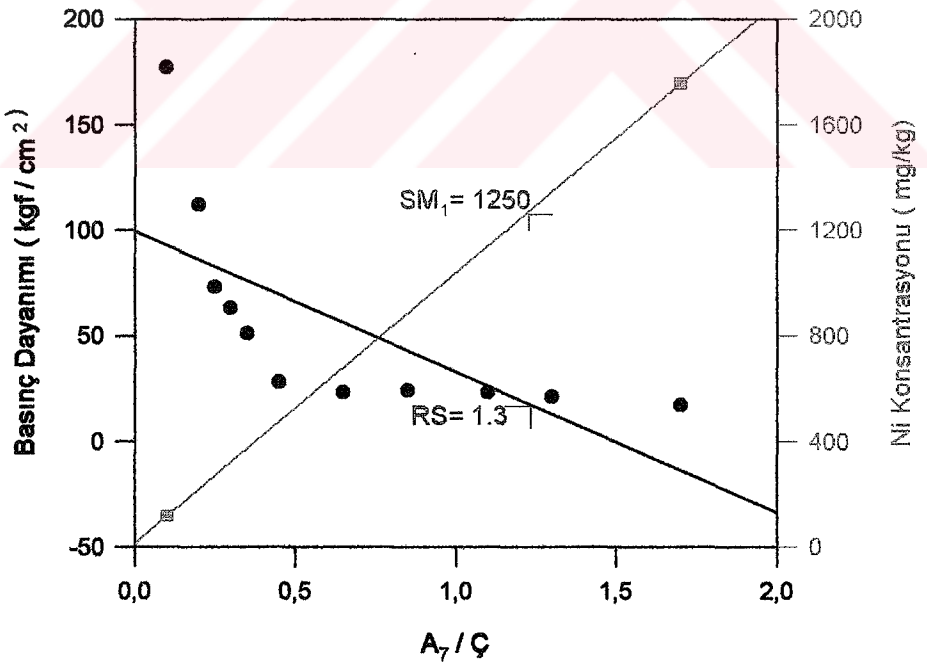


Şekil 4.39: 7. Deneme Basınç Dayanımları ve Cr Konsantrasyonları

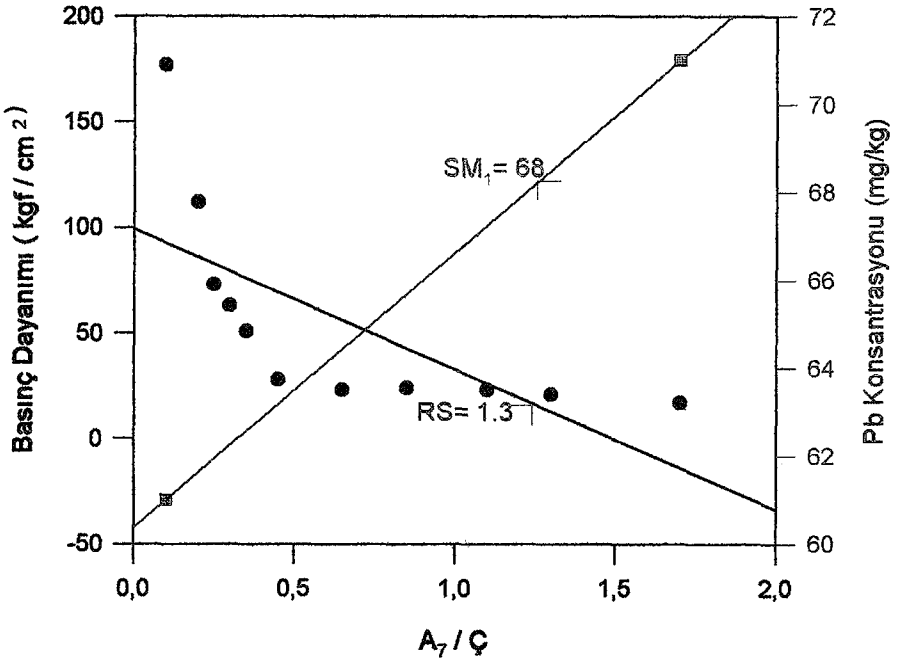
Şekil 4.37'de 6. deneme Zn konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=0.9, SM_1= 525 mg/kg, olarak tespit edilmiştir. Bu durumda solidifikasyon yöntemi ile maksimum 525 mg / kg Zn konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

Şekil 4.38 – 4.42 arasında verilen grafiklerde 7. deneme için belirlenmiş 5 ağır metal analizi ve basınç dayanımları, atık / çimento oranı ile karşılaştırılmıştır. Bu grafiklerde RR ve SM_2 indisleri yer almamaktadır. Çünkü doğrunun kestiği en yüksek basınç dayanımı değeri 100 kgf / cm^2'dir. Bu değerde sıfır atık oranına karşı gelmektedir. Dolayısıyla bu denemede sadece solidifikasyon gerçekleşebilir, geri kazanım düşünülemez sonucuna varılmıştır. Solidifikasyon yöntemiyle en fazla 1.3 atık oranının uzaklaştırılabileceği grafiklerden görülmektedir.

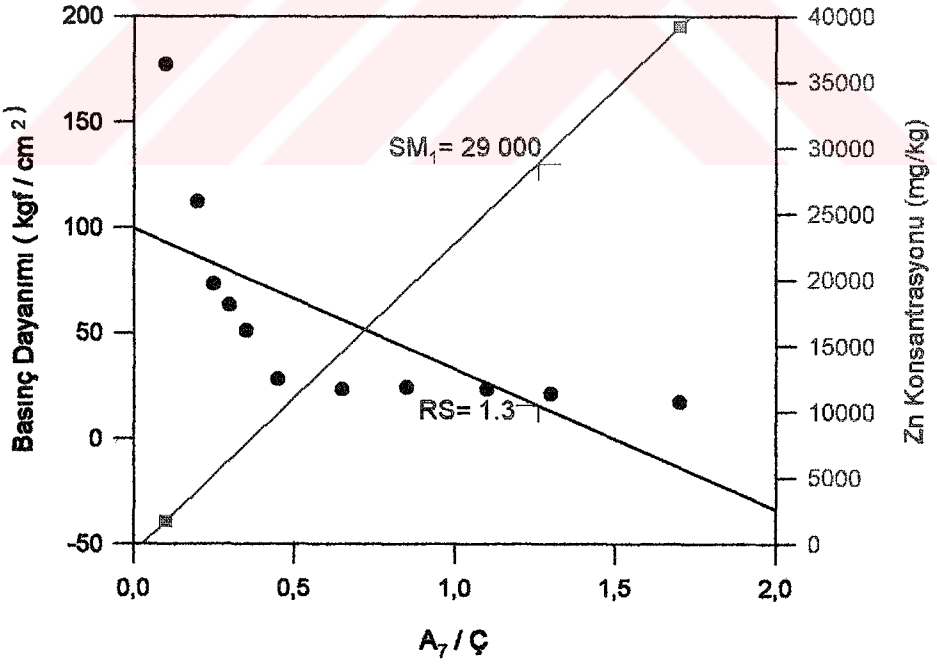
Şekil 4.38'de 7. deneme Cu konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=1.3, SM_1= 17 mg/kg, olarak tespit edilmiştir. Bu durumda solidifikasyon yöntemi ile maksimum 17 mg / kg Cu konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.



Şekil 4.40: 7. Deneme Basınç Dayanımları ve Ni Konsantrasyonları



Şekil 4.41: 7. Deneme Basınç Dayanımları ve Pb Konsantrasyonları



Şekil 4.42: 7. Deneme Basınç Dayanımları ve Zn Konsantrasyonları

Şekil 4.39'da, 7. deneme Cr konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=1.3, SM_1= 32 mg/kg, olarak tespit edilmiştir. Bu durumda solidifikasyon yöntemi ile maksimum 32 mg / kg Cr konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

Şekil 4.40'da, 7. deneme Ni konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=1.3, SM_1= 1250 mg/kg, olarak tespit edilmiştir. Bu durumda solidifikasyon yöntemi ile maksimum 1250 mg / kg Ni konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

Şekil 4.41'de, 7. deneme Pb konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=1.3, SM_1= 68 mg/kg, olarak tespit edilmiştir. Bu durumda solidifikasyon yöntemi ile maksimum 68 mg / kg Pb konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

Şekil 4.42'de, 7. deneme Zn konsantrasyonları grafiğe geçirildiğinde, RS=1.3, SM_1= 29 000 mg/kg, olarak tespit edilmiştir. Bu durumda solidifikasyon yöntemi ile maksimum 29 000 mg / kg Zn konsantrasyonunun stabilize edilebileceği görülmektedir.

Şekil 4.8 – Şekil 4.42 arasındaki grafiklerde tespit edilen RS, RR ve SM indis sonuçları Tablo 4.17'de özetlenmiştir. Tablo incelendiğinde, 1. denemede solidifikasyonun maksimum RS= 3.4 atık oranında ve bu oranın altındaki oranlarda başarılı olduğu, bunun yanında grobeton olarak geri kazanımın ise RR= 1.7 oranı ve bu oranın altındaki oranlarda mümkün olduğu görülmektedir. Buradan, bu deneme ile geri kazanım düşünülmeyip, sadece solidifikasyon amaçlandığında iki kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği sonucuna varılır. 2. denemede, solidifikasyonun maksimum RS = 1.3 atık oranında ve bu oranın altındaki oranlarda başarılı olduğu, bunun yanında grobeton olarak geri kazanımın ise RR= 0.65 oranı ve bu oranın altındaki oranlarda mümkün olduğu görülmektedir. Bu denemede de, 1. denemede olduğu gibi sadece solidifikasyon düşünüldüğünde iki kat daha fazla atık uzaklaştırılabilecektir. 3. denemede, solidifikasyonun maksimum RS= 1.8 atık oranında ve bu oranın altındaki oranlarda başarılı olduğu, bunun yanında grobeton olarak geri kazanımın ise RR= 1.1 oranı ve bu oranın altındaki oranlarda mümkün olduğu görülmektedir. Bu denemede sadece solidifikasyon düşünüldüğünde 1.7 kat daha fazla atık uzaklaştırılabilir sonucuna varılmıştır. Ham çamur ile yapılan 4. deneme sonuçlarına göre RS ve RR indisleri mevcut olmadığı için tabloda yer almamaktadır. Çünkü bu denemede su içeriği yüksek

Tablo 4.17. Yapılan Denemelerde Elde Edilen Geri Kazanım ve Solidifikasyon Atık Oranları ve Bu Oranlarda Stabilize Edilen Metal Konsantrasyonları

Deneme No	Ağır Metal Türü	RS	SM_1	RR	SM_2
1	Cu	3.4	4400	1.7	2300
	Cr	3.4	58	1.7	40
	Ni	3.4	107	1.7	78
	Pb	3.4	70	1.7	51
	Zn	3.4	135	1.7	80
2	Cu	1.3	43	0.65	31
	Cr	1.3	275	0.65	165
	Ni	1.3	470	0.65	280
	Pb	1.3	300	0.65	170
	Zn	1.3	2150	0.65	1300
3	Cu	1.8	870	1.1	500
	Cr	1.8	120	1.1	80
	Ni	1.8	430	1.1	270
	Pb	1.8	205	1.1	140
	Zn	1.8	1700	1.1	1000
5	Cu	2.1	3750	1.05	2500
	Cr	2.1	63	1.05	56
	Ni	2.1	160	1.05	110
	Pb	2.1	49	1.05	37
	Zn	2.1	145	1.05	100

