



**T.C.
ÇEVRE VE ORMAN BAKANLIĞI
ÇEVRE YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**METALİK MADEN ZENGİNLEŞTİRME TESİSLERİNİN
PROSES ATIKLARININ ATIK BARAJLARINDA
DEPOLANMASI**

UZMANLIK TEZİ

Erdoğan KARACA

Nisan 2010

ANKARA



T.C.
ÇEVRE VE ORMAN BAKANLIĞI
ÇEVRE YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

METALİK MADEN ZENGİNLEŞTİRME TESİSLERİNİN
PROSES ATIKLARININ ATIK BARAJLARINDA
DEPOLANMASI

UZMANLIK TEZİ
Erdoğan KARACA

Nisan 2010

ANKARA

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü'nce yürütülmekte olan atık yönetimi çalışmalarına katkı sağlaması dileğiyle,

Başta Bilal DİKMEN ve Orhan KOÇHAN olmak üzere desteklerini esirgemeyen şube arkadaşlarıma,

Oğlum Deniz'e ve sevgili eşime,

Tüm yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

İyiki varsınız.

Nisan 2010

Erdoğan KARACA

Çevre ve Orman Uzman Yardımcısı

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
1. GİRİŞ	1
2. CEVHER ZENGİNLEŞTİRME	3
2.1. Cevher Zenginleştirme Yöntemleri	3
2.1.1. Ayıklama İle Zenginleştirme	3
2.1.2. Gravite (Özgül Ağırlık Farkı) İle Zenginleştirme	4
2.1.2.1. Ağır Ortam İle Zenginleştirme	4
2.1.2.2. Sallantılı Masa İle Zenginleştirme	5
2.1.2.3. Jig İle Zenginleştirme	6
2.1.3. Manyetik Ayırma İle Zenginleştirme	6
2.1.4. Elektrostatik (Yüksek Gerilim) Zenginleştirme	6
2.1.5. Flotasyon İle Zenginleştirme	7
2.1.5.1. Flotasyonun Temel Prensipleri	7
2.1.5.2. Flotasyon Reaktifleri	8
2.1.6. Kimyasal Zenginleştirme	8
2.2. Cevher Zenginleştirme Atıkları	9
2.2.1. Cevher Zenginleştirme Atıkların Yapısı	10
2.2.2. Cevher Zenginleştirme Atıklarının Karakteristikleri	11
2.3. Atıkların Taşınması	12
2.4. Atık Barajları İle İlgili Mevzuat	12
2.4.1. Dünyada Atık Barajları İle İlgili Mevzuat	12
2.4.2. Avrupa Birliği'nde Atık Barajları İle İlgili Mevzuat	15
2.4.3. Türkiye'de Atık Barajları İle İlgili Mevzuat	16
2.5. Türkiye'de Cevher Zenginleştirme Tesisleri ve Atıkları	18
2.5.1. Cevher Zenginleştirme Tesisleri ve Atıkları Envanteri	18
2.5.1.1. Envanter Çalışması İle Yapılan Tespitler	23
2.5.2. Cevher Zenginleştirme Tesisleri ve Atıkları İncelemeleri	24
2.5.2.1. Lahanos Atık Barajlarının Genel Durumu	24
2.5.2.2. Zamantı Madencilik Çinko-Kurşun-Bakır Flotasyon Atıkları	27
2.5.2.3. Çayeli Bakır İşletmeleri	29
2.5.2.4. Divriği Erdemir Madencilik	30
2.5.2.5. Eti Gümüş Atık Barajları	30
2.5.2.6. Özdemir Antimuan Zenginleştirme Atıkları	32
2.5.2.7. Eti Bakır Zenginleştirme Atıkları	33
3. DEPOLAMA YÖNTEMLERİ	35
3.1. Atık Barajlarının Tarihçesi	35
3.2. Yer Altı Depolaması	37
3.2.1. Yer Altı Ocaklarında Kullanılan Dolgu Tipleri	37

3.2.1.1. Macun Dolgu	38
3.2.1.2. Hidrolik Kum Dolgusu.....	38
3.2.1.3.Çimentolu Dolgu	38
3.2.1.4.Kuru Kaya Dolgusu	38
3.2.2. Yer Altı Depolamasının Avantaj ve Dezavantajları	39
3.2.3. Yer Altı Dolgusu İle İlgili Problemler	40
3.3. Yüze Depolama Yöntemleri/ Atık Barajları	41
3.3.1. Birleşik Bertaraf	42
3.3.2. Atık Barajı Türleri	43
3.3.2.1. Halka Şekilli Atık Barajları.....	43
3.3.2.2. Vadi Tipi Atık Barajları	44
3.3.2.3. Çukur Tipi Atık Depolama	47
3.3.3. Atık Barajı İnşa Yöntemleri.....	48
3.3.3.1. Tutma Tipi Atık Barajları.....	48
3.3.3.2. Yükselen Set Atık Barajları.....	49
3.3.3.2.1. Akış Yukarı Yükselen Set Tipi Yükseltme	49
3.3.3.2.2. Akış Aşağı Yükselen Set Tipi Yükseltme.....	52
3.3.3.2.3. Merkezden Yukarı Doğru Yükselen Set	54
3.3.3.3. Depolama Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	56
3.3.4. Atık Barajlarının Dizaynı.....	61
3.3.4.1 Dizayn Konsepti	61
3.3.4.2. Dizayn Değişkenleri	63
3.3.4.2.1. Atık Spesifik Faktörler	63
3.3.4.2.2. Saha Spesifik Faktörler	68
3.3.4.3. Sızıntı Kontrolü	75
3.3.4.3.1. Geçirimsizlik Tabakaları	75
3.3.4.3.2. Geçirimsizlik Tabakaları Uygulamaları	78
3.3.5. Atık Barajlarının Kapatılması	79
3.3.5.1. Kapanma Hedefleri ve Kriterleri	80
3.3.5.2. Kapanma Teknolojileri	81
3.3.6. Atık Barajlarında Yaşanan Kazalar	83
3.3.6.1. Temel Yenilmesi.....	84
3.3.6.2. Dairesel Kayma	84
3.3.6.3. Taşma.....	85
3.3.6.4. Erozyon	85
3.3.6.5. Borulanma	85
3.3.6.6. Sıvılaşma	86
3.3.7. Mevcut En İyi Teknikler.....	92
3.3.7.1. Asidik Maden Drenajı (AMD) Yönetimi	92
3.3.7.2. Sızıntı Kontrolünde Mevcut En İyi Teknikler.....	92
3.3.7.3. Atık Barajı Dizaynında Mevcut En İyi Teknikler	93
3.3.7.4. Atık Barajı İnşasında Mevcut En İyi Teknikler	93
3.3.7.5. Atık Barajı Yükseltmelerinde Mevcut En İyi Teknikler.....	94
3.3.7.6. Atık Barajı İşletmesine Mevcut En İyi Teknikler	94
3.3.7.7. Serbest Suyun Alınmasında Mevcut En İyi Teknikler	95
3.3.7.8. Atık Suzuştırmasında Mevcut En İyi Teknikler.....	95
3.3.7.9. Cevher Atıklarının Yönetiminde Mevcut En İyi Teknikler	95
3.3.7.10. Cevher Zenginleştirme Atıkları Yönetim Tesislerinin İşletilmesi ..	96
3.3.7.11. Stabilitenin İzlenmesinde Mevcut En İyi Teknikler	96
3.3.7.12. Kaza Önlemede Mevcut En İyi Teknikler.....	97

3.3.7.13. Ayak İzlerinin Azaltılmasında Mevcut En İyi Teknikler.....	97
3.3.7.14. Kapatma ve Kapatma Sonrası Mevcut En İyi Teknikler	98
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR.....	103
EKLER.....	107

KISALTMALAR

AA	: Akış Yukarı Yükselen Set Tipi
ADT	: Atık Depolama Tesisi
AG	: Avusturya Hükümeti
AK/EC	: Avrupa Komisyonu
AMD	: Asitli Maden Drenajı/Asidik Kaya Drenajı
AY	: Akış Yukarı Yükselen Set Tipi
CANMET	: Kanada Maden Derneği
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirmesi
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EPDM	: Ethylene Propylene diene Monomer
ICOLD	: Büyük Barajlar Uluslararası Komisyonu
k	: Geçirimsizlik/geçirgenlik
K	: Karışık Tip Yükseltme
MİGEM	: Maden İşleri Genel Müdürlüğü
MY	: Merkezden Yukarı Yükselen Set Tipi
MYD	: Merkezde Yoğunlaştırılmış Deşarj
TAKY	: Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
USCOLD	: Amerika Birleşik Devletleri Büyük Barajlar Komisyonu
USEPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
VAD	: Vadi Aşağı Deşarj

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 : Cevher Zenginleştirme Atıklarının Taşınması	12
Şekil 2.2 : Metalik Cevher Zenginleştirme Tesislerinin Oranları	20
Şekil 2.3 : Metalik Cevher Zenginleştirme Tesisleri Proses Atıkları Dağılımı	21
Şekil 2.4 : Proses Atıklarının Bertarafı.....	22
Şekil 2.5 : Lahonos Eski Atık Barajı.....	26
Şekil 2.6 : Lahonos Kullanılan Atık Barajı.....	27
Şekil 2.7 : Zamantı Madencilik Atık Barajları.....	28
Şekil 2.8 : Karışım Tankı.....	29
Şekil 2.9 : Erdemir Madencilik Atık Havuzu	30
Şekil 2.10 : Eti Gümüş Halka Şekilli Atık Barajları Maketi	31
Şekil 2.11 : Eti Gümüş Halka Şekilli Atık Barajları	32
Şekil 2.12 : Lepiskür Dereden Kabaca Dereye Suyla Taşınmış Pasa ve Atıklar	34
Şekil 3.1 : Cevher Zenginleştirme Atıklarının Yönetimi Tarihsel Gelişimi.....	37
Şekil 3.2 : Yer Altı Atık Depolaması	40
Şekil 3.3 : Halka Şekilli Depolama Tesisi	44
Şekil 3.4 : Vadi Tabanının Eğimi Yönüne Dik Atık Barajı Görünümü	45
Şekil 3.5 : Vadi Tabanının Eğimi Yönüne Paralel Atık Barajı Görünümü	46
Şekil 3.6 : Çukur Tipi Atık Barajı.....	47
Şekil 3.7 : Tutma Tipi Atık Barajı	49
Şekil 3.8 : Akış Yukarı Yükselen Set Tipi Dizayn	51
Şekil 3.9 : Akış Aşağı Yükselen Set tipi Dizayn	53
Şekil 3.10 : Merkezden Yukarı Doğru Yükselen Set Tipi Yükseltme	55
Şekil 3.11 : Atık Barajında Yer Altı Suyu Seviyesi.....	62
Şekil 3.12 : Atık Barajlarındaki Kazaların Ülkelere Göre Dağılımı	87
Şekil 3.13 : Atık Barajlarındaki Kazaların Baraj Yüksekliğine Göre Dağılımı	88
Şekil 3.14 : Atık Barajlarındaki Vaka Nedenlerinin Dağılımı	89
Şekil 3.15 : Dünyada Atık Baraj İnşaat Yönetemlerine Göre Vaka Dağılımı.....	90
Şekil 3.16 : Avrupada Atık Baraj İnşaat Yönetemlerine Göre Vaka Dağılımı.....	90
Şekil 3.17 : Atık Barajı Kazalarının Su Tutma Barajı Kazaları Karşılaştırması.....	91

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1:	İşlenen Cevhere Göre Cevher Zenginleştirme Sayıları	19
Tablo 2.2:	İşlenen Cevhere Göre Oluşan Proses Atığı Miktarı	21
Tablo 2.3:	Proses Atıklarının Bertarafı.....	22
Tablo 3.1:	Atık Barajı İnşa Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	57
Tablo 3.2:	Atık Bertaraf Yöntemlerinin Karşılaştırılması	58
Tablo 3.3:	Kapama Dizayn Kriterleri.....	81

METALİK MADEN ZENGİNLEŞTİRME TESİSLERİNİN PROSES ATIKLARININ ATIK BARAJLARINDA DEPOLANMASI

ÖZET

Türkiye’de sayısı atmışı aşan sayıda metalik madenlerin zenginleştirildiği tesislerden yıllık olarak 21 milyon ton civarında atık ortaya çıkmaktadır. Zenginleştirme tesislerinden kaynaklı atıklar genellikle atık barajlarında depolanarak bertaraf edilmektedir. Atık barajlarında yapılan atık depolama ile hem yüksek miktarda kullanılan suyun zenginleştirme tesislerine geri döngüsü sağlanabildiği gibi metal fiyatlarında meydana gelebilecek yükselme ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak depolanmış atıkların içinde bulunan metallerin tekrar kullanılması olanağı ortaya çıkabilecektir. Bununla birlikte, yüksek miktarda atığın ortaya çıktığı bu alanda inşa edilen atık barajları da ebat olarak büyük atık bertaraf tesisleri olmaktadır. Ayrıca, atık barajlarında günümüze kadar ortaya çıkan kötü tecrübeler söz konusu tesislerin güvenliğinin önemini arttırmıştır. Ülkemizde maden atıklarının yönetimi ile ilgili bir yönetmeliği veya benzer bir düzenlemenin yürürlüğe girmesi ile birlikte şu ana kadar atıklarını mevzuata uygun olarak bertaraf etmeyen faaliyet sahipleri, cevher zenginleştirme tesislerinden kaynaklı atıkların bertarafı amacıyla söz konusu tesislerin inşasına yönelecektir. Bu da söz konusu tesislerin sayılarının artması ve daha dikkatli bir şekilde inşası, izlenmesi ve denetlenmesi anlamına gelmektedir. Bu tez çalışması ile bu hususlara dikkat çekilmekte ve atık barajlarının inşası, izlenmesi ve denetlenmesi hususlarında öneriler getirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Cevher zenginleştirme, atık, cevher zenginleştirme atığı, atık barajı.

1. GİRİŞ

Türkiye üretilen madensel kaynak çeşitliliği açısından 152 ülke arasında 29 maden türünde yapılan üretim ile 10. sırada yer almaktadır. Maden İşleri Genel Müdürlüğü'nün 31.12.2009 tarihli verilerine göre; ülkemizde şu ana kadar arama, ön işletme ve işletmede olmak üzere 44.342 adet maden ruhsatı verilmiş olup, bunların 10.779 adedinde işletme yapılmaktadır (MİGEM, 2009). 3213 Sayılı Maden Kanunu'na göre; Altın, Gümüş, Platin, Bakır, Kurşun, Çinko, Demir, Pirit, Manganez, Potasyum, Lityum, Kalsiyum, Magnezyum, Zeolit, Pomza, Perlit, Obsidyen, Grafit, Kükürt ve Kömür IV. Grup olarak adlandırılan madenler arasında yer almakta olup, bu alanda 682 adet işletme ruhsatı verilmiştir. Söz konusu rakamlar ülkemizin maden çeşitliliği, miktarı açısından zenginliğini ve madencilik sektörünün aktif durumunu göstermektedir.

Ocaktan çıkarıldığı biçimiyle kullanılabilen cevher sayısı pek azdır. Çoğu kez cevheri satışa ve kullanıma hazır duruma getirmek için özel işlemlerden geçirmek gerekir. Bu işlemler, cevher işleme ya da cevher zenginleştirme olarak adlandırılmaktadır. İlk yapılacak iş, bileşimindeki değişik mineralleri birbirinden ayırmak için, kırma makineleriyle ya da öğütücülerle cevheri parçalamaktır. Daha sonra mineraller; tane iriliği, biçim, renk, yoğunluk, miktatsızlık ve kimyasal etkinlik gibi değişik özelliklerine dayanarak ayrı ayrı gruplandırılmaktadır.

Ülkemizde ruhsat verilen maden alanlarının sayısı tespit edilebilirken bu husus cevher zenginleştirme tesisleri için geçerli değildir. Bu nedenle; 2008 yılı Ekim ayı içerisinde söz konusu cevher zenginleştirme tesislerinin neler olduğu, hangi cevherin işlendiği, cevher işleme kapasitesi, kullanılan kimyasallar, oluşan atık miktarı ve proses atıklarının bertaraf yöntemlerini içeren bir envanter formu düzenlenerek, Çevre ve Orman İl Müdürlüklerine iletilmiştir. 81 ilden gelen cevabi yazıları göre; ülke genelinde 91 adet zenginleştirme tesisi bulunmaktadır. Söz konusu çalışma kapsamında metalik cevher, endüstriyel ve enerji hammaddeleri cevher zenginleştirme tesislerinden 26 milyon tonun üzerinde atık ortaya çıktığı tespit

edilmiştir. Söz konusu envanter formu çok sağlıklı veriler içermemesine rağmen, bu alanda yapılmış olan ilk çalışma olması açısından oldukça önemlidir.

Zenginleştirme tesislerinden kaynaklı atıklar genellikle atık barajlarında depolanarak bertaraf edilmektedir. Atık barajlarında yapılan atık depolama ile yüksek miktarda kullanılan suyun zenginleştirme tesislerine geri döngüsü sağlanabildiği gibi metal fiyatlarında meydana gelebilecek yükselme ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak depolanmış atıkların içinde bulunan metallerin tekrar kullanılması olanağı ortaya çıkabilecektir. Bununla birlikte, yüksek miktarda atığın ortaya çıktığı bu alanda inşa edilen atık barajları da ebat olarak büyük atık bertaraf tesisleri olmaktadır. Ayrıca, atık barajlarında günümüze kadar ortaya çıkan kötü tecrübeler söz konusu tesislerin güvenliğinin önemini arttırmıştır. Ülkemizde maden atıklarının yönetimi ile ilgili bir yönetmeliği veya benzer bir düzenlemenin yürürlüğe girmesi ile birlikte şu ana kadar atıklarını mevzuata uygun olarak bertaraf etmeyen faaliyet sahipleri, cevher zenginleştirme tesislerinden kaynaklı atıkların bertarafı amacıyla söz konusu tesislerin inşasına yönelecektir. Bu da söz konusu tesislerin sayılarının artması ve daha dikkatli bir şekilde inşası, izlenmesi ve denetlenmesi anlamına gelmektedir. Söz konusu tez çalışması ile metalik madenlerin zenginleştirilmesi sonucu ortaya çıkan atıkların atık barajlarında bertarafı ile ilgili yukarıda belirtilen hususlara dikkat çekilerek öneriler getirilecektir.

2. CEVHER ZENGİNLEŞTİRME

Minerallerin birbirlerinden ayrılabilmesi için, aralarında fiziksel, kimyasal veya fiziko-kimyasal özellikleri açısından farklılıklar olmalıdır. Kayaçların oluşum biçimleri ve kimyasal bileşimleri bu farklılaşmanın temelini teşkil eder.

Zenginleştirme yöntemleri, bu farklılıklardan yararlanma esasına dayanmaktadır. Minerallerin sahip oldukları fiziksel özellikler; sertlik, gevreklik, yapı ve kırılış şekli, renk ve parlaklık, özgül ağırlık, manyetik duyarlık, elektrik iletkenliği, fluoresans ve fosforesans ve radyoaktivite olarak sıralanabilir. Zenginleştirmede önemli olan kimyasal özellikler ısı ve farklı çözünürlük özellikleri iken, fiziko-kimyasal farklılıkları yüzey ve arayüzey özellikleri belirlemektedir. Herhangi bir cevher için bu farklılıklardan ancak bir kısmı geçerli olup, zenginleştirme yönteminin seçiminden önce hassasiyetle belirlenmeleri gerekir.

Zenginleştirme yöntemi, cevherin içerdiği minerallerin cinsine, fiziksel, kimyasal, fiziko-kimyasal özelliklerindeki farklılıklara ve boyut dağılımlarına (hangi boyutta serbest hale geçtiklerine) bağlı olarak seçilir. Yöntemin seçimi öncesinde, cevher numuneleri üzerinde cevherin içerdiği minerallerin tespitine ve tanımlanmasına, bu minerallerin özelliklerinin saptanmasına, zenginleştirmede esas alınacak farklılıkların belirlenmesine ve uygun serbestleşme tane boyutunun tespit edilmesine yönelik mineralojik ve kimyasal analizlerin yapılması zorunludur.

2.1. Cevher Zenginleştirme Yöntemleri

2.1.1. Ayıklama İle Zenginleştirme

Muhtemelen, madencilerin cevher zenginleştirmede kullandıkları ilk yöntemdir. Tek tek cevher tanelerinin değerlendirilmesini ve daha fazla işleme gerek olmaksızın ayrılmalarını içerir. Zengin ve iri boyutta serbest olan cevherlere uygulanan yöntem, günümüzde artık bu tip cevherlerin iyice azalması nedeniyle önemini yitirmiş olmasına karşın, nadiren de olsa hala, bilhassa ön zenginleştirme amacıyla kullanılmaktadır.

Ayıklama ile zenginleştirmede, minerallerin renk, parlaklık, floresans, iletkenlik, radyoaktivite, manyetizma, özgül ağırlık ve x-ışınları difraksiyonu gibi özelliklerindeki farklılıklardan yararlanılmaktadır. Ayıklama ile zenginleştirme iki amaca yönelik olarak uygulanmaktadır. Bunlar, doğrudan zenginleştirme ve esas zenginleştirme öncesinde gang minerallerini uzaklaştırarak kapasiteyi arttırmaya yardımcı kısmi zenginleştirmedir (Karadeniz, 1997).

2.1.2. Gravite (Özgül Ağırlık Farkı) İle Zenginleştirme

İri boyutlu mineral tanelerinin, akışkan bir ortam içinde özgül ağırlık farkları nedeni ile birbirlerinden ayrılması ile gerçekleştirilen zenginleştirmeye “gravite zenginleştirmesi” denir.

Minerallerin özgül ağırlıklarının farklılığı, zenginleştirme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan özelliklerden biridir. Özgül ağırlıkları farklı olan mineral taneleri akışkan ortamda aynı hızla çökelmezler. Bu farklılıktan yararlanılarak birbirlerinden ayrılmaları mümkün olmaktadır.

Akışkan ortamda, tane hızını belirleyen tek faktör tanelerin özgül ağırlığı değildir. Minerallerin şekli, tane büyüklüğü, akışkan ortamın akış rejimi, viskozitesi ve özgül ağırlığı kullanılan cihaza bağlı olmayan, ama ayırım etkinliği üzerinde rolü olan faktörlerdendir. Kullanılan cihazın yapısı ve çalışma biçimi de performansı etkiler.

Akışkan ortam genellikle su olmakla birlikte hava veya sudan ağır bir akışkan da kullanılabilir.

Durgun ortam, düşey hareketli ortam, tabaka halinde akan akışkan ortam olmak üzere gravite zenginleştirmesi üç türlü akışkan ortamda gerçekleştirilir (Karadeniz, 1997).

2.1.2.1. Ağır Ortam İle Zenginleştirme

İri boyutlu mineral tanelerinin aralarındaki özgül ağırlık farklılığına dayanılarak ağır bir akışkan ortam içinde yüzme-batma yoluyla birbirlerinden ayrılması ile gerçekleştirilen zenginleştirme işlemine **ağır ortam** veya **ağır sıvı** veya **yüzdürme-batırma yoluyla zenginleştirme** denir. Ağır ortam ayırması ile zenginleştirme yönteminin uygulanabilmesi için, ayrılacak mineraller arasında en az 0.1 g/cm^3 özgül ağırlık farkı olması ve ayırmayı etkileyecek ölçüde gözeneklilik olmaması gerekir. Endüstriyel uygulama 4 işlem kademesi içermektedir.

- Beslenecek cevherin uygun şekilde hazırlanması,
- Ağır ortam içeren ayırıcı aygıtta yüzen ve batan ürünlerin ayrılması,
- Yüzen ve batan ürünlerin ayrı ayrı alınması ve ürünlerle birlikte gelen ağır ortamın uzaklaştırılması,
- Temizleme, ayarlama ve ayarlanmış ağır ortamın tekrar ayırıcı aygıtta döndürülmesi.

Durgun akışkan ortamda yapılan ağır ortam ayırması ile zenginleştirme işlemleri, cevherler için 75-2 mm, kömür içinde 150-2 mm arasındaki boyutlarda uygulanabilir. Ağır ortam siklonlarında ise alt boyut sınırı 0.2 mm ye kadar inebilmektedir. Cevherin birbirine yakın boyutlu tanelerden oluşan boyut gruplarına ayrılması ve her grubun ayrı banyoda işleme girmesi gerekir. Beslenecek cevher, ağır ortamın özelliklerini değiştirecek ölçüde koloidal madde, şlam ve küçük boyutlu tane içermemelidir. Ağır ortamda zenginleştirme işlemine tabi tutulacak cevhere yukarıda belirtilen özellikleri sağlayacak şekilde boyut küçültme, sınıflandırma, şlam uzaklaştırma işlemleri uygulanır (Karaelmas, 2010).

2.1.2.2. Sallantılı Masa İle Zenginleştirme

Sallantılı masa, cevheri oluşturan minerallerin özgül ağırlık farkından yararlanarak zenginleştirme işlemini gerçekleştiren bir yoğunluğa göre ayırma cihazıdır. Sallantılı masa, hafif eğimli, paralel kenar, dikdörtgene yakın yamuk veya V şeklinde bir tabladır. Masa yüzeyine eşik adı verilen çıtalar belirli aralıklarla yerleştirilmiştir. Çıtalar besleme tarafında maksimum yüksekliğe sahiptir ve sona gittikçe alçalmaktadır. Masa uygun bir mekanizma ile uzun ekseni doğrultusunda ileri geriye olmak üzere, hareket ettirilir. Bu ileri-geri hareket ve masa üzerindeki eşikler yardımıyla yoğunluğa göre bir ayırma işlemi yapılabilmektedir.

Sallantılı masa, iri hafif taneleri ince ağır tanelerden etkili olarak ayırdığından, pratikte besleme malı, sınıflandırıcılarda eşit çökme değerlerine göre sınıflandırılır. Sallantılı masalarda bu amaçla “hidroseizer” denilen ardışık konilerden oluşan, çoklu çöktürme konileri kullanılır. Her konide elde edilen eş düşümlü besleme malları, ayrı ayrı masalara beslenerek konsantrasyona tabi tutulurlar. Zenginleştirme kriteri değeri 1.25'in üzerinde olan herhangi iki mineral sallantılı masada birbirinden ayrılabilir.

Ayrılacak mineraller arasında şekil ve boyut farkı varsa, zenginleştirme kriteri değeri 1.0 civarında da olsa zenginleştirme yapılabilir (Karaelmas, 2010).

2.1.2.3. Jig İle Zenginleştirme

Cevher zenginleştirme ve kömür yıkama yöntemleri içinde yoğunluk farkına dayanan en eski yöntemlerden biri jigle zenginleştirme yöntemidir. Jiglerin ilk kullanımları 1870'li yıllarda başlar. Basit olarak yöntem, "tabanı elekli bir kasada, periyodik olarak düşey hareket eden akışkan bir ortam içinde, malzemelerin yoğunluklarına göre tabakalaşmaları" olarak tanımlanabilir. Bu yöntemde esas olan, ayrılmasını istediğimiz malzemeler arasındaki yoğunluk farkının yüksek olması ve nispeten iri boyutlarda serbestleşmiş olmalarıdır. Jiglerde kullanılan ortam genellikle su, bazen hava ve nadiren de ağır bir sıvı olmaktadır. İlk yıllarda özellikle iri boyutlu cevherler için kullanılan jigler, cevher zenginleştirme teknolojisinin gelişimiyle birlikte eski önemlerini kaybetmişlerdir. Halen özellikle kömür yıkama işlemlerinde ve iri boyutlu cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanılmaktadırlar (Karaelmas, 2010).

2.1.3. Manyetik Ayırma İle Zenginleştirme

Manyetik ayırma endüstride geniş bir uygulama alanı olan, aslında minerallerin farklı manyetik özelliklerinden yararlanılarak yapılan bir zenginleştirme yöntemidir. Manyetik ayırma işleminde sürtünme ve gravite kuvvetlerinin mıknatısların çekim kuvvetleri ile birleşmesi suretiyle bir manyetik alan içindeki farklı manyetik özellikteki minerallerin birbirinden ayrılabilmesi sağlanmaktadır. Manyetik ayırma daha çok manyetik olmayan minerallerden manyetik özelliğe sahip değerli minerallerin kazanılmasında, kasiterit'in, şelit'in, sahil kuşlarının kazanılmasında, ağır ortam devrelerinde manyetitin kazanılmasında seramik hammaddelerinden demirin arındırılmasında kullanılmaktadır (Karaelmas, 2010).

2.1.4. Elektrostatik (Yüksek Gerilim) Zenginleştirme

Mineraller birbirlerinden farklı iletkenlik özelliği taşırlar. Bu özellik onları birbirlerinden ayırmada kullanılabilir. Bunun için, minerallerin yüksek gerilim altında statik bir elektrik yükü kazanıp, bu özelliklerini belirli bir süre kaybetmeme yeteneğinden yararlanır. Yüksek gerilim altında kalan mineraller elektron kazanır veya kaybederler ve elektrikle yüklenirler. Bu durumda topraklanmış veya elektrik

yüklü başka bir madde ile birlikte bulduklarında itme veya çekme davranışı gösterirler.

Tane büyüklüğü, di-elektrik sabiti, kutuplaşma ve sıcaklık gibi faktörler mineralin statik elektrik yükünü etkiler. Sürtünme ve yerçekimi kuvvetleri de ayrımda rol oynar.

Minerallere değişik yöntemlerle elektrik yükü kazandırılması mümkündür. Uygulanan bu yöntemler; iletim (kondüksiyon), iyon (gaz iyonu) bombardımanı, sürtünme, piro-elektrik, piezo-elektrik ve ışık veya radyasyon iletkenliği ile yükleme olarak sıralanabilir.

2.1.5. Flotasyon İle Zenginleştirme

Flotasyon çok ince öğütülmüş, gravimetrik yollarla zenginleştirilmesi mümkün olmayan cevherlerin fizikokimyasal kurallara dayanılarak köpükle cevher yüzdürme işleminin yapıldığı bir zenginleştirme yöntemidir. Sözlük anlamı “yüzdürmek” olan Flotasyon, bugün madencilik dışında kimya ve kağıt endüstrisinde de kullanılmaktadır ve cevher hazırlamada büyük ölçüde diğer yöntemlerin yerini almıştır. Flotasyon yöntemi, özellikle bakır, kurşun, çinko cevherlerinde tamamen, kömür, demir zenginleştirme işlemi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca barit, florit, feldspat, fosfat gibi endüstriyel minerallerin zenginleştirilmesinde de uygulanmaktadır (Karadeniz, 1997).

2.1.5.1. Flotasyonun Temel Prensipleri

Flotasyon işleminde mineral tanelerinin fizikokimyasal yüzey özellik farklılığından yararlanılmaktadır. Reaktif ilavesinden sonra, mineraller arasındaki yüzey özelliklerinin farklılığı flotasyonun esasını oluşturur. Flotasyonun oluşabilmesi için hava kabarcığının minerale bağlanması ve su yüzeyine çıkması gerekmektedir. Genelde, flotasyon ince taneli cevherlere uygulanmaktadır. Eğer cevher çok iri taneli olursa, mineral tanesi ve hava kabarcığı arasındaki adezyon kuvveti mineralin ağırlığından az olacağından kabarcık mineral tanesini tutamayacak ve böylece tane aşağıya düşecektir. Mineralin hidrofob özellikte olması sayesinde, hava kabarcıkları mineralin yüzeyindeki su ile yer değiştirerek hava kabarcığının mineral tanesine yapışması sağlanmakta ve ayrıca hava kabarcığının mineral tanesini, yüzeye ulaştığında da tutması gerekmektedir. Aksi takdirde köpük patlayıp mineral taneleri

aşağıya düşecektir. Yukarıda belirtilen bu şartların sağlanabilmesi için bir takım flotasyon prensipleri kullanılmaktadır. İlave edilen flotasyon reaktiflerine göre mineral yüzeyinin aktivasyonu, aynı yüzeye tesir eden kuvvetlere bağlıdır. Minerallerin çoğu doğal yüzme kabiliyetine sahip değildir. Yüzdürme işlemi sırasında, kıymetli minerallerin köpükle beraber konsantre olarak alınışında esas rolü, belirli bir sıra halinde ilave edilen kimyasal reaktifler üstlenmektedir ki bunlara flotasyon reaktifleri denir (Karadeniz, 1997).

2.1.5.2 Flotasyon Reaktifleri

Minerallerin çoğu doğal olarak yüzme yeteneğine sahip değildir. Yüzdürme işlemi sırasında, kıymetli minerallerin köpükle beraber konsantre halinde alınışında esas rolü, belirli bir sıra halinde ilave edilen kimyasal reaktifler üstlenmektedir. Kullanılan reaktifleri aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür.

1. Kontrol reaktifleri: pH ayarlayıcılar, Bastırıcılar, Canlandırıcılar
2. Toplayıcı reaktifler
3. Köpürtücüler

2.1.6. Kimyasal Zenginleştirme

Mineraller su, asit veya baz çözeltilerinde çözünürler. Çözünürlük, minerallerden minerale ve mineralin maruz bırakıldığı koşullara göre farklılıklar gösteren kimyasal bir özelliktir. Bundan yararlanarak yapılan zenginleştirme işlemi liç (özütleme) adını alır. Liç işleminde, cevherde bulunan değerli metal ya da metaller uygun bir çözelti ile seçimli olarak çözümlenir ve daha sonra yine seçimli olarak çözümlenenden kazanılır.

Liç öncesinde boyut küçültme, ön zenginleştirme, kimyasal ve ısıl işlemler gibi bazı hazırlık işlemleri yapılır. Eğer cevherde kalker, dolomit ve kil gibi mineraller varsa, proses esnasında sebep olabilecekleri olumsuz etkileri önlemek için, ön zenginleştirme ile uzaklaştırılırlar. Ayrıca, çözünmeyi kolaylaştırmak veya reaktif tüketimini azaltmak amacıyla oksitleme, indirgeme, kalsinasyon ve kavurma işlemleri uygulanabilir. Liç için çözücü olarak sülfürik asit, hidroklorik asit, nitrik asit ve ferriklorür gibi asidik reaktifler veya soda ve amonyak gibi bazik reaktifler kullanılır.

Çözeltiye alma esnasında çözücünün kimyasal bileşimi ve konsantrasyonu, ortam sıcaklığı, zaman, basınç ve pülpde katı oranı önemli ortam koşullarıdır ve sıkı bir şekilde kontrol edilmeleri gerekir.

Değişik şartlarda tatbik edilen çeşitli liç usulleri vardır. Bunlar; yerinde liç, yığın liçi, tank liçi, süzülme liçi ve karıştırma liçidir.

Metallerin çözeltiye alınmasından sonra, çözünmeyen katı kısmın çözeltiden ayrılması gerekir. Bu amaçla çöktürme, koyulaştırma, filtreleme, yıkama ve berraklaştırma gibi katı-sıvı ayırması işlemleri yapılır. Bundan sonra da metal veya metallerin (metal bileşiklerinin) çöktürülmesi sağlanır. Çöktürme, çözeltideki metal iyonu konsantrasyonunun arttırılması ile mümkündür. İyon konsantrasyonlarının arttırılması için iyon değişimi, organik çözüldürme, adsorpsiyon veya sıvı membran yöntemleri uygulanır. Çöktürme işlemi kimyasal veya elektrokimyasal yolla yapılır. Bu şekilde konsantre veya metal elde edilir.

Liç ile zenginleştirme hızla yaygınlaşan bir yöntemdir. Altın, gümüş, bakır ve uranyum başta olmak üzere alüminyum, titanyum, çinko, nadir toprak elementler ve daha birçok cevherde liç ile zenginleştirme yapılmaktadır (Karadeniz, 1997).