Tablo 4.17. Yapılan Denemelerde Elde Edilen Geri Kazanım ve Solidifikasyon Atık Oranları ve Bu Oranlarda Stabilize Edilen Metal Konsantrasyonları (devamı)

Deneme No	Ağır Metal Türü	RS	SM_1	RR	SM_2
6	Cu	0.9	13.5	-	-
	Cr	0.9	16.5	-	-
	Ni	0.9	260	-	-
	Pb	0.9	95	-	-
	Zn	0.9	525	-	-
7	Cu	1.3	17	-	-
	Cr	1.3	32	-	-
	Ni	1.3	1250	-	-
	Pb	1.3	68	-	-
	Zn	1.3	29 000	-	-

olduğu için ancak 4 farklı karışım hazırlanabilmiştir. Bu karışımlarda elde edilen basınç dayanımı sonuçları oldukça yüksek olup, uygulanan tüm oranlarda geri kazanım mümkündür. 5. denemede solidifikasyon maksimum RS= 2.1 atık oranında ve bu oranın altındaki oranlarda başarılı olduğu, bunun yanında grobeton olarak geri kazanımın ise RR= 1.05 oranı ve bu oranın altındaki oranlarda mümkün olduğu görülmektedir. Buradan, bu deneme ile geri kazanım düşünülmeyip, sadece solidifikasyon amaçlandığında iki kat daha fazla atık uzaklaştırılabileceği sonucuna varılır. 6. denemede solidifikasyon maksimum RS= 0.9 atık oranında ve bu oranın altındaki oranlarda başarılı olduğu, 7. denemede ise maksimum RS= 1.3 atık oranında ve bu oranın altındaki oranlarda başarılı olduğu görülmektedir. 6. ve 7. denemede geri kazanım mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır, dolayısıyla tabloda RR oranları yer almamaktadır. Ayrıca tabloda, solidifikasyon düşünüldüğünde stabilize edilen metal konsantrasyonları SM_1 indisi kolonunda, atığın geri kazanımının mümkün olması durumunda stabilize edilen metal konsantrasyonları ise SM_2 indisi kolonunda verilmektedir.

4.4. Ekonomik Analiz ve Değerlendirme

Yapılan solidifikasyon çalışmasında, üç tip atık içinde çimento, diğer malzeme miktarları belirlenerek, bu malzemelerin ve işçilik, enerji, yakıt gibi diğer faktörlerin ekonomik analizi yapılmıştır. Ekonomik analizi değerlendirmek ve diğer arıtma ve uzaklaştırma yöntemleri ile karşılaştırmak üzere Tablo 4.18'de zararlı atıkların arıtma ve uzaklaştırma yöntemlerinin ekonomik değerlendirmesi verilmektedir.

Kullanılan malzemelerin birim fiyatları aşağıdaki gibidir:

Çimento: 35.71 $ / ton

Kum : 2.86 $ / ton (Doğal kum ve kırma kum için geçerlidir)

Mıcır : 2.14 $ / ton (ince ve kalın mıcır için geçerlidir)

Diğer maliyetler: 4.55 $ / ton (işçilik, enerji, yakıt, beton nakli, bakım ve onarım, amortisman)

Tablo 4.18. Zararlı atıkların farklı arıtma ve uzaklaştırma yöntemlerinin maliyetleri (Marin, 1979)

Yöntemler	**Maliyet Oranları (US $ / ton**
Sahada basit depolama	1-20
Plastik levha ile çevrili bir alanda depolama	10-50
Maden yataklarına doldurarak yeraltına uzaklaştırma	20-150
Çimento ile atık karışımıyla kapsüllemeden sonra alana uzaklaştırma	10-100
Okyanus dibine boşaltım	10-150
Basit yakma (önemli bir ısı geri kazanımı olmaksızın)	30-150
Yakma	100-350
Denizde tahta gemi üzerinde yakma	50-350

Birim fiyatlar gözönünde bulundurularak kullanılan atıkların solidifikasyon ile düzenli depolama sahalarına uzaklaştırılması ve grobeton olarak geri kazanımı için gerekli maliyetler şu şekilde hesaplanmıştır:

- % 37 nem oranına sahip 1 ton metal çamuru için solidifikasyonda (10 kgf/ cm^2 basınç dayanımı için) 300 kg çimento, 990 kg doğal kum ve kırma kum, 975 kg mıcır ve 250 kg su olmak üzere toplam 3515 kg malzeme kullanımı söz konusudur. Bu işlemin maliyeti;

  Çimento : 0.3 ton * 35.71 $ / ton ≈ 11 $
  Kum : 0.99 ton * 2.86 $ / ton ≈ 3 $
  Mıcır : 0.975 ton * 2.14 $ / ton ≈ 2 $
  Diğer maliyetler : 3.515 ton * 4.55 $ / ton ≈ 16 $
  Toplam : 32 $ / ton metal çamurudur.

  Metal çamurunun grobeton olarak geri kazanımı için (100 kgf/ cm^2 basınç dayanımı için) yalnızca solidifikasyona göre iki kat daha fazla malzeme gerekmektedir. Aynı şekilde hesaplamalar yapıldığında bunun bedeli 64 $ / ton metal çamurudur.
- % 57 nem oranına sahip fosfat çamuru düzenli depolama sahasına uzaklaştırmak üzere solidifikasyon işlemine tabi tutulduğunda 333 kg çimento, 1100 kg doğal kum ve kırma kum, 1080 kg mıcır ve 270 kg su kullanımı söz konusudur. Bu malzemeler ve diğer masraflar göz önünde bulundurulduğu zaman bu işlemin maliyeti 35 $ / ton fosfat çamurudur. Aynı atığın grobeton olarak geri kzanımı için, 2950 kg çimento, 9700 kg kum, 9600 kg mıcır ve 2100 kf su kullanılması gerekmektedir. Yapılan hesaplarla bu atık ile grobeton maliyeti 270 $ / ton fosfat çamurudur. Geri kazanım maliyeti, sadece solidifikasyon ile düzenli depolama sahalarına uzaklaştırma maliyetinin yaklaşık 8 katıdır.
- % 65 nem oranına sahip endüstriyel arıtma çamurunun düzenli depolama sahalarına uzaklaştırmak üzere solidifikasyon işlemi için 400 kg çimento, 1320 kg doğal kum ve kırma kum, 1300 kg mıcır ve 280 kg su kullanımı söz konusudur. Malzeme ve diğer maliyetler düşünüldüğünde bu işlemin ekonomik bedeli 41 $ / ton endüstriyel arıtma çamurudur. Endüstriyel arıtma çamurunun grobeton olarak geri kazanımı için

yapılan solidifikasyon işleminde 3702 kg çimento gerekli olup, bu işlemin maliyeti yaklaşık olarak 380 $ / ton endüstriyel arıtma çamurudur.

Ekonomik analiz sonucunda elde edilen bulgular, üç atık içinde düzenli depolama sahalarına uzaklaştırmak üzere solidifikasyon işlemi uygulanması için gerekli maliyetlerin Tablo 4.18'de verilen çimento ile solidifikasyon işlemi için gerekli 10-100 $/ton aralığında kaldığını göstermektedir. Ancak grobeton olarak geri kazanım düşünüldüğünde başlangıçta sadece basınç dayanımı düşünülerek yapılan yorumlamaya paralel olarak, metal çamuru için hesaplanan 64 $ / ton olan bedelin makul bir değer olduğu, ancak fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun geri kazanım bedelinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 4.18'de görülen yöntemler ekonomik ve çevre koruma kavramları çerçevesinde değerlendirildiğinde solidifikasyonun uygun bir arıtma yöntemi olduğu ve önerilen yönetim biçimlerinin uygulanabilir olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisi zararlı atıklarından fosfat çamuru, metal çamuru ve endüstriyel arıtma çamuruna solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisi uygulanarak, bu atıklara uygun bir yönetim biçimi ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, solidifikasyon oluşturmak üzere karışımlara belli oranlarda atık malzeme, portland çimentosu ve beton bileşeninde bulunan malzemeler ilave edilmiştir. Oluşturulan briketlere sızıntı testi uygulanarak, zararlı atıkların manifestosundaki toksik karakterin giderilip giderilmediği kontrol edilmiştir. Bu çalışma ile ulaşılan sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Otomotiv endüstrisine ait metal çamuru, fosfat çamuru ve endüstriyel arıtma çamuru atıkları Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne (TAKY) ve EPA listelerine göre zararlı atıktır. TAKY'ne göre üç atığında tehlikelilik özelliği ekotoksiktir, ayrıca fosfat çamuru koroziflik özelliğine de sahiptir. Üç tip atıkta EPA listelerinde yer almaktadır. Metal çamuru EPA "F Listesi'nde" yer almakta ve reaktivite ve toksik teklikelilik özelliğine sahip, fosfat çamuru EPA "F Listesi'nde ve K Listesi'nde" yeralmakta ve reaktivite ile toksik teklikelilik özelliğine sahip, endüstriyel arıtma çamuru ise EPA "F Listesi'nde ve K Listesi'nde" yer almakta ve toksik teklikelilik özelliğine sahiptir. Ayrıca bu atıkların yüksek değerlerdeki ağır metal içerikleri de zararlı atık olduklarının bir göstergesidir.

- Solidifikasyonda kullanılan portland çimentosunun uygun bir katılaştırma materyali olduğu görülmüştür.

- Zararlı atık tespiti yapılan üç tip atık ile gerçekleştirilen solidifikasyon çalışmalarında, fiziksel özellik parametresi olarak basınç dayanımları kontrol edilmiş olup, tüm atıklar için atık miktarı arttırıldıkça basınç dayanımı değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Bu tip atıkların yönetiminde literatür bilgileri ışığı altında düzenli

depolama sahalarında evsel katı atıklar ile birlikte uzaklaştırma düşünüldüğünde solidifikasyonun başarılı olduğu minimum basınç dayanımı değerinin 10 kgf/cm^2, atık minimizasyonu ve grobeton olarak geri kazanım düşünüldüğünde ise minimum 100 kgf/cm^2 basınç dayanımı sağlanması gerekmektedir.

1. Metal çamurunun kuru formu ile yapılan çalışmada solidifikasyon maksimum RS=3.4 atık oranında ve altındaki atık oranlarında başarılı olmuştur, yani bu atık oranlarında sadece düzenli depolama sahalarına uzaklaştırma mümkün olup, bunun yanında RR=1.7 oranı ve bu oranın altındaki atık oranlarında ise grobeton olarak geri kazanımın mümkün olduğu ve bu şekilde atık minimizasyonunun sağlandığı tespit edilmiştir.
2. Endüstriyel atıksu arıtma çamurunun kuru formu ile yapılan çalışmada, maksimum RS= 1.3 oranında solidifikasyon başarılı olmuş ve bu atık oranının altındaki atık oranlarında sadece düzenli depolama sahalarına uzaklaştırma mümkündür, ancak RR= 0.65 oranının altındaki atık oranlarında ise grobeton olarak geri kazanım mümkün olup, atık minimizasyonu sağlanmıştır.
3. Metal çamuru ve endüstriyel arıtma çamuru kuru formlarının eşit miktarlarda karıştırılardığı denemede, RS= 1.8 oranı ve bu değerin altındaki oranlarda solidifikasyon gerçekleşmiştir ve düzenli depolama sahalarına uzaklaştırma mümkündür. RR= 1.1 oranının altındaki değerlerde ise grobeton olarak geri kazanım mümkündür.
4. Ham çamur ile yapılan çalışmada 0.2 –0.7 atık oranları arasında 4 farklı atık oranı uygulanmıştır. Atığın su içeriği yüksek olduğu için 0.7 atık oranı üzerinde bir değer mümkün değildir. Elde edilen basınç dayanımı sonuçlarına göre elde edilen ürünlerin geri kazanımı mümkündür. Hatta basınç dayanımı değeri BS 20 betonunun değerine oldukça yakın olup, yüksek basınç dayanımı gerektiren farklı bir malzeme olarak da kullanılabilir. Ancak atığın bu formu ile düşük miktarda atık uzaklaştırılabilmektedir.
5. Metal çamurunun nemli formu ile yapılan çalışmada RS= 2.1 atık oranının altındaki oranlarda solidifikasyonun başarılı olduğu ve düzenli depolama

sahalarına uzaklaştırılabileceği sonucuna varılmıştır. RR= 1.05 atık oranının altındaki oranlarda ise geri kazanım ve atık minimizasyonu mümkündür.

6. Susuzlaştırılmış endüstriyel arıtma çamuru ile yapılan denemede, RS= 0.9 oranının altındaki değerlerde solidifikasyonun başarıldığı ve bu atık oranlarıyla hazırlanan ürünlerin düzenli depolama sahalarına uzaklaştırılabileceği tespit edilmiştir. Ancak bu atık ile geri kazanım sadece 0.1 atık oranında mümkün olmaktadır.
7. Fosfat çamurunun nemli formuyla yapılan çalışmada ise RS=1.3 atık oranının altındaki değerlerde solidifikasyon gerçekleşmiştir, bu oranlarla hazırlanan ürünlerin düzenli depolama sahalarına uzaklaştırılması mümkündür. Ancak bu atık tipiyle geri kazanım ancak çok düşük atık oranlarında (0.1 ve 0.2) mümkündür.

Sonuç olarak, üç atık içinde solidifikasyonun uygun bir arıtım yöntemi olduğu, grobeton olarak geri kazanımın ise endüstriyel arıtma çamuru ve fosfat çamurunun nemli formlarında ancak çok düşük atık oranlarında mümkün olduğu tespit edilmiştir. Bu üç tip atığın solidifikasyon yöntemiyle arıtılmasında metal çamuru ve fosfat çamurunda yüksek atık miktarları solidifiye olabildiğinden bu teknolojiye uygun atıklar olduğu, endüstriyel arıtma çamurunun ise ancak düşük atık miktarları ilavesiyle başarılı bir sonuç verdiği görülmüştür. Bunun nedeninin arıtmaya gelen yağlı ve boyalı atıklar ile bu atıklardan kaynaklanan yüksek TOC parametresi olduğu düşünülmektedir.

- Başlangıçta zararlı atık tespiti yapılan üç tip atık için yönetim biçimi olarak, solidifikasyon arıtma teknolojisi uygulandıktan sonra gerek düzenli depolama sahalarına uzaklaştırma, gerekse grobeton olarak geri kazanım ve atık minimizasyonu sağlandığında her üç atığın da bu yönetim çerçevesinde detoksifiye olduğu sonucuna varılmıştır. Sızıntı özelliklerini tespit etmek ve detoksifikasyonu göstermek üzere, BS 6920 standartının "Su Mikroorganizmalarının Gelişme Hızı" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile, çimento ve otomotiv sektörü zararlı atıkları ile hazırlanan ürünlerin düzenli depolama sahalarına uzaklaştırılması veya grobeton olarak geri kazanılması sonucu içme suyuna çözünerek geçmesi ile sağlık tehdidi

yaratıp yaratmayacağı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede, elde edilen en önemli parametre ürünün kullanım amacı ile ilgili olarak suya geçmesindeki faktör olan çözünürlüktür. Ürün içindeki atık maddelerin çimento ile katılaştırılmasında sudaki çözünürlüğü değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeyi yapmak üzere, ÇO fark değerlerinin 2.4 mg/L'den küçük olduğu bulunmuştur. Bu ortamda mikroorganizmal bir çoğalma gerçekleşmediğini göstermektedir. İçme suyu standartlarının deneyleri uygulanmasına rağmen hiç çözünme olmadığından dolayı bu arıtma teknolojisiyle detoksifikasyonun sağlandığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca briketlerin bekletildiği suda ölçülen TOC ve beş ağır metal konsantrasyon sonuçları doğrultusunda ortamda zehirlilik olmadığı söylenebilir. Katı formda ve suda, çözünürlüğü olmayan bir maddenin çevresel koşullar göz önüne alınarak suya geçmesi ile herhangi bir sağlık riski yaratması beklenmemektedir.

Bu tür zararlı atıklar çamur formunda olup yakma, kurutma, derin kuyu enjeksiyonu ve eski maden yataklarına doldurma gibi yöntemlerin ekonomik ve çevre koruma kavramları içerisinde uygun olmadığı düşüncesiyle, yukarıda verilen sonuçlar çerçevesinde aşağıdaki yönetim biçimleri önerilmiştir:

1. Zararlı atıklar tespit edildiği yerde çimento ile solidifiye edilerek manifestosundaki toksik karakterinin giderildiği ispat edilerek herhangi bir düzenli depolama sahalarına evsel çöplerle birlikte gömülebilir yada zararlı atık alanına gönderilebilir. Ancak Türkiye'de böyle bir zararlı atık alanı mevcut değildir.
2. Zararlı atıklar tespit edildiği yerde çimento ile solidifiye edilir. Çimento dozu arttırılarak yüksek basınç dayanımı elde edilerek ve manifestosundaki toksik karakterininin giderildiği ispat edilerek kullanıma sunulur. Bu şekilde hem atık minimizasyonu hemde geri kazanım sağlanmış olur.
3. Zararlı atıkların manifestosundaki tüm bilgiler tespit edilerek ve belirtilerek bir zararlı atık alanına gönderilip, ödemesi yapılarak atıkların bu alanda yönetilmesi sağlanır. Ancak başta da belirtildiği gibi Türkiye'de böyle bir alan yoktur.

Zararlı atıkların solidifikasyon / stabilizasyon teknolojisi ile arıtılması kapsamında ayrıca şu önerilere yer verilebilir:

- Bağlayıcı katkı maddesi olarak kullanılan portland çimentosuna, kireç, kil, uçucu kül gibi diğer katkı maddeleri ilave edilerek farklı oranlarda denemeler yapılıp, bu alternatiflerin ekonomik analizleri yapılabilir.
- 28 günlük kür zamanı solidifikasyon prosesinde standart olarak kabul edilmesine rağmen, farklı kür periyotlarının etkileri araştırılabilir. Özellikle uzun vadede katılaştırılmış numune içindeki atığın etkilerini araştırmak üzere daha uzun kür periyotları incelenebilir. Bu çalışmada fosfat çamurunda üç ay sonunda görülen yaklaşık iki kat basınç dayanım artışı olumlu olmakla birlikte, üç aydan daha uzun sürelerin incelenmesi ihtiyacını da doğurmuştur.
- Katılaştırma deneylerinde atığın su emme kapasitesini tespit etmek üzere farklı su oranları denenebilir. Karışıma ilave edilen su oranının basınç dayanımı üzerinde büyük etkisi vardır.
- Literatür çalışmalarında verilen diğer sızıntı testleri uygulanabilir. Farklı sızıntı test metotları ile elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

Aka, İ., Keskinel, F. ve Arda, T.S., 1996. Betonarmeye Giriş, 9. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association(AWWA) and Water Environment Federation(WEF), 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Copyright by American Public Health Association, 18th ed., Eds. Greenberg, A.E. & Clesceri, L.S. & Eaton, A.D., Washington.

Andres, A., Ibanez, R., Ortız, I. and Irabıen, J.A., 1998. Experimental study of the waste binder anhydrite in the solidification / stabilization process of heavy metal sludges, *Journal of Hazardous Materials*, **57**, 155-168.

Andres, A. and Irabıen, J.A., 1994. Solidification / Stabilization process for steel foundry dust using cement based bınders: ınfluence of processing variables, *Waste Management &Research*, **12**, 405-415.

Atalay, T., 1997.Otomotiv sektöründe çevre sorunları, *2. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, İstanbul, 4-5 Aralık.

Balkan, M., 1999. Development of appropriate low cost ındustrial sludge solidification systems, *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Baradan, B., 1984. Yapı Malzemesi, DEÜ Yayınları, İzmir.

BS 6920, 1996. Suitability of non-metallic products for use in contact with water intended for human consumption with regard to their effect on the quality of the water, *British Standarts*, Part 1. Clause 4-8, Part 2. Section 2.6.

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

Chang, J.E., Lın, T.T., Ko, M.S. and Lıaw, D.S.,1999. Stabilization/Solidification of sludges containing heavy metals by using cement and waste puzzolans, *Journal of Environmental Science and Health*, **34-5**, 1143-1160.

Cheeseman, C. R. and Knight, J., 1998. New stabilization / solidification technologies for the prevention of underground water contamination from ındustrial wastes, *EU Report under the AVICENNE Programme*, London.

Cheeseman, C.R., Knight,J., Loizidou, M., Savvides C., Zachariou M. and Anayiotou C., 1998. Development of Low Cost Industrial Waste Solidification Systems for Mediterranean Countries, *Proceedings of the Kriton Curi International Symposium on Environmental Management in the Mediterranean Countries*, Antalya, Vol. I, 519-526.

Claudio, J.R., 1991. Solidification of metal finishing slurry with cement, *Wat. Sci. Tech.*, **24-12**, 193-200.

Cocke, D.L., 1990. The binding chemistry and leaching mechanisms of hazardous substances in cementitious solidification / stabilization systems , *Journal of Hazardous Materials*, **24**, 231-253.

Conner , J.R., 1990. Chemical fixation and solidification of hazardous wastes, Van Nostrand Reinhold, New York, ISBN 0-442-20511-2.

Connera, J. R. and Hoeffnerb, S. L., 1999. A critical review of stabilization/ solidification technology, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **28**, Is. 4, 397- 462.

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 microscopik aspects, *Waste Management*, **18**, 17-24.

Dietrich, A.M., Chesnutt, S.A., Stone, L.A. and Gallagher, D.L., 1995. Determination of organic pollutants in land applied municipal wastewater sludges by toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) and extraction procedure toxicity test (EP), *Water Environment Research*, **65**, No. 5, 612-619.

Dutre, V. and Vandecasteele, C., 1993. Study of the leaching of arsenic from solidified waste, hazardous waste management in economically developing countries, *Turkish National Committee on Solid Wastes & ISWA*, pp. 293-304.

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 semi-dynamic leach tests, *Waste Management*, **16**, No.7, 625-631.

Environmental Law Book, 1993. 12th Edition Government Institutes, Inc. Rockville, MD.

Eriş, N., 1996. Zararlı atıklardaki zehirli maddelerin ozon ile oksidasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, , İstanbul.

Filibeli, A., 1998. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.

Glasser, F.P., 1997. Fundamental aspects of cement solidification and stabilization, *Journal of Hazardous Materials*, **52**, 151-170.

Grılc, V. and Petkovsek, A., 1997. Stabilization of boron- containing mineral sludge with various solidification agents, *Waste Management &Research*, **15**, 73-86.

Gözet, B.B., 1995. Tehlikeli Atık Yönetiminde Modelleme, Ankara.