2.2. Cevher Zenginleştirme Atıkları

Cevher zenginleştirme atıkları maden işlenmesi sırasında ortaya çıkar ve kayaç ile proses sıvalarını içerir. Kayaç içerisindeki cevherin çıkarılması için mekanik ve kimyasal işlemler kullanılır. Bu proses tailing olarak bilenen cevher zenginleştirme atık akımının ortaya çıkmasına neden olur. Cevher zenginleştirme işlemi hiçbir zaman % 100 verimliliğe sahip bir proses olmadığı gibi proseste kullanılan kimyasalların da tamamının geri kullanılması mümkün olmamaktadır. Zenginleştirme işlemi sırasında kazanılamayan ve ekonomik olmayan metaller, mineraller, kimyasallar, organikler ve proses suları bulamaç şeklinde deşarj edilir. Cevher zenginleştirme atıkları fiziksel ve kimyasal karakterleri ile metal içeriklerini mobilize etme kabiliyetleri nedeniyle üzerinde hassas olunan bir konudur. (ICOLD ve UNEP, 2001)

Cevher zenginleştirme atıkları genelde mevcut sahaların yüzeylerine depolandıkları gibi dolgu olarak da bilinen yer altı ocaklarına da depolanabilmektedir. Atıkların dolgu olarak kullanılması, zemin ve duvar desteği, havalandırmanın artması, yüzey

depolamalarına bir alternatif olması ve çökmeyi engellemesi gibi avantajlara sahiptir (AK, 2004).

Cevher zenginleştirme atıklarının depolanması ile ilgili zorluklar bugüne kadar artarak gelmiştir. Teknolojideki gelişmeler daha düşük tenörlü cevherlerin çıkarılmasının sağlanması yanında daha büyük hacme sahip atık akımlarının oluşmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, çevre ile ilgili düzenlemeler artmış, özellikle atık depolama pratikleri ile ilgili madencilik sektörü üzerine daha sıkı kriterler konmaya başlamıştır. Geçmişte cevher zenginleştirme atıklarının depolanması ile ilgili vaka ve kazaların büyük çoğunluğu günlük zayıf yönetimden kaynaklanmıştır. Bu da günümüzde söz konusu alanda daha sıkı düzenlemelerin gelmesine neden olmuştur.

Cevher zenginleştirme atıkları madencilik sektörü için bir anlamda ekonomik getirisi olmayan atık bir üründür. Bu nedenle, en uygun ekonomik şartlara ve duruma özgü koşullara göre mevzuata uyarlılık açısından depolanmaktadır. Barajlar, bentler ve diğer yüzey depolama şekilleri en yaygın depolama şekilleri olup, en önemli atık bertaraf yöntemleridir (Vick, 1990). Bahsedilen bu bertaraf yöntemleri kullanılan madencilik işlemi ve çevre koşullarına göre benzersiz bir özellik göstermektedir.

Cevher zenginleştirme atıkları depolama tesislerinin (ADT) dizaynı düşünüldüğünde optimum alan seçimi ve depolama ile kullanılan atık deşarj yöntemi üzerinde etkisi olan birçok parametre bulunmaktadır (Ritcey, 1989). Çevre dizaynından inşasına, işletilmesine ve kapatılması dahil atık depolama şeklini kısıtlayan en önemli parametredir. Bu nedenle, ADT dizaynında atık depolama metodları ve deşarj teknikleri açısından birçok alternatifin düşünülmesi gerekmektedir.

2.2.1. Cevher Zenginleştirme Atıkların Yapısı

İşletme sırasında kullanılan cevher zenginleştirme yöntemi ve daha sonrasında gerçekleştirilen depolama elementlerin hızlandırılmış bozunmaya ve sonuç olarak elementlerin mobilizasyonun artmasına neden olmaktadır. Mineral işleme sırasından ayraç olarak kullanılan kimyasalların eklenmesi işleme tabi tutulan minerallerin kimyasal karakteristiklerini değiştirebilmekte ve sonuç olarak cevher zenginleştirme atıklarının özellikleri de değişebilmektedir (AK, 2004). Bozunma işleminin hızlanmasının toksik seviyelere ulaşması kısa ve uzun dönemli atık yönetimi zorluklarının ortaya çıkması şeklinde problemlerin artması anlamına gelir. Sülfür

içeren cevherlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan asitli maden drenajı hızlandırılmış bozunma ile ilgili sadece bir örnektir. Tesisteki boyut küçültme işlemlerinden dolayı sülfürlü minerallerin yüzey alanı genişlemekte ve dolayısıyla hava ve suyla olan etkileşim artarak sülfürlü minerallerin daha hızlı bir şekilde oksidasyonuna neden olur. Bunların sonucu olarak asit oluşumu ve metallerin mobilizasyonu ortaya çıkarar yüzeysel akış ve sızıntı yoluyla çevre yayılırlar. Bu durum asitli maden drenajı ya da asitli kaya drenajı olarak adlandırılır (Garcia, Ballester et al. 2005; Ritcey, 2005).

2.2.2 Cevher Zenginleştirme Atıklarının Karakteristikleri

Ekonomik minerallerin ekonomik olmayanlardan ayrılması için, tesis dahilinde bir dizi işlemin uygulanması gerekir. Cevher zenginleştirme öncesinde boyut küçültme, işleme ve sınıflandırma yapılarak ayırma için hazırlanır. Zenginleştirme işlemleri genelde yaş olarak yapılmaktadır. Bu amaçla da genelde su kullanılmaktadır. Zenginleştirme işlemi sonucunda ekonomik değer taşıyan mineraller ve ekonomik açıdan bir değer taşımayan, ancak bünyesinde çok az da olsa değerli mineral bulunduran katı kısım ve tesise tekrar kullanım amacıyla gönderilebilecek sıvı kısım kalır. Bulamaç şeklindeki cevher zenginleştirme atıkları tesiste kullanılan kimyasalları da bünyesinde barındırmaktadır.

Cevherin zenginleştirilmesi öncesinde hazırlama prosesleri ile zenginleştirme prosesleri, ortaya çıkacak atığın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu nedenle, proseslerin seçiminde öncelikli olarak cevherin mineralojik özellikleri, kimyasal bileşimi, serbestleşme tane boyutu ve elde edilecek ürüne piyasanın gereksimi önemli rol oynar.

Elle ayırma, manyetik elektrostatik ve gravite-ağır ortam metodu hariç- metotlarında genellikle reaktif kullanmaya gerek bulunmamaktadır. Flotasyon, kimyasal zenginleştirme ve ağır ortam ayırmasında çeşitli amaçlarla kimyasallar kullanılmaktadır.

Tesis çıkışında, katı ve sıvı atık kısım cevherin türü mineralojik yapısı, yan kayacı, birlikte bulunduğu gang mineralleri, uygulanan kazı yöntemi cevher hazırlama ve zenginleştirme için seçilen prosesler ve bu proseslerde uygulanan işlemler gibi birçok etkene bağlı olarak bazı özellikler taşırlar.

2.3. Atıkların Taşınması

Cevher zenginleştirme atıkları depolama sahalarına cazibeyle ya da pompalama vasıtasıyla borular ve açık kanallarla taşınırlar. Atıklar çoğunlukla tesiste yoğunlaştırıldıktan sonra nihai depolama alanına gönderilir. Böylece geri kazanılan su tekrar zenginleştirme tesisine beslenir ve gereksiz bir deşarj engellenerek nihai depolamada su yönetimi işi kolaylaştırılır. Yoğunlaştırılmış ve macunlaştırılmış atıkların depolandığı tesislerde pompalama maliyetlerini ve pozitif yer değıştirmeli pompalara olacak ihtiyacı engellemek için deşarj noktasının yakınında yoğunlaştırıcıların inşası pek yaygın değıldir (Fourie, 2003). Kuru depolama metotlarında atığın nem içeriğinin çok düşük olması nedeniyle pompalama pek mümkün olamamaktadır. Bu yüzden kamyon ve konveyörler atıkların taşınmasında kullanılmaktadır. Bu tip depolama alternatiflerinde atıkların tesiste susuzlaştırılması en verimli yöntemdir (Davies ve Rice 2001). Cevher zenginleştirme atıklarının atık barajlarına taşınması ile ilgili örnekler Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1 : Cevher Zenginleştirme Atıklarının Taşınması

2.4. Atık Barajları İle İlgili Mevzuat

2.4.1. Dünyada Atık Barajları İle İlgili Mevzuat

Dünyanın birçok ülkesinde atık barajları maden şirketleri tarafından işletilmekte olup devletin madencilikle ilgili otoritesi tarafından denetlenmektedir. Madencilik otoritesinin maden üretimi, işçi güvenliği vb. konularla ilgilenmesi durumunda atık barajlarını güvenliği ile ilgili hususlar ikinci plana atılmaktadır. (AK, 2005)

Avrupa Birliği üyesi İngiltere’de cevher zenginleştirme atıklarının depolanması Çevre Koruma Kanunu, Su Kanunu ve Madenler ve Ocaklar Kanunu altında yönetilmektedir. Bunlara ek olarak 25.000 m³’ten fazla su depolama kapasitesine sahip atık barajları Barajlar Kanunu kapsamında değerlendirilmektedir.

Fransa’da madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan atıkların yönetimi Maden Kanunu ile Çevre Kanunu kapsamında yapılmaktadır. Madencilik faaliyetlerinden kaynaklı pasaların yönetimi Maden Kanununa göre yapılmakta iken cevher zenginleştirme atıklarının yönetimi Çevre Kanununa göre yapılmaktadır.

Avrupa Birliği’ne yeni üye olan ülkeler ile aday ülkelerin tümü 1980’lerin sonu 1990’ların başında politik ve ekonomik değişikliklerin içine girmiştir. Bütün örneklerde madencilik mevzuatına yeni düzenlemeler getirilmiştir. Madencilik mevzuatının geliştirilmesi ile ilgili atılan adımlar düzeltici ve değiştirici adımlar olarak atılmıştır. Maden Kanunu ya da mevzuatı ülkeden ülkeye değişen isimler almaktadır. Örneğin Bulgaristan’da Yeraltı Kaynakları Kanunu, Estonya’da Yerkabuğu Kanunu, Letonya’da Toprak Altı Kanunu, Litvanya’da Yer Altı Kanunu, Polonya’da maden ve jeoloji birleştiren Jeoloji ve Maden Kanunu ve Slovakya’da madencilik alanını düzenleyen Maden Kaynaklarının Korunması ve İşletilmesi ve Madencilik Faaliyetleri Kanunu adıyla iki kanun bulunmaktadır. Ancak Macaristan, Romanya ve Slovenya’da hala geleneksel olarak kullanılan Maden Kanunu yürürlüktedir (AK, 2005). Avrupa Birliği’nin 2006/21/EC sayılı Maden Atıkları Direktifi ile ilgili hususlara bir sonraki bölümde yer verilecektir.

Cevher zenginleştirme atıkları ile ilgili faaliyetler, genelde madencilik faaliyetlerinin güvenliği ile ilgili mevzuatta önceliği bulunmamaktadır. Avrupa Birliği’ne yeni üye olan ülkelerde bu konuda ciddi farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin, Polonya’da atık barajları Jeoloji ve Maden Kanunu kapsamı dışındadır. Atık barajları genelde Yapı Kanunu ve dizayn ve inşaat ile ilgili Polonya Standartları çerçevesinde değerlendirilmektedir. Romanya’da ise atık barajları ile ilgili özel düzenleme Çevre ve Su Koruma Bakanlığı ile Sanayi ve Doğal Kaynaklar Bakanlıklarının kanunları ve özel düzenlemeleri ile kapsamaktadır. Macaristan’da ise atık barajları konusunda yapılacak olan düzenleme taslak aşamasındadır (Hamor, 2002).

Amerika Birleşik Devletleri'nde ise madencilikle ilgili düzenlemeler her bir eyaletin düzenlemelerine tabidir. Yasal işlemler eyaletten eyalete değişmekte ve işletim prosedürleri yerine sonuçlar üzerine odaklanmaktadır.

Kanada'da ise madencilik faaliyeti Amerika Birleşik Devletleri'nde olduğu gibi eyalet bazında düzenlemeler çerçevesinde değerlendirilmektedir. Sadece uranyum madenciliği Federal Hükümet tarafında kontrol edilmektedir. Bununla birlikte Federal Hükümet tarafından yürürlüğe sokulmuş ve alıcı ortamı esas alan çevre düzenlemeleri bulunmaktadır (Anglo, 2005). Kanada Maden Derneği tarafından 1998 yılında Cevher Zenginleştirme Atıklarının Yönetimi Kılavuzu yayınlanmıştır. Bu kılavuz cevher zenginleştirme atıklarının yönetimi ile ilgili dizayn sürecinden inşaat, işletme ve kapatma işlemlerini kapsamaktadır. Ayrıca 1998 yılında yayınlanan kılavuzu tamamlamak üzere 2003 yılında Atık ve Su Yönetim Tesislerinin İşletme, Bakım ve Denetim El Kitabı yayınlanmıştır. Kanada Baraj Derneği 1999 yılında Baraj Güvenliği Kılavuzunu atık barajlarını da içerecek şekilde güncellemiştir.

Avustralya'da madencilik ile ilgili mevzuat Maden Kanunu ile Maden Güvenliği ve Denetim Kanunu çerçevesinde değerlendirilmektedir. Bununla birlikte bazı durumlarda Aborjine Kültür Kanunu, Arazi Koruma ve Yönetimi Kanunu, Arazi İdare Kanunu, Yerel İdare Kanunu, Toprak ve Arazi Koruma Kanunu, Yaban Hayatı Koruma Kanunu vb. düzenlemeler madencilik alanını düzenlemektedir. Batı Avustralya'da bütün cevher zenginleştirme atıkları bertaraf tesisleri I., II., III. sınıf kategori altında değerlendirilmektedir. 15 m'den fazla yüksekliğe sahip atık barajları 1. sınıf olarak sınıflandırılmakta ve en sıkı düzenlemeler bu sınıflara getirilmektedir (AK, 2005)

Güney Afrika'da madencilik alanı Su Kanunu, Mineral Kanunu ve Maden Sağlığı ve Güvenliği Kanunu altında düzenlenmektedir. Mineraller ve Enerji Dairesi bu kanunların gereklerini yerine getirmekle sorumlu kuruluştur. Madencilikle ilgili düzenlemeler 1976 yılında yürürlüğe girmiş olup bu düzenlemeler, 100 yıl içerisinde gelebilecek en yüksek yağışın kontrolü amacıyla 0.5 m yükseklikte hava payını bütün atık barajlarında bırakılması zorunluluğunu getirmiştir (Penman 2001).

Ülkemizde ise 3213 sayılı Maden Kanunu ve 2872 sayılı Çevre Kanunu ile madencilik faaliyetlerinin yönetimi sağlanmaktadır. Özel olarak nitelendirilebilecek

ilk düzenleme ise 1995 yılında yürürlüğe giren Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'dir. Bu Yönetmeliği'nin Ek-1'inde atığı üründen ayıran kriterler başlığı altında cevher zenginleştirme atıkları tanımlanmıştır. Aynı Yönetmeliği'n Ek-11'A'da yer alan paratmetrelere göre depolanması hükme bağlanmış olup, sonraki yıllarda yapılan düzenlemeler aşağıdaki bölümde ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

2.4.2. Avrupa Birliği'nde Atık Barajları İle İlgili Mevzuat

Avrupa Birliği bir bütün olarak ele alındığında madencilik alanını düzenleyen spesifik bir maden mevzuatı bulunmamaktadır. Önceki bölümde de ifade edildiği üzere her üye ülke kendi mevzuatına sahip olup, Avrupa Birliği'ne üyelik sürecinde madencilik mevzuatında değişiklikler yapmıştır.

Maden atıklarının yönetimi konusunda Avrupa Birliği'nde spesifik bir düzenleme bulunmaması nedeniyle, yapılan çalışmalar neticesinde kısaca Maden Atıklarının Yönetimi Direktifi diye tabir edilen bir direktif Avrupa Parlamentosunca kabul edilmiştir. Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 15 Mart 2006 tarihli ve 2006/21/EC sayılı Maden Çıkartma ve İşleme Endüstrisinin Yönetimi üzerine olan Direktifi ile madencilik faaliyetlerinin emniyetli bir şekilde yürütülmesi ve yakın zamandaki madencilik kazalarının takip edilmesi amacıyla maden çıkartma ve işleme endüstrisinden kaynaklanan atıkların yönetiminin düzenlenmesi sağlamayı amaçlanmıştır. Bu Direktif Avrupa Parlamentosu ve Konseyi tarafından 16 Aralık 2003 tarihli 96/82/EC sayılı Tehlikeli Maddeleri İçeren Başlıca Kaza Risklerinin Kontrolü üzerine olan Konsey Direktifini ve ayrıca 24 Eylül 1996 tarihli ve 96/61/EC sayılı ve entegre kirlenmenin önlenmesi ve kontrolü ile ilgili Konsey Direktifinin nezareti altında madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan pasalar ve zenginleştirme atıkları yönetimini kapsayan en iyi mevcut tekniğin üretilmesi dokümanını tadil etmek amacı ile çıkartılan 2003/105/EC sayılı ve 16 Aralık 2003 tarihli Avrupa Parlamentosu ve Konseyi uyarınca oluşturulan girişimleri tamamlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Bu direktif ile depolanan atıkların tehlike seviyesinin azaltılması ve bunların olabildiğince az risk teşkil etmesi, bu atıkların yeniden kullanılabilir hale getirilmesine öncelik verilmesi, bertaraf edilecek olan atıkların miktarı en aza indirgenmesi ve bunların emniyetli bir şekilde bertaraf edilmesi ve atık işleme operasyonlarının etkinliğinin azalmasına yol açmayacak derecede, bertaraf edilmesi

amaçlanan atıklar, oluştukların mahale olabildiğince yakın bir yerde işleme tabi tutulması hedeflenmiştir.

2.4.3. Türkiye’de Atık Barajları İle İlgili Mevzuat

Ülkemizde atık barajları ile ilgili gerek Çevre Mevzuatında gerekse de Maden Mevzuatında özel bir düzenleme bulunmamaktadır. Ancak 2872 sayılı Çevre Kanunu ve bu Kanuna dayanılarak çıkarılan yönetmelikler, Maden Kanunu ve direkt olarak madencilik faaliyetlerini düzenlemese de yürürlükte bulunan çeşitli kanun ve yönetmeliklerle madencilik alanı düzenlenmektedir.

05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanıp yürürlüğe giren Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik ile madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan atıklar Ek-IV’ de 01 başlığı altında “Madenlerin aranması, çıkarılması, işletilmesi, fiziki ve kimyasal işleme tabi tutulması sırasında ortaya çıkan atıklar” olarak tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. Söz konusu sınıflandırma Tablo-1’de verilmektedir. Ancak Yönetmeliğin kapsamla ilgili 2. Maddesinde maden atıkları kapsam dışı bırakılmıştır.

Ülkemizde maden atıklarının yönetimi 14 Mart 2005 tarihli ve 25755 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nin (TAKY) Özel Atıklar başlığı altındaki 48. Maddesinde “Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğin ekinde yer alan EK-IV’te (01) başlığı altında kayıtlı **maden atıkları**, (13) başlığı altında kayıtlı yağ ve sıvı yakıt atıkları, (16 06) başlığı altında kayıtlı kullanılmış pil ve aküler, (18) başlığı altında kayıtlı insan ve hayvan sağlığı ve/veya bu konulardaki araştırmalardan kaynaklanan atıklar ile kullanılmış lastiklerin toplanması, taşınması, işlenmesi ve bertarafına ilişkin esaslar Bakanlıkça belirlenir.” şeklinde tanımlanmaktadır.

Diğer taraftan; maden atıklarının yönetimini, ilgili Yönetmelik yürürlüğe girene kadar bir disiplin altına almak amacı ile maden atıkları 26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik kapsamına alınmıştır. Bu Yönetmelik ile depolama yoluyla bertaraf edilmesi planlanan maden atıklarının geçirimsizlik tabakası, drenaj tabakası, kapama ve izleme, lisanslandırma vb. hususlara düzenleme getirilmiştir.

Bunların yanında 31.05.2005 tarih ve 25831 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’nin kapsam maddesinde “Bu Yönetmelik, toprak kirliliğine neden olan faaliyetler ile tehlikeli maddeler ve atıkların toprağa deşarjına, atılmasına, sızmasına ve evsel ve kentsel atıksuların arıtılması sonucu ortaya çıkan arıtma çamurlarının ve kompostun; toprağa, bitkiye, hayvana ve insana zarar vermeyecek şekilde, toprakta kontrollü kullanımına ilişkin teknik, idari esasları ve cezai yaptırımları kapsar.” denilmektedir.

23.01.2010 tarih ve 27471 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği’nde de madencilik faaliyetlerinden kaynaklı atıkların yönetimi ile ilgili hususlar bulunmaktadır. Yönetmeliğin kapsam maddesinde “Bu Yönetmelik, orman sayılan alanlar, tarım veya mera alanları, 17/7/2008 tarihli ve 26939 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği kapsamı dışında olan madencilik faaliyetleri, su kaynaklarının korunması ile ilgili mevzuata uyulması şartı ile baraj ve gölet projelerinde rezervuar altında kalacak alanlar dışındaki madencilik faaliyetleri, malzeme ve toprak temini için arazide yapılan kazılar, dökümler ve doğaya bırakılan atıklarla bozulan doğal yapının yeniden kazanılmasına ilişkin usul ve esasları kapsar..” denilmektedir.

17.07.2008 tarih ve 26939 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği Ek-1 ve Ek-2 sayılı listelerde madencilik faaliyetleri ile atık depolama faaliyetleri listelenmiştir.

3213 sayılı Maden Kanunu’nun 36’ncı Maddesine göre; pasa, bakiye yığını ve cürufların muhafazası başlığında, madencilik ve müteakip safhalarındaki faaliyetler sırasında; cevher, metal veya ekonomik değer ihtiva eden, günün şartlarında teknik veya ekonomik değerlendirme mümkün olmayan pasa, zenginleştirme bakiye yığını ve cüruflar, çevre kirliliği açısından mahzur teşkil etmiyorsa geçirildikleri son işlemde çıktıkları şekliyle ayrı ayrı muhafaza edilir. Bu bakiye ve pasa yığınlarının miktarları, fizikî özellikleri, usulüne göre alınmış numunelerin analiz raporları ve döküm alanları, faaliyet raporları, plân ve haritalarda gösterilir.

İşletme ruhsatının herhangi bir sebeple sona ermesi halinde, sahadan üretilmiş madenlerin, pasa, bakiye yığınları ve cürufların, ruhsat sahibince nakledilmesi için

bu Kanunda zikredilen mücbir sebepler dışında altı aylık süre verilir. Bu süre içerisinde nakledilmeyen ve ekonomik değeri olan madenler valilik tarafından ihale edilerek satılır. Satıştan sağlanan gelir özel idareye aktarılır. Ekonomik değeri olmayan madenler için 32 nci Madde (Ruhsatın hükümden düşmesi ve alınacak tedbirler) hükümleri uygulanır.

Ayrıca 21.06.2005 tarih ve 25852 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Madencilik Faaliyetleri İzin Yönetmeliği’nin Maden Atıkları başlığı altındaki 91. Maddesinde “Maden atıkları, özel işleme tabi atıklar kapsamındadır. Maden atıklarının yönetimine ilişkin yönetmelik Çevre ve Orman Bakanlığı ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca müştereken çıkarılır.” denilmektedir.

03.02.2005 tarih ve 25716 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Maden Kanunu Uygulama Yönetmeliği’nin 81. Maddesinde” Madencilik ve müteakip safhalarındaki faaliyetler sırasında; cevher, metal veya ekonomik değer ihtiva eden, günün şartlarında teknik veya ekonomik değerlendirmesi mümkün olmayan pasa, zenginleştirme bakiye yığını ve cürufklar, çevre kirliliği açısından mahzur teşkil etmiyorsa geçirildikleri son işlemde çıktıkları şekliyle ayrı ayrı muhafaza edilir. Bu hususa aykırı hareket edenlerin teminatları irat kaydedilir.” denilmektedir.

Ayrıca 03.03.2010 tarihli Maden Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun Tasarısı ile getirilen “Tesis: Madencilik faaliyetleri için zorunlu olan her türlü kırma, eleme, öğütme, kesme ve sayalama tesisleri ile işleme tesisi kapsamında sallantılı masa, jig, konsantratör, flotasyon, liç, kalsinasyon, bioksidasyon ve benzeri cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisleri, karıştırma, depolama, stoklama, atık kazanma ve atık bertaraf tesisleri gibi geçici üniteleri tanımı ile atık depolama tesisleri Maden Kanunu kapsamına alınacaktır.

2.5. Türkiye’de Cevher Zenginleştirme Tesisleri ve Atıkları

2.5.1. Cevher Zenginleştirme Tesisleri ve Atıkları Envanteri

2008 yılı Ekim ayı içerisinde cevher zenginleştirme tesislerinin neler olduğu, hangi cevherin işlendiği, cevher işleme kapasitesi, kullanılan kimyasallar, oluşan atık miktarı ve proses atıklarının bertaraf yöntemlerini içeren bir envanter formu

düzenlenerek, Çevre ve Orman İl Müdürlüklerine iletilmiştir. 81 ilden gelen cevabi yazıları göre; ülke genelinde 91 adet zenginleştirme tesisi bulunmaktadır. Söz konusu envanter formu çok sağlıklı veriler içermemesine rağmen, bu alanda yapılmış olan ilk çalışma olması açısından oldukça önemlidir.

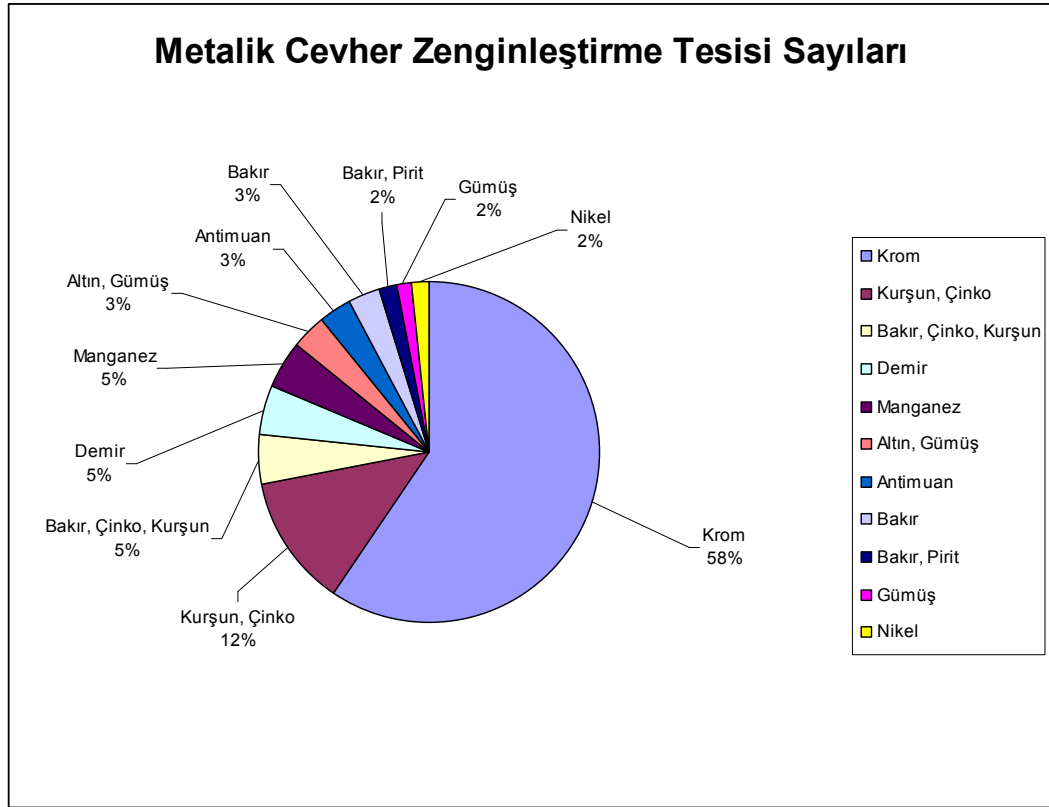
91 tesisin 9'unda linyit, 11'inde ise taş kömürü yıkanmakta olup enerji hammaddeleri ile ilgili 20 tesis bulunmaktadır. 7 tane tesiste ise endüstriyel hammaddeler işleme tabi tutulurken geri kalan 64 zenginleştirme tesisinde metalik cevherler işlenmekte olup, bunların 38 tanesinde krom cevheri işlenmektedir.

İşlenen cevher çeşidine göre cevher zenginleştirme sayıları Tablo 2.1'de yer almaktadır.

Tablo 2.1: İşlenen Cevhere Göre Cevher Zenginleştirme Sayıları

İşlenen Cevher	Adet	İşlenen Cevher	Adet
Krom	38	Barit	2
Taşkömürü	11	Bakır, Pirit	1
Kurşun, Çinko	8	Bentonit	1
Linyit	9	Gümüş	1
Bakır, Çinko, Kurşun	3	Kaloen	1
Demir	3	Kolemanit	1
Manganez	3	Manyezit	1
Altın, Gümüş	2	Nikel	1
Antimuan	2	Tinkal	1
Bakır	2	Toplam	91

Metalik cevher zenginleştirme tesisi oranları ise Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



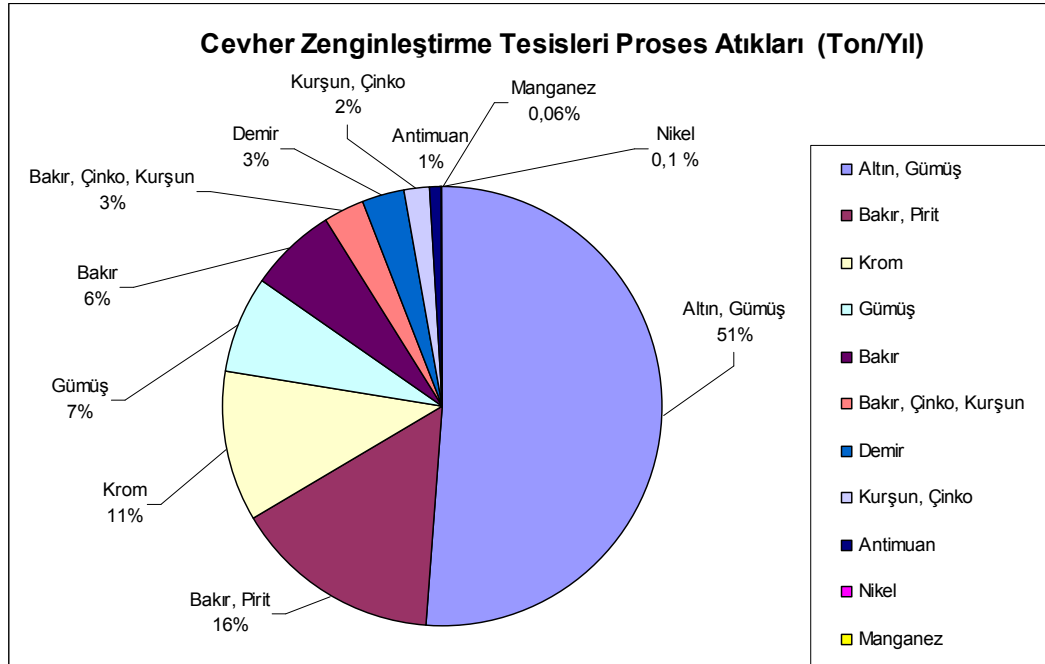
Şekil 2.2 : Metalik Cevher Zenginleştirme Tesislerinin Oranları

Cevher zenginleştirme işlemi için büyük oranda flotasyon yöntemi kullanılmakta olup, altın ve gümüş zenginleştirmesinde siyanür liçi yapılmaktadır. Flotasyonda kolektörler, düzenleyiciler ve köpürtücüler şeklinde tabir edilen kimyasal malzemeler kullanılmaktadır. Bu kimyasallar genel olarak ton başına gram seviyelerinde prosese katılmaktadır. Altın ve gümüş cevherlerinin zenginleştirme işlemleri ise liç yöntemiyle yapılmakta olup, kimyasal olarak siyanür kullanılan üç tesis faaliyet göstermektedir.

Oluşturulan envantere göre ülkemizde metalik cevher zenginleştirme işlemlerinden kaynaklı olarak yıllık 21 milyon ton civarında proses atığı ortaya çıkmaktadır. İşlenen cevher çeşidine göre cevher zenginleştirme miktarı Tablo 2.2’de, oranları ise Şekil 2.3’te gösterilmektedir. Görüleceği üzere en fazla atık altın ve gümüş zenginleştirme tesislerinden kaynaklanmakta olup, oluşan toplam atık miktarının % 51’ ini teşkil etmektedir.

Tablo 2.2: İşlenen Cevhere Göre Oluşan Proses Atığı Miktarı

İşlenen Cevher	Atık Miktarı (ton/yıl)
Altın, Gümüş	10.658.000
Bakır, Pirit	3.240.000
Krom	2.304.594
Gümüş	1.500.000
Bakır	1.325.000
Bakır, Çinko, Kurşun	639.200
Demir	626.000
Kurşun, Çinko	450.130
Antimuan	144.000
Nikel	2.900
Manganez	1.200
TOPLAM	20.891.024



Şekil 2.3 : Metalik Cevher Zenginleştirme Tesisleri Proses Atıkları Dağılımı

Zenginleştirme tesislerinde ortaya çıkan 21 milyon ton civarındaki atığın bertarafı büyük oranda depolama ile sağlanmaktadır. Depolama yapılan bu tesislerle ilgili gelen bilgilere göre genel olarak depolanan atıkların analizlerinin yapılmadığı, geçirimsizlik koşullarına riayet edilmediği, yer altı suyu seviyesi, akış yönü gibi

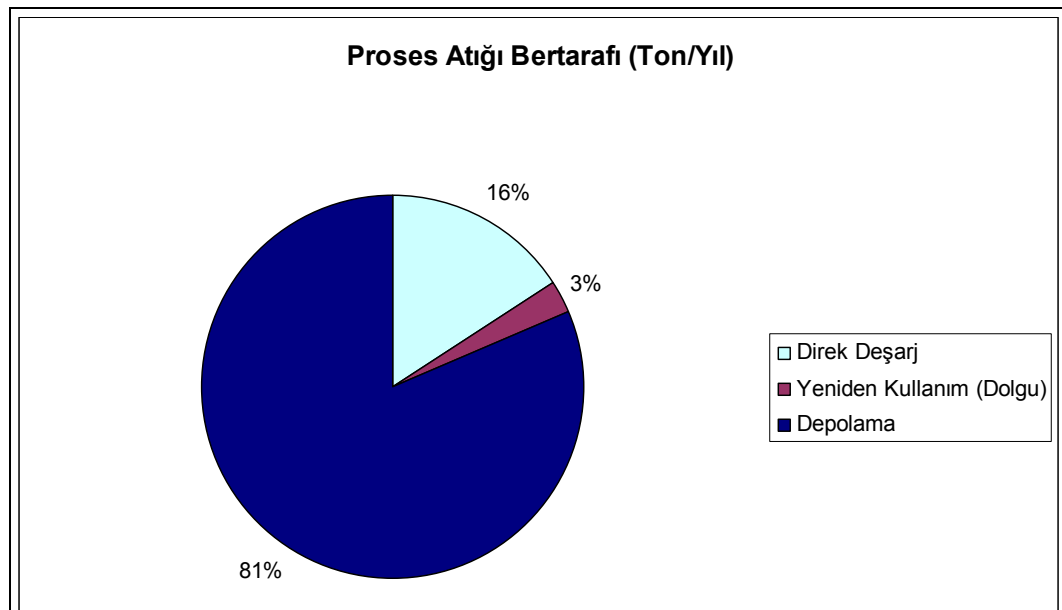
hususlara uyulmadığı görülmektedir. Ayrıca 570.780 ton proses atığının açılan ocak işletmelerinde dolgu amacı ile yoğun olarak kullanıldığı görülmektedir. 3.326.000 ton atık yıllık olarak alıcı ortama direkt olarak deşarj edilmektedir. Yıllık olarak 16.994.244 ton proses atığının yönetimi ise depolama yolu ile gerçekleştirilmektedir. Proses atıklarının bertarafı Tablo 2.3’de yer almaktadır.

Tablo 2.3: Proses Atıklarının Bertarafı

Atık Bertarafı	Sayı	Miktar (ton/yıl)
Direk Deşarj	2	3.326.000
Yeniden Kullanım (Dolgu)	17	570.780
Depolama	47	16.994.244
TOPLAM	66*	20.891.024

*İki tesiste hem depolama hem de dolgu ile yeniden kullanım yapılmaktadır.

64 tesisin 32’sinde proses atıkları çökeltme amacıyla atık havuzuna gönderilmektedir. Genel olarak dolan havuzdaki susuzlaştırılmış atıklar yakın bir alana taşınmaktadır. Bu alan bazen işletmesi bitmiş maden ocağı olabileceği gibi maden ruhsat alanında cevherin bulunmadığı bir alan da olabilmektedir. 2.681.564 ton atık bu şekilde işleme tabi tutulmaktadır. 22 tesiste proses atıkları atık barajında bertaraf edilmektedir. 4.883.460 ton atık yıllık olarak atık barajlarında depolanmaktadır. Ayrıca Uşak ilinde yığın liçi yöntemi ile altın ve gümüş zenginleştirilmesi yapılan alanda 10.000.000 ton atık yıllık olarak depolanmaktadır. Proses atıklarının bertarafı Şekil 2.4’te yer almaktadır.



Şekil 2.4 : Proses Atıklarının Bertarafı

2.5.1. 1. Envanter Çalışması İle Yapılan Tespitler

Proses atıklarının yönetimi ile ilgili olarak Tehlikeli Atıkların ve Katı Atıkların Kontrolü Yönetmelikleri çerçevesinde işlem tesis edilmekte olup, her iki Yönetmelik söz konusu atıkların yönetimi hususunda yeterli hükümler içermemektedir.

Cevher zenginleştirme işlemi için genellikle bir ton cevher için üç ton su kullanılmaktadır. Atık havuzuna ve atık barajına gönderilen atıklardaki su bazı tesislerde geri döngüye tabi tutulurken bazı tesislerde çökeltme sonrası alıcı ortama verilmekte, bazı tesislerde ise proses atıkları ile birlikte direkt olarak alıcı ortama verilmektedir.

Zenginleştirme tesisi proses atıklarının Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek-11 A'da tanımlanan Atıkların Düzenli Depolama Kriterleri açısından analizi genelde yaptırılmamıştır. Ayrıca atık barajı veya havuzuna sızdırmazlık teşkil edilip edilmediği, edildi ise geçirimsizlik oranı, hangi malzemeler ile bu geçirimsizliğin sağlandığı, yeraltı suyu seviyesi, yeraltı suyu yönü ve ayrıca sedde vb. önlemlerin ne şekilde oluşturulduğu yönünde genel olarak bilgi bulunmaktadır. Hali hazırda kurulu tesislerde milyonlarca ton atık depolandığı için yukarıda belirtilen hususlara işletmesi devam eden tesisler konusunda açıklık getirmek pek mümkün değildir. Bu nedenlerle gerçekleştirilen depolama faaliyetlerinin mevzuat ile uyumluluğu görülmemektedir.

Ayrıca bazı tesislerde proses atıkları içerisinde şu an işletmeciler açısından karlı olmayan ancak metal fiyatlarındaki artışlar, cevher tenörlerinin daha azalması teknolojik gelişmeler durumunda değerlendirilebilecek miktarda metal bulunmaktadır. Ayrıca cevherleşme genelde tek tip olmadığı için proses atıkları içerisinde ağır metaller de bulunmaktadır.

Proses atıklarının Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik Ek-IV'te belirtilen kodlarla tanımlanmasının tam olarak yapılmadığı tespit edilmiştir.

Atıkların bertaraf edildiği alanların kapanmasının ne şekilde gerçekleştirileceği hususunda bir öngörü bulunmamaktadır.

Zenginleştirme tesisleri ile ilgili olarak gerçekleştirilen ÇED süreçlerinde söz konusu proses atıklarının ne şekilde bertaraf edileceği konusunda gerekli taahhütler alınmasına rağmen, atık depolama tesislerinin verilen taahhütler çerçevesinde teşkil edilip edilmediği hususunda yeterli bilgiler bulunmamaktadır.

2.5.2. Cevher Zenginleştirme Tesisleri ve Atıkları İncelemeleri

2.5.2.1. Lahanos Atık Barajlarının Genel Durumu

Lahanos Bakır-Çinko flotasyon tesisinde işlenen ham cevherden arta kalan atık malzeme, flotasyon tesisinden su ile karıştırılıp bir borudan doğal topoğrafik eğim boyunca akıtılarak atık barajlarına iletilmektedir.

Özcan (2009) tarafından Lahanos atık barajları ile ilgili yapılan tez çalışması kapsamında atık barajının mevcut durumunda ve yükseltilmesi koşulunda duraylılığın incelenmesi amaçlandığı için, öncelikle gövdeyi oluşturan malzeme ile yükseltme işleminde kullanılacak malzemenin mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

Bununla birlikte, Özcan (2009) tarafından baraj duraylılığı açısından, gövdenin gerisinde biriktirilmekte olan atık malzemesinin gövdeye yapacağı etkinin de şev duraylılığı analizlerinde dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir.

Vadi tipinde inşa edilen atık barajının gövde dolgusunda çakıldan kil tane boyuna kadar değişen farklı malzemelerin olduğu tez çalışması sırasında gövdenin üst kesiminde açtırılan araştırma çukurlarından alınan numunelerden tespit edilmiştir.

Baraj gövdesinin akış aşağı (membra) şevine filtre malzemesi yerleştirilmiş ve bu malzemenin üzerine de jeotekstil serilmiştir. Bu jeotekstil malzemesinin hidrolik iletkenliği Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Hidrojeoloji Laboratuvarında Johnson tipi permeametre ile ölçülerek, geçirgenliğin 2.8×10^{-2} cm/s olduğu saptanmıştır. Söz konusu yaygının/jeotekstilin suyun yanı sıra, kolloid ve kil, hatta silt tane boyundaki malzemeyi de geçirebileceğine işaret edilmektedir. Buna göre, gövde inşasında kullanılan jeotekstil gövde dolgusunun geçirimsizliğinin azaltılması amacına uygun değildir.

Sahada yapılan incelemelerde akış aşağı gövde şevinin belirli bir kottan itibaren önerilen eğimden biraz farklı olarak daha dik bir eğimle (yer yer değişen) inşa edildiği belirlenmiştir

Saha gözlemlerinde, baraj gövdesinde herhangi bir hareketin göstergesi olabilecek tansiyon çatlağı vb. gibi deformasyonlar izlenmemiştir. Ancak, baraj gövdesinin akış aşağı şevinde birkaç noktada su sızıntılarının varlığı saptanmıştır. İşletme yetkililerinden alınan bilgilere göre baraj gövdesinden sızan sular temiz olup,

herhangi bir katı malzeme taşımamaktadır. Bu sızıntıların baraj gövdesinde erozyona neden olarak kanallar oluşturduğu ve baraj gövde geometrisini bozduğu gözlenmiştir. Atık barajına ait dolu savaktan çıkan sular gövde ve yamaç arasında aktığı için gövde dolgusuna zarar vermesi nedeniyle, çıkış kanalı yamaç üzerinde olacak yeni bir dolu savak inşa edilmesi önerilmiştir.

Buna göre barajın mevcut durumu ile 7 m ve 10 m yükseltilmesi hallerinde, beklenmeyen aşırı su basınçlarının gelişmemesi ve yükseltme sırasında şevin projede öngörülen eğimle inşa edilmesi koşuluyla, herhangi bir şev duraysızlığı sorununun beklenmeyeceği sonucuna varılmıştır.

Dikmen ve Biltekin (2008) tarafından 2008 yılı içerisinde yerinde yapılan incelemede tesis ile ilgili aşağıdaki bilgiler verilmektedir:

“Demir Export A.Ş. Lahanos Bakır Çinko İşletmesi 15/02/2007 tarihinde Ortadoğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümüne teslim edilen atık numunesi 14 Mart 2005 tarih ve 25755 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” Ek-11/A “Atıkların Düzenli Depolama Tesislerine Depolanabilme Kriterleri” kapsamında analizi yapılmıştır. Ortadoğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından düzenlenen analiz raporu incelendiğinde Zn (çinko) parametresi açısından “Tehlikeli Atık Olarak Muamele Görececek Atık” sınır değeri üzerinde, Cd (kadmium), Cu (bakır) ve Pb (kurşun) parametreleri açısından “Tehlikeli Atık Olarak Muamele Görececek Atık” kategorisinde olduğu belirlenmiştir.” Lahanos eski atık barajının görünümü Şekil 2.5’te yer almaktadır.



Şekil 2.5 : Lahonos Eski Atık Barajı

Atık barajının zemin geçirimsizliği konusunda da açıklayıcı bir bilgi verilememiştir. Ancak atık barajının bendinin iç kısmına yukarıdaki resimde görüldüğü gibi kısmen jeomembran serilmiş ancak bu da kalın demirlerle zemine çakılarak tutturulmuştur. Dolayısı ile zemine serilen jeomembranın kısmen serilmesi ve delinmesi nedeniyle hiçbir önem taşımamaktadır. (Dikmen ve Biltekin, 2008)

Lahonos'ta şu an kullanılmakta olan atık barajının görünümü Şekil 2.6'da yer almaktadır.



Şekil 2.6 : Lahonos Kullanılan Atık Barajı

Yapılan teknik incelemenin sonucunda “Demir Export A.Ş. Lahanos Bakır Çinko İşletmesi Atık Barajının zemin geçirimsizliği konusunda tesis yetkilileri açıklayıcı bir bilgi ve doküman verememiştir. Bu nedenle atıkların düzensiz olarak depolandığı atık barajının ve eski atık barajının zemin etüdünün yapılarak geçirimsizliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca mevcut atık barajlarının yer altı suyuna olası etkisinin belirlenmesi ve izlenmesi amacıyla açılan gözlem kuyuları yer altı suyunun akış yönüne göre yeniden konumlanmalıdır.” (Dikmen ve Biltekin, 2008)

2.5.2.2. Zamantı Madencilik Çinko-Kurşun-Bakır Flotasyon Atıkları

2009 yılı Ağustos ve Eylül aylarındaki yoğun yağış nedeniyle, Zamantı Madencilik tarafından kademeli olarak inşa edilmiş olan 3 atık barajının birincisinin bendinin üzerinden sular taşmış, ikinci atık barajının bendinin sol tarafı patlamış ve üçüncü atık barajının bendinden oluşan sızıntılarla atık barajlarında biriken flotasyon atıkları Ordu İlinin içme ve kullanma suyunun temin edildiği Melet Irmağına karışmıştır.

Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü personeline 2009 yılı Eylül ayında yapılan incelemede:

- Birinci atık barajının halen su ile dolu olduğu, suyun açılan kanal ile cazibeyle akışla ve pompalarla diğer havuzlara uğramadan by-pass hattı ile aşağıdaki dereye deşarj edildiği,
- İkinci atık barajının bendinin sol tarafının patladığı ve barajda birikmiş olan atıkların bir kısmının yüzey akışı ile Melet Irmağına gittiği,
- Üçüncü atık barajının bendinden sızıntının halen devam etmekte olduğu, ancak bendin 11 metre önüne ikinci bir beton bent çalışmasının yapıldığı,
- 100 yıllık yağış göz önüne alınarak mabadan mansaba doğru atık barajının sağ tarafına 1*1,5 lik trapez derivasyon kanalı, sol tarafına da kılçık drenaj kanalı yapılmasının planlandığı ve arazi çalışmasının bu yönde devam ettiği,

belirlenmiştir (Aka ve Diğerleri, 2009). Zamantı Madenciliğinin yıkılmış atık barajlarının görünümü Şekil 2.7’de yer almaktadır.

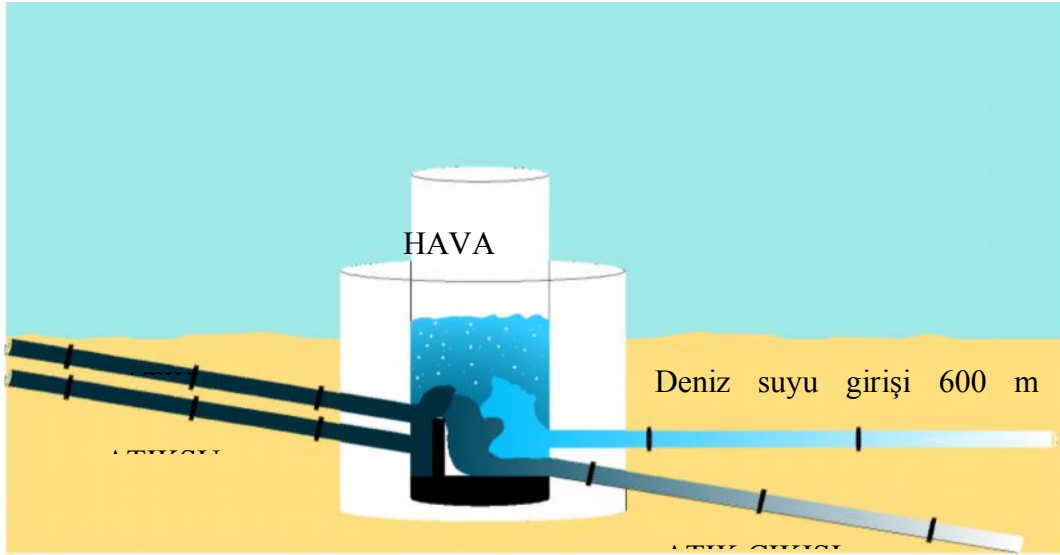


Şekil 2.7 : Zamantı Madencilik Atık Barajları

2.5.2.3. Çayeli Bakır İşletmeleri

Çayeli Bakır İşletmeleri'nde çıkan atıklar Karadeniz'e derin deniz deşarjı ile verilmekte olup, ön arıtma bulunmamaktadır. 1994 yılında 350 metre derinlik için derin deniz deşarjı izni alan Çayeli Bakır İşletmeleri, 2002 yılında Çevre Bakanlığı'ndan alınan izinle deşarj uzunluğunu 273 metreye çekmiştir. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği 54. Madde gereği işletme; Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü ile yaptığı protokol kapsamında Karadeniz deniz ortamında ve Büyükdere'de 3 aylık periyotlar halinde izleme programı yapmakta ve izleme raporları ile yıllık değerlendirme raporları Çevre ve Orman Bakanlığı ile ilgili kurumlara gönderilmektedir (Özmen ve Özcan, 2008).

Ayrıca belirli aralıklarla şlam atıkları çimento ile karıştırılarak bakır madeninin çıkarıldığı galerilere enjekte edilerek, söz konusu alanın rehabilitasyonu kapsamında değerlendirildiği Çevre Bakanlığından 02.02.2000 tarih ve 1127 sayılı yazı ile onay alındığına dair yazı alındığı firma yetkilileri tarafından beyan edilmiştir (Özmen ve Özcan, 2008). Çayeli Bakır İşletmeleri tarafından kullanılmakta olan sistemi gösterimi Şekil 2.8'de yer almaktadır.



Şekil 2.8 : Karışım Tankı

Atık havuzu yapılmamasının nedenleri arasında ise Karadeniz'in anoksik ortamının deşarj için daha uygun olması, bölgenin dağlık olması ve yeterli arazinin olmaması ile metrekareye düşen yıllık ortalama 2327 mm yüksek yağış oranlarının çevresel risk oluşturması nedenleri gösterilmektedir (Özmen ve Özcan, 2008).

2.5.2.4. Divriği Erdemir Madencilik

Erdemir Madencilik San. ve Tic. A.Ş.'ye ait olan konsantrasyon ve pelet tesislerinde, çıkarılan cevher kırılarak boyutu 45 mikrona düşürülmek suretiyle proses gereği sulu olarak manyetik separatörlere beslenmekte, manyetik özelliği olan mineraller tutularak geri kalan bölümü su ile sistemden dışarı çıkmaktadır. Atık miktarı 300.000 ton/yıl olan tesisin atıkları mevcut atık havuzunda depolanmakta, katı maddeler çökelmekte ve yüzeyleyen atık su Çaltı Çayına verilmektedir. Atıksuyun Çaltı Çayına bırakılması ile ilgili olarak deşarj izninin alındığı ifade edilmiştir. Mevcut havuzun kapasitesinin yetersiz gelmesi nedeniyle Diğriği İlçesi Derindere mevkiinde 1990 yılında planlanmış olan atık barajının yapılması tekrar gündeme gelmiştir (Karaca ve Özmen 2007). Erdemir Madencilik tarafından kullanılmakta olan atık havuzu görünümü Şekil 2.9'da yer almaktadır.

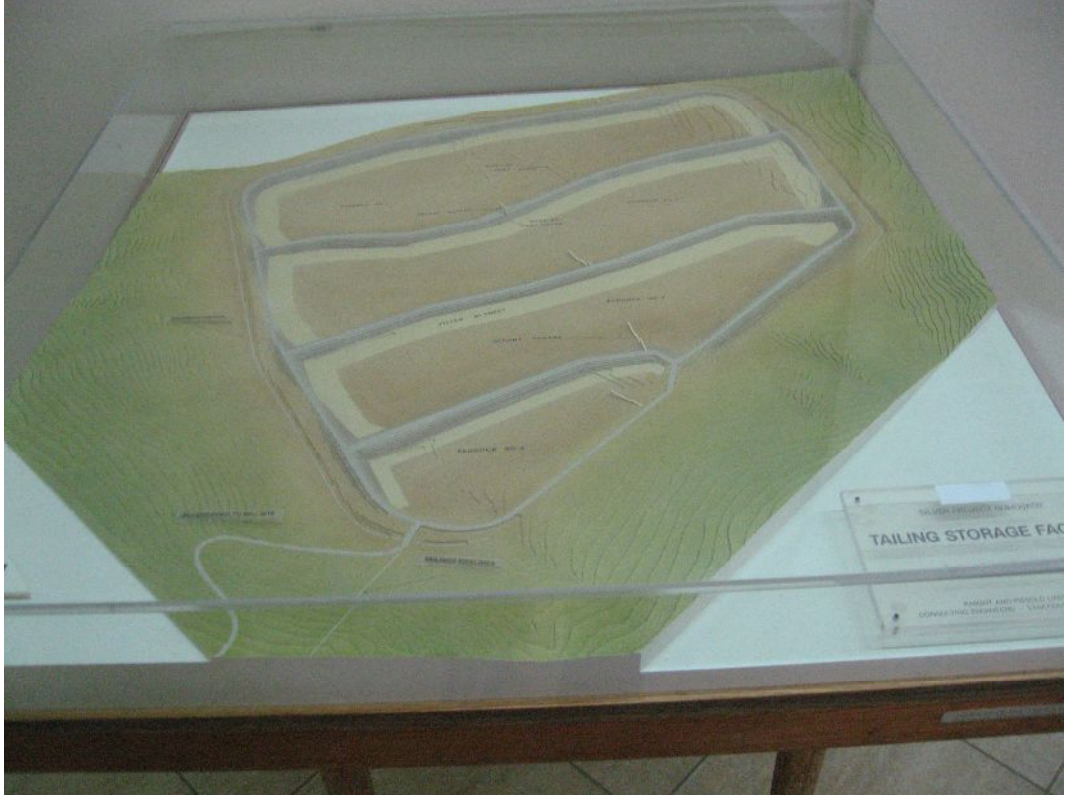


Şekil 2.9 : Erdemir Madencilik Atık Havuzu

2.5.2.5. Eti Gümüş Atık Barajları

Proses atıkları değişik büyüklükteki dört adet atık havuzlarında toplanmakta olup, atık havuzlarının genel toplam alanının 150 ha olduğu belirtilmiştir. Söz konusu

barajların kullanım alanları 110 ha olup, koruma bandı alanları ile birlikte 150 hektarı bulmaktadır. Atık havuzlarında toplanan suyun yerçekimi etkisiyle katı maddeleri çökeldikten sonra su tekrar prosese basılmaktadır. Sistemde yaklaşık 1200 m³/h lik bir döngü olduğu belirtilmiştir. Ayrıca sisteme 60-70 m³/h lik bir taze su ilavesi yapılmaktadır. Eti Gümüş tarafından kullanılmakta olan atık barajlarının maketi Şekil 2.10'da ve atık barajları ise Şekil 2.11'de görülmektedir.



Şekil 2.10 : Eti Gümüş Halka Şekilli Atık Barajları Maketi



Şekil 2.11 : Eti Gümüş Halka Şekilli Atık Barajları

Atık havuzu sedde yükseltilmesi işi için 25/08/2004 tarihinde sözleşme imzalanmış ve DSİ III. Bölge Müdürlüğü kontrolünde yaklaşık 4 m sedde yükseltilmesi yapılmış ve DSİ III. Bölge Müdürlüğünün 14/12/2007 tarihli Kesin Kabul Tutanağı ile onaylanmıştır.

Atık havuzlarında biriken atık malzemede 100-110 gr/ton gümüş olduğu beyan edilmiştir. Bu malzemeler gümüşün elde edilmesi için işlenmek üzere tekrar prosese gönderilmektedir.

Tesisin kurulma aşamasında yapılan fizibilite çalışmalarında atık havuzları ile ilgili olarak yapılan zemin etütlerinde permeabilite katsayısının 1×10^{-8} m/sn ile 1×10^{-10} m/sn arasında olduğu ifade edilmiştir (Hacıhasanoğlu ve Dikmen, 2008).

2.5.2.6. Özdemir Antimuan Zenginleştirme Atıkları

Tokat İli, Turhal İlçesi, Elalmış Köyünde, 100 ton/gün kapasitesi olan Özdemir Antimuan Madenler A.Ş.' ne ait antimuan işletmesinde, kapalı ocak sistemiyle delme patlatma yöntemiyle cevher çıkartılmakta ve zenginleştirme işlemine tabi tutulmaktadır.

Ortaya çıkan yaklaşık 400 ton flotasyon atığı 2000 m^3 ve 4000 m^3 hacimli havuzlarda münavebeli (dönüşümlü) olarak biriktirilmektedir. Havuzlara giren

flotasyon atığının katı maddesi yerçekimi etkisiyle çökmekte ve atık suda alıcı ortama deşarj edilmektedir. Tesise Tokat Valiliği, İl Çevre ve Orman Müdürlüğü yetkilileri tarafından deşarj izni verildiği belirtilmiştir. Su oranı dozer ile çalışılacak duruma geldiğinde havuzlar boşaltılarak pasalarla birlikte düzensiz olarak depolanmak üzere havuzların 40 metre yakınına taşınmaktadır.

Atıkların depolandığı havuzların zeminlerinde herhangi bir geçirimsizlik sistemi oluşturulmamış doğal yapısı üzerine depolandığı ifade edilmiştir (Dikmen ve Karaca, 2008).

2.5.2.7. Eti Bakır Zenginleştirme Atıkları

Tesis % 1 oranında bakır içeren cevher işlemek üzere kurulmuş olmasına rağmen şu an binde 6 oranında bakır içeren cevher ocaktan alınarak işlenmektedir. Bulk flotasyondan çıkan malzeme atık tükürü ile bakır flotasyondan çıkan atıkların ise pirit tükürü ile Lepiskür Deresine deşarj edildiği ifade edilmiştir. Flotasyon tesisinde 1 ton cevher için yaklaşık 3 ton su ve 25-30 gram kadar flotasyona yardımcı kimyasal malzeme kullanıldığı ifade edilmiştir. Flotasyon tesisinde yılda yaklaşık olarak 1 milyon m³ proses atığı çıktığı ifade edilmiştir.

Lepiskür Deresine şu ana kadar 70 milyon m³ özelleştirme öncesi olmak üzere toplam 82 milyon m³ pasa depolaması gerçekleştirildiği ifade edilmiştir. Gerek Lepiskür Deresi, gerek yağışlar ve proses atığından kaynaklı olarak 2008 yılı Nisan ayında yaşanan taşkın felaket düzeylerine ulaşmış olup, pasa yığınları Kabaca Dereye ulaşarak Murgul'a kadar taşınmış olduğu ifade edilmiştir. Söz konusu kaymayı engellemek üzere Lepiskür Deresinin Kabaca Dereye bağlandığı noktaya yapılmış olan topuk yapısı bu durumu engellemeye yetmemiş olduğu görülmüştür. Söz konusu olayın tekrar yaşanmaması için Lepiskür Deresine gelen akış yapılan bir derivasyon tüneli ile Kabaca Deresine ulaştırılmakta olup, ayrıca bir temiz su barajı bu amaçla inşa edilmiştir (Karaca ve Özbebek, 2008). Tesisin atıklarının depolanması için bir atık barajı yapılması planlanmakta olup, atık barajı ile ilgili ÇED süreci 2010 yılı Ocak ayında tamamlanmıştır.

Lepiskür Dereden Kabaca Deresinden taşkınla taşınmış olan pasa ve cevher zenginleştirme atıklarının görünümü Şekil 2.12’de yer almaktadır.



Şekil 2.12 : Lepiskür Deresinden Kabaca Dereye Taşınmış Pasa ve Atıklar

3. DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

3.1. Atık Barajlarının Tarihçesi

Madenciliğin en az 5000 yıldır çeşitli şekillerde gerçekleştirildiği bilinmektedir. Günümüzde cevherin kırılıp öğütülmesi yoluyla gerçekleştirilen madenciliğe benzer madenciliğin 1500'lü yıllardan beri yapılmaktadır.

Başlangıçta, ekonomik değere haiz mineraller özgül ağırlık farklılıklarına göre kırılmış kayalardan ayrılmakta idi. Ortaya çıkan atıklar ise geleneksel olarak uygun bir yere yönlendirilmekteydi. Uygun olarak tabir edilen bu yerler genellikle en yakında bulunan dere ya da nehir yatağı olup, böylece atıkların alandan uzaklaştırılması sağlanmış ve depolama ile ilgili hususlar ortadan kaldırılmıştır. 1800'lü yıllara gelindiğinde köpüklü yüzdürme ve siyanür liçi ile altın eldesi madencilik alanında değiştiren iki önemli gelişmedir.

Yüzdürme ve siyanür liçi düşük tenörlü cevher yataklarının işlenme oranının büyük oranda arttırmış ve büyük miktarda atığın ortaya çıkması devam etmiştir. Ayrıca bu atıkların boyutları küçülmüştür (74 µm'den küçük malzeme). Ancak atık bertarafındaki uygulama büyük oranda aynı kalmış ve sonuç olarak daha çok miktarda atığın stoklanması ve daha büyük mesafelerdeki nehir, göl ve denizlere taşınmasına neden olmuştur.

1900'lü yıllarda, özellikle tarım alanlarında alan ve su kullanımı konusunda tartışmalar yaşanmaya başlamıştır. Birikmiş atıklar sulama yapıları tıkanmış ve mansapta yer alan alanların kirlenmesine neden olmuştur. Çiftçiler atıklardan etkilenmiş alanlardan daha az üretim elde ettiklerini fark etmeye başlamışlardır. Kuzey Amerika ve Avrupa'da arazi ve su kullanımı ile ilgili hususlar tartışmaları başlamış ve hukuki itilaflar ortaya çıkmıştır. Yaşanan hukuki süreçler ve özellikle 1930'lu yıllardaki ortaya çıkan olaylar batı dünyasının büyük çoğunluğunda atıkların kontrolsüz bir şekilde bertarafına da son vermiştir (Davies, 2002).

Maden sektörü çalışmalarına devam edebilmek amacıyla ilk atık barajlarını 1910 yılından sonra inşa etmeye başlamıştır. İlk atık barajları genellikle dere yataklarını

nadir gerçekleşebilecek taşkınlara karşı düşük oranda dayanıklı olarak inşa edilmiştir. Sonuç olarak, yoğun yağışlar veya taşkınlar nedeniyle dere tipi bu atık barajlarının ancak birkaç tanesi sağlam kalabilmiştir (Davies, 2002).

İlk yapılan baraj inşaatlarında iş makinelerinin kullanılması mümkün olmadığı için işçi gücüne dayanan ilk memba tipi atık barajları inşa edilmiştir. Düşük sedde yüksekliğine sahip rezervuarlar ilk etapta atıklarla doldurulmuş ve daha sonra aşamalı olarak önceki seviyenin yukarısı ve arkasına düşük seddeler inşa edilmiştir. Bu inşaat tekniği mekanize edilerek günümüzde de kullanılmaktadır.

Geleneksel memba tipi baraj inşaatından kopmalar 1928'de Şili'de yaşanan büyük bir deprem nedeniyle Barahona Atık Barajının yıkılmasıyla olmuştur. 1940'lı yıllara gelindiğinde yüksek kapasiteli iş makinelerinin sayesinde yaygın su tutma barajlarındaki uygulamaya benzer şekilde daha yüksek güvenlik değerlerine sahip sıkıştırılmış toprak dolgu barajların inşaatına başlanmıştır (Davies, 2002).

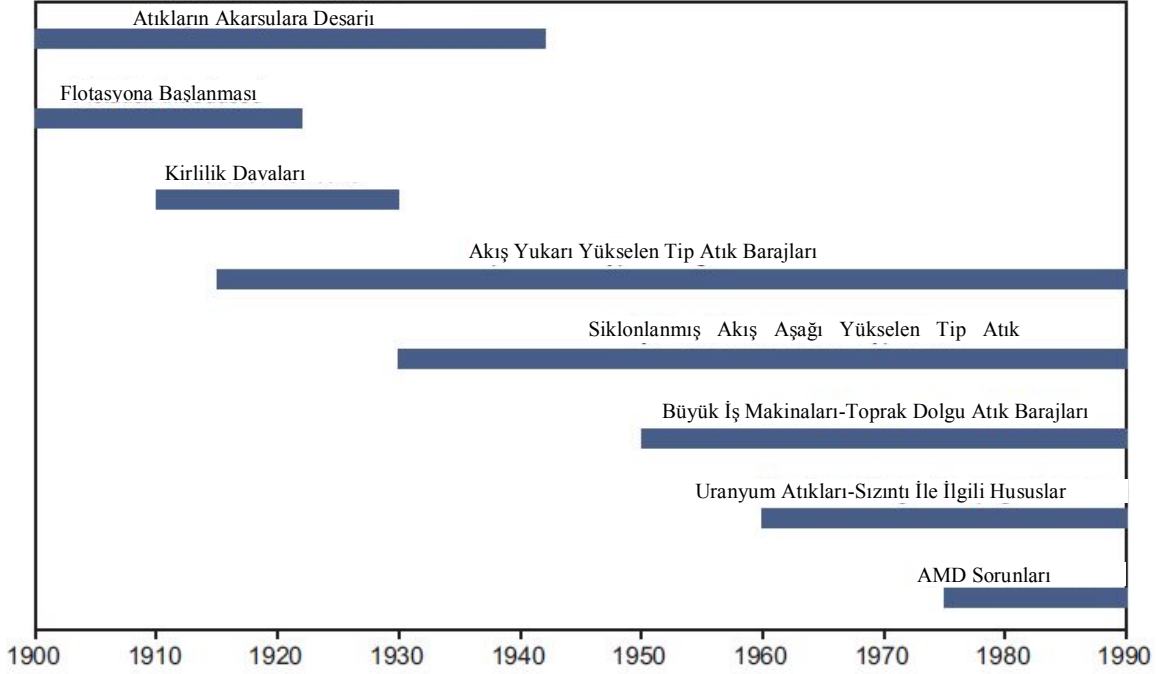
1950'lilere gelindiğinde baraj mühendisliğinin birçok temel prensipleri anlaşıldı ve Kuzey Amerika'daki birçok madendeki atık barajında kullanılmıştır. 1960'lara gelinmeden jeoteknik mühendisliği ve ilgili disiplinler deneysel dizayn kurallarına uyarlanmış ve kullanılmaya başlandı (Davies, 2002).

Atık barajlarından kaynaklı çevre etkileri ilk olarak ciddi bir şekilde 1970'lerde uranyum zenginleştirme atıkları konusunda olmuştur.

1970'lerin başında, atık barajlarının yapısal teknik hususları (atıkları statığı ve atıkların depremden kaynaklı sıvılaşması, sızıntı problemi ve temel stabilitesi gibi) çok iyi bir şekilde anlaşılabilir şekilde tasarımı sırasında bu problemler çözülmüştür. Atık barajı tasarımcılarının birçoğu tarafından fark edilmeyen tek önemli jeoteknik husus statik yük nedeniyle başlayan sıvılaşmadır.

Geçtiğimiz 30 yıla bakıldığında çevresel hususlar önem kazanmış ve dikkatler maden ekonomisi ve atık barajlarının fiziksel stabilitesinden atık barajlarının kimyasal etkileri ve kirletici transfer mekanizmalarına dönmüştür. Son dönemlerde meydana gelen atık barajı kazaları madencilik sektörüne karşı olumsuz bir kamuoyu oluşmasına neden olduğu için fiziksel stabilite önde gelen konuya devam etmiştir. Bu duruma karşılık birçok maden şirketi kurumsal düzeyde güvenilir atık barajı yönetimini öncelik olarak belirlemiş ve gerekli kaynak aktarımına öncelik vermiştir.

Vick (1995) tarafından cevher zenginleştirme atıklarının yönetimi ile ilgili tarihsel gelişim Şekil 3.1’de yer almaktadır.



Şekil 3.1 : Cevher Zenginleştirme Atıklarının Yönetimi Tarihsel Gelişimi

3.2. Yer Altı Depolaması

Cevher zenginleştirme atıkları yer altında daha önce cevher çıkarılmış boşluklarda depolanabilmektedir. Cevher zenginleştirme atıkları genellikle çimento gibi bağlayıcı maddeler ile karıştırılır ve yer altındaki boşluklara pompalanır. Böylece, hem yer altındaki boşlukları doldurulmuş hem de yer altı işletmesini desteklenmiş olur.

3.2.1. Yer Altı Ocaklarında Kullanılan Dolgu Tipleri

Dört çeşit yer altı dolgu tipinden bahsedilebilir. Bunlar:

Macun dolgu

Hidrolik kum dolgusu

Çimentolu dolgu

Kuru kaya dolgusu

3.2.1.1. Macun Dolgu

Macun dolgu yüzey macun dolgusuna benzemektedir. Cevher zenginleştirme atıkları % 75'ten fazla kuru ağırlık olacak şekilde susuzlaştırılır ve genellikle piston pompaları vasıtasıyla yer altına pompalanır. Macun homojen bir görünüme sahiptir ve ölçülebilir bir çökme üretir. Macun yer altında depolandığında normal olarak kendi başına durabilecek yapıya sahiptir. Ayrıca içeriğindeki su sabit kalma eğilimindedir.

3.2.1.2. Hidrolik Kum Dolgusu

Hidrolik kum dolgusu cevher zenginleştirme atıklarının değişik fraksiyonlarda malzeme üretmek için siklonlanması durumunda kullanılmaktadır. Balçık kısım düşük geçirgenlik özelliklerinden dolayı genellikle yüzey bertaraf tesislerinde depolanmaktadır. Kum kısımlar ise hidrolik olarak yer altındaki boşluklara pompalanır. Gerekli görülmesi halinde kum kısımlar bağlayıcılar ile karıştırılırlar. Kum çöktükçe ve konsolide oldukça fazla suyu kismaya başlar. Kusma durumu yer altında yapılan patlatmaların da etkisiyle ortaya çıkan artık hava basıncıyla hızlanır. Artık hava basıncının yüksek seviyelerde olması sıvılaşmaya neden olabilir.