Hall, R.M., Schwartz, R.E., Brysan, N.S., Davıs, Jr., R.C. and Donohue, B.G., 1993.RCRA Hazardous Waste Handbook, 10th Edition, Crowell & Moring Government Institutes, Inc., ISBN 0-86587 355 0.

Hanhan, O. ve Ergun, F.D., 1997. Otomotiv sanayiinde atık yönetimi ve Türk Çevre Mevzuatı, *2. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, İstanbul.

Hong, K., Jaggı, A. and Jaggı, N., 1988. Stabilization of heavy metal bearing sludges using cementitious binders, *International Conference on Physiochemical and Biological Detoxification of Hazardous Wastes*, **1**, Session I, 125-141.

Jang, A. and Kım, I.S., 2000. Technical note solidification and stabilization of Pb, Zn, Cd and Cu in tailing wastes using cement and fly ash, *Minerals Engineering*, **13**, No.14-15, 1659-1662.

Janusa,M.A., Champagne, C. A., Fanguy, J.C., Heard, G.E., Laıne, P.L. and Landry, A.A., 1998. Solidification / Stabilization of lead with the aid of bagasse as an additive to portland cement, *Microcihemial Journal*, **65**, 255 – 259.

LaGrega, M. D., Buckingham, P. L., Evans , J. C. and the Environmental Resources Management Group, 1994. Hazardous Waste Management, Mc Graw-Hill Inc.

Lee, W.M., Lı, K.G., Ing, K.L. and Shau, C.H., 1988. Pretreatment for the solidification of the arsenic- bearing sludge from water treatment plant, *International Conference on Physiochemical and Biological Detoxification of Hazardous Wastes*, **1**, Session I, 153- 169.

Lın, C.K., Chen, L.N. and Lın, C.C., 1993. Stabilization / Solidification of chromium and cyanide- containing sludges by cement-based fixation processes, *Hazardous and Industrial Wastes,Proceedings of Twenty-Fifth Mid-Atlantic Industrial Waste Conference*, pp.3-21.

Marin, S., Trattner, R.B., Cheremisinoff, P.N. and Perna, A.J., 1979. Methods for Neutralizing Toxic Electroplating Rinse Water-Part 1, *Industrial Waste*, **25**, Part 3, 50-52.

Otomotiv Sanayii Derneği (OSD) - Çevre Komitesi, 1999. Otomotiv sektöründe tehlikeli atık yönetimi klavuzu.

Park, C. K., 2000. Hydration and solidification of hazardous wastes containing heavy metals using modified cementitious materials, *Cement and Concrete Research*, **30**, 429 – 435.

Pera, J., Thevenın, G. And Chabannet, M., 1997. Design of a novel system allowing the selection of an adequate binder for solidification / stabilization of wastes, *Cement and Concrete Research*, **27**, No.10, 1533 – 1542.

Postacıoğlu, B., 1987. Beton- Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Cilt 2, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Rha, C. Y., Kang, S.K. and Kım, C.E., 2000. Investigation of the stability of hardened slag paste for the stabilization / solidification of wastes containing heavy metal ıons, *Journal of Hazardous Materials*, **B73**, 255-267.

Sharma, H.D. and Lewis, S.P., 1994. Waste containment systems, waste stabilization, and landfills: design and evaluation, John Wiley and Sons, New York.

Soklangıç, Z., 2000. Arıtma çamurlarının solidifikasyon yöntemi ile bertarafı, *Lisans Tezi*, U.Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa.

Sollars, C.J. and Perry,R., 1989. Cement based stabilization of wastes: practical and theoretical consideration, J.IWEM, 3.

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.

Şenol, H.1993. Solidification of hazardous wastes, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Talınlı, İ., Turan Ertaş, T., Çapalov, L., Eriş,N. ve Vural, Z., 1995. Marmara Bölgesi envanteri ve zararlı atıklardan siyanür giderimi araştırma-geliştirme projesi, *Zararlı Atıkların Tanımı ve Yönetimi 1. Geliştirme Raporu*, İstanbul.

Talınlı, İ.,2000. Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. ürünlerinin tehlikeli olma özelliklerinin değerlendirilmesi, *İTÜ Geliştirme Vakfı Projesi*, İstanbul.

Tchobanoglous, G., 1991. Waste Water Engineering Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill Kogakusha Ltd, U.S.A.

Tchobanoglous, G., Theısen, H. And Elıassen, R., 1977. Solid Wastes, Engineering Principles and Management Issues, McGraw-Hıll Series in Water Resources and Environmental Engineering.

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Çevre Bakanlığı, Resmi Gazete, Sayı: 22387, 27 Ağustos 1995, sayfa 193-302.

TS 500, 2000. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, ICS 91.080.40, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Turan Ertaş,T., 1997. Zararlı atıkların ozon ile oksidasyonu, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, , İstanbul.

Vale Parapar, J.F., Ruiz De Elvıra Francoy, C., Rodrıguez - Pınero, M., Salvador Martınez, L. and Fernandez Pereira, C., 1998. Stabilization/ Solidification of hazardous metallic wastes: prediction of leach test performance to optimize S/S mixtures, *Waste Management Research*, **16:2**, 175-182.

Wıles, C.C. and Howard, H.K. 1988. U.S.EPA Research in Solidification / Stabilization of Waste Material , U.S:Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

EK A

Tablo A.1: EP Zehirlilik Özelliğine Göre Bileşenlerin Maksimum Konsantrasyonları

EPA Zararlı Atık No.su	Bileşen	Maksimum Kons. (mg/l)
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	Bakır	5.0
D012	Endrin(1,2,3,4,10,10-hekza-kloro-1,7-epoksi-1,4,4a, 5,6,7,8,8a-oktahidro-1,4-endo,endo,5,8 dimetanonaftalin)	0.02
D013	Lindan (1,2,3,4,5,6-hekza-klorosik-lohegzan,gama izomer)	0.4
D014	Metoksiklor(1,1,1-Trikloro-2,2-bis[p-metoksifenil] etan)	10.0
D015	Tokzafen ($C_{10}H_{10}Cl_3$, Teknik, Klorlu camphene, %67 – 67 klor)	0.5
D016	2, 4-D [2,4- Diklorofenoksiasetik asit]	10.0
D017	2,4,5–TP Silvex (2,4,5–Triklorofenoksipropionik asit)	1.0
D018	Benzen	0.5
D033	Hekzakloro-1,3-butadien	0.5
D019	Karbon tetra klorür	0.5
D032	Hekzaklorobenzen	0.13
D020	Klordan	0.03
D034	Hekzakloroetan	3.0
D021	Klorobenzen	100.0
D031	Heptaklor	0.008
D035	Metil etil keton	200.0
D043	Vinil klorür	0.2
D022	Kloroform	6.0
D036	Nitrobenzen	2.0
D024	m-Krezol	200.0
D037	Pentoklorofenol	100.0
D023	o-Krezol	200.0
D038	Piridin	5.0
D025	p-Krezol	200.0
D039	Tetrakloroetilen	0.7
D027	1,4-Dinitroklorobenzen	7.5
D041	2,4,5-Triklorofenol	400.0
D028	1,2-Dikloroetan	0.5
D042	2,4,6-Triklorofenol	2.0
D029	1,1-Dikloroetilen	0.7
D030	2,4-Dinitrotoluen	0.13

EK B

Tablo B.1: Spesifik Olmayan Kaynaklardan Gelen Zararlı Atıklar (F Listesi)

Endüstri ve EPA Zararlı Atık No.	Zararlı Atık	Zarar· Kodu
Genel :		
F001.....	Yağ gidermede kullanılan, aşağıdaki kullanılmış halojenli solventler: Tetrakloroetilen, trikloroetilen, metilen klorür, 1,1,1-trikloroetan, karbon tetraklorür ve klorlu floro karbonlar; F002, F004, F005 'te listelenen halojenli solventlerin biri veya fazlasını kullanımdan önce hacimce toplamın % 10'u veya fazlası halinde bulunduran tüm kullanılmış solvent karışımları; kullanılmış solvent karışımları ve diğer solventlerin geri kazanımından gelen dip kalıntıları	(T)
F002.....	Aşağıdaki kullanılmış halojenli solventler: Tetrakloroetilen, metilen klorür, trikloroetilen, 1,1,1-trikloroetan, klorobenzen, 1,1,2-trikloro-1,2,2-trifloroetan,orto-diklorobenzen, triklorofloro metan ve 1,1,2-trikloroetan; F001, F004, F005 'te listelenen halojenli solventlerin biri veya fazlasını kullanımdan önce hacimce toplamın % 10'u veya fazlası halinde bulunduran tüm kullanılmış solvent karışımları; kullanılmış solvent karışımları ve diğer solventlerin geri kazanımından gelen dip kalıntıları	(T)
F003.....	Aşağıdaki kullanılmış halojenli olmayan solventler: Ksilen, aseton, etil asetat, etil benzen, etil eter, metil izobutil keton, n-butil alkol, siklohekzanon ve metanol - sadece yukarıdaki halojensiz solventleri kullanımdan önce içerdiği bilinen tüm solvent karışımları; F001, F002, F004 ve F005'de listelenen solventlerin 1 veya fazlasını kullanımdan önce hacimce %10 ve fazlası halinde içeren kullanılmış solvent karışımları; bu solvent karışımlarının geri kazanımından gelen dip kalıntıları	(I)
F004.....	Aşağıdaki kullanılmış halojensiz solventler: Krezol ve kresilik asit, ve nitrobenzen; F001, F002 ve F005 ile listelenen yukarıdaki halojensiz solventlerden biri veya fazlasını kullanımdan önce toplamın %10'u ve fazlası halinde içeren kullanılmış solvent karışımları; bu solvent karışımlarının geri kazanılmasından gelen dip kalıntıları.	(T)
F005.....	Aşağıdaki kullanılmış halojensiz solventler: Toluen, metil etil keton, karbon sülfür, izobutanol, piridin, benzen, 2-etoksietanol ve 2-nitropropan; F001, F002 ve F004 ile listelenen yukarıdaki halojensiz solventlerden biri veya fazlasını kullanımdan önce toplamın %10'u ve fazlası halinde içeren kullanılmış solvent karışımları; bu solvent karışımlarının geri kazanılmasından gelen dip kalıntıları.	(I,T)
F006.....	Aşağıdaki prosesler haricindeki elektrolitik kaplama işlemlerinden gelen atıksuların arıtım çamurları: (1) Sülfirik asit ile aluminyum anotlaştırması, (2) Karbon çelik üzerine kalay kaplanması, (3) Karbon çelik üzerine çinko kaplanması, (4) Karbon çelik üzerine aluminyum veya çinko-aluminyum kaplanması, (5) karbon çelik üzerine kalay, çinko ve aluminyum kaplanma ile ilgili temizleme,sıyırma işlemleri ve (6) aluminyumun öğütülmesi ve kimyasal işlenmesi.	(T)
F019.....	Kimyasal dönüşüm ile aluminyumun kaplanmasından gelen atıksuların arıtım çamurları.	(T)
F007.....	Elektrolitik kaplama işlemlerinden gelen kullanılmış siyanür kaplama banyo çözeltileri.	(R,T)
F008.....	Proseste siyanür kullanarı elektrolitik kaplama banyolarından gelen kaplama banyosunun dip kalıntıları.	(R,T)
F009.....	Proseste siyanür kullanarı elektrolitik kaplama işlemlerinden gelen temizleme banyosu çözeltileri ve sıyırma kalıntıları	(R,T)