3.2.1.3.Çimentolu Dolgu

Çimentolu dolgu cevher zenginleştirme atıklarının ve pasaların yer altına doldurulmasıdır. Bu yöntem, pasaların depolanması ve aşırı büyüklükteki yer altı boşluklarının doldurulması istendiğinde yapılmaktadır. Çimento bulamacı pasaların üzerine boşaltılmak suretiyle boşlukların doldurulması ve bağlanması sağlanmaktadır. Bu yöntem maliyet nedeniyle düşük hacimlerde çimento bulamacının olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

ECZACIBAŞI ESAN Endüstriyel Hammaddeler Sanayi Tic. A.Ş. tarafından Balıkesir İli, Balya İlçesinde kurulmakta olan kurşun-çinko zenginleştirme tesisinden kaynaklanan atıkların çimento ile karıştırılıp yer altı ocaklarına depolanması planlanmaktadır.

3.2.1.4.Kuru Kaya Dolgusu

Kuru kaya dolgusu pasa, yüzey kumları, çakıllar veya kurutulmuş cevher zenginleştirme atıklarıdır. Dolgu aşağı bırakmak ya da kamyonlarla taşıma suretiyle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem en çok kes ve doldur tipi madenler için uygundur.

3.2.2. Yer Altı Depolamasının Avantaj ve Dezavantajları

Yer altı depolaması şeklinde gerçekleştirilen depolamanın avantaj ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır.

Avantajlar:

Cevher zenginleştirme atıkları yer altında depolanır ve yüzeydeki atık depolamadan kaynaklı rahatsızlık engellenmiş olur.

Cevher açısından zengin topuk ve destekler çıkarılabilir.

Dolgu yer altı işletmesine destek sağlar.

Basıncın topuk ve destekler üzerine yoğunlaşmadığı durumlarda kayaların parçalanma riski dolgu tarafından azaltılır.

Havalandırma devresinin verimi arttırır.

Patlatmadan kaynaklı tavan çökmesini engeller

Bağlayıcılar yer altı suyunun kirlenmesinin minimize edilmesine yardımcı olur.

Dezavantajlar:

- Yüksek maliyet, özellikle bağlayıcı maddelerin kullanımında
- Cevher zenginleştirme atıkları susuzlaştırılmalı ve dolayısıyla maliyet artışı
- Cevher çıkartma stratejilerinin önünde engel olması
- Doygunluk seviyesinin artması ve sismik vibrasyon olursa atıkların sıvılaşma riskinin artması
- Cevher atıklarından kaynaklı sızıntının yer altı suyunu kontamine etmesi
- Düşük kaliteli dolgudan kaynaklı cevher seyrelmesi

Yer altı atık depolaması örneği Şekil 3.2.'de görülmektedir.



Şekil 3.2 : Yer Altı Atık Depolaması

3.2.3. Yer Altı Dolgusu İle İlgili Problemler

Dolgunun kimyasal ve fizikler değişikliklere maruz kalması durumunda yer altı suyunun kirlenmesinin önlenmesi için bağlayıcı maddelerin yardımına başvurulabilir. Pirit içerikli cevher zenginleştirme atıklarının çimento ile karıştırılması ile dolgunun oksitlenmesi ve asit üretimi azaltılır ve böylece metallerin mobilizasyonu azaltılmış olur. Bu uygulama özellikle işletme boşluğunun yer altı suyu seviyesi altında olduğu durumlarda dolgunun yer altı suyu ile direkt bağlantısını kesmesi açısından kullanışlıdır. Bağlayıcı madde kullanımı ile dolgunun hareketi, sıvılaşma ve çökme gibi problemler engellenmiş olur.

Yer altı dolgusu ile ilgili birçok problemler bulunmaktadır. Bunların başlıcaları aşağıda sıralanmıştır:

- Boru hattının tıkanması-Bağlayıcıların kullanılması durumun büyük bir problem olup boru hattının değiştirilmesi gerekebilir.
- Kuyunun tıkanması-Eğer dolgu bir kuyu vasıtasıyla boşaltılıyorsa kuyuda tıkanmalar görülebilir.

- Dolgunun çamurlaşması-Dolgunun kabuklaşması taze dolgunun başka yerlere taşınmasına neden olur.
- Boru hattının patlaması
- Setin yıkılması
- Dolgunun sıvılaşması
- Dolgu havuzunun tıkanması
- Fare çukurlarının oluşması
- Pompa bozulmaları

3.3. Yüze Depolama Yöntemleri/ Atık Barajları

Geleneksel sedde depolama yöntemlerinde genelde ve normal olarak, yoğunlaştırma, macunlaştırma ve kuru yığma tipi depolamalara göre daha yüksek seddeler inşa edilir. Geleneksel atık depolama tesisleri cevher zenginleştirme atıklarını ve suyu tutma amacıyla inşa edilirken (Vick, 1990) yoğunlaştırma, macun ve kuru depolama yöntemleri atıkları tutmanın ötesinde temel olarak dışarıdan gelecek akışı, sızıntı suyunu ve ince parçacıkları tutmak amacıyla inşa edilirler. Yoğunlaştırma, macunlaştırma ve kuru yığma tipi depolamalarda dizayn prensibi kendi kendine durabilen yığınlar oluşturmaktadır.

Çukur tipi, diğer maden atıkları ile birlikte depolama ve su yapılarına depolama fazlaca kullanılmayan ancak bazı koşullar altında faydalı olabilecek alternatif depolama metotları arasında yer almaktadır. Çukur tipi depolamada açılmış ocak çukurlarının cevher zenginleştirme atıkları ile doldurulmasıdır. Yer altı suyu seviyesinin üzerindeki ocak çukurlarında genelde sızdırmazlık sistemlerinin kullanılmadığı görülmektedir (Ritcey, 1989). Diğer maden atıkları ile birlikte depolama da ise daha iri maden atıkları ile birlikte depolama yapılarak tek bir atık akımının oluşması sağlanmaktadır (Martin, Davies et al. 2002). Bu metot en çok yer altı ve açık ocak işletme boşluklarının doldurulmasında, geleneksel atık depolama faaliyetlerinin üstünün kapatılmasında ve yükselen set atık yığınlarının inşasına uygundur (DME, 1999).

Su yapılarına depolama; cevher zenginleştirme atıklarının su yapılarına deşarjıdır. Yüzey altı depolama bu anlamda en çok karşılaşılan depolama tekniğı olmakla birlikte denizlerin derin bölgelerine yapılmaktadır (Moore, Pelletier et al. 2002).

Ülkemizde Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş. tarafından cevher zenginleştirme atıkları boru vasıtasıyla taşınarak Karadeniz'e 275 m derinlikte deşarj edilmektedir. Karadeniz'in anoksik yapısı ve hidrojen sülfürün bu derinliklerde baskın bir yapıya sahip olması nedeniyle ideal bir ortam olarak değerlendirilmiştir. Yapılan deşarjı ile ilgili olarak Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü'ne düzenli aralıkla raporlama yapılmakta olup, halen bu işlem izinli olarak yapılmaktadır.

3.3.1. Birleşik Bertaraf

Birleşik bertaraf, ince ve iri boyuttaki cevher zenginleştirme maden atıkları karışımının tek bir atık akımı oluşturarak bertaraf edilmesidir (Martin, Davies et al. 2002). İnce ve iri boyuttaki atıkların karıştırılması iri atık akımlarındaki boşluk oranları ince taneli atıklar tarafından doldurulurken aynı zamanda ince tanelilerin dayanımı da iri atıklar tarafından arttırılmaktadır. Birleşik bertaraf edilen atıkların dayanımı ve hızlı stabilizasyonu cevher zenginleştirme atık bertaraf tesislerinin rehabilitasyonunun kısa sürede yapılması ve statik ve dinamik yüklerin risk ve sonuçlarının azaltılmasını sağlamaktadır (DPI, 2003).

Birleşik bertaraf, kuru depolama olduğu gibi tutma seddelerine ihtiyaç duymamakta ve böylece sedde yıkılması riskini ve atıkların depolama alanı dışına taşınmasını ortadan kaldırmaktadır (Smith and Leduc, 2003). Diğer bir avantaj ise birleşik bertaraf sülfür içeren iri maden atıklarından kaynaklı asit üretimini büyük ölçüde azaltmaktadır. İnce taneli atık akımları iri taneli atıklara oranla su ve atmosferik oksijenin bakımından daha az geçirgenliğe sahiptir. Bu iki atık akımının birleştirilmesi fiziksel stabiliteyi (yüksek kayma dayanımı) ve kimyasal stabiliteyi arttırmakta ve sonuç olarak oksidasyonu ve asitli maden dreanajı oluşumunu azaltmaktadır (Martin, Davies et al. 2002).

Birleşik bertarafın temel dezavantajı ise iri ve ince taneli atıklarla beslemenin optimize edilmesi için iyi bir stratejiye ihtiyaç duymasıdır. Bu yöntem her iki atık beslemesinin birlikte pompalanması veya çukur tipi depolama yapılırken karıştırılması durumunda ekonomik olabilmektedir (DPI, 2003).

3.3.2. Atık Barajı Türleri

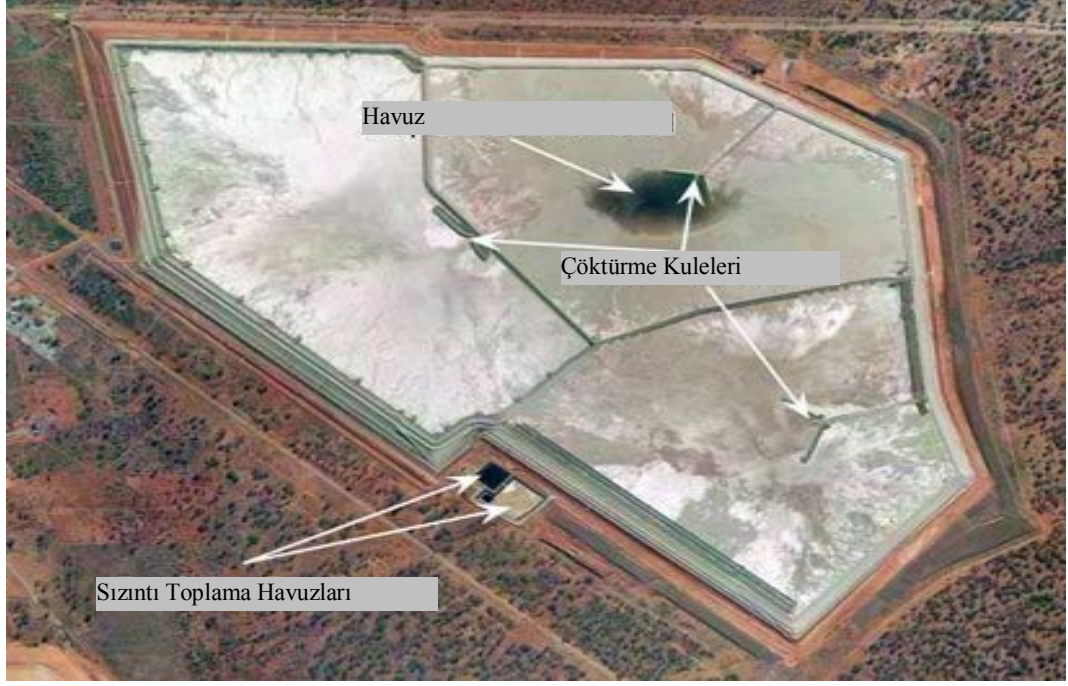
Yüzey atık depolama tesislerinin yerleşimi hem doğal arazi formlarına hem de mühendislik seçimlerine bağlıdır (Ritcey, 1989). Aşağıda yer alan üç temel yerleşim tipi bulamaç şeklindeki atıkları depolamak için kullanılmaktadır (Vick, 1990):

- Halka şekilli (padok veya hücreler)
- Vadi tipi-vadi eni, vadi tabanının eğimi yönüne paralel ve vadi dibi
- Çukur tipi

Sedde tasarımı bir dereceye kadar atık depolama tesisi yerleşiminden bağımsızdır. Buradaki temel alınan husus başlangıç seddesi ve daha sonra gerçekleştirilecek yükseltmelerin maliyeti ve buna bağlı olarak belirli bir yüksekliği elde etmek için gerekli malzeme miktarı, atıkların özellikleri ve ADT'nin su depolama gereksinimleridir. Topografik çöküntüler dolgu malzemelerine olan ihtiyacı düşürmeleri ve daha sonra gerçekleştirilecek yükseltme oranlarını azaltmaları nedeniyle ADT'ler için daha avantajlı alanlardır.

3.3.2.1. Halka Şekilli Atık Barajları

Padok veya hücre olarak da bilinen halka şekilli atık depolama tesisleri vadi tipi depolama tesisleri gibi topografik çöküntülere bağlı değildirler. Bu yüzden bu tip yerleşime sahip depolama tesisleri yer seçimi bakımında daha esnek olup zenginleştirme tesisine göreceli olarak daha yakın inşa edilebilmektedirler (Ritcey, 1989). Halka şekilli depolama tesisleri ortaya çıkan atık depolama kapasitesine bağlı olarak büyük miktarlarda dolgu malzemesine gereksinim duyarlar. Bunun nedeni ise, sedde uzunluklarının alanın tamamının çevrilmesi için artmasıdır. Bu tip atık depolama tesislerinin yüzeysel su baskınlarına maruz kalmamasıdır (USEPA, 1994). Şekil 3.3'te halka şekilli bir depolama tesisi örneği görülmektedir.



Şekil 3.3 : Halka Şekilli Depolama Tesisi

Akış Yukarı Yükselen Set Metodu ile yükselen halka şekilli depolama tesisleri yükseltme için en az dolgu malzemesine ihtiyaç doğan tipdir. Ancak her yükseltmede depolama hacmi azalmaktadır. Yükseltme oranlarındaki aşırı artış boşluk basıncının artması ve kayma mukavemetinin düşmesine neden olmaktadır (Jakubick, McKenna et al. 2003). Ancak kayma mukavemetinin belirli dizayn gerekliliklerine sınırlandırılması gerekmektedir (Sans, 1998). Bu tür aşırı yüklemeler statik sızılaşmayı tetiklemekte olup, bu güne kadar görülmüş birçok atık barajı kazalarının altında yatan etmendir (Davies, McRoberts et al. 2002).

3.3.2.2. Vadi Tipi Atık Barajları

Vadi tipi atık barajlarının genelde doğal topografyanın avantajını kullanmak için inşa edilmektedir (AK, 2004). Bu barajlar, seçilen vadinin topoğrafik özelliklerine göre baraj gövdesi vadi tabanının eğim yönüne dik, paralel ve hem dik hem paralel konumda olacak şekilde üç farklı tipte tasarlanmaktadır. Vadi tabanının eğimi yönüne dik atık barajı dizaynı, vadinin bir yanından öbür yanına yerleştirilen bir seddenin yerleştirilmesi açısından geleneksel tutma barajları ile benzerlik göstermektedir (Vick, 1990). Tutma barajlarından farklı olarak vadi eni atık barajlarının seddelerinin su toplama havzasının başından bir yerde inşa edilmesi daha

ideal bir durumdur. Su çevirme hendeği, dolu savak veya memba su tutma barajları azami taşkınları engellemek için gerekli olabilir.

Vadi tabanının eğimi yönüne dik atık barajı görünümü Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4 : Vadi Tabanının Eğimi Yönüne Dik Atık Barajı Görünümü

Vadi tabanının eğimi yönüne paralel atık barajları üç tarafa inşa edilen seddelerden oluşan bir yapıdır (Norman, 1998). Bu tip atık barajları halka şekilli atık barajlarına benzemekle birlikte bir eğim üzerine kurulu olduğu için halka şekilli atık barajları gibi tamamen bir seddelerle çevrilmesi gerekmemektedir. Memba yönünden gelecek yüzeysel su birikmesi bütün vadiyi seddelerle çevirmeden kolayca engellenebilir. Basit bir hendek ve bent dolu savak veya maliyetli bir memba su tutma barajına gerek duyulmadan istenilen yüzeysel su akışını yönlendirebilir ve kontrol altına alabilir. Vadi tabanının eğimi yönüne paralel atık barajları için arazi eğiminin % 10'un altında olması en iyi durumdur. Eğim dikleştikçe istenilen depolama hacmine ulaşabilmek için daha fazla dolgu malzemesinin kullanılması gerekecektir (Vick, 1990). Eğer yükseltme Akış Aşağı Yükselen Set ve Merkezden Yukarı Doğru Yükselen Set dolgu tekniğiyle yapılırsa Akış Yukarı Yükselen Set yükseltmeleriyle

karşılaştırıldığında sedde dolgu hacimleri artar ve potansiyel depolama alanları oluşturur.

Vadi tabanının eğimi yönüne paralel atık barajı görünümü Şekil 3.5'te görülmektedir.

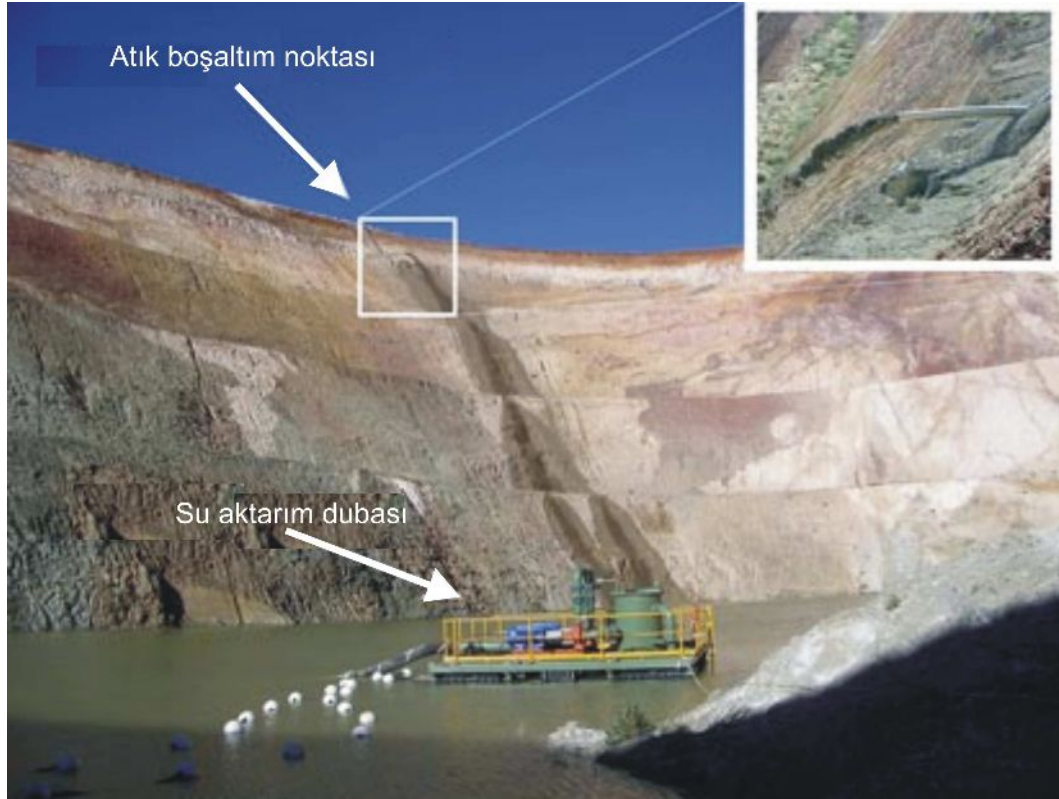


Şekil 3.5 : Vadi Tabanının Eğimi Yönüne Paralel Atık Barajı Görünümü

Vadi dibi atık barajları vadinin açıklığının çok fazla ve yüksek miktarda su akışının bulunduğu durumlarda gündeme gelmektedir. Dik yamaçlara sahip vadiler, vadi tabanının eğimi yönüne paralel depolamayı ya imkânsız kılar ya da istenmeyen hale sokar. Vadi dibi atık barajları aslında vadi eni ve vadi tabanının eğimi yönüne paralel dizaynları bir araya getiren ve çeşitli vadi tabanının eğimi yönüne paralel atık depolama oluşumları şeklinde inşa edilmektedir (USEPA, 1994). Oldukça dar vadilere inşa edilen vadi dibi atık barajlarında bazen var olan dere yataklarının yönlerinin değiştirilmesi gündeme gelmektedir (Vick, 1990). Bu durumlarda inşa edilen kanalların maksimum taşkın debisini taşıyacak ve suyun sedde topuğuna ulaşmasını engellemek gerekmektedir.

3.3.2.3. Çukur Tipi Atık Depolama

İşletme faaliyetinin tamamlandığı açık maden ocakları atık depolama amacıyla kullanıldığında çukur tipi atık barajı olarak adlandırılmakta olup, yukarıda değinilen atık barajı tiplerine göre daha az kullanılan bir atık barajı türüdür (Şekil 3.6). Atık malzemesinin maden ocağı çukurunun şevleri tarafından korunması nedeniyle borulama ve erozyonla meydana gelen duraysızlıklar bu tip barajlarda gözlenmemektedir (USEPA, 1994).



Şekil 3.6 : Çukur Tipi Atık Barajı

Çukur tipi atık barajlarının en temel dezavantajı açık ocakta depolanan zenginleştirme tesisi atıklarının açık ocağın altındaki ve çevresindeki yer altı sularını kirletme potansiyelidir (DME 1999). Çukur tipi atık barajlarının diğer dezavantajları aşağıda sıralanmıştır:

Depolamanın ilk aşamalarında ocağın en derin ve yüzey alanı en küçük bölgelerinin doldurulması nedeniyle depolama yüksekliğinde hızlı bir artış olmaktadır. Bu durum, güneşle kurutma oranını ve atıkların kuruma potansiyelini düşürmekte ve sonuç olarak düşük dayanım ve zayıf konsolidasyon özellikleri ortaya çıkmaktadır.

Çukur tipi atık barajlarının civarında bulunan yer altı madencilik faaliyetleri tehlike altında girebilir. Sıvılaşmış atıklar yer altı boşluklarına akın edebilir, bu da yıkıcı sonuçlar veya atıkların ağırlıklarının artması yer altındaki yolların kapanması gibi sonuçlar doğurabilir.

Depolama yapılan alanların etrafında sızıntı suyunu kontrol etmek için izleme kuyularının açılması gerekmektedir. Bazı durumlarda, depolamanın bitmesinden ve sızıntı suyunun dışarı çıkarılmasından çok uzun süreler sonra bile izlemenin sürdürülmesi gerekebilmektedir.

Yer altı suyu kirlenmesinin engellenmesi amacıyla yürürlükte olan mevzuat çukurların doldurulmasını yasaklamış veya kontrollü bir şekilde izin vermiş olabilir.

3.3.3. Atık Barajı İnşa Yöntemleri

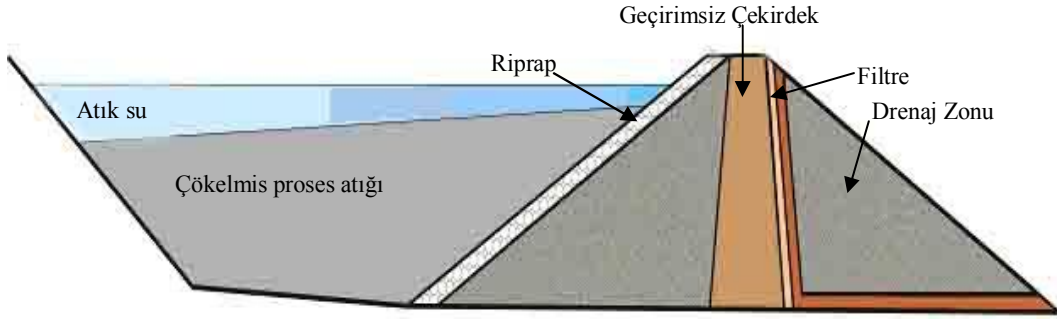
Geleneksel atık barajları cevher zenginleştirme atıklarının ve proses sularının depolanması ile proses sularının gerektiğinde tesiste tekrar kullanılmasını sağlayacak şekilde inşa edilen yüzey depolama yapılarıdır. Temel olarak tutma barajları ve birçok çeşidi olan yükselen set şeklinde iki temel yüzey depolamadan söz etmek mümkündür (Vick, 1990). Bu ikisi arasındaki temel farklılık tutma barajlarının ilk inşasının nihai yüksekliğe ulaşmış olarak yapılmasıdır (Vick, 1990). Yükselen set barajları cevher zenginleştirme atıklarının ve proses /yağış sularının depolanması için gerekli ihtiyaca cevap verecek yükseklikte inşa edilir.

3.3.3.1. Tutma Tipi Atık Barajları

Cevher zenginleştirme atıkları için inşa edilen atık barajları ile geleneksel tutma barajları küçük farklılıklarla birbirinden ayrılırlar. Temel dizayn ve inşa teknikleri aynı olan barajların, temel farklılıkları atık barajlarının ani bir boşalma sorunu ile uğraşma zorunluluğunun olmaması nedeniyle Akış Yukarı Yükselen Set tiplerinin seddeleri tutma barajlarına göre daha diktir (Vick, 1990).

Tutma tipi atık barajları, temel olarak cevher zenginleştirme atıkları depolanması ile yüksek miktarda su tutma amacıyla inşa edilirler. Kurak sezonlarda tesisin çalışması için gerekli suyun karşılanması ile su toplama havzalarında kurulan atık barajları su baskınlarının karşı inşa edilirler.

Tutma tipi atık barajı örneği Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.7 : Tutma Tipi Atık Barajı (Vick, 1990)

3.3.3.2. Yükselen Set Atık Barajları

Yükselen set atık barajları daha yaygın olarak kullanılan bir inşaat tekniğidir. Akış Aşağı, Akış Yukarı Yükselen Set ve Merkezden Yukarı Doğru Yükselen Set yapıları olmak üzere üç adet temel dizayn bu tip atık barajlarında görülmektedir. Temel olarak da inşa edilen ilk seddenin üzerinde yükseltme yoluyla yapılan kapasite artışlarının gidiş yönüne göre bu adlandırmalar yapılmaktadır (Vick, 1990).

Adından da anlaşılacağı üzere bu tip atık barajları belirli zaman aralıklarında tesisin ihtiyacına göre cevher zenginleştirme atıkları ile suyun depolama kapasitesinin artırılması amacıyla yükseltilmektedir. Bu nedenle ilk yatırım maliyetleri tutma tipi atık barajlarına göre dolgu malzemesinin ve yerleştirme maliyetlerinin tesisin ömrüne yayılması nedeniyle daha düşüktür. Bu tip atık barajlarının inşasında dolgu malzemesi önemli bir maliyet kalemi olması nedeniyle başlangıçta küçük miktardaki dolgu malzemesinin edinilmesi konusunda birçok alternatif yaratma imkanı bulunmaktadır. Tutma tipi atık barajlarında genellikle doğal malzeme kullanılmakta iken yükselen set atık barajları tiplerinde doğal malzemenin yanında cevher zenginleştirme atıkları ve pasanında çeşitli kombinasyonlarda kullanılma imkanı bulunmaktadır (Vick, 1990). Yükseltme için en çok kullanılan malzemeler, ocaktan çıkan pasalar, doğal inşaat malzemeleri, metro tünel kazı malzemeleri, siklonlanmış (iri bölümü) ve hidrolik olarak depolanmış cevher zenginleştirme atıklarıdır.

3.3.3.2.1. Akış Yukarı Yükselen Set Tipi Yükseltme

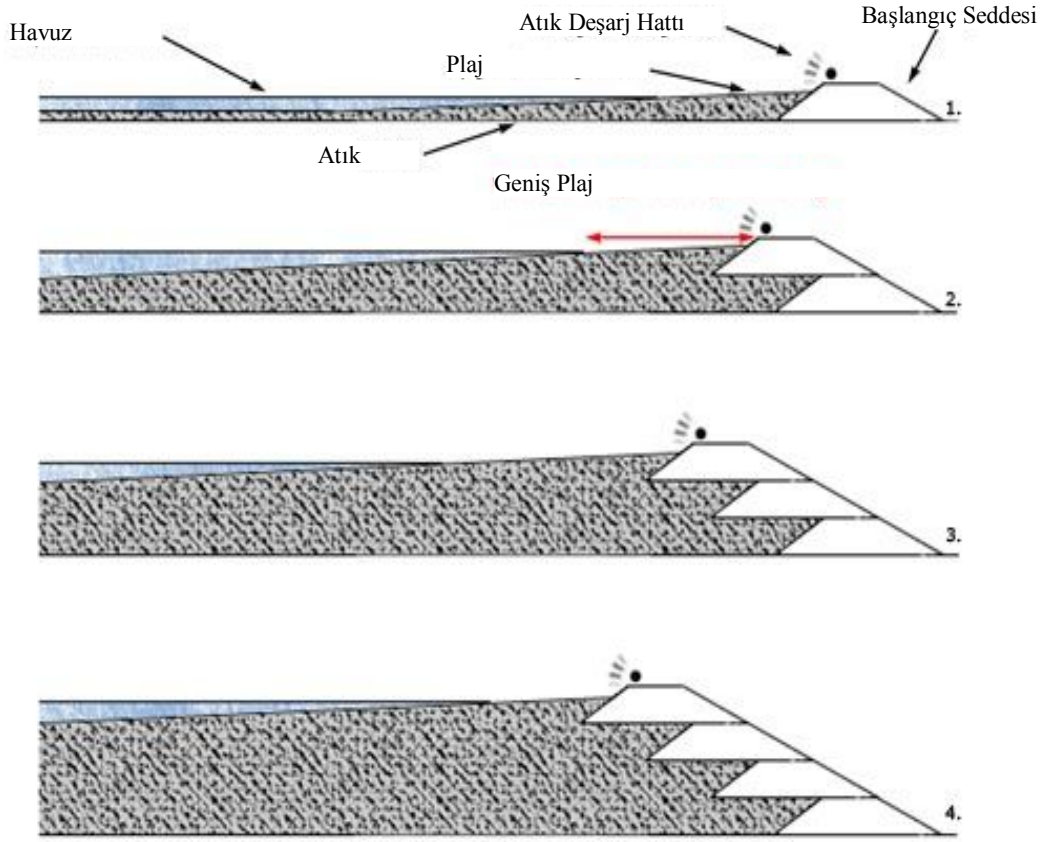
Akış Yukarı Yükselen Set tipi yükseltmeler ilk yatırım maliyeti en düşük ve en popüler dizayndır. Bunun nedenlerinden biri ilk sedde inşası için gereken dolgu

malzemesinin minimum miktarda olması ile daha sonra yapılacak yükseltmelerde cevher zenginleştirme atıklarının iri fraksiyonunun kullanılmasıdır.

Akış Yukarı Yükselen Set tipi dizayn edilmiş atık barajlarında temel olan başlangıç seddesi geçirimli olarak inşa edilir. Atıkları baraj kretinin tepesinden deşarj edilir ve böylece gelecekteki sedde yükseltmeleri için temel olacak bir plaj yaratılır (Vick, 1990). Cevher zenginleştirme atıklarının özelliklerinin uygun olduğu yerlerde iri malzemeler doğal ayrışma nedeniyle baraj kretine daha yakın yerlerde daha küçük olanlarda daha uzak yerlerde çökelmektedir. Siklonlar, çamurumsu kısımları barajın rezervuarının orta kısımlarına kum kısımlarının da kretin hemen yanındaki plaja gitmesini sağlamak için süreci hızlandırıcı olarak kullanılabilir. Yükseltmelerdeki geleneksel metoda göre, yükseltmeler sıkıştırılmamış olan plaj üzerinde yükselir (Martin, 1999). Günümüzde ise iş makinelerinin sayesinde gerçekleştirilen sıkıştırma ile yükselen set atık barajlarının güvenlik dereceleri artmıştır. Genellikle, deşarj noktasındaki iri kısımlar yükseltme için kullanılmaktadır. Çoklu deşarj sisteminin kullanıldığı durumlarda deşarj noktalarının önünde sığ çukurlar oluşur. Atıklar kurumaya ve konsolide olmaya başlar ve atıklar barajın kretine yerleştirilirler ve sonra sıkıştırılırlar. Atık deşarj boruları toplanır ve tekrar kurularak normal işleyişe geçilir.

Dünya üzerinden 3500'ün üzerinde atık barajı olduğu ve bunların % 50'sinin Akış Yukarı Yükselen Set tipi dizayna sahip olduğu raporlanmıştır (Davies et al. 2000). Söz konusu rakamlar Akış Yukarı Yükselen Set tipi dizaynların en yaygın oluşunun göstergesi olmakla birlikte kazaların en çok yaşandığı dizayn olarak da karşımıza çıkmaktadır (ICOLD ve UNEP, 2001). Akış Yukarı Yükselen Set tipi inşa edilen atık barajlarında statik/geçiş yükü tarafından tetiklenen sıvılaşma kayması temel çökme nedeni olarak görülmektedir. Cevher zenginleştirme atıklarının oldukça düşük yoğunluğa sahip olmaları ve atık barajındaki suyun kötü yönetilmesi düşünüldüğünde dolguda yüksek doygunluk ortaya çıkar ve sonuç olarak atıkların sıvılaşma yoluyla endüklenmiş akışı başlar.

Akış Yukarı Yükselen Set Tipi dizayn örneği Şekil 3.8'de yer almaktadır.



Şekil 3.8 : Akış Yukarı Yükselen Set Tipi Dizayn

Seddenin önünde oluşturulan plajdaki iri malzemeler, Akış Yukarı Yükselen Set tipi dizayn edilen atık barajları için drenaja yardım etmesi ve dolgunun doyumluğa ulaşmasını engellemesi açısından son derece önemlidir. Bu yapı kretin daha güçlü ve daha geçirgen olmasını sağlayarak sedde yükselirken barajın yer altı suyu tablasının yüksekliğinin azaltmaktadır. Yer altı suyu tablasını düşük tutmanın en iyi yolu baraj kreti ile supernatant havuzun arasından geniş bir plaj oluşturmaktadır (Shaheen, Martin et al. 2003). Baraj kretinin supernatant havuzuna yakın olması barajın yer altı suyu tabkasının daha yüksek olması anlamına gelmekte olup, bu da kaza ya da çökme riskinin daha yüksek olması anlamına gelmektedir. Akış Yukarı Yükselen Set tipi atık barajlarında, barajın yer altı suyu seviyesinin azaltılması için dolgunun drenaj sistemine sahip olması anahtar bir öneme sahiptir (ICOLD ve UNEP, 2001).

Akış Yukarı Yükselen Set tip dolgu dizaynları, iklimin kurak, minimum su depolama ihtiyacının olduğu ve membada taşkınlar gibi ani su birikmelerinin beklenmediği

alanlar için uygundur. Bu husus geniş plajların oluşumunu sağlar ve havuzun geometrisini, hava payı ve depolama alanındaki yer altı suyu seviyesinin aniden değiştirebilecek yoğun su seviyesi değişikliklerini engellemeye yardımcı olmaktadır. Akış Yukarı Yükselen Set tip dolgu dizaynları, sismik aktivitenin yoğun olduğu alanlarda depremlerden kaynaklı potansiyel dinamik yüklerden kaynaklı ortaya çıkabilecek sıvılaşma riski nedeniyle uygun değildir.

Akış Yukarı Yükselen Set tip dolgu dizaynlarında yapılacak olan dolgu yükseltmelerinin oranının dolgu malzemesinin kayma direncinin düşmesine neden olabilecek boşluk basıncı artışlarını engelleyecek şekilde kontrol altında tutulması gerekir (Jakubick, McKenna et al. 2003). Aşırı yapılan yükseltmeler statik sıvılaşmayı tetiklediği için birçok Akış Yukarı Yükselen Set tipi atık barajı dizaynında ortaya çıkan kazaların altında yatan temel ektendir (Davies, McRoberts et al. 2002).