F010.....	Proseste siyanür kullanan metal ısıl işlemlerinden gelen yağlı banyoların kalıntıları.	(R,T)
F011.....	Metal ısıl işlemlerinden gelen tuz banyosunun siyanür içeren temizleme çözeltileri.	(R,T)
F012.....	Proseste siyanür kullanarı metal ısıl işlemlerinden gelen atıksu arıtım çamurları.	(T)
F024.....	Serbest radikal katalitik prosesleri ile, 1'den 5'e karbon içeriği olan, klorlu alifatik hidrokarbonların üretiminden gelen distilasyon kalıntıları, ağır dip kalıntıları, katranlar ve reaktör temizleme atıklarını içeren atıklar. Bu listeleme toz bakiyeler, kullanılmış filtreleri ve filtre yardımcı malzemeleri, kullanılmış kurutucu maddeleri; atıksu, atıksu arıtım çamurları, kullanılmış katalizörler ve 261.32'de listelenen atıkları içermez.	(T)
F020.....	Tri- veya tetraklorofenol veya bunların pestisit türevlerini üretmek için kullanılan maddelerin üretiminden gelen atıklar(hidrojen klorür saflaştırılmasından gelen kullanılmış karbon ve atıksular hariç) (Yukarıdaki liste çok saf 2,4,5-triklorofenolden hegzaklorofen üretimi atıklarını içermez)	(H)
F021.....	Pentaklorofenol veya türevlerinin üretiminden gelen atıklar (hidrojen klorür saflaştırılmasından gelen kullanılmış karbon ve atıksular hariç)	(H)
F022.....	Alkali koşullar altında tetra-, penta-, veya hekzaklorobenzenlerin üretiminden gelen atıklar (hidrojen klorür saflaştırılmasından gelen kullanılmış karbon ve atıksular hariç) (Yukarıdaki liste çok saf	(H)
F023.....	Tri- ve tetraklorofenollerin üretiminden gelen atıklar (hidrojen klorür saflaştırılmasından gelen kullanılmış karbon ve atıksular hariç) (Yukarıdaki liste çok saf 2,4,5-triklorofenolden hegzaklorofen üretimi atıklarını içermez)	(H)
F026.....	Alkali koşullar altında tetra-, penta-, veya hekzaklorobenzenin fabrikasyonu için kullanılan cihazlarda kalan reaktan, ara ürün veya formulasyon bileşeni maddelerinden gelen atıklar	(H)
F027.....	Tri,tetra veya pentaklorofenol içeren veya bu klorofenollerin türevlerini içeren kullanılmamış standart dışı formulasyonlar (Yukarıdaki liste çok saf 2,4,5-triklorofenolden hegzaklorofen üretimi atıklarını içermez)	(H)
F028.....	EPA Zararlı Atık No. F020, F021, F022, F023, F026 ve F027 ile kirlenmiş toprakların termal arıtımı veya yakılmasından gelen kalıntılar.	(T)

: Reaktiv, T:Toksik, H:Zararlı, I:Tutuşabilir, C: Kanserojen

Tablo B.2: Spesifik Kaynaklardan Gelen Zararlı Atıklar (K Listesi)

Endüstri ve EPA Zararlı Atık No.	Zararlı Atık	Zarar Kodu
Ahşap Koruma:		
K001.....	Kreosot ve/veya pentaklorofenol kullanan ahşap koruma proseslerinden gelen atıksuların arıtımı sonucu oluşan dip çökeltme çamuru.	(T)
İnorganik Pigmentler:		
K002.....	Krom sarısı ve oranj pigmentlerinin üretiminden gelen atıksu arıtım çamurları.	(T)
K003.....	Molibdat oranj pigmentlerinin üretiminden gelen atıksu arıtım çamuru.	(T)
K004.....	Çinko sarısı pigmentlerinin üretiminden gelen atıksu arıtım çamurları.	(T)
K005.....	Krom yeşil pigmentlerinin üretiminden gelen atıksu arıtım çamuru.	(T)
K006.....	Krom oksit yeşil pigmentlerin (sulu veya susuz) üretiminden gelen atıksu arıtım çamurları.	(T)
K007.....	Demir mavi pigmentlerin üretiminden gelen atıksu arıtım çamurları.	(T)
K008.....	Krom oksit yeşili pigmentlerin üretiminden gelen fırın kalıntıları.	(T)
Organik Kimyasallar:		
K009.....	Etilenden asetaldehitin üretiminden gelen dip kalıntıları.	(T)
K010.....	Etilenden asetaldehit üretimi sırasında distilasyon yan ürünleri.	(T)
K011.....	Akrilonitrilin üretiminde atıksu sıyırıcılarından gelen dip akımı.	(R,T)
K013.....	Akrilonitrilin üretiminde asetonitril kolonundan gelen dip akıntıları.	(R,T)
K014.....	Akrilonitrilin üretiminde asetonitril saflaştırma kolonunun dip kalıntıları.	(T)
K015.....	Benzil klorürün distilasyonundan gelen distilasyon cihazı dip kalıntıları.	(T)
K016.....	Karbon tetraklorürün üretiminden gelen distilasyon kalıntıları veya ağır ürünler.	(T)
K017.....	Epiklorohidrinin üretiminde saflaştırma kolonundan gelen dip kalıntıları.	(T)
K018.....	Etil klorür üretiminde ayırma kolonundan gelen ağır ürünler.	(T)
K019.....	Etilen diklorür üretiminde etilen diklorürün distilasyonundan gelen ağır ürünler.	(T)
K020.....	Vinil klorür monomer üretiminde vinil klorürün distilasyonundan gelen ağır ürünler.	(T)
K021.....	Florometan üretiminden gelen sıvı kullanılmış antimon katalizörünün atığı	(T)
K022.....	Kumen'den fenol ve asetonun üretiminde distilasyon kolonu dip katranları.	(T)
K023.....	Naftalinden fitalik anhidritin üretiminde distilasyonun hafif ürünleri.	(T)

İnorganik Kimyasallar:		
K071.....	Klor üretiminde civa hücresi prosesinden gelen saflaştırma çamurları (Ayrık olarak ön saflaştırmanın kullanılmadığı)	(T)
K073.....	Klor üretiminde grafit anot kullanan diyafram hücre prosesinde saflaştırma adımından gelen klorlu hidrokarbon atığı.	(T)
K106.....	Klor üretiminde civa hücresi prosesinden gelen atıksu arıtma çamuru.	(T)
Pestisitler:		
K031.....	MSMA ve kakodilik asitin üretiminden gelen yan ürün tuzları.	(T)
K032.....	Klordanın üretiminden gelen atıksu arıtma çamuru.	(T)
K033.....	Klordanın üretiminde siklopentadienin klorlanmasından oluşan atıksu ve yıkama suyu.	(T)
K034.....	Klordanın üretiminde hekzaklorosiklopentadienin filtrasyonundan oluşan filtre katıları.	(T)
K097.....	Klordanın üretiminde klordan klorlama cihazından gelen vakum sıyırma deşarjı.	(T)
K035.....	Kreosotun üretiminde üretilen atıksu arıtma çamurları.	(T)
K036.....	Disülfotonun üretiminde toluenin iyileştirilme distilasyondan gelen distilasyon cihazı dip kalıntıları.	(T)
K037.....	Disülfotonun üretiminden gelen atıksu arıtma çamurları.	(T)
K038.....	Forat üretiminde yıkama ve sıyırmadan gelen atıksular.	(T)
K039.....	Forat üretiminde dietilfosforoditioik asitin filtrasyonundan gelen filtre keki.	(T)
K040.....	Forat üretiminden gelen atıksu arıtma çamuru.	(T)
K041.....	Tokzafenin üretiminden gelen atıksu arıtma çamuru.	(T)
K098.....	Tokzafenin üretiminden gelen işlenmemiş proses atıksuyu.	(T)
K042.....	2,4,5-T'nin üretiminde tetraklorobenzenin distilasyonundan gelen distilasyon kalıntıları.	(T)
K043.....	2,4-D'nin üretiminden gelen 2,6-Diklorofenol atığı.	(T)
K099.....	2,4-D'nin üretiminden gelen işlenmemiş atıksular.	(T)
K123.....	Etilenbisditiokarbamik asit ve tuzlarının üretiminden gelen proses atıksuyu (üst su, filtratlar ve yıkama suları)	(T)
K124.....	Etilenbisditiokarbamik asit ve tuzlarının üretiminden gelen reaktör yıkama suyu.	(C,T)
K125.....	Etilenbisditiokarbamik asit ve tuzlarının üretiminden gelen filtrasyon, evaparasyon ve santrifüjasyon katıları.	(T)

K126.....	Etilenbisditiokarbamik asit ve tuzlarının formülasyonu veya üretiminden gelen paketleme ve işleme sırasında oluşan toz ve süprüntüleri.	(T)
Patlayıcılar		
K044.....	Patlayıcıların üretiminden gelen atıksu arıtma çamurları	(R)
K045.....	Patlayıcı içeren atıksuların arıtımından gelen kullanılmış karbonlar	(R)
K046.....	Kurşun esaslı reaktif bileşenlerin formülasyonu ve üretiminden gelen atıksu arıtma çamurları	(R)
K047.....	TNT işlemlerinden gelen pembe-kırmızı sular	(T)
Petrol Rafinas-yonu		
K048.....	Petrol rafinasyonunda çözünmüş hava yüzdürmesi (DAF) yüzen kısmı	(T)
K049.....	Petrol rafinasyonunda kullanılmış yağ emülsiyonu katıları	(T)
K050.....	Petrol rafinasyonunda ısı değiştirici temizleme çamuru.	(T)
K051.....	Petrol rafinasyonunda API seperatör çamurları.	(T)
K052.....	Petrol rafinasyonunda kurşunlu tankların dip kalıntıları.	(T)
Demir ve Çelik		
K061.....	Elektrik fırınlarında birincil çelik üretiminden gelen emisyon kontrol toz ve çamuru	(T)
K062.....	Demir ve Çelik Endüstrisinde çelikson işlemleri ile üretilen bitik salamura likörü	(C,T)
Birincil Bakır		
K064.....	Birincil bakır üretiminde çamurun kalınlaştırılmasından gelen asitli blowdown çamuru	(T)
Birincil Kurşun		
K065.....	Birincil kurşun eritme işlemlerinde yüzey temizleme sırasında yüzey talaşlarını içeren katılar	(T)
Birincil Çinko		
K066.....	Birincil çinko üretiminde asit banyosu blowdown proses atıksuyunun arıtımından gelen çamurlar	(T)
Birincil Alumin yum		
K088.....	Birincil aluminyum redüksiyonundan gelen bitik pota içeriği	(T)
Demir Alaşım-ları		
K090.....	Ferrokrom silikon üretiminden gelen emisyon kontrol toz ve çamuru	(T)
K091.....	Ferrokrom üretiminden gelen emisyon kontrol toz ve çamuru	(T)
İkincil Kurşun		
K069.....	İkincil kurşun eritiminden gelen emisyon kontrol toz ve çamuru	(T)
K100.....	İkincil kurşun üretiminden gelen emisyon kontrol toz ve çamurlarının asitlendirilmesi ile oluşan atık sızıntı çözeltisi	(T)
Veteriner İlaç-ları		
K084.....	Organoarsenik bileşikleri veya arsenikli veteriner ilaçları üretiminden oluşan	(T)

	atıksu arıtma çamurları	
K101.....	Organoarsenik bileşikleri veya arsenikli veteriner ilaçları üretiminde anilin bazlı bileşenlerin distilasyonundan gelen distilasyon katranı kalıntıları	(T)
K102.....	Organoarsenik bileşikleri veya arsenikli veteriner ilaçları üretiminde renk giderme için kullanılan aktif karbonun kalıntıları	(T)
Mürekkep Formülasyonu		
K086.....	Krom ve kurşun içeren stabilizerler, sabunlar ve pigmentlerden yapılan mürekkep formulasyonunda solvent yıkama suları ve çamurları, kostik yıkama suları ve çamurları, tüp ve cihazların çamurları ve yıkama suları	(T)
Koklaştırma		
K060.....	Koklaştırma işlemlerinden gelen amonyaklı kireçli çamurlar	(T)
K087.....	Koklaştırma işlemlerinden gelen dekantasyon tankı katran çamurları	(T)

R: Reaktiv, T:Toksik, H:Zararlı, I:Tutuşabilir, C: Kanserojen

Tablo B.3: Akut Zararlı Maddeler (P Listesi)

Zararlı Atık No.	Madde
P023	Acetaldehyde, chloro-,
P002	Acetamide, N-aminothioxomethy
P057	Acetamide, 2-fluoro-
P058	Acetic acid, fluoro-,sodium salt
P001	3-(alpha-Acetonylbenzyl)-4-hydroxycoumarin and salts when present at concentrations greater than 0.3%
P002	1-Acetyl-2-thiourea
P003	Acrolein
P070	Aldicarb
P004	Aldrin
P005	Allyl alcohol
P006	Aluminum phosphide (R,T)
P007	5-(Aminomethyl)-3-isoxazolol
P008	4-Aminopyridine
P009	Ammonium picrate (R)
P119	Ammonium vanadate
P099	Argentate (1-), bis(cyano-C-)-, potassium
P010	Arsenic acid H_3AsO_4
P012	Arsenic oxide As_2O_3
P011	Arsenic oxide As_2O_5
P011	Arsenic pentoxide
P012	Arsenic trioxide
P038	Arsine, diethyl-
P036	Arsonous dichloride, phenyl-
P054	Aziridine
P067	Aziridine, 2-methyl-
P013	Barium cyanide
P024	Benzenamine, 4-chloro-
P077	Benzenamine, 4-nitro-

P028	Benzene, (chloromethyl)-
P042	1,2-Benzendiol, 4-[1-hydroxy-2-(metylamino)ethyl]-, (R)
P046	Benzeneethanamine, alpha, alpha-dimethyl-
P014	Benzenethiol
P001	2H-Benzopyran-2-one, 4-hydroxy-3-(3-oxo-1-phenylbutyl)-, and salts, when present at concentrations greater than 0.3 %
P028	Benzyl chloride
P015	Beryllium
P017	Bromoacetone
P018	Brucine
P045	2-Butanone, 3,3-dimetyl-1-(metylthio)-0-[methylamino)carbonyl] oxime
P021	Calcium cyanide
P021	Calcium cyanide $Ca(CN)_2$
P022	Carbon disulfide
P095	Carbonic dichloride
P023	Chloroacetaldehyde
P024	p-Chloroaniline
P026	1-(o-Chlorophenyl)thiourea
P027	1-Chloropropionitrile
P029	Copper cyanide
P029	Copper cyanide $Cu(CN)_2$
P030	Cyanides (soluble cyanide salts), not otherwise specified
P031	Cyanogen
P033	Cyanogen chloride
P033	Cyanogen chloride (CN)Cl
P034	2-Cyclohexyl-4,6-dinitrophenol
P016	Dichloromethyl ether
P036	Dichlorophenylarsine
P037	Dieldrin
P038	Dietylarsine

P041	Diethyl-p-nitrophenyl phosphate
P040	0,0-Dietyl 0-pyrazinyl phosphorothioate
P043	Diisopropylfluorophosphate (DFP)
P004	1,4,5,8-Dimethanonnaphtalene,1,2,3,4,10,10-hexachloro-1,4,4a,5,8,8a,-hexahydro-, (1alpha, 4alpha, 4abeta, 5alpha, 8alpha, 8abeta)
P060	1,4,5,8-Dimethanonnaphtalene,1,2,3,4,10,10-hexachloro-1,4,4a,5,8,8a,-hexahydro-, (1alpha, 4alpha, 4abeta, 5alpha, 8alpha, 8abeta)
P037	2,7:3,6-Dimethanonapht[2,3-b] oxirene, 3,4,5,6,9,9-hexachloro-1a,2,2a,3,6,6a,7,7a octahydro-, (1aalpha, 2beta, 2aalpha, 3beta, 6beta,7beta, 7aalpha)-
P051	2,7:3,6-Dimethanonapht[2,3-b] oxirene, 3,4,5,6,9,9-hexachloro-1a,2,2a,3,6,6a,7,7a octahydro-, (1aalpha, 2beta, 2aalpha, 3beta, 6beta,7beta, 7aalpha)- and metabolites
P044	Dimethoate
P046	alpha, alpha-Dimethylphenethylamine
P047	4,6-Dinitro-o-cresol, and salts
P047	2,4-Dinitrophenol
P020	Dinoseb
P085	Diphosphoramide, octametyl-
P111	Diphosphoric acid, tetraethyl ester
P039	Disulfoton
P049	Dithiobiuret
P050	Endosulfan
P088	Endothall
P051	Endrin
P051	Endrin, and metabolites
P042	Epinephrine
P031	Ethanedinitrile
P066	Ethanimidothioic acid, N-[[(methylamino)carbonyl]oxy]-,methyl ester

P101	Ethyl cyanide
P054	Ethyleneimine
P097	Famphur
P056	Fluorine
P057	Fluoroacetamide
P058	Fluoroacetic acid, sodium salt
P065	Fuluminic acid, mercury(2+) salt (R,T)
P059	Heptachlor
P062	Hexaetyl tetraphosphate
P116	Hydrazinecarbothioamide
P068	Hydrazine, methyl-
P063	Hydrocyanic acid
P063	Hydrogen cyanide
P096	Hydrogen phosphate
P060	Isodrin
P007	3(2H)-Isoxazolone, 5-(Aminomethyl)-
P092	Mercury, (aceto-0-)phenyl-
P065	Mercury fulminate (R,T)
P082	Methanamine , N-methyl-N-nitroso
P064	Methane, isocyanato-
P016	Methane, oxybis[chloro-
P112	Methane, tetranitro- (R)
P118	Methanethiol, trichloro-
P050	6,9-Methano-2,4,3-benzodioxathiepin, 6,7,8,9,10,10-hexachloro-1,5,5a,6,9,9a-hexahydro-, 3-oxide
P059	4,7-Methano-1H-indene, 1,4,5,6,7,8,8-heptachloro-3a,4,7,7a-tetrahydro-
P066	Methomyl
P068	Methyl hydrazine
P064	Methyl isocyanate-
P069	2-Methyllactonnitrile
P071	Methyl parathion

P072	alpha-Naphthylthiourea
P073	Nickel carbonyl
P073	Nickel carbonyl $Ni(CO)_4$(T4)-
P074	Nickel cyanide
P074	Nickel cyanide $Ni(CN)_2$
P075	Nicotine and salts
P076	Nitric oxide
P077	p-Nitroaniline
P078	Nitrogen dioxide
P076	Nitrogen oxide NO
P078	Nitrogen oxide NO_2
P081	Nitroglycerine (R)
P082	N-Nitrosodimethylamine
P084	N-Nitrosomethylvinylamine
P085	Octamethylpyrophosphoramide
P087	Osmium oxide
P087	Osmium tetroxide
P088	7-Oxabicyclo 2.2.1 heptane-2,3-dicarboxylic acid
P089	Parathion
P034	Phenol, 2-cyclohexyl-4,6-dinitro-
P048	Phenol, 2,4-dinitro-
P047	Phenol, 2-methyl-4,6-dinitro-, and salts
P020	Phenol, 2-(1-methylpropyl)-4,6-dinitro-
P009	Phenol, 2,4,6-trinitro-, ammonium salt (R")
P092	Phenylmercury acetate
P093	Phenylthiourea
P094	Phorate
P095	Phosgene
P096	Phosphine
P041	Phosphoric acid, diethyl 4-nitrophenyl ester
P039	Phosphorodithioic acid, 0,0-dimethyl S-[(ethylthio)ethylester
P094	Phosphorodithioic acid, 0,0-dimethyl S-[(ethylthio)methylester

P044	Phosphorodithioic acid, 0,0-dimethyl S-[[(methylamino)]-2-oxoethyl] ester
P043	Phosphorofluoridic acid, bis(1-methylethyl) ester
P089	Phosphorothioic acid, 0,0-diethyl 0-(4-nitrophenyl) ester
P040	Phosphorothioic acid, 0,0-diethyl 0-pyrazinyl ester
P097	Phosphorothioic acid, 0-[4-[(dimethylamino)sulfonyl]phenyl] 0,0-dimethyl ester
P071	Phosphorothioic acid, 0,0-dimethyl 0-(4-nitrophenyl) ester
P110	Plumbane, tetraethyl-
P098	Potassium cyanide
P098	Potassium cyanide K(CN)
P099	Potassium silver cyanide
P070	Propanal, 2-methyl-2-methylthio)0-[(methylamino)carboxyl]oxime
P101	Propanenitrile
P027	Propanenitrile, 3-chloro-
P069	Propanenitrile, 2-hydroxy-2-methyl--
P081	1,2,3,-Propanetriol, trinitrate (R)
P017	2-Propanone,1-bromo-
P102	Propargyl alcohol
P003	2-Propenal
P005	2-Propen-1-ol
P067	1,2-Propylenimine
P102	2-Propyn-1-oll
P008	4-Pyridinamine
P075	Pyridine, 3-(1-methyl-2-pyrolidinyl)-, (S), and salts
P114	Selenious acid, dithalllium (1+) salt
P103	Selenourea
P104	Silver cyanide
P104	Silver cyanide Ag(CN)
P105	Sodium azide
P106	Sodium cyanide

P106	Sodium cyanide Na(CN)
P107	Strontium sulfide SrS
P108	Strychnidin-10-one, and salts
P018	Strychnidin-10-one,2,3-dimethoxy
P106	Strychnine, and salts
P115	Sulfuric acid, dithalllium (1+) salt
P109	Tetraethyldithiopyrophosphate
P110	Tetraethyl lead
P111	Tetraethyl pyrophosphate
P112	Tetranitromethane (R)
P062	Tetraphosphoric acid, hexaethyl ester
P113	Thallic oxide
P113	Thallium oxide Tl_2O_3
P114	Thallium(I) selenite
P115	Thallium(I) sulfate
P109	Thiodiphosphoric acid, tetraethyl ester
P049	Thioimidodicarbonic diamide $[(H_2N)C(S)]_2NH$
P014	Thiophenol
P116	Thiosemicarbazide
P026	Thiourea, (2-chlorophenyl)-
P072	Thiourea, 1-naphthalenyl-
P093	Thiourea, phenyl-
P123	Toxaphene
P118	Trichloromethanethiol
P119	Vanadic acid, ammonium salt
P120	Vanadium oxide V_2O_5
P120	Vanadium pentoxide
P084	Vinylamine, N-methyl-N-nitroso-
P001	Warfarin and salts, when present at concentrations greater than 0.3%
P121	Zinc cyanide
P121	Zinc cyanide $Zn(CN)_2$