Bjelkevik (2005) Akış Yukarı Yükselen Set tip dolgu dizaynlarında yapılacak olan dolgu yükseltmelerinin güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi için yıllık 2-3 m civarında olması gerektiğini ifade etmektedir.

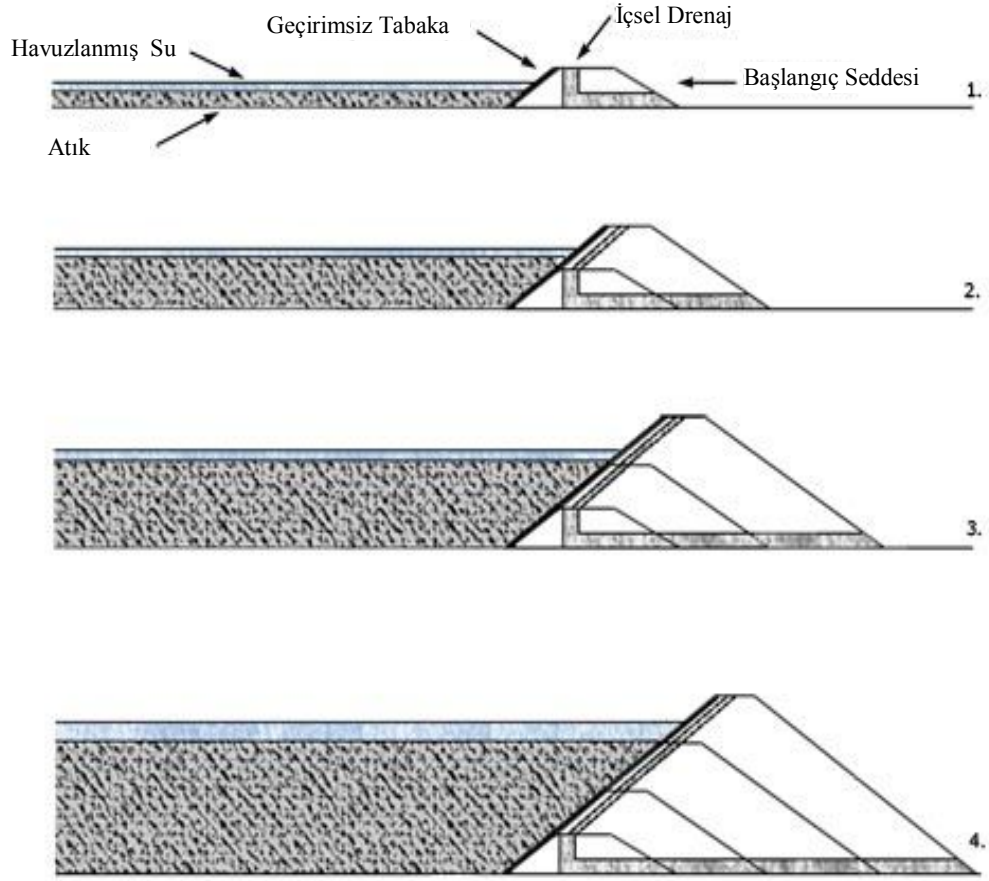
3.3.3.2.2. Akış Aşağı Yükselen Set Tipi Yükseltme

Akış Aşağı Yükselen Set tipi yükseltme dizaynları, depremlerden kaynaklı ortaya çıkan sallantı nedeniyle dinamik yüklerin Akış Yukarı Yükselen Set tipi dizaynlarda ortaya çıkardığı riskin fazla olması nedeniyle geliştirilmiştir (ICOLD ve UNEP, 2001). Geçirimsiz çekirdek inşası ile drenaj tabaklarının oluşturulması stabiliteyi tehlikeye atmadan memba tarafından yüksek miktarda su tutulmasını sağlamaktadır.

Akış Aşağı Yükselen Set tipi yükseltme yapılacak atık barajları, Akış Yukarı Yükselen Set tiplerinin aksine geçirgen olmayan başlangıç seddesinin inşası ile başlar. Cevher zenginleştirme atıkları seddenin arkasına depolanmaya başlar ve dolgu yükseltildikçe yeni bir sedde inşa edilir ve önceki seddenin mansap eğimi ile desteklenir. Dolgu yükseltilirken barajın ekseni mansaba doğru kayar (Vick 1990). Akış Aşağı Yükselen Set tipi yükseltmelerin diğer bir avantajı ise dolgunun yer altı suyu seviyesinden kaynaklı ortaya çıkabilecek problemleri engellemek için yükseltmeler değişik gözenekli olarak dizayn edilebilirler. Bu husus genellikle zenginleştirme tesisinde verimin arttırılması ve bunun sonucu olarak atık özelliklerinin değişmesi nedeniyle ortaya çıkabilecek değişiklikleri kompanse etmek

için kullanılabilir. Bu da atık barajına daha fazla suyun pompalanması veya yeni depolanmaya başlayan atıkların drenaj özelliklerinin değişmesine neden olabilmektedir.

Akış Aşağı Yükselen Set Tipi dizayn örneği Şekil 3.9'da yer almaktadır.



Şekil 3.9 : Akış Aşağı Yükselen Set tipi Dizayn

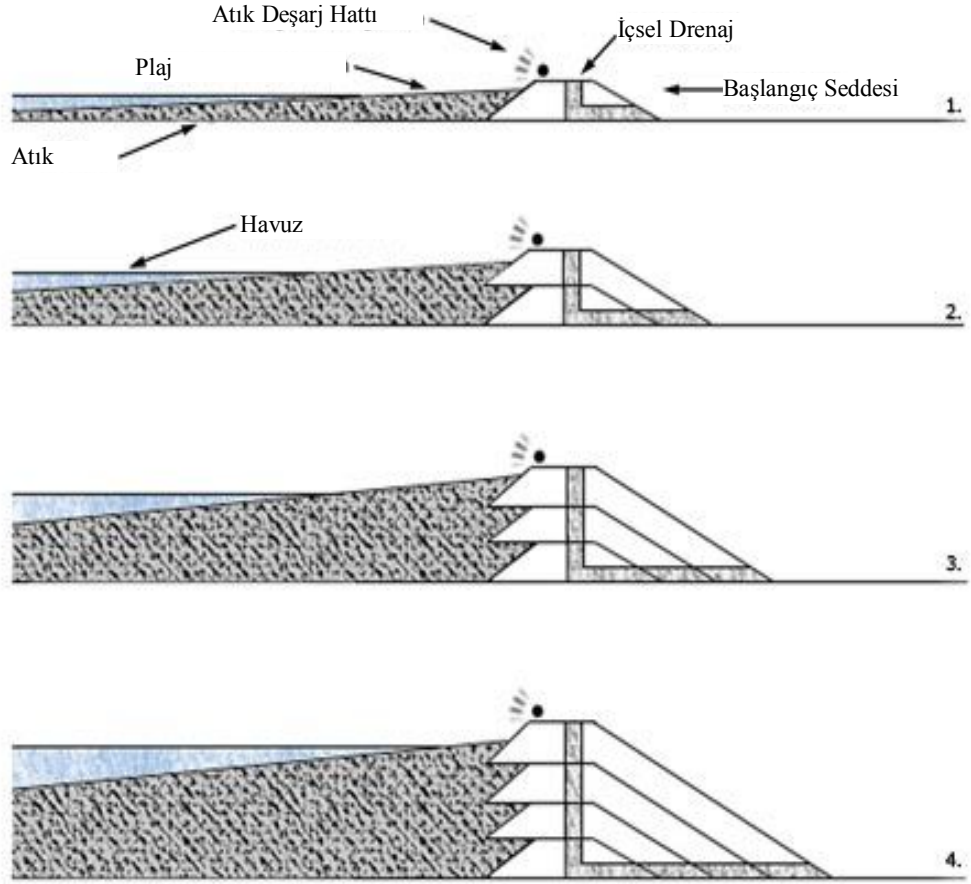
Akış Aşağı Yükselen Set tipi atık barajı dizaynı sahaya özgü birçok dizayn parametresi açısından çok amaçlı olup, tutma barajlarına benzer özellik göstermektedir. Bu dizayn tipinin esas avantajı her bir yükseltmenin depolanan atıktan bağımsız olması nedeniyle sedde yükseltmesinde herhangi bir sınır bulunmamaktadır. Bu tip dizaynların temel dezavantajı ise her bir yükseltmede daha fazla dolgu malzemesi gerektiği için yüksekliğin artması dolgu malzemesine olan ihtiyacın katlanarak artması anlamına gelmektedir. Ayrıca her bir yükseltmede atık

barajının topuğu mansaba doğru kaydığı için daha fazla alan ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu da sınırlı alan imkânının bulunduğu veya mülkiyet sınırı ile başka tesislerin yakın olduğu durumlarda inşaat öncesi dikkate alınması gereken bir husustur. Yukarıda bahsedildiği üzere Akış Aşağı Yükselen Set tipi atık barajlarında dolgunun yükseltilmesinde teorik olarak bir sınır bulunmamasına rağmen barajın nihai yüksekliği topuk yapısı tarafından sınırlandırılmaktadır (Vick, 1990).

3.3.3.2.3. Merkezden Yukarı Doğru Yükselen Set

Merkezden Yukarı Doğru Yükselen Set tipi yükseltme hem Akış Yukarı Yükselen Set tipi hemde Akış Aşağı Yükselen Set tipi yükseltmelerin bir arada yapılmasıdır (Benckert ve Eurenus, 2001). Merkezden Yukarı Doğru Yükselen Set tipi yükseltme Akış Yukarı Yükselen Set tipi yükseltmeye göre daha yüksek stabiliteye sahipken Akış Aşağı Yükselen Set tipi yükseltme kadar dolgu malzemesine ihtiyaç duymamaktadır. Akış Yukarı Yükselen Set tipi dizaynlarda olduğu gibi atıklar genellikle dolgunun kretinden bir plaj oluşturmak üzere deşarj edilirler. Yükseltme gerektiği durumlarda dolgu malzemeleri hem atıkların üzerine hem de varolan dolgunun üzerine inşa edilir. Baraj kreti düşeyde yükseltilirken Akış Yukarı Yükselen Set ve Akış Aşağı Yükselen Set tipi yükseltmelere oranla memba ve mansap yönünde kaymalar gerçekleşmemektedir. Başka bir deyişle baraj eksenini aynı kalmaktadır.

Merkezden Yukarı Doğru Yükselen Set Tipi dizayn örneği Şekil 3.10'da yer almaktadır.



Şekil 3.10 : Merkezden Yukarı Doğru Yükselen Set Tipi Yükseltme

Merkezden Yukarı Doğru Yükselen Set tipi dizaynlarda, Akış Aşağı Yükselen Set tiplerinde olduğu gibi içsel bir drenaj zonu oluşturulur. Serbest su, Akış Yukarı Yükselen Set tipi dizaynlara oranla krete daha yakın olmakla birlikte yer altı suyu seviyesinin artması ve sonuç olarak potansiyel kaza riskinin ortaya çıkması gibi bir sıkıntı azaltılmış düzeydedir. Ancak, Merkezden Yukarı Doğru Yükselen Set tipi yükseltme yapılan atık barajlarından büyük miktarlarda su tutulması yükseltmenin bir kısmının atıklar üzerinde yapılmasından dolayı mümkün değildir. Serbest suyun kretin çevresinde oluşan plajı batırmasını engellemek için uygun bir çöktürme sisteminin oluşturulması gerekmektedir.

Merkezden Yukarı Doğru Yükselen Set tipi atık barajları birçok örnekte sismik risk ile inşaat maliyeti arasında iyi bir birliktelik kurmaktadır (AK, 2004).

3.3.3.3. Depolama Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Atık barajlarının inşa yöntemleri karşılaştırıldığında tutma tipi ve akış aşağı yükselen set tipi atık barajlarının her tip atık için uygun olduğu görülmektedir. Akış yukarı yükselen set tipi atık barajlarında ise %60'ı kum tane boyunda olan atık tipi, merkezden yukarı doğru yükselen set tipi için ise kum ya da düşük plastisiteli atıklar için uygun olduğu görülmektedir.

Atık barajlarının su depolamaya uygunlukları karşılaştırılığında tutma tipi ve akış aşağı yükselen set tipi atık barajlarının su tutmaya uygun olduğu, akış yukarı yükselen set tipi atık barajlarında yüksek miktarda su tutmanın uygun olmadığı ve merkezden yukarı doğru yükselen set tipi için ise su tutmanın geçici olarak yapılabileceği görülmektedir.

Atık barajlarının sismik aktivitelere karşı dirençleri karşılaştırıldığında tutma tipi ve akış aşağı yükselen set tipi atık barajlarının sismik dirençlerinin yüksek, akış yukarı yükselen set tipi atık barajlarında sismik aktivitenin yoğun olduğu bölgelerde düşük ve merkezden yukarı doğru yükselen set tipi için ise kabul edilebilir ölçüde sismik direnç olduğu görülmektedir.

Dolgu tiplerinin karşılaştırılmasında ise doğal toprak ve kayaların bütün atık barajı inşa yöntemlerinde kullanılabilirdiği, tutma tipi atık barajlarının dışındaki inşa yöntemlerinde pasa ve zenginleştirme atıklarının kum kısımlarının da kullanılabileceği görülmektedir.

Atık barajı inşa maliyetleri karşılaştırıldığında ise tutma tipi ve akış aşağı yükselen set tipi atık barajlarının yüksek maliyetli olduğu, akış aşağı yükselen set tipi atık barajlarında maliyetin düşük olduğu ve merkezden yukarı doğru yükselen set tipi için ise orta dereceli bir maliyet görülmektedir.

Akış yukarı yükselen set tipi atık barajlarında inşa sırasında geçirimsiz çekirdek kullanımının mümkün olmadığı diğer tip için kullanılabileceği görülmektedir.

Atık barajlarının depolanacak atık tipi, su depolamaya uygunluk, sismik direnç, dolgu tipi, maliyet ve geçirimsiz çekirdek kullanımı açısından yapılan karşılaştırması Tablo 3.1'de yer almaktadır.

Atık bertaraf yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 3.2'de yer almaktadır.

Tablo 3.1: Atık Barajı İnşa Yöntemlerinin Karşılaştırılması (Vick, 1990)

İnşa yöntemi	Atık tipi	Su depolamaya uygunluk	Sismik direnç	Dolgu tipi	Maliyet	Geçirimsiz çekirdek kullanımı
Atık tutma	Her atık tipi için uygun	Uygun	Yüksek	Doğal toprak ve kaya zeminler	Yüksek	Kullanılabilir
Akış yukarı yükselen set	%60'ı kum tane boyunda olan atık tipi için uygun	Yüksek miktarda su için uygun değil	Sismik aktivitenin yoğun olduğu bölgelerde düşük	Doğal toprak - kaya zeminler ve atık kum	Düşük	Kullanılamaz
Akış aşağı yükselen set	Her atık tipi için uygun	Uygun	Yüksek	Doğal toprak-kaya zeminler, atık kum ve atık kaya	Yüksek	Kullanılabilir (Eğimli çekirdek)
Merkezden yukarı doğru yükselen set	Kum ya da düşük plastiseli atıklar için uygun	Geçici olarak depolanabilir, ancak kalıcı depolama için uygun değil	Kabul edilebilir ölçüde	Doğal toprak - kaya zeminler, atık kum ve atık kaya	Orta	Kullanılabilir (Merkezi çekirdek)

Tablo 3.2: Atık Bertaraf Yöntemlerinin Karşılaştırılması (AG, 2007)

Bertaraf Yöntemi	Depolama	Avantaj	Dezavantaj
Direkt atık –Seddeye doğru deşarj	Vadi	<ul style="list-style-type: none">• Verili bir sedde yüksekliğinde depolama kapasitesini maksimize eder.• Su geri dönüş sistemi sabitlenebilir.	<ul style="list-style-type: none">• Doğal vadi akımları bozular.• Sızıntının engellenmesi için bir su tutma seddesine ihtiyaç duyar.• Depolanan atıklarının seddenin stabilitesini bozabilir.• Su ve/veya atıkların taşma riski vardır. (Deprem koşulları dahil)• Nihai bir dolu savağa ihtiyacı olacaktır.
Direkt atık-Sedde tarafından deşarj	Vadi	<ul style="list-style-type: none">• Su tutma seddesine ihtiyaç duymayabilir.• İyi bir yönetim ile taşma meydana gelmez ve nihai bir dolu savağa ihtiyaç duyulmayabilir.	<ul style="list-style-type: none">• Doğal vadi akımları bozular.• Su geri dönüş sisteminin atık plajının memba tarafına kaydırılması gerekecektir.
Direkt atık	Halka	<ul style="list-style-type: none">• Merkezde bir çöktürücü ile su tutma seddesine gerek duymaz.• Seddenin yükseltilmesiyle ayak izleri minimize edilir.	<ul style="list-style-type: none">• Doğal drenaj kanalları bozular.• Devam eden sızıntının durdurulması için merkezdeki çöktürücünün uygun bir şekilde kapanması gerekir.
Direkt atık	Hücreler	<ul style="list-style-type: none">• Merkezde bir çöktürücü ile su tutma seddesine gerek duymaz.• Hücreler arası döngü atıkların konsolide olmasını ve kurummasını sağlar ve sızıntıyı düşürebilir.• Seddenin yükseltilmesiyle ayak izleri minimize edilir.	<ul style="list-style-type: none">• Doğal drenaj kanalları bozular.• Devam eden sızıntının durdurulması için merkezdeki çöktürücünün uygun bir şekilde kapanması gerekir.

Bertaraf Yöntemi	Depolama	Avantaj	Dezavantaj
Yoğunlaştırılmış	Vadi aşağı deşarj (VAD), Merkezde yoğunlaştırılmış deşarj (MYD) veya hücreler	<ul style="list-style-type: none"> Yoğunlaştırma su ve kimyasal kayıplarını azaltır, depolamadaki su hacmini ve sızıntıyı azaltır. Yoğunlaştırma rehabilitasyonu hızlandırır. MYD genelde doğal arazi formlarını koruyarak düşük profil, kendinden dökülme arazi formu yaratır. 	<ul style="list-style-type: none"> Yoğunlaştırma ve pompalama atık bertarafında ekstra maliyet yaratır. Yoğunlaştırılmış atıkların düşük plaj açısından kaynaklı olarak VAD’ın ayak izleri rehabilitasyon sonuçları açısından büyük olacaktır. VAD su tutmak için sedde yada kanala ihtiyaç duyacaktır. Hücrelerin yüzeylerinde iş makinalarının çalışması için kuruma gerekir ve bu da pahalıdır.
Direkt atık	Yer altı	<ul style="list-style-type: none"> Yüzey depolama alanı ihtiyacını ortadan kaldırır. İzabe ile dağıtılabilir. Yer altı işletmesinin stabilitesini artırabilir. 	<ul style="list-style-type: none"> Suyun tekrar kazanılması zordur. Yalnızca kısmi dolgu ve mevcut depolama alanının kısmi bir bölümü kullanılabilir. Bitişik aktif yer altı madencilik işletmeleri taşkına maruz kalabilir.
Direkt atık	Ocak çukuru	<ul style="list-style-type: none"> Yüzey depolama alanı ihtiyacını ortadan kaldırır. İzabe ile dağıtılabilir. Suyun geri dönüşümü pompayla mümkündür. 	<ul style="list-style-type: none"> Atıkların konsolidasyon oranı düşer ve yüzey kuruması azalır veya su altında ise tamam ortadan kalkar. Suyun ve proses kimyasallarının geri kazanılmasında başarısızlık büyük kayıplara yol açar. Suyun geri kazanılması için ocak içine pompa konması ve pompalama yüksekliğiyle baş edilmelidir.

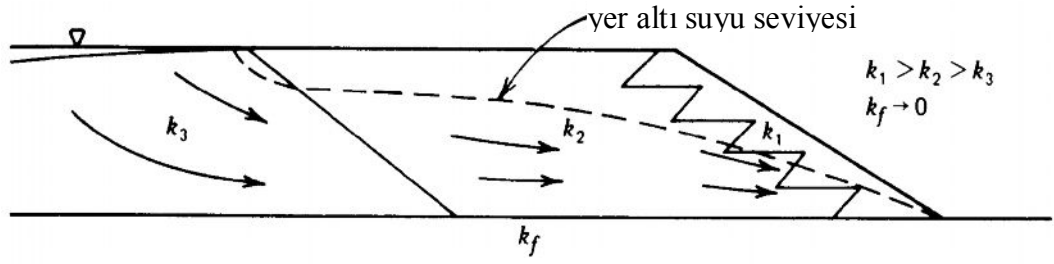
3.3.4. Atık Barajlarının Dizaynı

Atık barajlarının tam anlamıyla tasarımı için öncelikli olarak atık barajının kurulacağı sahanın seçilmesi gerekmektedir. Ancak yer seçimi ve atık barajı dizaynı dinamik bir süreç olarak görülmelidir. Birçok dizayn prensibi yer seçimini etkilemesinin yanında inşa edilecek olan sedde tipini ve atık barajı konfigürasyonunu da belirlemektedir.

3.3.4.1 Dizayn Konsepti

Genellikle, atık barajları ve doğal olarak atıkları tutacak olan seddenin dizaynında atıkların özellikleri, mevcut inşaat malzemeleri, topografya, jeoloji, hidroloji ve sismisite gibi saha spesifik faktörler ve maliyet ile ilgili bilgiler kullanılır. Atık barajının oturacağı alanı etkileyen bu faktörler ile atık barajı dizaynı arasında dinamik bir etkileşim kurulması gerekmektedir. Su herhangi bir atık barajının temel bileşeni olduğu için atık barajına ve barajı çevresine olan su akışı ile ilgili hidroloji prensipleri atık barajı dizaynı ile ilgili birçok kuralı dikte etmektedir. Atık barajı ve seddenin stabilitesi su seviyesinin bir fonksiyonu olduğu için bu prensipler atık barajı dizaynında temel alınan hususlardır.

Atık barajı ve seddelerin dizaynında kullanılan temel prensiplerden biri atık barajındaki yer altı suyu seviyesinin sabitlenmesidir. Yer altı suyu seviyesi atık barajındaki doygunluk seviyesidir. Yer altı suyu seviyesi boyunca sıvının içindeki basınç, atmosferik basınca eşittir (CANMET, 1977). Yer altı suyu seviyesi statik ve sismik yükleme koşullarında sedde stabilitesinin üzerinde önemli derecede kontrol sağlamaktadır (Vick, 1990). Yer altı suyu seviyesi ile ilgili temel dizayn kaidesi, yer altı suyu seviyesinin seddeden çıkmaması ve sedde yüzeyi yakınlarında seviyenin mümkün olduğunca düşük olmasıdır (Vick, 1990). Bu durum seddenin yüzeyindeki boşluk basıncının atmosferik basınç ve sedde parçalarının ağırlığının toplamından daha düşük kalmasını ve baraj yüzeyinin sabit kalmasını sağlar. Bu yüzden yer altı suyu seviyesini etkileyen her şey sedde stabilitesini de etkilemektedir. Seddenin yüzeyinin yakınlarında yer altı suyu seviyesinin düşük tutulmasında temel metot barajın göreceli geçirimsizliğinin yani hidrolik iletkenliğinin akış yönünde artırılmasıdır. (Bkz. Şekil 3.11)



Şekil 3.11 : Atık Barajında Yer Altı Suyu Seviyesi (k geçirgenlik/iletkenlik)
(CANMET, 1977)

Akış aşağı yönde geçirimsizliğin artırılması için barajın membada daha düşük geçirimli zonların oluşturulması (özellikle düşük geçirimli çekirdeğe sahip seddelerin inşası) ve içsel drenaj tabakalarının kullanılması gibi daha yüksek geçirimsizliğe sahip zonların mansapta kullanılması alternatiflerinden bir veya her ikisinde birlikte kullanılabilir. Hangi tekniğin kullanılacağı genelde mevcut malzemelere bağlıdır. Çekirdek için kil kullanımı ve/veya drenaj için kum kullanımı bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Yer altı suyu seviyesinde büyük bir değişiklik olabilmesi için bitişik bölgelerdeki geçirimsizlikte iki ve daha fazla kat değişiklik olması gerekir (Vick, 1990).

Atık barajı seddesine doğru olan akış genelde düşük geçirimsizliğe sahip tabaka tarafından kontrol edilir. Bu durumda, düşük geçirimsizliğe sahip tabakanın mansabına yerleştirilen daha yüksek geçirimsizliğe sahip tabaka, suyun drenajını sağlayarak boşluk basıncının artmasını engeller. Akış yönüne doğru geçirimsizliğin artması üzerine olan kural yalnızca seddenin yüzeyine yakın alanlarda geçerlidir; eğer düşük geçirimsizliğe sahip çekirdek seddenin merkezinde kullanılırsa ve geçirimsizlik mansaptan yüzeye doğru artarsa, seddenin memba tarafından bulunan malzemenin geçirimsizliği, düşük geçirimsizliğe sahip çekirdeğin mansabında bulunan yer altı suyu seviyesi üzerinde çok küçük etkisi olabilir (Vick, 1990).

Birçok atık barajında değişik zonlarda kullanılan malzeme, atıkların ve ince malzemenin daha iri malzemeyle oluşturulan zonlara taşınmasını engellemek üzere filtre görevi görecektir şekilde dizayn edilmektedir. Aksi takdirde boşluklar oluşacak olup, bu boşluklar barajın içerisinde suyun kaçmasına neden olabilecek bir yol oluşturabilir. Açılan bu yoldaki sızıntı miktarının artması barajın çökmesine neden olarak baraj malzemesinin erozyonuna neden olur. Bu tür kazalar borulama kazaları olarak adlandırılmaktadır. Borulama kazaları su tutma barajlarında olduğu gibi

filtreleme koşullarının tam olarak yerine getirilmesi ile engellenebilmektedir (Vick, 1990).

Yer altı suyu seviyesini etkileyen bütün faktörler seddenin stabilitesini etkilemektedir. Geçirgenlik, sıkışabilme, danesel bileşim, pülp yoğunluğu gibi atıkların depolama karakteristikleri ve alanın zemin karakteristikleri, hidroloji ve hidrojeolojisi gibi sahaya özgü parametreler ve alanın membasındaki su tutma havzası yer altı suyu seviyesini etkileyen faktörlerdir. Atık barajındaki yer altı suyu seviyesinde meydana gelecek değişiklikler boşluk su basıncını değiştirecek ve sonuç olarak baraj malzemelerinin kaymaya karşı dayanımı da değişecektir. Drenaj sisteminin bozulması, barajın mansabında bulunan eğimli bölümün yüzeyinin donması, inşaat metodundaki değişiklikler (kullanılan inşaat malzemesi dahil) ve havuzun yüksekliğinde meydana gelen değişiklikler yer altı suyu seviyesindeki değişikliklere neden olabilir. Yer altı suyu seviyesi zeminde yer alan malzemenin geçirimsizliğinin değişmesinden kaynaklı olarak; bazen madendeki çökmeler nedeniyle değişebilir (Vick, 1990).

Buraya kadar anlatılanlara bakılınca yer altı suyu seviyesinin sabitlenmesi barajın stabilitesini korumak için yapıldığı anlaşılmaktadır. Ancak atıklarından kaynaklı sızıntı nedeniyle ortaya çıkan çevresel problemler nedeniyle söz konusu sızıntının kontrol altında tutulması gerekmektedir. Bu amaçla sızdırmazlık tabakaları, drenaj sistemleri, sızıntı suyunun atık barajına tekrar pompalanması gibi uygulamalar yapılmakta olup, söz konusu hususlar ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak değerlendirilecektir. Bununla birlikte sahanın ilerleyen dönemde kapatılması sonrası yapılacak rehabilitasyon çalışmaları da atık barajı dizaynını etkilemektedir.

3.3.4.2. Dizayn Değişkenleri

3.3.4.2.1. Atık Spesifik Faktörler

Cevher zenginleştirme tesisleri atıklarının kompozisyonu, pülp yoğunluğu, danesel bileşim ve diğer karakteristikler atık barajı dizaynında üç temel yolla kullanılır:

Atıkların atık barajı inşaatında kullanılabilme potansiyelinin değerlendirilmesi için analize tabi tutulması,

Depolanacak atıkların yapısal stabitile üzerine potansiyel etkileri ile sızıntı karakteristiklerini tespit etmek için analize tabi tutulması,

Atık barajından kaynaklı olabilecek sızıntı ve deşarjların potansiyel kimyasal etkilerinin belirlenmesi için mineralojik analize tabi tutulması

Fiziksel karakteristiklere ek olarak atık barajlarına depolanacak cevher zenginleştirme atıklarının depolama metodu mühendislik karakteristiklerinde rol oynar (Vick, 1990).

3.3.4.2.1.1. Atıkların Mühendislik Özellikleri

Tesis atıklarının baraj dolgusu veya inşaat malzemesi olarak kullanımı yaygın bir uygulamadır. Ancak, bu her zaman olası değildir. Atıklar, üretim ve diğer prosesler öncesinde doğal yapılarından dolayı bazı özellikler taşıdıkları gibi, üretim ve zenginleştirme aşamasında uygulanan yöntemlere bağlı olarak da bazı özellikler kazanırlar. Sonuçta, istenen nitelikleri taşımayan bir atık oluşumu mümkündür. Bunun anlaşılabilmesi için, atıklar üzerinde çeşitli test ve incelemeler yapılır.

Atıkların tane boyut dağılımı, yoğunlukları, pekiştirme ve sıkıştırılabilirlik özellikleri, geçirgenlikleri ve kesme dayanımları bu amaç doğrultusunda belirlenmesi gereken başlıca özellikleridir. Geçirgenlik ve kesme dayanımı stabiliteyi doğrudan etkileyen faktörlerdir. Atıkların değişik nem ve yoğunluk şartlarında teste tabi tutulmaları gerekir. Barajın büyük olması halinde, kesme dayanımı testleri dinamik yük altında gerçekleştirilir.

Tane Boyutu Dağılımı

Atıkların tane boyutu dağılımı, mineralojik yapılarına bağlı olarak, cevherden cevhere ve uygulanan zenginleştirme proseslerine göre değişiklikler gösterir. Genelde tane boyutu -74 µm mertebesindedir.

Genellikle +74 µm. tane boyutundaki malzemeye kum (sand) ve bu boyutun altındaki malzemeye de şlam (slime) adı verilmekle birlikte, konu ile ilişkisi olan değişik disiplinlerde (maden, ziraat, inşaat v.s.) farklı isimlendirmelere rastlanmaktadır.

Bir diğer nokta da, mekanik elek analizlerinde mesh boyutunun kullanılması ve bu boyutun sistemlere göre değişiklik arz etmesidir. Farklılık uygulamada bazı anlaşmazlıklara yol açmaktadır. Karmaşanın önlenmesi amacıyla tane boyutunda mesh yerine mikrometre (mikron) ölçüsünün kullanımı daha uygun görülmektedir.

Atıkların tane boyutunun iri olması hem daha yüksek mukavemet göstermelerini, hem de daha iyi drenaj özellikleri kazanmalarını sağlar. Dolayısıyla, iri taneli atıklar barajlarda inşaat malzemesi olarak kullanım açısından avantajlıdır. İri taneler baraj stabilitesini yükseltir. Şlam boyutunda olan tanelerin sulu makaslama dayanımları ve geçirgenlikleri düşüktür. İnce taneli malzemelerin özellikleri büyük değişkenlik gösterir. Silt boyutundaki şlamlar kumlara yakın hızda pekişirlerken, şeyl ve killi cevherlerden elde edilen şlamlar pekişme hızları bakımından tam tersi bir davranış sergileyebilirler. Çok ince taneler barajların sismik aktiviteye dirençlerini azaltırlar. Bu nedenlerle, atıkların ince taneli kısımları baraj inşaat ve dolgusunda kullanılmayıp, atık havuzlarında tutulurlar. İnce boyutlu olmaları sebebiyle çökme hızları düşüktür ve yüksek su seviyesi gerektirirler. Sonuçta, ihtiyaç duyulan alan artar.

Sadece iri taneli, kum, atıkların baraj inşaatlarında kullanılmasına bağlı olarak, tesis atıklarının önceden sınıflandırmaya tabi tutulması gerekmektedir. Genellikle siklonlarla iri ve ince taneler birbirlerinden ayrılırlar (Karadeniz, 1996).

Makaslama (Kesme) Dayanımı

İçsel sürtünme açısı, bir malzemenin kesilmesi esnasında, kayma yüzeyinde etkili olan sürtünme katsayısının açısal ifadesi olup, μ ile gösterilir ve $\arctan \mu = \theta$ olarak formüle edilir. Aynı zamanda, içsel sürtünme açısı kırılma koşulunun eğim açısı olan ve kayanın kesme anındaki içsel direnç parametrelerinden biridir.

Etki ettiği yüzey üzerinde teğetsel gerilmeler oluşturmayan, yüzeye dik gerilmelere "asal gerilme veya asal normal gerilme" adı verilir. Atıkların önemli bir mühendislik özelliği olup, baraj ve yığın stabilitesini etkileyen makaslama dayanımı, bu tanımların ışığı altında daha kolay anlaşılabilir. Bir malzemenin (taş veya kaya) sahip olduğu içsel sürtünme açıları ve kohezyonları nedeniyle kritik asal gerilme oranlarının aşılması halinde kırılma yüzeyinde oluşan teğetsel dirence "makaslama dayanımı" denir. Malzemelerin makaslama dayanımları sıkışmaya maruz kaldıklarında artar. Bu durumda yapının yıkılmaya karşı direnci yükselir. Sıvılaşma olasılığı azalır. Laboratuvarda malzeme üzerinde yapılacak üç eksenli basınç veya makaslama (kesme) direnci deneyleri ile bu değerler tayin edilebilir (Karadeniz, 1996).

Yoğunluk

Atık malzemenin mutlaka tespit edilmesi gereken bir diğer fiziksel özelliği de yoğunluğudur. Yoğunluk ölçümleri hem yerinde, hem de laboratuarda yapılır. Kuru birim ağırlık veya birim hacimdeki katı tane ağırlığı şeklinde ifade edilir. Bu değer, atık yığını emniyet faktörü analizi için başlıca parametredir. Atık yoğunluğunun sıvılaşma üzerinde de etkili olduğu bilinmektedir. Yüksek yoğunluklu malzeme daha yüksek makaslama dayanımı verir ve sıvılaşma riskini azaltır.

Nem içeriğinin yoğunlukla yakın bir ilişkisi vardır. Her atık için spesifik bir optimum nem içeriği olup, bu, kritik bir değerdir. Bu nem oranında maksimum yoğunluğa ulaşılır. Atık nem içeriğinin optimum, diğer bir deyişle, malzemenin maksimum yoğunlukta olması istenir. Ancak, uygulamada bu değere ulaşmak pek olası değildir. Optimum nem içeriği aşıldığında yoğunluk düşmeye başlar. Öyle bir nem seviyesi vardır ki, o noktada minimum yoğunluğa ulaşılır.

Atık yoğunluğu, atık havuzuna depolanan malzemenin havuz içindeki çökme hızını etkiler. Atık yoğunluğu değeri havuz boyutlarının ve gerekli havuz sayısının hesaplanmasında da kullanılabilir (Karadeniz, 1996).

Geçirimsizlik

Suyun mevcut boşluklar arasında birim zamanda ilerleme hızı olarak tarif edilebilen geçirgenlik, malzeme taneleri arasındaki boşluk boyut ve sayısının bir fonksiyonudur. Boşlukların boyutları ve sayısı tane boyutu ve şekline ve malzemenin yoğunluğuna bağlıdır. Malzemenin plastiklik özelliği ve derinliği de geçirgenliği etkiler.

Atıklar homojen değildir. Tesis atıkları dahilinde değişik noktalarda farklı geçirgenlik katsayıları hesaplanması doğaldır. Çünkü atığın tane boyutu yığının değişik noktalarında farklılıklar gösterir. Ayrıca, fiziksel ve mekanik özellikler doğrultuya bağlı olarak değişik değerler alabilir.

Geçirgenliğin hesaplanmasında Hazen formülünden yararlanılabilir. Bu formül aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$k=d_{10}^2$$

Burada "k" geçirgenlik, "d₁₀" malzemenin ağırlıkça %10'unun geçtiği tane boyutu (mm.) şeklindedir. Formülün zaafi, geçirgenliğin hesaplanmasında sadece tane boyutunu dikkate almasıdır (Karadeniz, 1996).

Konsolidasyon (Pekişme)

Malzemenin sürekli basınç altında kalmasıyla, taneleri arasında bulunan su ve havanın dışarı atılıp, sıkışmasına "konsolidasyon" adı verilir. Pekişme olayı, doğada yavaş yavaş gerçekleşen bir prosestir. Bu esnada, taneler arasındaki su uzaklaştığından drenaj, malzeme basınç altında kaldığından sıkışma ve gerilme transferi veya yavaş basınç ayarlama olayları da vuku bulur. Tüm bunlara bağlı olarak malzemenin yoğunluğu artar.

Konsolidasyon göreceli bir terimdir ve prosesin ilerleme derecesi ile ilgilidir. Malzemenin katılaşması ile bağlantısı yoktur. Konsolidasyonun yüksek olması stabiliteyi arttırır. Ayrıca, sızmayı azaltarak kirlenmeyi kısmen de olsa engeller (Karadeniz, 1996).

Cevher zenginleştirme atıklarının kum kısımları sedde yapımından pahalı olmayan inşaat malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kum kısımlarının depolanacak atıkları arasından çıkarılması ile depolanacak atık hacmi de azaltılmış olmaktadır. Atıkların danesel bileşimine bağlı olarak sedde yapımı için gerekli olan iri boyutlu kumlar bir siklon yardımıyla ayrılarak daha yüksek yüzdeye sahip çamurumsu bölümü depolanmak üzere ayrılabilir. Siklonlanmış kumlar seddenin mansap kısmının yapımı için gerekli olan yüksek dayanıma ve yüksek geçirimliliğe sahiptir. Bunlara ek olarak siklonlama sonucu kalan çamurumsu kısım daha az geçirimli olduğu için muhtemel sızıntıyı da azaltabilir.

Cevher zenginleştirme atıklarının fiziksel özellikleri dikkate alındığında bu atıklar toprak olarak ele alınarak geleneksel zemin mekaniği davranış kalıbına tabi tutulurlar. Danesel bileşim, spesifik ağırlık ve plastisite gibi indeks özellikleri zenginleştirme tesisi için yapılacak sına testi sırasında oluşacak atıklar üzerinde basit bir test yapılarak belirlenebilir. Bu indeks testleri atıkların mühendislik özellikleri için kılavuz niteliği taşımaktadır (Vick, 1990).

3.3.4.2.2. Saha Spesifik Faktörler

3.3.4.2.2.1. Yer Seçimi

Yer seçimi cevher zenginleştirme atıklarının depolanması için inşa edilecek yapıların dizaynındaki en önemli husustur. Değişik sahalar değişik karakteristiklere sahiptir ve iyi bir saha maliyet ve tesise yakınlık açısından da uygun olmalıdır. Atıkların özellikleri, depolama faaliyetinin tipi ve bu yüzden de sahanın özellikleri konusunda önemli bir etkidir (AK, 2004).

Yer seçimi öncelikle, gerekli depolama kapasitesi, alanın uygunluğu, inşaat, işletme ve kapatma maliyetleri, jeoteknik ve jeolojik koşullar, sahanın hidrolojisi ve günlük işletmenin kolaylığı gibi faktörlere bağlıdır. İkincil önemli faktörler ise aşağıda sıralanmıştır:

- Alanın mülkiyeti, haklar ve sınırlar
- Sahada cevherleşmenin durumu
- Korunan flora ve fauna
- İnşaat malzemelerinin uygunluğu ve yerleri
- Yüzeysel su yönetimi ve taşkın/nehir derivasyonu
- Çevresel zararlar
- Rezervuar alanının uygunluğu ve genişleme potansiyeli
- Yerleşimlere /altyapıya yakınlık
- İçme suyuna yakınlık
- Zenginleştirme tesisine mesafe ve kot farkı
- Sızıntı kontrolü
- İklim
- Geri dönüşüm havuzunun uygunluğu
- Jeoloji ve sismik koşullar
- Mevzuat gereklilikleri
- Sahanın tarihsel verileri

- Civardaki ADT'lerin performans ve tarihsel verileri
- Günlük işletme için sahaya ulaşım olanakları (sel anlarındaki acil durumlar dâhil)

Yer seçimi çalışmalarında amaç, teknik, ekonomik ve çevresel faktörleri dikkate alarak, en avantajlı yeri seçmektir. Temelde bir mühendislik çalışmasıdır ama en uygun seçim için çevresel hususların gözardı edilmemesi zorunluluğu vardır.

Önceleri yalnızca yeterli kapasitede bir veya daha fazla sayıda uygun saha bulmak, sorunu ortadan kaldırıyordu. Bugün, çözüm görüldüğü kadar basit değildir. Seçilecek yerin belli başlı birkaç kriteri karşılaması zorunluluğu vardır. Yakınlık tercih edilir, çünkü ucuzluk ve kolaylık sağlar. Ama bu her zaman mümkün olamamaktadır. En azından, atık barajı inşa edilecek yerin üretim noktasına olan uzaklığının ekonomik sınırlar içinde olması istenir. Buna rağmen, bazı maden işletmelerinde tesis atıklarının çok büyük uzaklıklara nakledildiği bilinmektedir, Kanada'da, 1973 yılında 60 maden işletmesinde yapılan bir incelemede, tesislerin bulunduğu yer ile boşaltma noktaları arasındaki ortalama mesafenin 1965 m. olduğu tespit edilmiştir. Bilinen en uzun nakil hattının 70 km. ile bir Japon maden kompleksine ait olduğu bilinmektedir (Down ve Stocks, 1977).

Seçilen yer, günlük ve yıllık üretim miktarı ve maden ömrü dikkate alınarak yeterli kapasitede olmalıdır. Yeraltı suları, yağınlardan kirlenen sularla karışıp kirlenmemelidir. Erozyon veya yağın korrozyonu kaynaklı çözünmüş katılar ve silt yükleri yüzey sularını etkilememelidir.

Topografya, hidrojeolojik çevre, yüzeyaltı jeolojisi, depremsel koşullar, rüzgar yönü ve hızı ile yağışlara ait ortalama ve maksimum değerler ile ilgili veriler toplanıp değerlendirilmelidir. Seçilecek yere ait veriler kabul edilebilir sınırlar içinde olmalıdır.

Seçilen yer yasa ve yönetmeliklerde belirtilen kıstaslara uymak zorundadır.

Bütün bunlardan anlaşılacağı gibi, yer seçimi birçok faktöre bağlıdır. Bu nedenle değişik mühendislik disiplinlerini ilgilendirir. Seçim öncesi çalışma karmaşık ve zahmetli bir süreçtir. Tüm faktörleri, aralarındaki etkileşimden dolayı birbirinden bağımsız düşünmek mümkün değildir.

3.3.4.2.2.2. Yer Seçimini Etkileyen Faktörler

Topografya

Topografik oluşumlar yer seçiminde hayati rol oynar. Atık barajlarının yüksekliğinin ve uzunluğunun tespit edilmesinde en önemli unsurdur. Topografyanın belirlenmesi için havadan ve uydu kanalıyla çekilen fotoğraflarla, topografya haritaları kullanılır. Ayrıca, araziye çıkılarak yerinde inceleme yapılır. Sonuçta, herhangi bir uyarımla harekete geçebilecek yer kaymaları ve kayalar gibi jeomorfolojik karakterler belirlenir. Hidrolojik açıdan tehlikeli olabilecek sel ve sel alanları saptanır. Arazi topografyası her bakımdan yönlendirici araç durumundadır. Baraj inşa metodunun seçiminde ve atık seti geometrisinin belirlenmesinde, topografyanın doğrudan etkisi vardır. Atıkların bulamaç halinde taşınmasında kullanılacak boru hattı güzergâhının, ne şekilde olacağına karar verilirken hem topografya, hem de jeoloji dikkate alınır. Depolama alanının ve hacminin hesaplanmasında da topografya verilerinden yararlanır.

Bölgenin rüzgar, yağış ve su durumu katı atık yığının stabil olarak kalabileceği eğimi etkiler. Özellikle, engebeli bölgelerde bunun önemi daha da artar. Konu ile ilgili tespitler arazi topografyasından faydalanılarak yapılır.

Atık barajlarının rakım olarak tesisten daha aşağıda bir seviyede olması istenir. Böylelikle, yer çekimi atıkların taşınmasına katkı sağlayacak ve taşıma maliyeti azalacaktır. Doğal vadiler, çukurlar ve benzeri oluşumlar baraj inşaatı için uygun yerlerdir.

İklim (Meteorolojik Koşullar)

Bölge iklimi, yer seçiminde olduğu kadar, nihai tasarım içinde önemlidir. Bilhassa, rüzgar ve yağış durumu kritik parametrelerdir. Rüzgâr ve yağış dışında, kış mevsiminin uzunluğu, don olayı, sıcaklıklar ve buharlaşma da dikkate alınması gereken noktalar. Bu parametreler bölge iklimine bağlı özelliklere sahiptirler ama, lokal değişkenlik göstermeleri doğaldır. Dolayısıyla, bölgeye ait genel verilerle birlikte lokal verilerin de elde edilip değerlendirmeye alınması fayda sağlar.

Kritik parametrelerden biri kabul edilen rüzgarın toz problemi ile yakın ilgisi vardır. Rüzgarın yıl boyunca seyri, sürekliliği, yılın değişik dönemlerindeki dağılımı, yönü ve şiddeti genel ve lokal bazda bilinmelidir. Yerleşim, tarım ve rekreasyon

alanlanlarına ve çiftliklere yakın, şiddetli rüzgarların olduğu yerlerin tercih edilmesi ciddi sorunlar doğurur. Şiddetli rüzgar, rüzgar erozyonuna ve sonraki dönemlerde yapılacak bitkilendirme çalışmalarının başarısızlıkla sonuçlanmasına neden teşkil eder. Toz erozyonu ile de hava kirliliği gündeme gelir.

Bölgenin yağış durumu daha da büyük önem taşır. Yıllık yağış ortalaması ve dönemlere göre dağılım verileri bilinmelidir. Atık havuzu ve baraj inşaatının planlanması ve tasarımında bu veriler kullanılır. Yağış erozyonu da etkiler. Eğim açısı ve inşaat maliyetleri yağışa göre değişkenlik arz eder. Bitkilendirme yapılırken çıkabilecek sorunların önceden tahmininde de yağış ile ilgili verilerden yararlanılır.

Su Durumu (Hidroloji)

Hidrolojik çalışmalar bölgenin akarsuları ve yağış şartları hakkındaki verilerin toplanmasını ve değerlendirilmesini kapsar. Eğer bu veriler elde edilemiyorsa, akarsu yataklarının boyutları ve eğimleri belirlenir ve çevredeki benzeri kaynaklardan bilgiler sağlanır. Bunlardan yararlanıp tahminler yapma yoluna gidilir. Diğer çalışmalara ek olarak, değişik noktalara yerleştirilecek cihazlarla ölçümler yapılır.

Baraj göletine, girmesi kaçınılmaz olan yağmur suları haricinde, prosten kaynaklanmayan su girişi olmamalıdır. Eğer önlem alınmıyorsa, eldeki bilgilerden yararlanıp, su girişi miktarları saptanmalıdır. Seçilen yerden mümkün mertebe akarsu geçmemelidir. Akarsu bulunan bir yer mutlaka seçilmek zorunda ise, akarsuyun debisine ait ortalama ve maksimum değerler tespit edilmelidir.

Ayrıca, baraj stabilitesini bozabilecek her türlü sızıntılar ve hidrostatik basınç altındaki sular incelenmelidir. Atık yığını altında kalan zonlar artezyen içerebilir. Derinlikleri oranında geçirgenlikleri artan hendeklerin alt kısımlarında yer alan zayıf zonlar, yığın altında hidrostatik basınç oluştururlar. Bunlar, baraj temelini bozacak tehlikeli koşulların oluşmasına yardımcı olan etmenlerdir. Hidrostatik basıncın tahliye edilmesi amacıyla, uygun noktalara basınç tahliye kuyuları açılır. Gözlem için de basınç ölçüm cihazları yerleştirilir.

Hidrojeoloji

Atık yığınının derinlere doğru atık sular sızabilir. Baraj alanına düşen yağmur suları bazı kirletici unsurları da bünyesine alarak yeraltı su sistemine süzülebilir veya taşarak kirleticileri uzak mesafelere taşıyabilir. Bu olaylar gerçekleştiği takdirde,

yeraltı ve yerüstü suları kirlenir. Bu ihtimaller bölge hidrojeolojisini çok iyi incelemeyi zorunlu kılar.

Baraj alanı içine düşen yağmur suları süzülerek yeraltı su tablasına ulaşır. Ardından da yeraltı su sistemine karışır. Suyu yönlendiren birinci faktör yerçekimi olmakla beraber, doyma zonunun üst kısmını belirleyen geometrisi, yeraltı suyunun eğimi, ortamın geçirgenliği, yeraltı su seviyesinin derinliği ve herhangi bir pompa etkisi veya yeraltı suyunun suni olarak yüklenmesi de süzülen yağmur suyunun hareket doğrultusunu etkiler. Yüzeyde yağmur suları ile temas ederek çözünen katılar, iyonlar ve yüzeyde bulunabilecek diğer maddeler, böylece yeraltı su sistemine karışır. Özellikle nemli iklime sahip bölgelerde bu olayların meydana gelmesi oldukça kolaydır. Su hareketleri yalnızca lokal özellikte değildir. Aynı zamanda bölgesel hareketler söz konusudur. Yeraltında gerçekleşen bu su hareketleri, kirliliğin taşınması yönünden önemlidir. Özellikle yakın çevrede yerleşim merkezi, tarım alanı ve çiftlik bulunması önemini daha da arttırır.

Kirliliğin taşınması riski nedeniyle, tercih edilecek alanda yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması istenmez. Bir diğer tehlike de, temel stabilitesinin bozularak barajın yıkılma olasılığının belirmesidir.

Drenaj ve barajın oturtulacağı alanın altına gelen kısımda yapısal koşullarının iyi anlaşılabilmesi için, bu zonlarda gömülü olan kayaların derinlikleri ve topografyaları incelenmelidir. Yüksek geçirgenlik baraj stabilitesinin bozulmasında bir etkidir. Bu nedenle, düşük olması istenir. Konsolide olmamış malzeme katmanlarının haritaları çıkarılmalıdır. Malzemenin tane boyut dağılımları, geçirgenlikleri ve mühendislik özellikleri araştırılmalıdır. Böylelikle karşılaşılması muhtemel problemler önceden kestirilebilir. Elde edilen veriler baraj tasarımında kullanılabilir.

Ayrıca, kirliliğin taşınmasına yardımcı olacak, sızma ve süzülme hızlandıracak akıntıların olmadığı yerler tercih edilmelidir.

Jeoloji

Jeolojik çalışmalar, bölge jeoloji haritasının çıkarılması ve havadan çekilmiş fotoğraflar ile mevcut verilerden yararlanarak, jeolojik kesitlerin incelenip değerlendirilmesinden ibarettir.

Kırıklanmalar, çatlaklar, zayıf zonlar, faylar ve yüksek geçirgenlik türünden olumsuz jeolojik faktörlerin ortaya çıkması, bu alanı alternatif yer olmanın dışında bırakabilir veya sınırlayıcı özellikleri nedeniyle bazı ek önlemler almak zorunda bırakabilir.

Yapılan çalışmalar sonucunda, baraj alanı altındaki kayaların yapısı, varsa zayıf zonlar, kırıklanmalar ve çatlaklar hakkında bilgiler elde edilmiş olur. Eski kaya kaymaları, faylar ve bu kayaların geçirgenlikleri de çalışmalarla belirlenir. Bilgiler baraj yüksekliği ve kapasitesini tespit etmek için kullanılır.

Sismik Aktivite (Depremesel Karakter)

Her türlü inşaat faaliyetinde, bölgenin sismik aktivitesi ile ilgili veriler temin etmek ve ona göre önlem almak, planlama, tasarım ve hazırlıkların ciddi bir kademesini teşkil eder.

Atık barajı inşaatı öncesinde yer belirleme aşamasında, bu inceleme titizlikle yapılmak zorundadır. Bilindiği gibi atığın yapısını ince taneli malzeme teşkil eder. Su tutma kapasitesi yüksektir. Bu ise, düşük kesme dayanımı ve emniyet zaafi anlamına gelir. Sismik aktivitesi fazla olan bölgelerde, yapılar zayıflıklarını derhal yansıtırlar.

Yapılacak çalışmalarda, bölgenin sismik tarihçesi, önceki dönemlerde gerçekleşen depremlerin şiddetleri, aralıkları ve deprem merkezlerinin yerleri ile ilgili kayıtlar ve gelecekte olabilecek depremler hakkındaki tahminler temin edilip, değerlendirilir. Buna göre de, sahanın bir alternatif olup olmayacağı anlaşılacaktır. Karar olumlu olduğu takdirde de, barajın tasarımında bu bilgilerden yararlanılır.

Çevresel Faktörler

Üzerine atık barajı kurulması düşünülen saha, mühendislik açısından ideal olabilir. Fakat çevrenin etkilenmesi de dikkate alınarak inceleme yapıldığında, tamamen tersi bir netice ortaya çıkabilir. İşletme ve inşaat faaliyetleri için izin alınamayabilir.

Bölge biyolojik zenginlikleri (flora ve fauna) nedeniyle vazgeçilmez özellikler taşıyabilir. Biyolojik zenginlikten kasıt, bölgede yer alan ekolojik, tür ve genetik çeşitliliğidir. Bu anlamda, atık havuzlarının hidroloji ve su kalitesine vereceği zarar, derinliğine araştırma gerektirir. Bölge özel kullanım alanı veya tarihsel ve arkeolojik açıdan vazgeçilmez derecede önemli bir yer olabilir. Bunların dışında yerleşim

merkezlerine ve rekreasyon alanlarına uzaklık ile bölgenin sosyo-ekonomik koşulları da seçimde dikkate alınacak hususlardır.

Zemin

Atık barajlarının yapımı öncesinde, barajın oturacağı alanın ve bu alana yakın zonların yüzeyaltı toprak ve kayasının incelenmesi gereklidir. Atık barajları için gereken baraj temeli koşulları, diğer amaçlara yönelik olarak yapılan barajların temel koşullarından farklı değildir. Dolayısıyla, temel toprağı ve kayası hakkındaki incelemelerin kapsamı da aynıdır.

Etüdün hedefi, temel toprağı ve kayasının yıkılmaya karşı baraj ağırlığını taşıyıp taşıyamayacağını ve yük altında yapının hareketi halinde nasıl bir davranış göstereceğini belirlemektir. Elde edilen bilgiler sızıntı olup olmayacağı konusunda önceden değerlendirme imkânı da verir. Buna göre, gerekli kontrol metotları ve önlemler için önceden bazı yaklaşımlar yapılabilir.

Çalışmanın ilk kısmı arazide gerçekleştirilir. Burada, belirli aralıklarla ve derinliklerde açılan deliklerden numuneler alınır. Bazı cihazlar yerleştirilerek ölçümler yapılır. Toprağın geçirgenlik karakteri ve su sızma potansiyeli belirlenir. Öte yandan, temel kayası üzerinde yapılan testler ve ölçümlerle kayanın tipi ve özellikleri, süreksizliklerin varlığı, yeri ve doğrultuları ve boşlukluluk durumu tespit edilir. Arazide yapılan incelemelerde toprağın sıklığı ve geçirgenliği ile kayanın sertliği ve geçirgenliği belirlenir.

Laboratuvarda gerçekleştirilen çalışmalar, numuneler üzerinde yapılan testleri kapsar. Bu testlerle, numunelerin ve dolayısıyla da temel toprağı ve kayasının geçirgenliği, yoğunluğu, sıkıştırılabilirliği, makaslama dayanımı, basınç-gerilme ilişkileri ve temel toprağının tane boyutu tespit edilir.

Arazi ve laboratuvar çalışmaları neticesinde elde edilen veriler analiz edilip, baraj yüksekliği, genişliği ve gerekli yapı malzemesi ile ilgili değerlendirmeler yapılır. Temel toprağının, makaslama gerilmelerinden kaynaklanan yıkılmaya karşı yapının ağırlığını taşıyabilecek dayanımda olması beklenir. Özellikle sismik aktivitesi yüksek bölgelerde, dik eğimli noktalarda baraj ağırlığına ilaveten, çamurun neden olduğu su etkisi ile toprak kayması olasılığı mevcuttur. Bu koşulların varlığında, temel malzemesi yük altında yapının hareketine karşı direnebilmelidir. Yapının oturması süresince temel toprağının göstereceği davranış da önemlidir.

Temel toprağının geçirimsiz olması beklenir. Aksi takdirde, atık havuzundan yeraltı sularına kirli su sızma olasılığı vardır. Bu ise bazı önlemleri gerekli kılar. Sızma olasılığı varsa, havuz tabanında astarlama yapmak, temel toprağını kimyasal yollarla iyileştirmek veya atıkların dikkatle ayrılmasını sağlayıp su seviyesini şlam zonunun üzerinde tutmak gibi tedbirlerin düşünülmesi zorunlu olur.

3.3.4.3. Sızıntı Kontrolü

Kontamine olmuş suyun atık barajında kontrol edilebilmenin iki temel yolu vardır. Bunlardan birincisi kontamine suyu atık barajı içerisinde tutmak, ikincisi ise atık barajından çıktıktan sonra yakalamaktır. Sızıntı kontrolünün ne şekilde gerçekleştirileceğinin atık barajı tasarımının ilk aşamalarında planlamak gerekmektedir. Sızıntı suyu kontrolü seddenin stabilitesi, su kayıplarının önlenmesi ve alandaki su kalitesinin korunması amacıyla gerçekleştirilir. Sızıntı suyu kontrolü için atık barajının bütün alanın geçirimsiz tabakalar ile kaplanması, sızıntı suyu toplama sisteminin ve geri pompalama sisteminin veya arıtma sisteminin kurulması ve bazen düşük geçirimli tabakalar ile düşük geçirimli seddelerin inşa edilmesi, atıkların depolama öncesi susuzlaştırılması ve hidrolik basıncın düşürülmesi için serbest su havuzunun seddeden uzak olarak inşa edilmesi gibi seçenekler denebilir.

3.3.4.3.1. Geçirimsizlik Tabakaları

Geçirimsizlik tabakaları geçtiğimiz 10-20 yıllık süreçte kadar atık barajı dizaynlarına dahil edilmemiştir. Şimdilerde bile maden şirketleri yüksek maliyetten kaynaklı olarak geçirimsizlik tabakalarını uygulamaktan kaçınmaktadır. Bugün faaliyette olan atık barajlarından birçoğunda geçirimsizlik tabakaları kullanılmamaktadır. Sızıntı suyunu kontrol etmek için temelde iki tip geçirimsizlik tabakasından bahsedilebilir. Bunlar sentetik geçirimsizlik tabakası ve mineral geçirimsizlik tabakasıdır. Sentetik geçirimsizlik tabakası bilindiği üzere maliyeti yüksek bir seçenektir. Mineral geçirimsizlik tabakası ise kil ve benzeri lokal malzemelerden tesis edilmektedir. Bunlara ek olarak cevher zenginleştirme tesisi atıklarından kil ve silt (şlam) boyutunda olanlar da geçirimsizlik tabakasının teşkili için kullanılabilir.

Atık barajlarında tüm alanın geçirimsizlik tabakası ile kaplanması ana maliyet kalemini oluşturmaktadır. Bu durum özellikle vadi tabanının eğimi yönüne dik atık barajı için geçerlidir. Geçirimsizlik tabakasının kalınlığı kullanılan tabakanın tipine göre değişmekle birlikte hidrolik basıncı düşürmek için geçirimsizlik tabakasının

üzerine inşa edilecek ve sıvıları toplayacak olan drenaj sistemi sayesinde bu kalınlık azaltılabilir. Yer altı suyunun atıkların içine sızmasını engellemek ve tabanda oluşan buharların sızdırmazlık tabakasının kaldırmasını engellemek için baca veya alt drenaj tabakalarının oluşturulması gerekebilir. Kullanılacak olan geçirimsizlik tabakasının, asitik veya bazik maddeler gibi atıkların içinde bulunan maddelere, ultraviole ışımaya maruz kalması durumunda aşınmaya, yükleme gerilimi altında deformasyona ve depreme dayanıklı olması gerekmektedir.

Killer ve sentetik malzemelerin birlikte kullanılması ile iki ve üç katlı geçirimsizlik tabakası inşa edilebilir. Büyük miktarda oturmaların engellenmesi için kil ve sentetik malzemelerden oluşturulan geçirimsizlik tabakaları yumuşak ve kolayca sıkışabilir malzemelerin üzerine inşa edilmez. Geçirimsizlik tabakaları genellikle güneş ışığı ve rüzgar gibi etkilerin kil ve sentetik tabaklar üzerindeki etkisini azaltmak için jeotekstil benzeri malzemelerle ile gömlekleme yapılır. Geçirimsizlik tabakalarının dizaynında, tabakanın donma ve kuruma durumlarının özellikle eğimli tabana sahip atık barajlarında dikkate alınması gerekmektedir. Büzüşme, kaynak yerinin yanlış birleştirilmesi, yükleme gerilimi, ultraviyole ışınlarına maruziyete ve sızdırmazlık tabakasının zeminin düzgün olmayan şekilde planlanması ve inşa edilmesi gibi durumlarda sentetik geçirimsizlik tabakasından kaçaklar olabilir. Atık barajlarının geçirimsizlik tabakası ile ilgili sorunlar genelde ilk altı ay içinde görüldüğü için kısa dönemli bakım planlarının oluşturulması gerekmektedir (USEPA, 1994).

3.3.4.3.1.1. Kil Geçirimsizlik Tabakaları

Kil ile gerçekleştirilecek olan geçirimsizlik tabakaları özellikle kilin bol miktarda bulunduğu bölgeler için çokda pahalı olmayan bir alternatif olabilir. Kil tabakalarının kalınlığı değişmekle birlikte genelde en az 60 cm kalınlığında 10^{-6} cm/sn veya daha az geçirimsizliği sağlayacak şekilde inşa edilirler. Bununla birlikte kil ile oluşturulan geçirimsizlik tabakaların geçirimsizlik, Atterberg limitleri, nem içeriği, sıkışma, kayma ve basınç testlerine tabi tutulması gerekmektedir. Standart Proctor sıkışma testi sıkışma miktarını ölçmek için kullanılan en yaygın testtir.

Genelde, yüksek plastisiteye sahip killer düşük olanlara oranla daha düşük geçirimsizliğe sahip olmaları sebebiyle tercih edilmektedir. Ancak kullanılacak olan kilin seçimine yapım ve iklim koşullarına göre karar verilebilir. Ayrıca depolanması planlanan atığın yaratacağı sızıntının kil tabaka üzerindeki etkilerin tespit edilmesi amacıyla kimyasal testlerin de yapılması gerekmektedir.

Kil tabakalar, geçirimsizlik oranının dizayn değerinin aşırı miktarda geçmesi durumunda bozulabilirler. Kil tabakasının geçirimsizliğinin bozulmasında üç ana neden bulunmaktadır. Bunlar;

- Temelde gerçekleşen farklı oturmalar
- Kil tabakasının kuruması
- Kil tabakasının geçirimsizliğinin başkalaşmasıdır (USEPA, 1994).

Temelde gerçekleşen farklı oturmalar kil tabakasında lokal kırıklara neden olabilmektedir. Kil tabakasının kuruması ise kil tabakasından mikro ölçekte kırıklara neden olmaktadır. Bu durum kil ile kaplanan alanın çok büyük olması durumunda atıkların depolanıncaya kadar geçen zaman içinde olabileceği gibi atıkların kuruması nedeniyle de olabilmektedir. Kil tabakasının başkalaşması ile ise sızıntı çözeltisi ile takaka arasında gerçekleşen jeokimyasal tepkilerden kaynaklı olmaktadır (USEPA, 1994).

3.3.4.3.1.2. Sentetik Geçirimsizlik Tabakaları

Sentetik geçirimsizlik tabakaları atık barajlarındaki sızıntının kontrolü amacıyla oldukça yeni geliştirilmiştir. Beton ve püskürtme beton gibi sert tabakalar asit ve/veya sülfata karşı dayanıklı olamayabileceği, asfaltik betonunun ise aşınma ve güneş yaşlanması gibi problemlere sahiptir (Kays, 1977). Püskürtme membranlar ise tesis etme problemlerine rağmen alternatif olarak düşünülebilmektedir. Sentetik kauçuk membranlar (bütil kauçuk, EPDM) ise yüksek maliyetli bir yatırımdır (Vick, 1990). Termoplastik membranlar atık barajları için en çok kullanılan malzemedir.

Sert olmayan geçirimsizlik malzemeleri genellikle jeomembran olarak adlandırılmaktadır. Jeomembranlar genellikle ikili veya üçlü tabaka kombinasyonu oluşturmak amacıyla kil tabakaları ile birlikte kullanılmaktadır. Jeomembranlardaki sızıntılar jeomembran üzerinde bir delik olması temeli üzerine kurularak yapılmaktadır. Sentetik malzemelerin birçoğu asit, baz ve tuz gibi atıkların içinde bulunabilecek maddelere karşı dayanıklıdır. Jeomembranların geçirimsizliği 10^{-9} ila 10^{-14} cm/sn arasında değişmekte olup, ortalama 2 mm civarındadır. Maliyet ve teknik fizibilite sentetik tabakalarının seçiminde temel faktör olmakla birlikte alanca büyük ve düzgün bir topografyaya sahip atık barajlarında sentetik tabaka inşası ile karşılaşılmaktadır (USEPA, 1994).

3.3.4.3.1.3. Şlam Geçirimsizlik Tabakaları

Cevher zenginleştirme atıklarının şamlarından düşük geçirimli tabakaların oluşturulması hem kolay ve hem de ucuz olmakla birlikte sızıntıyı tamamen durdurmamaktadır. Uygun maliyetli bir çözüm için zenginleştirme tesisi atıklarının büyük oranda şlam boyutunda olması ve iri ve ince yapılı kumların siklon vasıtasıyla şlamdan ayrılması gerekmektedir. Bunun yanında, şlamın atık barajı içinde düzgün bir şekilde yayılmasını sağlamak için iyi bir dağıtım sistemi kurulmalıdır.

3.3.4.3.2. Geçirimsizlik Tabakaları Uygulamaları

Atık barajlarında sızdırmazlık tabakası için kullanılacak malzemelerle ilgili tercihler sahaya özgü koşullara göre değişmektedir. Tercih edilen astarın cinsinin seçiminde genellikle maliyet en önemli etken olmaktadır. Ancak çevresel standartlar gerekse de sentetik tabakalarının uygulama kolaylıkları ve depolama kapasitesini artırma gibi hususlardan kaynaklı farklı astar tipleri seçilmektedir.

Silva (2009) killi toprakların atık barajlarında sentetik astarlara göre tercih edilmesinin hem maliyetleri hemde yer altı suyu ve alttaki toprak katmanın kirlenme riskini azaltacağını ifade etmiştir.

Jeosentetik kil astaların, sıkıştırılmış kil astalar veya jeomembran astalar gibi geçirimsizlik tabakaların kullanımına alternatif olarak tercih edilmesini iki temel nedene bağlamaktadır. Bunlardan birinci maliyetleri azaltması ikincisi ise sıkıştırılmış kil astalarla teknik olarak denkliğinin bulunmasıdır. Jeosentetik kil astaların uygulanmasının jeomembran ve sıkıştırılmış kil astarlara göre daha kolay olmasının yanında depolama kapasitesini artırması maliyeti düşürmektedir. Teknik olarak denklik ise jeosentetik kil astaların oldukça düşük hidrolik iletkenliğe sahip olması, jeosentetik kil astaların bünyesindeki bentonitin kendi kendini tamir etme kapasitesinin yüksek oluşu ve sıkıştırılmış kil astarlara oranla meydana gelebilecek oturmalara daha yüksek oranda direnç gösterebilmesidir. Ayrıca jeosentetik killerin ek noktalarının üst üste bindirilmesi araya bentonit konması jeomembran astarlara oranla daha fazla tercih edilmelerini sağlamaktadır (Shackelford, 2010).

Dillon (2004), İrlanda'da faaliyette olan bir kurşun-çinko madeni zenginleştirme atıklarının depolanması için öncelikli olarak Kanada'da yapılan uygulamalara benzer olarak ocakta depolayıp sonra etrafının bir sedde ile çevrilmesinin planlandığını ancak İrlanda'danın madencilik faaliyetleri ile ilgili deneyimlerden kaynaklı sıkı

çevresel düzenlemeler nedeniyle vaz geçildiği belirtilmektedir. Birkaç yıl önceki komşu işletmede yaşanan deneyimler baz alınarak yapılacak atık barajı seddesinin sadece astarlanmasının yetmeyeceği kompozit bir astarlamanın yapılması gereğini ifade etmiştir.

Atık barajı seddesi için 2 mm kalınlığında düşük yoğunluklu polietilen jeomembran, 4.5 kg/m² jeosentetik kil astar üzerine serilmiştir. Ayrıca depo tabanı düşük yoğunluklu polietilen jeomembran ile kaplanmıştır.

Dillon (2004) tarafından yapılan çalışmada dikkat çekilen bir hususta cevherin sülfürlü bir yapıya sahip olması nedeniyle atıkların depolanması sonucu sülfürün oksidasyonu ve sonrasında asit oluşumunun depo tabanında ana kayaç olan dolomitik kireçtaşına olacak olumsuz etkisinin önlenmesidir.

Wei (2009) tarafından yapılan çalışmada istatistiklere göre Çin’de ince atıklarla inşa edilen atık barajları ve havuzlarında çökme yaşandığı ya da çökme potansiyelinin yüksek olduğu ifade edilmektedir. Wei tarafından yapılan çalışmada güçlendirilmiş teras metodu yapılan bir çalışmada atıklar üzerinde yapılan terasların ve jeosentetiklerle yapılan güçlendirmenin atık barajının stabilitesini arttırdığı ifade edilmiştir.

3.3.5. Atık Barajlarının Kapatılması

Maden işletmeleri genellikle oldukça kısa dönemli sonlu aktivitelerdir. Cevherin eldesinden sonra ortaya çıkan cevher zenginleştirme atıkları madencilik aktivitelerinden genelde en çok göz önünde olandır. Metalik cevher işlenmesinde ortaya çıkan atıklar veya atık depolama faaliyetleri yaşanmış tecrübeler göz önünde alındığında önemli çevresel ve ekonomik etkileri nedeniyle en çok tartışma yaratan madencilik aktivitesidir. Geçmişte yapılan madencilik çalışmalarına bakıldığında atıkların yönetimi ile ilgili temel alınan ilke atıkların mühendislik açısından iyi bir yapı içerisinde depolanması olmuştur. Ancak bu süreçte atık depolama faaliyetlerinin kapanması için gereklilikler veya depolama faaliyetinin uzun dönemli stabilitesi genelde göz ardı edilmiştir. Ancak geçtiğimiz 20-30 yıla bakıldığında bu hususların daha fazla dikkate alınmaya başladığı görülmektedir. Atık barajlarının dizayn süreçlerinde kapanma aşamalarının stabilite ve çevresel performans kriterlerini sağlaması açısından kapanma dönemini de kapsayacak şekilde planlamaların yapılması gerekmektedir.