P122 Zinc phosphide Zn_3P_2, when present at concentrations greater than 10% (R,T)

Tablo B.4: Genel Zararlı Maddeler (U Listesi)

Zararlı Atık No.	Madde
U001	Acetaldehyde (I)
U034	Acetaldehyde, trichloro-
U187	Acetamide, N-(4-ethoxyphenyl)-
U005	Acetamide, N-9H-fluoren-2-yl-
U240	Acetic acid, (2,4-dichlorophenoxy)-, salts
U112	Acetic acid, ethyl ester (I)
U144	Acetic acid, lead (2+) salt
U214	Acetic acid, thallium (1+) salt
See F027	Acetic acid, (2,4,5 trichlorophenoxy)-
U002	Acetone (I)
U003	Acetonitrile (I, T)
U248	3-(alpha- Acetonylbenzyl)-4- hydroxycoumarin and salts, when present at concentrations of 0.3% or less
U004	Acetopheone
U005	2-Acetylaminofluorene
U006	Acetylchloride (C, R, T)
U007	Acrylamide
U008	Acrylic acid (I)
U009	Acrylonitrile
U011	Amitrole
U012	Aniline (I, T)
U136	Arsinic acid, dimethyl-
U014	Auramine
U015	Azaserine
U010	Azirino[2', 3': 3, 4] pyrrolo [1, 2'-a] indole-4, 7 dione, 6-amino-8-[[(aminocarbonyl) oxy] metyl] -1, 1a, 2, 8, 8a, 8b hexahydro-8a- methoxy-5-metyl-, (1aS-(1aalpha, 8 beta, 8aalpha, 8balpha)
U157	Benz[j]aceanthrylene, 1, 2-dihydro-3-methyl-
U016	Benz[j]acridine

U201	1,3-Benzenediol
U127	Benzene, hexachloro-
U056	Benzene, hexahydro-(I)
U220	Benzene, methyl-
U105	Benzene, 1-methyl-2, 4-dinitro
U106	Benzene, 2-methyl-1, 3-dinitro
U055	Benzene, 1-methylethyl-(I)
U169	Benzene, nitro
U183	Benzene, pentachloro-
U185	Benzene, pentachloronitro-
U020	Benzenesulfonic acid chloride (C,R)
U020	Benzenesulfonyl chloride (C,R)
U207	Benzene, 1,2,4,5-tetrachloro-
U061	Benzene, 1,1'-(2,2,2-trichloroethylidene)bis[4-chloro-
U247	Benzene, 1,1'-(2,2,2-trichloroethylidene)bis[4-methoxy-
U023	Benzene, (trichloromethyl)-(C,R,T)
U234	Benzene, 1,3,5-trinitro*-*
U021	Benzidine
U202	1,2-Benzisothiazol-3(2H)-one, 1,1-dioxide, & salts
U203	1,3-Benzodioxole, 5-(2-propenyl)-
U141	1,3-Benzodioxole, 5-(1-propenyl)-
U090	1,3-Benzodioxole, 5-propyl-
U064	Benzo[rst]pentaphene
U248	2H-1 1-Benzopyran-2-one, 4-hydroxy-3-(3-oxo-1-phenyl-butyl)-, & salts, when present at concentrations of 0.3% or less
U022	Benzo[a]pyrene
U197	p-Benzoquinone
U023	Benzotrichloride (C,R,T)
U085	2,2'-Bioxirane
U021	[1,1'-Biphenyl]-4,4'-diamine
U073	[1,1'-Biphenyl]-4,4'-diamine, 3,3'-dichloro-
U091	[1,1'-Biphenyl]-4,4'-diamine, 3,3'-dimethoxy-

U017	Benzal chloride
U192	Benzenamide, 3, 5-dichloro-N-(1, 1-dimetyl-2-propynyl)-
U018	Benz[a]anthracene
U094	Benz[a]anthracene, 7, 12-dimethyl-
U012	Benzenamine (I, T)
U014	Benzenamine,4, 4'-carbonimidoylbis [N, N- dimethyl-
U049	Benzenamine, 4-chloro-2-methyl-, hydrochloride
U093	Benzenamine, N, N- dimethyl-4-(phenylazo)-
U328	Benzenamine, 2-methyl-
U353	Benzenamine, 4-methyl-
U158	Benzenamine, 4, 4'-methylenebis,2-chloro-
U222	Benzenamine, 2-methyl-,hydrochloride
U181	Benzenamine, 2-methyl-5-nitro
U019	Benzene (I, T)
U038	Benzeneacetic acid, 4-chloro-alpha-(4-chlorophenyl)-alpha-hydroxy-, ethyl ester
U030	Benzene, 1-bromo-4-phenoxy-
U035	Benzenebutanoic acid, 4-[bis(2-chloroethyl)amino]-
U037	Benzene- chloro
U221	Benzenediamine, ar-methyl-
U028	1, 2-Benzenedicarboxylic acid, bis (2-ethylhexyl) ester
U069	1, 2-Benzenedicarboxylic acid, dibutyl ester
U088	1, 2-Benzenedicarboxylic acid, diethyl ester
U102	1, 2-Benzenedicarboxylic acid, dimethyl ester
U107	1, 2-Benzenedicarboxylic acid, dioctyl ester
U070	Benzene, 1, 2-dichloro-
U071	Benzene, 1, 3-dichloro-
U072	Benzene, 1, 4-dichloro-
U060	Benzene, 1, 1'-(2, 2-dichloroethylidene) bis(4-chloro-
U017	Benzene, (dichloromethyl)-
U223	Benzene, 1,3-diisocyanatomethyl-(R,T)
U239	Benzene, dimethyl-(I,T)

U095	[1,1'-Biphenyl]-4,4'-diamine, 3,3'-dimethyl-
U225	Bromoform
U030	4-Bromophenyl phenyl ether
U128	1,3-Butadiene, 1,1,2,3,4,4-hexachloro-
U172	1-Butanamine, N-butyl-N-nitroso-
U031	1-Butanol (I)
U159	2-Butanone (I,T)
U160	2-Butanone, peroxide (R,T)
U053	2-Butenal
U074	2-Butene, 1,4-dichloro- (I,T)
U143	2-Butenoic acid *[,2-methyl-,7-[[2,3-dihydroxy-2-(1-methoxyethyl)-3-methyl-1-oxobutoxy]methyl]-2,3,5,7a-tetrahydro-1H-pyrrolizin-1-yl ester, [1S-1 alpha (Z),7(2S*, 3R*), 7 aalpha)]-]*
U031	n-Butyl alcohol (I)
U136	Cacodylic acid
U032	Calcium chromate
U238	Carbamic acid, ethyl ester
U178	Carbamic acid, methylnitroso-, ethyl ester
U097	Carbamic chloride, dimethyl-
U114	Carbamodithioic acid, 1,2-ethanediylbis-, salts & esters
U062	Carbamothioic acid, bis(1-methylethyl)-, S-(2,3-dichloro-2-propenyl) ester
U215	Carbonic acid, dithallium(1+) salt
U033	Carbonic difluoride (R,T)
U156	Carbonochloridic acid, methyl ester (I,T)
U033	Carbon oxyfluoride (R,T)
U211	Carbon tetrachloride
U034	Chloral
U035	Chlorambucil
U036	Chlordane, alpha & gamma isomers
U026	Chlornaphazin

U037	Chlorobenzene
U038	Chlorobenzilate
U039	p-Chloro-m-cresol
U042	2-Chloroethyl vinyl ether
U044	Chloroform
U046	Chloromethyl methyl ether
U047	beta-Chloronaphthalene
U048	o-Chlorophenol
U049	4-Chloro-o-toluidine, hydrochloride
U032	Chromic acid H_2CrO_4, calcium salt
U050	Chrysene
U051	Creosote
U052	Cresol (Cresylic acid)
U053	Crotonaldehyde
U055	Cumene (I)
U246	Cyanogen bromide (CN)Br
U197	2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione
U056	Cyclohexane (I)
U129	Cyclohexane, 1,2,3,4,5,6-hexachloro-, (1alpha, 2alpha, 3beta, 4alpha, 5alpha, 6beta)-
U057	Cyclohexanone (I)
U130	1,3-Cyclopentadiene, 1,2,3,4,5,5- hexachloro-
U058	Cyclophosphamide
U240	2,4-D, salts & esters
U059	Daunomycin
U060	DDD
U061	DDT
U062	Diallate
U063	Dibenz[a,h]anthracene
U064	Dibenzo[a,i]pyrene
U066	1,2-Dibromo-3-chloropropane
U069	Dibutyl phthalate

U070	o-Dichlorobenzene
U071	m- Dichlorobenzene
U072	p- Dichlorobenzene
U073	3,3'- Dichlorobenzidine
U074	1,4- Dichloro-2-butene (I,T)
U075	Dichlorodifluoromethane
U078	1,1- Dichloroethylene
U079	1,2- Dichloroethylene
U025	Dichloroethyl ether
U027	Dichloroisopropyl ether
U024	Dichloromethoxy ethane
U081	2,4- Dichlorophenol
U082	2,6- Dichlorophenol
U084	1,3- Dichloropropene
U085	1,2:3,4-Diepoxybutane (I,T)
U108	1,4-Diethyleneoxide
U028	Diethylhexyl phthalate
U086	N,N'-Diethylhydrazine
U087	O,O-Diethyl S-methyl dithiophosphate
U088	Diethyl phthalate
U089	Diethylstilbesterol
U090	Dihydrosafrole
U091	3,3'-Dimethoxybenzidine
U092	Dimethylamine (I)
U093	p-Dimethylaminoazobenzene
U094	7,12-Dimethylbenz[a]anthracene
U095	3,3'-Dimethylbenzidine
U096	alpha,alpha-Dimethylbenzylhydro- peroxide (R)
U097	Dimethylcarbomoyl chloride
U098	1,1- Dimethylhydrazine
U099	1,2- Dimethylhydrazine
U101	2,4- Dimethylphenol

U102	Dimethyl phthalate
U103	Dimethyl sulfate
U105	2,4-Dinitrotoluene
U106	2,6-Dinitrotoluene
U107	Di-n-octyl phthalate
U108	1,4-Dioxane
U109	1,2-Diphenylhydrazine
U110	Dipropylamine (I)
U111	Di-n-propylnitrosamine
U041	Epichlorohydrin
U001	Ethanal (I)
U174	Ethanamine, N-ethyl-N-nitroso-
U155	1,2-Ethanediamine, N,N-dimethyl-N''-2- pyridinyl-N'-(2-thienylmethyl)-
U067	Ethane, 1,2-dibromo-
U076	Ethane, 1,1-dichloro-
U077	Ethane, 1,2-dichloro-
U131	Ethane, hexachloro-
U024	Ethane, 1,1'-[methylenebis(oxy)]bis[2- chloro-
U117	Ethane, 1,1'-oxybis-(I)
U025	Ethane, 1,1'-oxybis[2-chloro-
U184	Ethane, pentachloro-
U208	Ethane, 1,1,1,2-tetrachloro-
U209	Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-
U218	Ethanethioamide
U226	Ethane, 1,1,1-trichloro-
U227	Ethane, 1,1,2-trichloro-
U359	Ethanol, 2-ethoxy-
U173	Ethanol, 2,2-(nitrosoimino)bis-
U004	Ethanone, 1-phenyl-
U043	Ethene, chloro-