3.3.5.1. Kapanma Hedefleri ve Kriterleri

ABD, Kanada, Avustralya ve son zamanlarda da Avrupa atık barajlarının kapanması süreçleri için standartların belirlenmesine yönelik bir dizi çalışma yapılmıştır. Genellikle, zenginleştirme tesislerinin ıslahında ele alınan temel konular uzun dönemli fiziksel stabilite, kimyasal stabilite ve arazi kullanımudur (Mylona ve diğerleri, 2002). Kanada'da yürürlüğe giren düzenlemelere göre atık barajları taşkın, deprem gibi afetler ile rüzgar ve su erozyonu gibi devamlı yıkıcı güçler altında fiziksel stabilitesini koruması gerekir. Böylece çevre ile kamu sağlığı ve güvenliğine zarar vermemiş olur. Kimyasal stabilite ile ilgili hususa gelince, atıkların bünyesindeki kirleticilerin sızması ve çevreye taşınmasının kamu sağlığı ve güvenliğini tehlikeye atmamalı ve mansabında buluna su ortamları için belirlenen su kalitesi değerlerini aşmamalıdır (Doran ve Mcintosh, 1995).

Doğu Avustralya Maden ve Enerji Dairesi tarafından hazırlanan klavuzlara göre kapanması yapılmış atık barajlarının güvenli, stabil ve estetik olarak kabul edilebilir olması gerekmektedir (DME, 1999). Bir atık depolama faaliyeti seddesinin çökmemesi ve depolanmış atıklarının çevreyi kirletmemesi onun güvenli olduğunu göstermektedir. Yüzeysel sular ve yer altı sularının depolanmış atıktan sızan sular veya metallere kaynaklı olarak kirlenmemesi gerekmektedir. Kapanmış bir atık barajının stabilitesi ise atık barajının aşırı miktarda erozyona uğramamasıdır. Son olarakda atık barajının peyzaja uyması ve görünen kısımlarının kendi kendine yetişen bitki örtüsü ile kaplanması gerekmektedir (Mylona ve diğerleri, 2002).

Mineral Sanayi Araştırma Organizasyonu (MIRO, 1999) tarafından yapılan çalışmaya göre atık barajlarının kapanması için gerekli dizayn kriterleri Tablo 3.3'te yer almaktadır.

Tablo 3.3: Kapama Dizayn Kriterleri

Husus	Kapanma Dizayn Kriteri
Fiziksel Stabilite	İnsan yapımı yapıların fiziksel stabilitesinin güvenlik ve çevresel etki riski taşımaması
Kimyasal Stabilite	Fiziksel yapıların kimyasal stabilitesinin çevresel kirlilik problemi ve kamu sağlığını riske atmaması
Biyolojik Stabilite	Biyolojik çevrenin restorasyonunun dengeli ve kendi kendini ikame edecek lokal alandaki ekosistemin sağlanması veya doğal rehabilitasyonun ve biyolojik çeşitliliğin ve stabil çevrenin gelişmesinin desteklenmesi
Hidroloji ve Hidrojeoloji	Yüzeysel ve yer altı su kaynaklarının kirlenmesini önlenmesi
Coğrafik ve İklimsel Etkiler	Yağmur ve fırtına gibi iklimsel faktörleri içeren saha karakteristikleri ve yerleşim, topoğrafya ve ulaşılabilirlik gibi coğrafik faktörlerin uygunluk sağlanması
Lokal Duyarlılıklar ve Fırsatlar	Alanın restorasyonu için fırsatların optimize edilmesi Arazi kullanımının ekonomik olarak uygun olması durumunda yükseltilmesi
Arazi Kullanımı	Arazinin nihai kullanımının çevrede alanlar ve lokal toplulukların gerekleri ile bağdaşması
Finansal Garanti	Atık barajının kapama planının uygulanması için yeterli ve nispi ölçekte finansal garanti alınması
Sosyo-ekonomik Hususlar	Lokal topluluklar için alternatif fırsatların desteklenmesi Pozitif sosyo-ekonomik tavsiyelerin maksimizasyonu

3.3.5.2. Kapama Teknolojileri

Rehabilitasyon alternatiflerinin değerlendirilmesinde beklenen çevresel durumların karşılanabilme yeteneği, programın maliyeti, kullanılan mevcut tekniklerin kesinliği ve uzun dönemli performansları ile bakım ve izleme gerekliliklerini içeren bir dizi kriter etkindir. Atık barajının kapatılmasında iyi bir yönetim gerçekleştirilmesi açısından üst örtü teşkili gereklidir. Üst örtü sisteminin dizaynı ve inşaatı atık barajı kapatılmasında çevresel etki, maliyet ve kamu ve mevzuat gereklilikleri açısından tek başına en büyük husus olmaktadır.

Üst Örtü sistemlerinin amaçları sahadan sahaya değişmekle birlikte genel olarak bakıldığında

- Toz ve erozyon kontrolü
- Asit üretme potansiyeline sahip cevher zenginleştirme atıklarının kimyasal stabilizasyonu (oksijen girişinin engellenmesi ve/veya suyun atık içine sızmasının engellenmesi)
- Sızıntı yoluyla kirletici parametrelerinin yayılımının kontrol edilmesi
- Bitkilendirme için büyüme ortamının sağlanması

amaçlanmaktadır.

Dizayn amaçlarına göre bir sınıflandırma yapıldığın üst örtü teşkili üç kategoriye ayrılabilir.

- 1) Oksijen bariyer üst örtüleri: Oksijenin atıkların içine taşınmasını engelleyen bir bariyer vazifesi görerek ya da örtü içine giren oksijenin tüketilmesini sağlayarak ve bunun sonucu sülfürün oksitlenmesini engellenmektedir. Su ile kaplama bu üst örtü sistemine örnektir.
- 2) Düşük su akışı üst örtüleri: Atıkların içine su girişini engelleyen düşük geçirgenliğe sahip üst örtülerdir.
- 3) Kullanım sonrası üst örtüleri: Bu örtü sistemindeki amaç atıklarının görünüşünün iyileştirilmesi, yüzey erozyonun engellenmesi, atıklarla yüzey akışı arasındaki kontağın sınırlandırılması ve bitkilendirme için uygun ortamının iyileştirilmesidir.

Su ile gerçekleştirilen üst örtüler genellikle asit üretme potansiyeline sahip cevher zenginleştirme atıklarının depolandığı atıkların rehabilitasyonu için tercih edilmektedir. Atık içerisindeki boşlukların su ile doldurulması ile bu boşluklara oksijen girmesi engellenmektedir. İki üç metrelik bir su derinliği su altında bulunan atıklarını yüzeyindeki çözülmüş oksijen miktarının düşürülmesi için yeterlidir. Bu örtü sisteminin % 100 oranında etkili olduğunu gösteren laboratuvar ve saha çalışmaları bulunmaktadır (Mylona, 2004).

Su ile gerçekleştirilen üst örtüler, eğer ortama aşırı miktarda kirli sızıntı salınacağı, seddenin yeterince stabil olmadığı ya da stabilazasyonunun ekonomik olmadığı ve atık barajındaki su dengesinin kontrol edilemeyeceği durumda uygun değildir.

3.3.6. Atık Barajlarında Yaşanan Kazalar

Atık barajları inşa edilirken sonsuza kadar aynı şekilde kalacağı düşünülür. Ancak atık barajları ile ilgili geçmiş deneyimler bu düşüncenin aksini göstermektedir. Atık barajlarından kaynaklı küçük ve büyük ölçekteki akışlar ciddi çevresel problemlere yol açmaktadır. Atık barajlarının kendine özgü birçok karakteri nedeniyle su tutma barajları gibi yapılardan daha hassas olunmasını zorunlu kılmaktadır. Bunlar:

- Seddelerin lokal malzemelerden inşa edilmesi (toprak, pasa, zenginleştirme atıkları)
- Kapasite artışı durumunda atık barajlarının yükseltilmesi (yağış dahil olmak üzere)
- Mevzuatta atık barajları için özel dizayn koşullarının bulunmaması
- Yer seçimi, inşaat ve işletmede atık barajının stabilitesi için sürekli izleme ve denetleme koşullarının bulunmaması
- Kapatma sonrası yüksek bakım maliyetleridir.

Geçmiş deneyimler kazaların önlenmesine ağırlık verilmesinin kaza sonrası harekete geçmekten önemli olduğunu göstermektedir. Potansiyel riskler üzerinden önlemler almak çevre etkilerinin minimize edilmesini ve gerçek maliyetlerin optimize edilmesini sağlayacaktır.

Mühendislik çalışmalarında, aralarında birbirlerine ters yönde etki eden vektörler gibi bir ilişki olan iki temel amaç vardır; emniyet ve ekonomiklik. Emniyet katsayısını büyük seçmek istediğinizde, mümkün mertebe düşük tutulmak istenen maliyetler hızla yükselir. Maliyetlere sınırlamalar getirildiğinde ise, emniyet katsayısının aşağı çekilmesi kaçınılmaz olur. Bütün mesele optimum noktanın yakalanabilme sidir. İlgili alanda, uzun yıllara dayalı çalışmalarla kazanılan bilgi ve tecrübe ile hataların en aza indirilmesi, teknolojik gelişmeler ve verimliliğin artırılması optimuma ulaşmaya yardımcı faktörlerdir. Bir mühendislik çalışması olan atık barajlarının inşa edilmesinde de bu durum geçerliliğini korur. Bugün gelinen noktada, geçmişte yaşanan baraj yıkılmalarının temel sebepleri üzerinde bazı genellemelere varılabilmiş ve alınabilecek önlemler hususunda tatmin edici ilerlemeler kaydedilmiştir.

Yapılan araştırmalar, baraj yıkılmalarının doğal nedenlerden, yapım hatalarından ve her ikisinin birlikte etkisi ile meydana geldiğini ortaya koymuştur. Doğal nedenleri fazla yağış, heyelan, deprem, aşınma, dalga ve buz etkisi oluştururken, yapım hatalarını borulanma, sızma, çökme, yetersiz kitle, inşaat hatası, yapıda çatlama ve bozulma ile kaymalar teşkil etmektedir (Tarhan, 1989).

Atık barajlarında rastlanan en yaygın hatalar;

- temel yenilmesi,
 - dairesel kayma,
 - taşma,
 - erozyon,
 - borulanma,
 - sıvılaşma
- şeklinde sıralanabilir.

3.3.6.1. Temel Yenilmesi

Temel yenilmeleri toprak dolgu sedde tiplerinde yaygın bir hadisedir. Bu duraysızlık; baraj yüksekliğinin giderek arttırılması ve atık depolama işlemleriyle gövde üzerinde artan gerilmeler sonucu, baraj temelinin hemen altında bulunan zayıf zeminin ya da kaya katmanının makaslama dayanımını yitirmesiyle gerçekleşmektedir (CANMET, 1977).

3.3.6.2. Dairesel Kayma

Bu duraysızlık, atık barajı gövde dolgusunun bir kayma yüzeyi boyunca makaslama dayanımını yitirmesi sonucunda meydana gelmektedir. Atık barajlarında, şev duraysızlığı sınıflama sisteminde ötelenmeli kayma grubunda yer alan düzlemsel, çok yüzeyli ve birleşik kaymalar da gerçekleşmektedir. Atık baraj gövdesinin düz bir hat boyunca makaslama dayanımını yitirmesi sonucu düzlemsel kayma meydana gelmektedir. Atık barajlarında, gövde ile atık malzemesi ve gövde ile temel zemin arasındaki zayıf ara yüzey boyunca gövde malzemesinin makaslama dayanımını yitirmesi sonucunda çok yüzeyli ötelenmeli kayma gerçekleşmektedir. Yumusak zemin üzerinde inşa edilen atık barajlarında baraj gövdesinin ya da atık malzemesinin kendi içinde makaslama dayanımını yitirmesiyle dairesel olarak

başlayan hareketin baraj ve yumuşak zemin arasındaki ara yüzey boyunca düzlemsel olarak devam etmesiyle birleşik kayma gerçekleşmektedir (CANMET, 1977).

3.3.6.3. Taşma

Atık barajlarında en yaygın görülen çökme nedeni sel sularının bir neticesi olan taşmadır. Taşma tipik olarak yüzey sularının akışının uygun olmayan şekilde yollarının değiştirilmesi veya aşırı yağıştan kaynaklı atık barajına giren suların barajın kapasitesini aşması durumunda ortaya çıkar. Atık barajı seddeleri genellikle erozyona yüksek duyarlı malzemelerden inşa edildiği için hızlı akıştan kaynaklı sürtünme nedeniyle koruma önlemi alınmamış baraj kretinin hızlı bir şekilde aşınmasına ve sürekli bir salınımın ortaya çıkmasına neden olur. Buna ek olarak büyük miktardaki akıştan kaynaklı boşluk basıncındaki hızlı artış kondolide olmamış kum ve şamların sıvılaşmasına neden olur. Seddenin kretinde meydana gelen sürekli salınım seddenin birkaç dakika içinde çökmesine neden olur (CANMET, 1977). Taşma bilhassa, nehirlerin saptırılmasının büyük önem taşıdığı vadi barajlarında, mutlaka üzerinde hassasiyet gösterilmesi zorunlu olan bir problemdir.

3.3.6.4. Erozyon

Yoğun yağış alan bölgelerde bulunan atık barajları, sedde dayanakları ve gövde aynasında gerçekleşebilen erozyon kaynaklı duraysızlıklara karşı duyarlıdır. Sedde ile dayanağın birleşme noktasına yoğunlaşan akış nedeniyle erozyon gerçekleşebilir (CANMET, 1977). Tipik olarak bu tür duraysızlıklar yağmur sularının uygun bir şekilde yönlerinin değiştirilmesi ve düzenli bakımlar ile önlebilir. Baraj kreti üzerine inşa edilen atık tabakalarında meydana gelebilecek kırılmalar da sedde yüzeylerinin erozyonunda neden olabilir. Düzenli bakım ile bu sorun ortadan kaldırılabilir. (USEPA, 1994).

3.3.6.5. Borulanma

Atık barajlarındaki sızıntı suyunun gövdede veya gövde altında bir yol boyunca ilerleyip barajın akış aşağı kısmından sızmasıyla borulanma gerçekleşmektedir. Borulanma nedeniyle sızıntıların baraj gövdesini aşındırmasıyla bir zayıflık düzlemi oluşmaktadır. Bu düzlem boyunca gövdenin makaslama dayanımını yitirmesiyle duraysızlık meydana gelebilmektedir. En kötü koşullarda, oluşan bu sızıntı serbest

suyun bulunduğu havuz ile sedde yüzeyi arasında bir kanal oluşturabilir (CANMET, 1977). Aşırı borulanma seddede veya sedde temelinde lokal ve genel çökmelere neden olabilir (USEPA, 1994).

3.3.6.6. Sıvılaşma

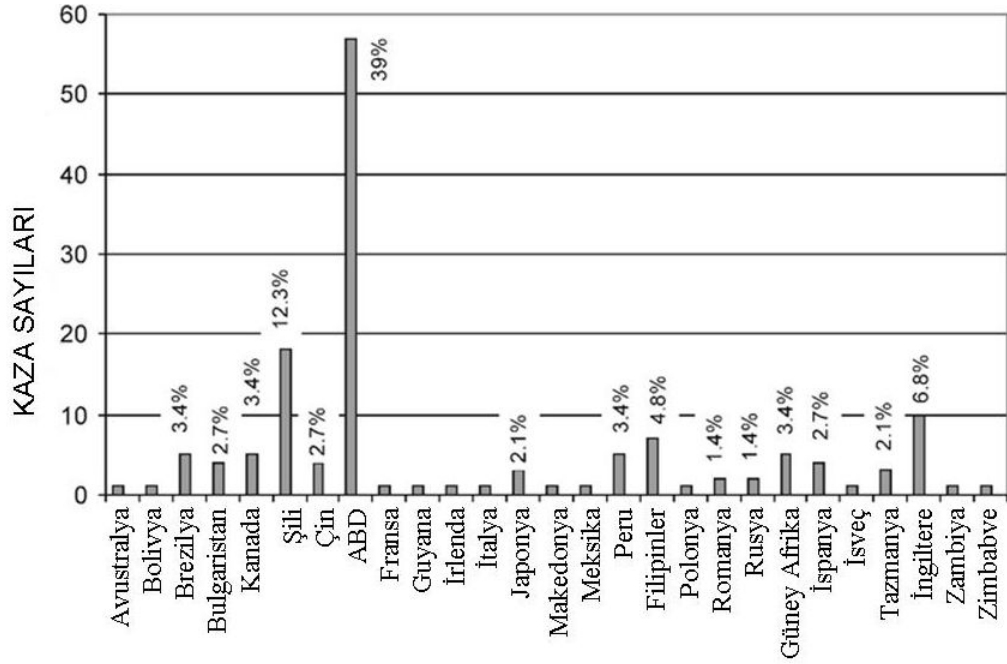
Akış yukarı yükselen set yöntemiyle inşa edilmiş vadi tipi atık barajlarında en çok görülen duraysızlıktır. Depolanmış atığın konsolide olmamış, ince taneli ve suya doymuş olması nedeniyle, atıklar su içinde süspansiyon oluşturma eğilimindedir (Vick, 1990). Sıvılaşmış cevher zenginleştirme atıkları vizkoz sıvılar gibi davranma eğilimindedir. Öyleki, atıklar dar açıklıklardan geçerek uzun mesafeler kat edebilir (CANMET, 1977). Atıkların sıvılaşma eğilimi göstermesi deprem kaynaklı tekrarlı yükler altında atığın ve/veya baraj gövdesinin sıvılaşması sonucu baraj duraylılığını yitirebilmektedir. Bu nedenle, küçük çaplı baraj çökmelerinde, sıvılaşma eğilimi gösteren atıklar ciddi miktarda atığın salınması gibi bir sonucu ortaya koyabilir. Atık barajlarındaki dolgu malzemesinin ve atığın yoğunluğu, doymuşluk oranı ve tane boyu denetlenerek sıvılaşma önlenir (USEPA, 1994).

Atık barajları ile ilgili kazaların nedenleri ile ilgili birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. Büyük Barajlar Uluslararası Komisyonu (ICOLD) tarafından gerçekleştirilen çalışma en güncel ve kapsamlı çalışmadır. Bu çalışmada 221 kazadan bahsedilmektedir (ICOLD, 2001) ve bu çalışma Amerik Birleşik Devletleri Büyük Barajlar Komisyonu (USCOLD) tarafından ABD’de gerçekleşen birçok kazayı içeren veri tabanı üzerinden gerçekleştirilmiştir. USCOLD tarafından yapılan çalışma 1917 ile 1989 yılları arasında gerçekleşen 185 kazayı kapsamaktadır (USCOLD, 1994).

Avrupa Birliği’nin SEVESO II Direktifine göre toksik ve tehlikeli maddeleri içeren büyük kazaların ulusal otoriteler tarafından Avrupa Komisyonuna raporlanması gerekmektedir. 1984 yılında beri söz konusu büyük kazalarla ilgili bilgiler toplanmakta olup madencilik ile ilgili kazalar ise ancak 2003 yılından beri Tehlikeli Maddeleri İçeren Büyük Kazalardaki Zararın Kontrolü ile ilgili 96/82/EC direktifinde 2003/105/EC sayılı direktifte yapılan değişiklik ile toplanmaya başlamıştır. Bu yüzden resmi Avrupa veri tabanı tarihte gerçekleşen kazalar ile ilgili az miktarda bilgi içermektedir. Bu veri tabanındaki bilgilerin mevcut veri tabanları, yayınlanmış makaleler ve raporlar ile tamamlanması gerekmektedir (Rico, 2007).

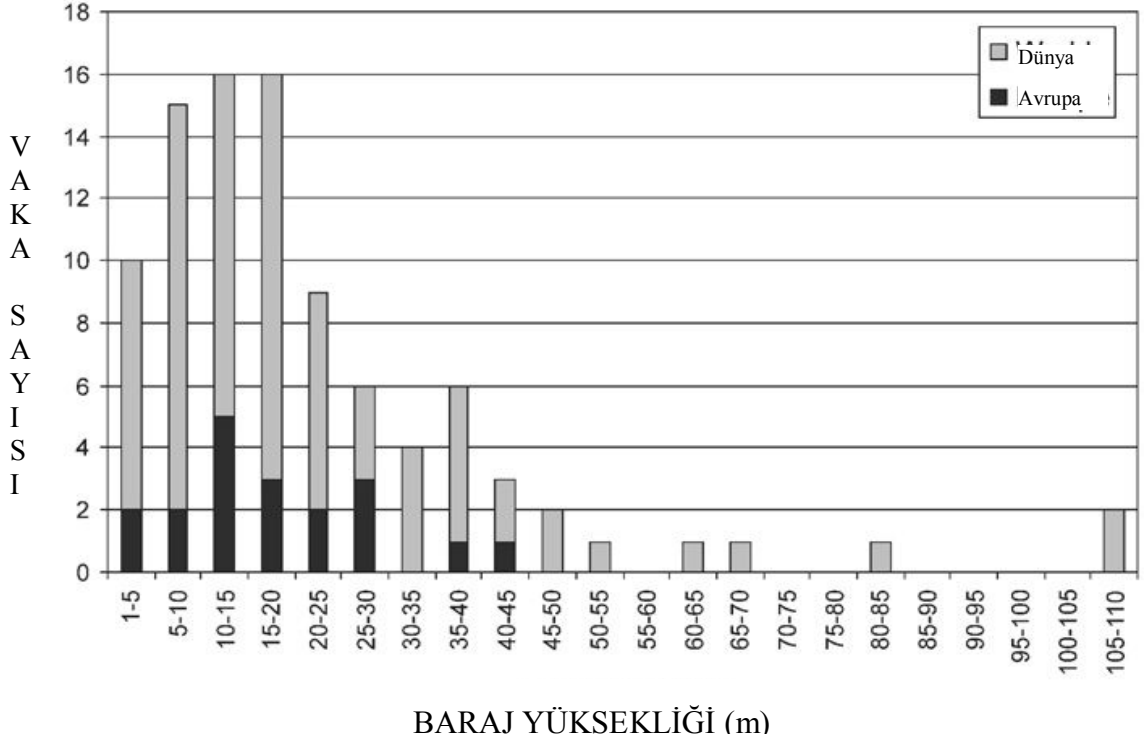
Ek A.1 ve Ek A.2’de görüleceği üzere atık barajları ile ilgili geçmişte meydana gelen kazalar ile ilgili toplanan bilgiler tam değildir. Bunun nedeni atık barajları ile ilgili kazaların büyük bölümünün rapor edilmemiş olmasıdır. Bu husus özellikle gelişmekte olan ülkeler veya çevre mevzuatı gevşek ülkelerde karşımıza çıkmaktadır. Çok bilenen kazalarda bile atık barajının yüksekliği, depolanan atık hacmi, su içeriği gibi elzem bilgilerin kaza öncesi durumu hakkında bilgi edinmek oldukça zordur.

Rico (2007) tarafından bilgilerine ulaşılabilen 147 kaza ile ilgili yapılan çalışmaya göre atık barajları ile ilgili meydana gelen kazaların % 74’ünün birkaç ülkede gerçekleşmiştir. Başka bir deyişle kazaların % 39’u ABD, % 18’i AB, % 12’si Şili ve % 5’i Filipinler’de gerçekleşmiştir(Rico, 2007). Kazaların ülkelere göre dağılımı Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12 : Atık Barajlarındaki Kazaların Ükelere Göre Dağılımı (Rico,2007)

Atık barajlarında meydana gelen kazaların baraj seddesi yüksekliğine göre dağılımı Şekil 3.13’te verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere kazaların % 55,9’u 15 metreden daha yüksek, % 22,6’sı ise 30 metreden daha yüksek seddeye sahip atık barajlarında gerçekleşmiştir.



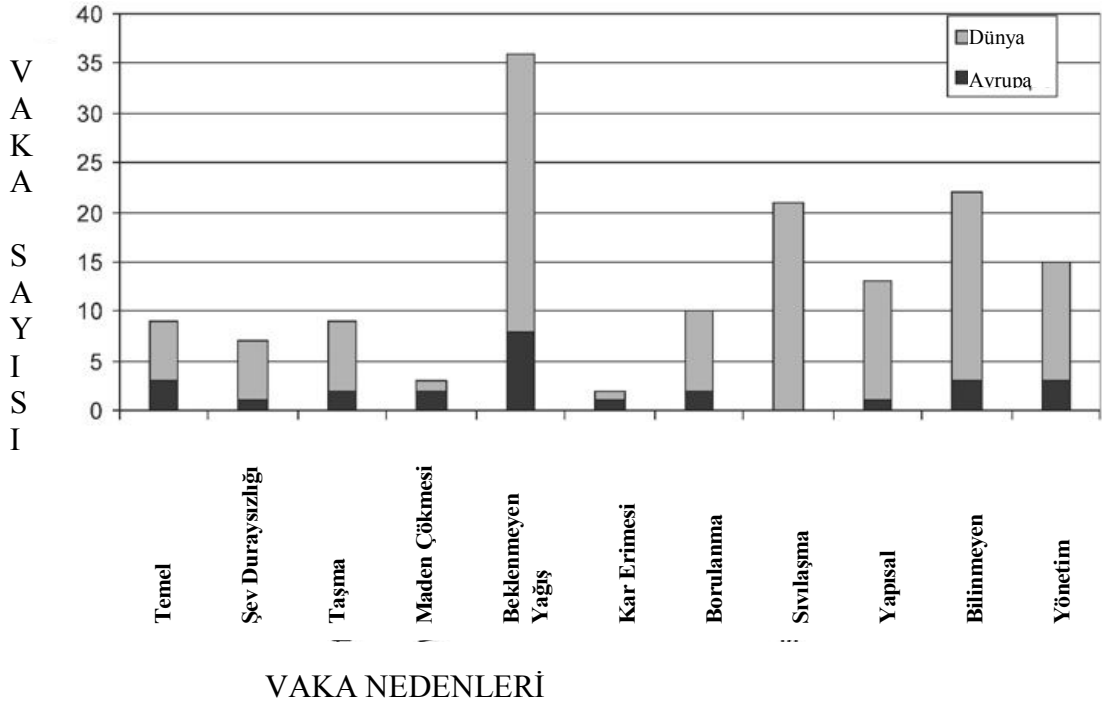
Şekil 3.13 : Atık Barajlarındaki Kazaların Baraj Yüksekliğine Göre Dağılımı (Rico, 2007)

Oluşturulan veri tabanına göre 15 değişik vaka nedeni tespit edilmiştir. Vakaların % 39'unda baraj yıkılmalarının değişik faktörlerin kombinasyonu nedeniyle ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Örneğin yoğun yağış, fırtınalar, hızlı kar erimesi, buz toplanması gibi meteorolojik nedenlere bağlanan vakalar taşma, sızıntı temel çökmesi veya kötü baraj yönetimi ile bağlantılı olabilmektedir. Rico (2007) tarafından yapılan çalışmada 11 adet çökme nedeni belirlenmiş ve her bir olay tek bir kategoriye dahil edilmiştir. Meydana gelen kazaların büyük bölümü meteorolojik nedenlere bağlanmıştır. Dünya ölçeğinde % 25 olan bu oran Avrupa'da % 35'e ulaşmaktadır.

Avrupa ölçeğinde en önemli ikinci neden olarak atık barajlarının zayıf yönetimi ve yetersiz insan aktivitelerine bağlanmaktadır. Kötü yönetim pratikleri dünya ölçeğinde % 10, Avrupa ölçeğinde ise % 12'lere ulaşmaktadır. Bu kategoride zayıf baraj yönetimi, atık barajı drenaj yapılarının yanlış bakımı ve uygun olmayan baraj prosedürleri (hızlı baraj büyümesi, stabil olmayan atık barajlarında ağır iş makinelerinin kullanılması gibi) hususlar ele alınmıştır (Rico, 2007).

Baraj yıkılmalarında diğer önemli neden ise atık barajı temelının çökmesidir. Rapor edilen hususlar incelendiğinde temel çökmesinin nedeni olarak yer seçiminin ve

baraj inşaatının yanlış yapılmasıdır. Avrupa’da meydana gelen kazalarda bu oran % 12 seviyelerinde iken dünya ölçeğinde kayıtlı vakalarda % 6 seviyesindedir. Kazalardaki diğer nedenlere bakıldığında sızıntı/borulanma Avrupa’da % 8 dünyada % 7, taşma Avrupa’da % 8 dünyada %6 ve maden çökmesi Avrupa’da % 8 dünyada % 2 oranına görülmektedir. Avrupa’da sismik aktivite nedeniyle baraj yıkılmaları görülmez iken bu neden dünya ölçeğinde % 12 oranlarına ulaşmaktadır. Aşağıda yer alan Şekil 3.14’te vaka nedenlerinin dağılımı görülmektedir.

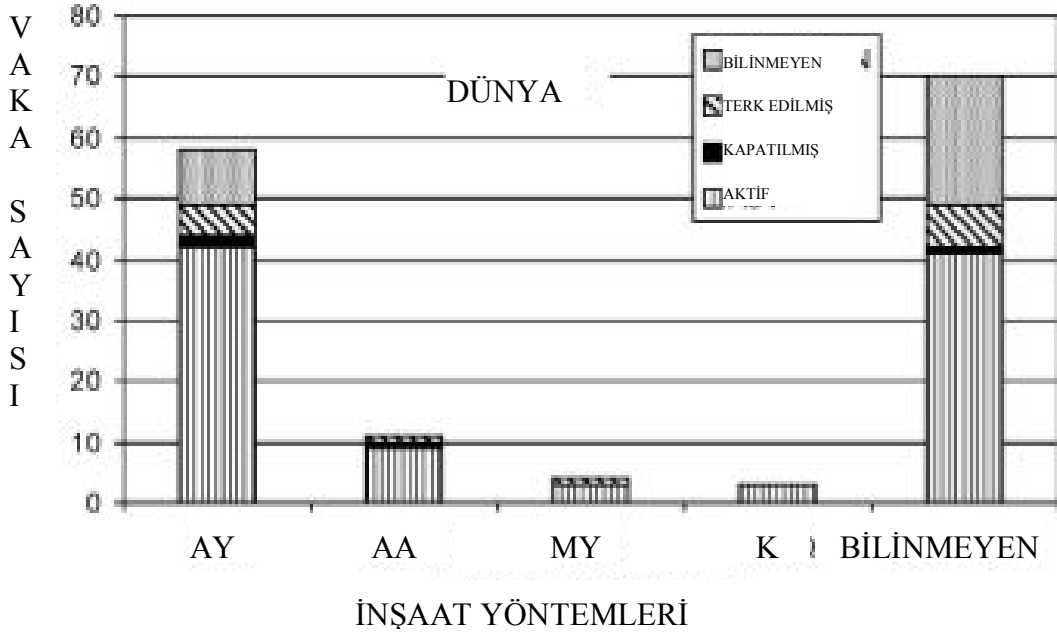


Şekil 3.14 : Atık Barajlarındaki Vaka Nedenlerinin Dağılımı (Rico, 2007)

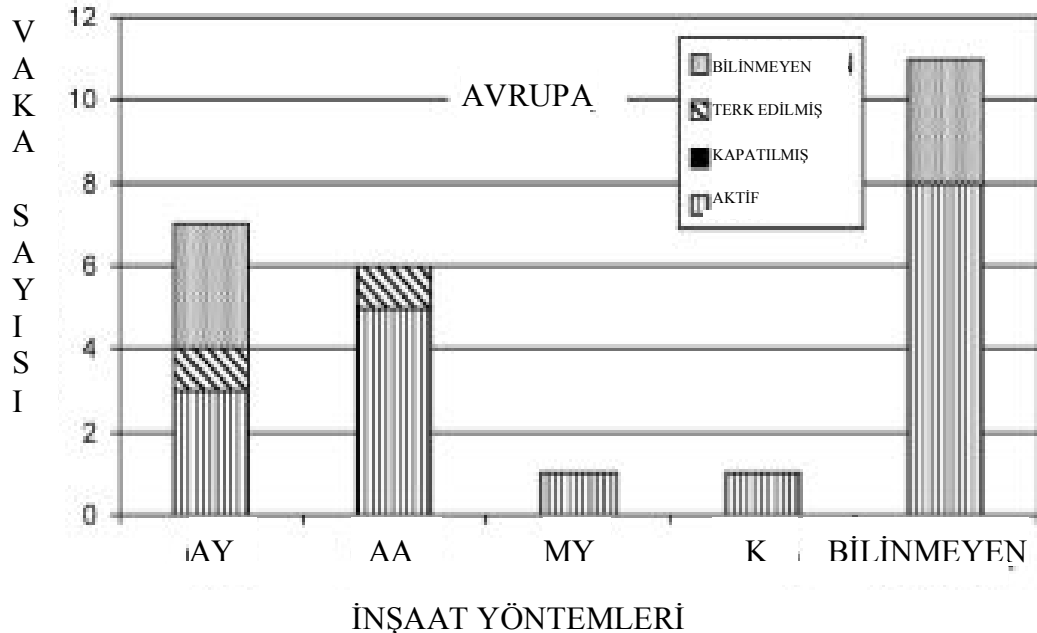
Rico (2007) Avrupa’da meydana gelen kazaların % 90’nın aktif işletmelerde, geri kalan kısmının ise kapatılmış atık barajlarında meydana geldiğini ifade etmektedir. Ancak aktif olmayan atık barajlarında rapor edilmemiş vakaların bulunduğu tespitini de yapmaktadır.

Atık barajı türlerinde meydana gelen kazaların oranına bakıldığında en yüksek sayı akış yukarı yükselen tip atık barajlarında görülmektedir. Mevcut veriler ışığında dünya ölçeğinde meydana gelen vakaların % 76’sı, Avrupa ölçeğinde ise % 47 oranında akış yukarı yükselen tipi (AY) atık barajlarındadır. Akış aşağı (AA) ve merkezden yukarı yükselen set (MY) tipi atık barajlarında ise küresel ölçekte oranlar sırasıyla % 15 ve % 5’tir. Avrupa ölçeğinde ise bu rakamlar % 40 ve % 6,5 olarak görülmektedir. Karışık tip (K) diye adlandırılabilir metotla inşa edilen atık

barajlarında ise dünya ölçeğinde meydana gelen kazaların % 4'ü ve Avrupa ölçeğinde ise % 6,5 oranı görülmektedir. Meydana gelen vakaların atık barajlarının inşaat yöntemlerine ve işletme, terk edilmiş olma ve kapanmış olma duruma göre durumları Şekil 3.15'te ve Şekil 3.16'da verilmiştir.