U042	Ethene, (2-chloroethoxy)-
U078	Ethene, 1,1-dichloro-
U079	Ethene, 1,2-dichloro-, (E)
U210	Ethene, tetrachloro-
U228	Ethene, trichloro-
U112	Ethyl acetate (I)
U113	Ethyl acrylate (I)
U238	Ethyl carbamete (urethane)
U117	Ethyl ether (I)
U114	Ethylenebisdithiocarbamic acid, salts and esters
U067	Ethylene dibromide
U077	Ethylene dichloride
U359	Ethylene glycol monoethyl ether
U115	Ethylene oxide (I,T)
U116	Ethylenethiourea
U076	Ethylidene dichloride
U118	Ethyl methacrylate
U119	Ethyl methanesulfonate
U120	Fluoranthene
U122	Formaldehyde
U123	Formic acid (C,T)
U124	Furan (I)
U125	2-Furancarboxaldehyde (I)
U147	2,5-Furandione

U213	Furan, tetrahydro- (I)
U125	Furfural (I)
U124	Furfuan (I)
U206	Glucopyranose, 2-deoxy-2-(3-methyl-3-nitrosureido)-D-
U206	D-Glucose, 2-deoxy-2-[[(methyl-nitrosoamino)carbonyl]amino]-
U126	Glycidylaldehyde
U163	Guanidine, N-methyl-N-nitro-N-nitroso-
U127	Hexachlorobenzene
U128	Hexachlorobutadiene
U130	Hexachlorocyclopentadiene
U131	Hexachloroethane
U132	Hexachlorophene
U243	Hexachloropropene
U133	Hydrazine (R,T)
U086	Hydrazine, 1,2-diethyl-
U098	Hydrazine, 1,1-dimethyl-
U099	Hydrazine, 1,2-dimethyl-
U109	Hydrazine, 1,2-diphenyl-
U134	Hydrofluoric acid (C,T)
U134	Hydrogen fluoride (C,T)
U135	Hydrogen sulfide
U135	Hydrogen sulfide H_2S
U096	Hydroperoxide, 1-methyl-1-phenylethyl- (R)
U116	2-Imidazolidinethione

U137	Indeno(1,2,3-cd)pyrene
U190	1,3-Isobenzofurandione
U140	Isobutyl alcohol (I,T)
U141	Isosafrole
U142	Kepone
U143	Lasiocarpine
U144	Lead acetate
U146	Lead, bis(acetato-O)tetrahydroxytri-
U145	Lead phosphate
U146	Lead subtate
U129	Lindane
U163	MNNG
U147	Maleic anhydride
U148	Maleic hydrazide
U149	Malononitrile
U150	Melphalan
U151	Mercury
U152	Methacrylonitrile (I,T)
U092	Methanamine, N-methyl- (I)
U029	Methane, bromo-
U045	Methane, chloro- (I,T)
U046	Methane, chloromethoxy-
U068	Methane, dibromo-
U080	Methane, dichloro-

U075	Methane, dichlorodifluoro-
U138	Methane, iodo-
U119	Methanesulfonic acid, ethyl ester
U211	Methane, tetrachloro-
U153	Methanethiol (I,T)
U225	Methane, tribromo-
U044	Methane, trichloro-
U121	Methane, trichlorofluoro-
U036	4-7-Methano-1H-indene, 1,2,4,5,6,7,8,8-octachloro-2,3,3a4,7,7a-hexahydro-
U154	Methanol
U155	Methapyrilene
U142	1,3,4-Metheno-2H-cyclobuta[cd]pentalen-2-one, 1,1a,3,3a,4,5,5,5a,5b,6-decachlorooctahydro-
U247	Methoxychlor
U154	Methyl alcohol (I)
U029	Methyl bromide
U186	1-Methylbutadiene (I)
U045	Methyl chloride (I,T)
U156	Methyl chlorocarbonate (I,T)
U226	Methyl chloroform
U157	3-Methycholanthrene
U158	4,4'-Methylenebis(2-chloroaniline)
U068	Methylene bromide

U080	Methylene chloride
U159	Methyl ethyl ketone (MEK) (I,T)
U160	Methyl ethyl ketone peroxide (R,T)
U138	Methyl iodide
U161	Methyl isobutyl ketone (I)
U162	Methyl methacrylate (I,T)
U161	4-Methyl-2-pentanone (I)
U164	Methylthiouracil
U010	Mitomycin C
U059	5,12-Naphthaacenedione, 8-acetyl-10-[(3-amino-2,3,6-trideoxy)-alpha-L-lyxo- hexopyranosyl)oxy]-7,8,9,10-tetrahydro- 6,8,11-trihydroxy-1-methoxy-,(8S-cis)-
U167	1-Naphthalenamine
U168	2-Naphthalenamine
U026	Naphthalenamine,N,N-bis(2-chloroethyl)-
U165	Naphthalene
U047	Naphthalene,2-chloro-
U166	1,4-Naphthalenedione
U236	2,7-Naphthalenedisulfonic acid 3,3'-[(3,3'dimethyl[1,1'-bipehnyl]-4,4'diyl)-bis(azo)bis[5-amino-4-hydroxy]-, tetrasodium salt
U166	1,4-Naphthoquinone
U167	alpha-Naphthalamine
U168	beta-Naphthalamine
U217	Nitric acid, thallium (1+) salt

U169	Nitrobenzene (I,T)
U170	p-Nitrophenol
U171	2-Nitropropanel (I,T)
U172	N-Nitrosodi-n-butylamine
U173	N-Nitrosodiethanolamine
U174	N-Nitrosodiethylamine
U176	N-Nitroso-N-ethylurea
U177	N-Nitroso-N-methylurea
U178	N-Nitroso-N-methylureyhane
U179	N-Nitrosopiperidine
U180	N-Nitrosopyrrolidine
U193	1,2-Oxathiolane,2,2-dioxide
U058	2h-1,3,2-Oxazaphosphorin-2-amin,N,N-bis(2-chloroethyl)tetrahydro-2,oxide
U115	Oxirane (I,T)
U126	Oxiranecarboxyaldehyde
U041	Oxirane,(chloromethyl)
U182	Paraldehyde
U183	Pentachlorobenzene
U184	Pentachloroethane
U185	Pentachloronitrobenzene (PCNB)
See F027	Pentachlorophenol
U161	2-Pentanone,4-methyl-
U186	1,3-Pentadiene (I)

U187	Phenacetin
U188	Phenol
U048	Phenol,2-chloro-
U039	Phenol,4-chloro-3-methyl-
U081	Phenol,2,4-dichloro-
U082	Phenol,2,6-dichloro-
U089	Phenol,4,4'-(1,2-diethyl-1,2- ethenediyl)bis-, (E)-.
U101	Phenol,2,4-dimethyl-
U052	Phenol, methyl-
U132	Phenol, 2,2'methylenebis(3,4,6- trichloro)-
U170	Phenol, 4-nitro-
See F027	Phenol, pentachloro-
See F027	Phenol, 2,3,4,6-tetrachloro-
See F027	Phenol, 2,4,5-trichloro-
See F027	Phenol, 2,4,6-trichloro-
U150	L-Phenylalanine, 4-[bis(2- chloroethyl)amino]-
U145	Phosphoric acid, lead(2+) salt (2:3)
U087	Phosphorodithioic acid, 0,0-diethyl S- methyl ester
U189	Phosphorus sulfide (R)
U190	Phthalic anhydride
U191	2-Picoline
U179	Piperidine, 1-nitroso-
U192	Pronamide
U194	1-Propanamine (I,T)

U111	1-Propanamine,N-nitroso-N-propyl
U110	1-Propanamine, N-propyl-(I)
U066	Propane,1,2-dibromo-3-chloro
U083	Propane,1,2-dichloro-
U149	Propanedinitrile
U171	Propane, 2-nitro-(I,T)
U027	Propane, 2,2'-oxybis[2-chloro-
U193	1,3 Propane sultone
See F027	Propanoic acid, 2-(2,4,5- trichlorophenoxy)-
U235	1-Propanol, 2,3-dibromo-, phosphate (3:1)
U140	1-Propanol, 2-methyl-(I,T)
U002	2-Propanone (I)
U007	2-Propenamide
U084	1-Propene, 1,3-dichloro-
U243	1-Propene, 1,1,2,3,3,3-hexachloro-
U009	2-Propenenitrile
U152	2-Propenenitrile, 2-methyl- (I,T)
U008	2-Propenoic acid (I)
U113	2-Propenoic acid, ethyl ester (I)
U118	2-Propenoic acid, 2-methyl-, ethyl ester (I)
U162	2-Propenoic acid, 2-methyl-, methyl ester (I,T)
See F027	Propionic acid 2-(2,4,5-trichlorophenoxy) (Silvex)
U194	n-Propylamine(I,T)
U083	Propylene dichloride

U148	3,6-Pyridazinedione, 1,2-dihydro-
U196	Pyridine
U191	Pyridine, 2-methyl-
U237	2,4-(1H, 3H)-Pyrimidinedione,5-[bis(2- chloroethyl)amino]
U164	4(1H)-Pyrimidinedione,2,3-dihydro-6-methyl-2-thioxo-
U180	Pyrrolidine, 1-nitroso-
U200	Reserpine
U201	Resorcinol
U202	Saccharin,& salts
U203	Safrole
U204	Selenious acid
U204	Selenium dioxide
U205	Selenium sulfide
U205	Selenium sulfide SeS_2,(R,T)
U015	L-Serine, diazoacetate (ester)
See F027	Silvex (2,4,5-TP)
U206	Streptozotocin
U103	Sulfuric acid, dimethyl ester
U189	Sulfur phosphide (R)
See F027	2,4,5-T
U207	1,2,4,5-Tetrachlorobenzene
U208	1,1,1,2-Tetrachloroethane
U209	1,1,2,2-Tetrachloroethane

U210	Tetrachloroethylene
See F027	2,3,4,6-Tetrachlorophenol
U213	Tetrahydrofuran (I)
U214	Thallium (I) acetate
U215	Thallium (I) carbonate
U216	Thallium (I) chloride
U216	Thallium chloride T1C1
U217	Thallium (I) nitrate
U218	Thioacetamide
U153	Thiomethanol (I,T)
U244	Thioperoxydicarbonic diamide $[(H_2\ n)C(S)]_2S_2$, tetramethyl-
U219	Thiourea
U244	Thiram
U220	Toluene
U221	Toluenediamine
U223	Toluene diisocyanate (R,T)
U328	o-Toluidine
U353	p-Toluidine
U222	o-Toluidine hydrochloride
U011	1H-1,2,4-Triazol-3-amine
U227	1,1,2-Trichloroethane
U228	Trichloroethylene
U121	Trichloromonofluoromethane
See F027	2,4,5-Trichlorophenol

ÖZGEÇMİŞ

Selnur UÇAROĞLU, 1969 yılında İzmir'de doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini İzmir'de tamamladıktan sonra, 1986 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başlamış ve 1990 yılında aynı bölümden mezun olmuştur. Aynı yıl Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans programına başlamış ve 1993 yılında Yüksek Mühendis ünvanı almıştır.1996 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği doktora programına kaydolmuştur.

1993 yılından itibaren sırasıyla Çevre Bakanlığı, İzmir Çevre İl Müdürlüğü'nde Çevre Mühendisi olarak, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak ve Döktaş Dökümcülük San. ve Tic. A.Ş., Kalite Müdürlüğü'nde Çevre Mühendisi olarak çalıştıktan sonra. 1998 yılında Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Halen bu görevini sürdürmekte olan Selnur UÇAROĞLU evli ve bir çocuk sahibidir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