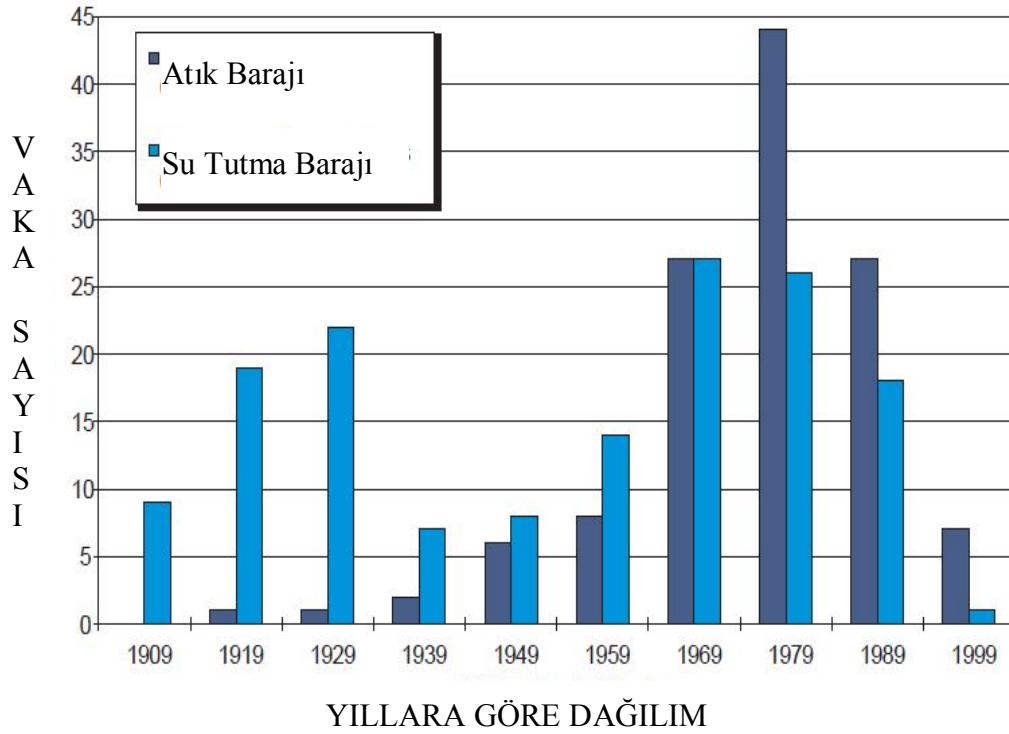
Şekil 3.15 : Dünyada Atık Baraj İnşaat Yöntemlerine Göre Vaka Dağılımı (Rico, 2007)



Şekil 3.16 : Avrupada Atık Baraj İnşaat Yöntemlerine Göre Vaka Dağılımı (Rico, 2007)

USCOLD (1994) ve UNEP (1996) tarafından derlenen verilere göre, aktif ve kapatılmış atık barajlarında meydana gelen kaydedilmiş kazalardan Şekil 3.15'te görülmektedir. Görüleceği üzere Akış Yukarı Yükselen Set Tipi atık barajları ve bilinmeyen tipte inşa edilmiş atık barajlarında meydana gelen kazalar ağırlıklı bir orana sahiptir. Ancak bu Merkezden Yükselen Set Tipi atık barajları ile Tutma Tipi inşa edilen atık barajlarının güvenli olduğu konusunda yeterli bir bilgi değildir. Akış Yukarı Yükselen Set Tipi atık barajlarının daha yüksek orana inşa edildiği ve Merkezden Yükselen Set Tipi atık barajlarının çok yaygın tercih edilmediği bilinmektedir (Bruce, 1998).

USCOLD (1994) ve UNEP (1996) tarafından yapılan çalışma ile su tutma barajlarında gerçekleşen kazalar ile atık barajlarında meydana kalan kazaları karşılaştırılması Şekil 3.17'de verilmektedir.



Şekil 3.17 : Atık Barajı Kazalarının Su Tutma Barajı Kazaları Karşılaştırması (USCOLD, 1994 ve UNEP, 1996)

USCOLD (1994), UNEP (1996) ve ICOLD (2001) tarafından derlenen verilere göre 221 adet kaza kaydedilmiş olup kazaların listesi EK- A.1'de verilmektedir.

Bununla birlikte, Ek A.2'de yer alan ve WISE Uranium Project (2009) tarafından kayıt altına alınan kazalardan 2000 yılı sonrası gerçekleşen 18 kaza ve ülkemizdeki

Ordu İlinde gerçekleşen kaza da dahil edildiğinde 240 adet kayıt altına alınmış kazadan söz edilebilir.

3.3.7. Mevcut En İyi Teknikler

Avrupa Komisyonu tarafından 2004 yılı Temmuz ayında yayınlanan Cevher Zenginleştirme Atıklarının ve Pasanın Yönetiminde Mevcut En İyi Teknikler Üzerine Referans Dökümanı'nda atık barajı dizaynı, inşası, işletmesi, kapanması için yukarıdaki bölümlerde genel prensipleri ayrıntılı olarak anlatılan hususlara dair hazırlanan Mevcut En İyi Tekniklere aşağıda yer verilmiştir.

3.3.7.1. Asidik Maden Drenajı (AMD) Yönetimi

Eğer asit cevher zenginleştirme atıklarının asit oluşturma potansiyeli varsa AMD oluşumunu engellenmeli, eğer AMD oluşumu engellenemiyorsa AMD etkisini kontrol altında alınmalı ve arıtma seçenekleri denenmelidir.

Bütün önlemler, kontrol ve arıtma seçenekleri mevcut ve yeni kurulacak faaliyetlere uygulanabilmektedir. Ancak kapatma aşamasında en iyi sonuç bu hususlara ait planlamanın tesisin dizayn aşamasında yapılmasıdır. Yukarıda ifade edilen sonuçların uygulanabilirliği su dengesi, örtü malzemesinin mevcudiyeti ve yer altı suyu seviyesi gibi faktörlere bağlıdır.

3.3.7.2. Sızıntı Kontrolünde Mevcut En İyi Teknikler

Yapılacak atık barajı için seçilen yerin geçirimsizlik tabakasına ihtiyaç duyulmayacak şekilde olması tercih edilir. Ancak bunun mümkün olmaması ve sızıntı suyunun kalitesi kirletici düzeyde ise ve/veya sızıntı miktarı yüksek ise sızıntının engellenmesi, azaltılması veya kontrol altında alınması gerekir.

Alıcı Ortama Deşarj

- Proses suyunun tekrar kullanılması
- Proses suyunun diğer çözülmüş metal içeren sıvılarla karıştırılması
- Aşınmış küçük partikülleri tutmak için çöktürme tankı inşa edilmesi
- Alıcı ortama deşarj yapılmadan önce askıda katı maddelerin ve çözülmüş metallerin giderilmesi
- Bazik atık suların sülfürik asit veya karbon dioksit ile nötralize edilmesi

- Atık sudan arseniğin demir tuzları eklenerek giderilmesi

Asidik atık suların arıtılması için

Aktif Arıtım:

- Kireçtaşı (kalsiyum karbonat), sulandırılmış kireç veya sönmemiş kireç eklenmesi
- Yüksek mangan içeren atık asidik sulara kostik soda eklenmesi

Pasif Arıtım:

- Yapay sulak alanların inşası
- Kireçtaşı ile kanalların yapılması
- Çevirme kuyularının açılması

Pasif arıtım uzun erimli bir çalışma olduğu için tesisin kapatılması sonrasında diğer metotlarla birlikte kullanılarak atık suyun kalitesinin artırılması amacıyla kullanılabilir.

3.3.7.3. Atık Barajı Dizaynında Mevcut En İyi Teknikler

- Barajda olabilecek küçük çapta bir zarar durumunda acil durum deşarj kapasitesinin boyutlandırılmasında 100 yılda bir gerçekleşebilecek yağışın dizayn parametresi olarak alınması,
- Barajda olabilecek büyük çapta bir zarar durumunda acil durum deşarj kapasitesinin boyutlandırılmasında 5000-10000 yılda bir gerçekleşebilecek yağışın dizayn parametresi olarak alınması.

3.3.7.4. Atık Barajı İnşasında Mevcut En İyi Teknikler

- Barajın tabanında yer alacak doğal zeminin kazınması (bitkisel toprak ve bitkiler),
- İşletme ve iklim koşullarında zaafiyet göstermeyecek atık barajı yapım malzemesinin seçilmesi.

3.3.7.5. Atık Barajı Yükseltmelerinde Mevcut En İyi Teknikler

- Çok yüksek boşluk basıncının yaratacağı riski değerlendir ve boşluk basıncını her yükseltme öncesi ve sırasında izle,
- Geleneksel atık barajı tiplerini aşağıdaki koşullarda kullan,
 - Cevher zenginleştirme atıklarının atık barajı inşaatı için uygun olmaması,
 - Atık barajında su depolama yapılması gerekliliğinde,
 - Atık barajının uzak ve ulaşılamaz bir yerde olması,
 - Atık barajına doğru doğal su akışını çok fazla olması veya yüksek değişiklik göstermesi ve kontrol için su depolamanın gerekliliğinde,
- Akış yukarı yükselen set metodunu aşağıdaki koşullarda kullan,
 - Deprem riskinin düşük olması,
 - Atık barajı inşasında kullanılacak atıkların % 40-60'ı için tane büyüklüğünün 0.075 ve 4 mm arasından olması (yoğunlaştırılmış atıklar için uygunlanmaz),
- Akış aşağı yükselen set metodunu aşağıdaki koşullarda kullan,
 - Yeterli miktarda atık barajı inşa malzemesinin bulunması (atık veya pasa),
- Merkezden yukarı yükselen set metodunu aşağıdaki koşullarda kullan,
 - Deprem riskinin düşük olması.

3.3.7.6. Atık Barajı İşletmesine Mevcut En İyi Teknikler

- Atık barajının stabilitesini izle,
- Aksaklıkların olduğu dönemde kullanılmak üzere atık barajına yapılan deşarjları için by-pass hatları inşa et,
- Alternatif deşarj yapıları sağla, mümkünse diğer bir baraja,
- İkinci bir çöktürme tesisi sağla ve/veya atık barajı içerisindeki suyun belirlenen minimum hava payını geçmesi durumunda kullanılmak üzere pompalara bağlı olacak şekilde şamandıraları kur,

- Derin inklometrelerle yer hareketlerini ölç ve boşluk basıncı ile ilgili bilgi sahibi ol,
- Yeterli miktarda drenaj sağla,
- Dizayn, inşaat ve yapılan her türlü değişiklikle ilgili bilgileri sakla,
- Denetimleri de içerecek şekilde hazırlanmış atık barajı güvenliği el kitabı bulundur,
- Personel için eğitim ve tatbikat sağla.

3.3.7.7. Serbest Suyun Alınmasında Mevcut En İyi Teknikler

- Vadilerde doğal zeminde dolu savak kullan ve vadi dışında havuzları kullan,
- Çöktürme kuleleri kullan,
 - Soğuk iklimlerde pozitif su dengesinde durumunda,
 - Padok (halka) şekilli havuzlarda,
- Çöktürme kuyuları kullan,
 - Sıcak iklimlerde negatif su dengesinde durumunda,
 - Padok (halka) şekilli havuzlarda,
 - Eğer hava payı yüksek bırakılmışsa,

3.3.7.8. Atık Suzulaştırmasında Mevcut En İyi Teknikler

Bulamaç, yoğunlaştırılmış veya kurutma metodunun seçimi temel olarak aşağıdaki üç faktöre bağlıdır:

- Maliyet,
- Çevresel performans,
- Çökme riski.

3.3.7.9. Cevher Atıklarının Yönetiminde Mevcut En İyi Teknikler

- Kurutulmuş cevher atıkları yönetimi,
- Yoğunlaştırılmış cevher atıkları yönetimi,
- Bulamaç cevher atıkları yönetimi,

Uygun tekniğin seçiminde aşağıda yer alan diğer birçok faktör etkilidir.

- Cevherin minerolojisi,
- Cevherin değeri,
- Tane boyut dağılımı,
- Proses suyun mevcudiyeti,
- İklim koşulları,
- Cevher atıklarının yönetimi için yeterli alan durumu.

3.3.7.10. Cevher Zenginleştirme Atıkları Yönetim Tesislerinin İşletilmesi

- Doğal dış akışın yönünün çevrilmesi,
- Cevher zenginleştirme atıklarını ve pasaları açık ocak çukurlarında yönet (Yığın ve baraj eğim stabilitesi bu durumda sıkıntılı değildir.),
- Bütün yığın ve atık barajları için işletme döneminde güvenlik faktörünü en az 1.3 olarak al,
- Aşamalı olarak restorasyonu /bitkilendirmeyi gerçekleştir.

3.3.7.11. Stabilitenin İzlenmesinde Mevcut En İyi Teknikler

Atık barajında aşağıdakileri izle

- Su seviyesi,
- Barajın seddesine doğru olan sızıntı akışının miktarı ve kalitesi,
- Yer altı suyu seviyesinin durumu,
- Baraj kretinin ve atıkların hareketi,
- Barajın ve diğer destekleyici yapıların stabilitesinden emin olmak için sismisite,
- Dinamik boşluk basıncı ve sıvılaşma,
- Zemin mekaniği.

Ayrıca aşağıdaki hususların da yapılması gerekmektedir.

- Görsel denetim,

- Yıllık kontrol,
- Bağımsız denetim,
- Güvenlik değerlendirmeleri.

3.3.7.12. Kaza Önlemede Mevcut En İyi Teknikler

- Acil durum eylem planlarını yürüt,
- Küçük vakaları değerlendir ve takip et,
- Boru hatlarını izle.

3.3.7.13. Ayak İzlerinin Azaltılmasında Mevcut En İyi Teknikler

- Mümkünse atık oluşumunu engelle ya da azalt
- Atıkları aşağıdaki koşullar altında dolgu şeklinde depola
 - Dolgunun madencilik metodu olarak gerekli olduğu durumda
 - En az dolgu için ortaya çıkan maliyetin daha yüksek cevher kazanımı ile karşılanması
 - Eğer atıklar kolaylıkla susuzlaşabiliyorsa (örn. buharlaşma, drenaj, filtrasyon) açık ocak çukurlarının kullanılması bir depolama tesisine olan ihtiyacı ortadan kaldıracak veya alan ihtiyacını azaltacaktır.
 - Yakındaki açık ocak çukurlarının uygun olması durumunda kullan
 - Yer altı ocaklarındaki büyük boşlukları doldur. Dolgu yapılan boşluklarda drenaj yapılması gerekecektir. Stabilitenin artırılması için bağlayıcıların eklenmesi gerekebilir.
- Atıkları macun formunda dolgu olarak koşulları sağlaması durumunda kullan
 - Dolgu için ciddi bir ihtiyaç olması
 - Cevher zenginleştirme atıklarının boyutlarının çok küçük olması nedeniyle hidrolik dolgu için az miktarda malzeme uygun olacaktır. Bu durumda büyük miktarda küçük malzeme çok yavaş bir şekilde susuzlaşacaktır.
 - Suyu maden ocağından uzaklaştırmak istendiğinde veya atıkların içindeki suyun pompalanmasının maliyetinin çok yüksek olması

- Cevher atıklarının diğer kullanım olanaklarını araştır.

3.3.7.14. Kapatma ve Kapatma Sonrası Mevcut En İyi Teknikler

- İşletme aşamasının planlamasında kapatma ve kapatma sonrası maliyeti de içeren bakım planlarını oluştur ve güncelle
- Bütün yığın ve atık barajları için kapatma ve kapatma sonrası dönemde güvenlik faktörünü en az 1.3 olarak al

Kapatma ve sonrası dönem için mevcut en iyi teknik su girişini engelleyecek bir kaplamanın yapılması böylece barajın uzun dönem boyunca stabil kalacak şekilde inşa edilmiş olacaktır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye üretilen madensel kaynak çeşitliliği açısından 152 ülke arasında 29 maden türünde yapılan üretim ile 10. sırada yer almaktadır. Maden İşleri Genel Müdürlüğü tarafından IV. grup madenler için verilen 682 işletme ruhsatı bu durumun bir kanıtıdır. Ocaktan çıkarıldığı biçimiyle kullanılabilen cevher sayısı pek azdır. Metalik madenler tenörlerinin düşük olması nedeniyle tabii tutuldukları cevher zenginleştirme işleminden kaynaklı olarak ciddi miktarda atık ortaya çıkarmaktadır. Bu gün ülkemizde metalik madenler kaynaklı tespit edilen atık miktarı 21 milyon ton civarında olup bu atıkların gerek bünyelerinde barındırdıkları ağır metaller gerekse de cevher zenginleştirme işlemi sırasında kullanılan kimyasallardan dolayı çevreyi kirletme potansiyeli yüksektir.

Bu güne kadar metalik madenlerden kaynaklı atıkların bertarafına yönelik yapılan çeşitli yollar denenmiş olup bunlardan en çok tercih edilen yöntem ise atıkların atık barajlarında bertaraf edilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde de bu tür örneklerin sayısı artmaktadır. Ancak atık barajları ciddi mühendislik yapıları olmaları nedeniyle dizaynından, inşaatına, işletilmesine, kapatılmasına ve kapatma sonrası izlemesine kadar ciddiyetle takip edilmesi gereken yapılardır.

Bu çalışmada verilen örnekler incelendiğinde dizayn, inşaat ve işletmeyle ilgili teknolojinin geliştirilmiş olmasına rağmen atık barajı kazaları devam etmektedir. Atık barajlarında meydana gelen kazalar ve özellikle çökmelerden kaynaklı olarak ağır ekonomik kayıplar, çevre kirliliği ve birçok kazada da insan hayatı kaybı yaşanmaktadır.

Meydana gelen kazaların temel nedeni ise atık barajlarının kötü yönetilmesidir. Uzun sürede inşa edilen atık barajlarında birçok personelin değişmesi ve hatta işletme sahibinin değişmesi ile karşılaşmaktadır. Orijinal dizayn yükseklikleri genellikle aşılmakta ve cevher zenginleştirme atıklarının özellikleri değişebilmektedir. Su dengesine dikkat edilmemesi taşmaya sebep olabilmekte bazen de atık barajı içindeki yer altı suyu seviyesindeki artış lokal çökmelere neden olabilmekte sonuçta baraj kretinde oturmalarına sebep olabilmektedir.

Yetersiz inceleme, filtrelemenin yetersiz olması ve tıkanması, şev instabilitesi, erozyon kontrolündeki yetersizlikler, yapısal yetersizlikler ve kapatılmış atık barajlarında ortaya çıkan ek yüklemeler atık barajlarında karşımıza çıkan problemler

olup bunlar kaza nedenleri olmaktadır. Burada bahsedilen hususları çoğu mühendislik çözümleri ile ortadan kaldırılmakta olup atık barajlarının dizaynı, işletmesi, kapanması ve kapanma sonrası bakımları spesifik bilgi gerektirmektedir.

Dolgu atık barajlarının davranışlarının yıllar içinde anlaşıldığı ve dizaynlarının buna göre yapılmasına rağmen hâlihazırda atık barajı kazalar devam etmektedir. 1979 ve 1989 yılları arasında baktığımızda 13 kazanın gerçekleştiği, 1969 ve 1979 yıllarda baktığımızda her yıl en az bir kazanın gerçekleştiği, 1989 ve 1999 yılları arasında raporlanmış 21 kazanın varlığı görülmektedir. Ancak bu kazalarla ilgili kamuoyunda fazla bir gündem olmadığı ancak ciddi boyutlarda gerçekleşen kazaların medyaya yansıdığı görülmektedir. Bununla birlikte kaza sayısındaki artışın fazla olması atık barajlarının artan bir miktarda inşa edildiğini göstermektedir. Ayrıca ömrünü tamamlamış atık barajlarının sayısı da doğal olarak artmaktadır. Ancak dizayn, inşaat, kapatma ve kapatma sonrası gerçekleştirilen izlemeler sayesinde zamanla atık barajlarında meydana gelen kazaların sayısının azalacağı bir gerçektir.

Cevher zenginleştirme atıkları hatta daha geniş olarak maden atıklarının bertarafı ele alındığında ülkemiz mevzuatında özel düzenleme bulunmamakla birlikte 2006/21/EC sayılı Avrupa Birliği'nin Maden Atıkları Direktlerinin ülkemiz mevzuatına uyumlaştırma çalışmaları Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yürütülmektedir. Bu kapsamda Avrupa Komisyonu tarafından kabul edilen Maden Atıklarının Yönetimi Projesi kapsamında yapılacak çalışmalarla gerek mevzuat uyumu gerekse bertaraf kriterleri belirlenmelidir.

Cevher zenginleştirme atıklarının bertarafı edildiği alanlarının bir envanteri bulunmamaktadır. Bu envanterin Maden Atıklarının Yönetimi Projesi kapsamında oluşturulmalı ve sürekli güncellenmelidir.

Madencilik faaliyetlerinden sorumlu kuruluşlarla ortak çalışma yapılması hem maden hem de çevre mevzuatının bir uyum içerisinde çalışmasını sağlayacaktır. Bu anlamda başta Maden İşleri Genel Müdürlüğü olmak üzere tüm sorumlu kuruluşların gerek Maden Atıklarının Yönetimi Projesi gerekse de madencilik alanı ile ilgili Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yapılacak çalışmalara katılması maden mevzuatı ve çevre mevzuatı arasındaki çelişkilerin ortadan kaldırılmasını sağlayacaktır.

Atık barajı sahibinin veya işletmesinin risk azaltılması ve atık barajı güvenliğinin iyileştirilmesi için güvenlik yönetim prosedürlerinin uygulanmasında spesifik

sorumluluğu bulunmaktadır. Özel sektöre yönelik olarak maden atıklarının bertarafı konusunda eğitimler yapılması çevre koruma önlemlerinin madencilik faaliyetlerinin önünde bir engel görülmesinin ortadan kaldırılabilmesi için iyi bir araç olacaktır.

Maden şirketi tarafından iç tetkikin belirli periyotlarla gerçekleştirilmesini sağlamak adına atık barajlarının bulunduğu işletmelerde konu ile ilgili personelin istihdamının sağlanması ve bu personelinin sürekli eğitimi sağlanmalıdır.

Atık barajlarının rehabilitasyonun dizayn aşamasında planlanması hem kapatma sonrası prosedürlerinin rahatlıkla yerine getirilmesini sağlayacak olup hem de önceden yapılan planlama ile maliyetin de azaltılma şansı olacaktır.

Atık barajlarında olumsuz durumlara karşı zamanında önlem alınabilmesi için zorunlu rutin denetimlerin gerçekleştirilebilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, atık barajlarının denetim gerçekleştirmek üzere yeterli sayı ve nitelikte personelinin Çevre ve Orman Bakanlığı bünyesinde istihdam edilmesi ve yıllık denetim programlarının oluşturulmalıdır.

Sonuç olarak, atık barajı dizaynı, inşaatı, işletmesi ve kapanmasında deneyimli jeologlar ve jeoteknik mühendisler tarafından muhtemel kaza potansiyelinin tespiti için hem sahada hem de laboratuarda ayrıntılı inceleme yapılması ve gerekli inşaat malzemesinin bu yolla tespit edilmesi, en yeni teknolojinin dizaynda tercih edilmesi, inşaatın uzman gözetiminde ve denetiminde yapılması, yapım sonrası laboratuvar testlerinin yapılması, rutin izlemenin sağlanması, yapım geometrisi, malzeme ve kayma dayanımını içeren güvenlik değerlendirmelerinin yapılması, baraj kırılma/yıkılma çalışmalarının yapılması, acil durum planların yapılması, periyodik güvenlik denetimlerinin yapılması, sorumlu otorite tarafından uzman personel ile periyodik denetimlerin yapılmalıdır.

Yukarıda belirtilen hususların sağlanması durumunda metalik cevherlerin zenginleştirilmesinden kaynaklı olarak ortaya çıkan atıkların atık barajlarında bertaraf edilmesinde, atık barajlarının güvenliğinin artacağı, atık barajlarının işletme ömürlerinin uzayacağı ve dolayısıyla atık barajlarının daha verimli bir bertaraf yöntemi olacağı somut bir şekilde görülmektedir.

KAYNAKLAR

- AG, 2007**, Tailings Management. Australian Government Department of Industry Tourism and Resources, 2007.
- AK, 2004**, Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities. European Commission, Sevilla, 2004.
- AK, 2005**, Report Tailings Management Facilities - Legislation, Authorisation, Management, Monitoring and Inspection Practices, European Commission, Helsinki, Finland, 2005
- Aka M., Dikmen, B., Demirbolat, K., 2009**. Ordu İli Kabadüz İlçesi Akgüney Köyü Çinko-Kurşun-Bakır Flotasyon Tesisi Atık Barajı İnceleme Raporu, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2009 (Yayınlanmamış)
- Benckert, A. and J. Eurenus, 2001**. Tailings dam constructions - Seminar on safe tailings dam constructions. Gallivare, Swedish Mining Association, Natur Vards Verket, European Commission.
- Bjelkevik, A. 2005**. Swedish Tailings Dams Incidents and Failures – Lessons learnt. Proceedings of “Securing the Future, International Conference on Mining and the environment metals and Energy recovery”. Skellefteå, Sweden. June 27-July 1, 2005.
- Bruce, I. G. 1998**. The importance of tailings stability - Case studies on tailings management, International Council on Metals and the Environment ICME, United Nations Environment Programme UNEP.
- CANMET, 1977**. Pit Slope Manual, Chapter 9 – Waste Embankments. Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report,
- Davies, M. P., T. E. Martin, et al. 2000**. Mine Tailings Dams: When Things Go Wrong. Tailings Dams 2000, Association of State Dam Safety Officials, U.S. Committee on Large Dams, LasVegas, Nevada
- Davies, M. P. and S. Rice, 2001**. An alternative to conventional tailing management – “dry stack” filtered tailings, AMEC Earth & Environmental, Vancouver, Canada
- Davies, M. P., 2002**. "Tailings Impoundment Failures: Are Geotechnical Engineers Listening?" Waste Geotechnics, Geotechnical News, .Davies, McRoberts

et al. 2002.

- Dikmen, B., Biltekin, E.,** 2008, Demir Export A.Ş. Lahanos Bakır-Çinko İşletmesi İnceleme Raporu, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2008 (Yayınlanmamış)
- Dikmen, B., Karaca, E.,** 2008. Tokat İli Turhal İlçesi Elalmış Köyünde Faaliyet Gösteren Özdemir Antimuan Madenler A.Ş. Ne Ait Antimuan İşletmesinin İncelenmesi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2008 (Yayınlanmamış)
- Dillon, M., R. White, et al.** 2004. "Tailings storage at Lisheen Mine, Ireland." Minerals Engineering 172
- DME,** 1999. Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage, Department of Minerals and Energy, Western Australia.
- Doran, J.R. and McIntosh, J.A.** (1995). Preparation, review and approval of mine closure plans in Ontario, Canada. Proceedings, Sudbury '95, Mining and the Environment, T.P. Hynes and M.C. Blanchette (Eds.), CANMET, Ottawa, 1995, Vol. 1, pp. 281-288.
- Down, C. G., Stocks, J.,** Positive Uses of Mill Tailings, Mining Magazine, September, 1977, s:25-33.
- DPI,** 2003. Management of Tailings Storage Facilities - Environmental Guidelines, Department of Primary Industries, Victoria - Minerals & Petroleum Division:.63
- Fourie, A. B.** 2003. In Search of the Sustainable Tailings Dam: Do High-Density Thickened Tailings Provide the Solution, School of Civil and Environmental Engineering, University of the Witwaterstrand, South Africa:: 12.
- Garcia, C., A. Ballester, et al.** 2005. "Pyrite behaviour in a tailings pond." Hydrometallurgy 761-2
- Hacıhasanoğlu, S., Dikmen, B.,** 2008. Kütahya Eti Gümüş A.Ş. Maden Sahası İnceleme Raporu, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2008. (Yayınlanmamış)
- Hamor, T.** 2002. Legislation on Mining Waste Management in Central and Eastern European Candidate Countries. European Communities.
- ICOLD,** 2001. Tailings dams risk of dangerous occurrences lessons learnt from practical experiences. International Commission of Large Dams Bulletin, 121, 144 p.

- UNEP.** 2001. APELL for Mining - Guidance for the Mining Industry in Raising Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level. Technical Report No 41, United Nations Environment Programme, Division of Technology, Industry and Economics,
- Jakubick, A., G. McKenna, et al.** 2003. Stabilisation of Tailings Deposits: International Experience. Mining and the Environment III, Sudbury, Ontario, Canada, 25-28 May, 2003
- Karaca, E., Özbebek, C.,** 2008. Artvin İli Murgul İlçesi Damar Köyünde Eti Bakır A.Ş. Tarafından İşletilen Bakır Ve Pirit Ocağı, Zenginleştirme Tesisi Ve Atıkların Depolanması Amacıyla İnşa Edilmesi Planlanan “Atık Barajı Sahasının Yerinde İncelenmesi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2008. (Yayınlanmamış)
- Karaca E., Özmen E.,** 2007. Sivas İli Divriği İlçesi Derindere Mevkiinde Erdemir Madencilik San. Ve Tic. A.Ş. Tarafından Yapılması Planlanan Atık Barajı Sahasının İncelenmesi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2007 (Yayınlanmamış)
- Karadeniz, M.,** Cevher Zenginleştirme Tesis Artıkları, Çevreye Etkileri Önlemler, İstanbul Ofset Basım Yayın, İstanbul,1996,.
- Karaelmas, 2010,** Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama II Laboratuar Dersi, 2009-2010 Bahar Dönemi
- Martin, T. E.** 1999. Characterization of pore pressure conditions in upstream tailings dams. Tailings and Mine Waste '99, Fort Collins, Colorado, A.A. Balkema, Rotterdam
- MİGEM,** 2009. Url: http://www.migem.gov.tr/links/istatistikler/TÜRKİYE_%20GENEL_%20RUHSAT_%20DAG.mht, 20.02.2010
- Moore, P., C. Pelletier, et al.** 2002. The Environmental Impact of Submarine Tailings Disposal at the Island Valley Copper Mine on Vancouver Island: A Case History in Environmental Policy:, 2002Norman, 1998.
- Mylona, E., Dr. Xenidis, A., Prof. Dr. Paspaliaris I. .** Report Implementation and Improvement of Closure and Restoration Plans for Disused Tailings Facilities, European Commision, 2004, Macaristan
- Norman, D.** 1998. "Innovations and Trends in Reclamation of Metal Mine Tailings in Washington." Washington Geology 262/3: pp. 29-42.
- Özcan, N., T.,** Lahonos (Giresun) Bakır-Çinko Tesisi Atık Barajının Şev Duraylılığı Açısından Değerlendirilmesi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2009

- Özmen, E., Özcan, O.,** 2008. Rize Çayeli Bakır İşletmeleri Teknik Gezi Raporu, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2008 (Yayınlanmamış)
- Penman, A. D. M.** 2001. Risk Analyses of Tailings Dam Construction - Seminar on safe tailings dam constructions. Gallivare, Swedish Mining Association, Natur Vards Verket, European Commission
- Rico M., Benito, G. , Salgueiro, A.R., Diez-Herrero, A., Pereira, H.G..** Reported tailings dam failures :A review of the European incidents in the worldwide context. *Journal Hazardous Materials*, 152 (2008) 846–852.
- Ritcey, G. M.** 1989. Tailings management : Problems and solutions in the mining industry. Amsterdam ; New York, Elsevier.ISBN: 0444873740 vol. 6.xx, 970 SANS 1998. Code of Practice for Mine Residue Deposits., South African Bureau of Standards.ISBN: 0626117003.:. 129
- SANS** 1998. Code of Practice for Mine Residue Deposits., South African Bureau of Standards.ISBN: 0626117003.: 129
- Shackelford, C.D., Sevick, G. W. , Eykholt, G. R.** 2010. Hydraulic conductivity of geosynthetic clay liners to tailings impoundment solutions. *Geotextiles and Geomembranes* 28 (2010) 149–162.
- Shaheen, L., T. E. Martin, et al.** 2003. "Tailings Dam Stability and Expansion Assessment Underground Gold Mine, México." AMEC Earth & Environmental Ltd.: 16.
- Silva, G., Almanza. R.,**2009. Use of clays as liners in solar ponds. *Solar Energy* 83 (2009) 905–919
- Tarhan, F.** Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, KTÜ Basımevi Trabzon, 1989.
- UNEP,** 1996: United Nations Environment Program. Tailings Dam Incidents 1980-1996.
- USCOLD,** 1994: U.S. Committee on Large Dams. *Tailings Dam Incidents*.
- USEPA,** 1994. Technical Report - Design and Evaluation of Tailings Dams, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, Washington:.63
- Vick, S. G.** 1990. Planning, design, and analysis of tailings dams. Vancouver, BiTech.ISBN: 0921095120.2nd Edition.xi, 369
- Vick, S. G.,** 1995. Notes for Short Course
- Wei, Z., Yin G., Li, G., Wang, J.G., Wan, L, Shen, L.,** 2009. Reinforced terraced fields method for fine tailings disposal. *Minerals Engineering* 22 (2009) 1053–1059
- WISE Uranium Project,** Url:<http://www.wise-uranium.org/mdaf.html>, 16.04.2010

EKLER

EK A.1 : Atık Barajlarında Meydana Gelen Kazalar

EK A.2 : WISE Uranium Project Tarafından Kayıt Altına Alınan Kazalar ve
Ülkemizdeki Kazalar

EK A.1 : Atık Barajlarında Meydana Gelen Kazalar

No	Maden Adı ve Yeri	Cevher Tipi	Baraj Tipi	Baraj Dolgu Malzemesi	Baraj Yüksekliği	Depolama Hacmi (m3)	Vaka Türü	Vaka Tarihi	Boşalan Atık Miktarı (m3)	Atıkların Yayıldığı Mesafe (m)
1	Agrico Chemical,Florida, USA	fosfat					1A-U	1968		
2	Alcoa, Texas, USA	boksit			19	4.500.000	1A-U	10-01-1964		
3	American Cyanamid, Florida	jipsiyum					1A-U	1962		
4	American Cyanamid, Florida	fosfat					1A-U	1965		
5	Atlas Consolidated, Phillippines						1A-MS			
6	Avoca Mines, Ireland	bakır	WR	T			1A-SI			
7	Bafokeng, South Africa	platin	AY	T	20	13.000.000	1A-SE	1974	3,000,000	45000
8	Bancroft, Ontario, Canada	uranyum					3-			
9	Barahona, Chile	bakır	AY	CST	61	20.000.000	1A-EQ	10-01-1928	2,800,000	
10	Berrien, France	kaolin	AY	R	9		1A-SE	1974		
11	Battle Mt. Gold, Nevada, USA	altın	AA	E	8	1.540.000	2A-SI	1984		
12	Bellavista. Chile	bakır	AY	T	20	450.000	1A-EQ	03-28-1965	70000	800
13	Big Four, Florida, USA	fosfat	MY	E	18		2A-ST	1986		
14	Big Four, Florida, USA	fosfat	MY	E			2A-FN	08-01-1989		
15	Bilbao, Spain			R			1A-SI		115000	
16	Blackbird, Idaho, USA	kobalt	MY	MW	15	1.230.000	2B-ST			
17	Bonsai, North Carolina, USA	kum & çakıl	WR	E	6	38.000	1A-OT	08-17-1985	11000	800
18	Cadet No. 2, Montana, USA	barit	MY	LU	21		2A-SI	09-01-1975		
19	Captains Flat Dam 2, Australia	bakır	MY	E	22		2A-SI			
20	Captains Flat Dump 3, Australia	bakır		T			1A-U	1942	40000	
21	Captains Flat Dump 6A, Australia	bakır	AY	T			1A-SI	1939		
22	Carr Fork, Utah, USA	bakır			10		1A-ST	02-01-1975		
23	Casapalca, Peru	kurşun/çinko	AY	T	107		1A-ST			
24	Casapalca	kurşun/çinko	AY	T	107		1A-EQ			
25	Castle Dome, Arizona, USA	bakır	AY	T			1A-SE		150000	100

No	Maden Adı ve Yeri	Cevher Tipi	Baraj Tipi	Baraj Dolgu Malzemesi	Baraj Yüksekliği	Depolama Hacmi (m3)	Vaka Türü	Vaka Tarihi	Boşalan Atık Miktarı (m3)	Atıkların Yayıldığı Mesafe (m)
26	Cerro Blanco de Polpaico, Chile	kireçtaşı	WR	R	9		2A-EQ	03-28-1965		
27	Cerro Negro No. 1, Chile	bakır	AY	T	46		2B-EQ	03-28-1965		
28	Cerro Negro No. 2, Chile	bakır	AY	T	46		2B-EQ	03-28-1965		
29	Cerro Negro No. 3, Chile	bakır	AY	T	20	500.000	1A-EQ	03-28-1965	85000	5000
30	Cerro Negro No. 4, Chile	bakır	AY	CST	40	2.000.000	1A-EQ	03-03-1985	500.000	8000
31	Cities Service, Florida, USA	fosfat	WR	E	15	12.340.000	1A-U	12-03-1971	9,000,000	120000
32	Clayton Mine, Idaho, USA	gümüş	MY	T	24	215.000	2A-ST	02-06-1983		
33	Climax, Colorado, USA	uranyum					1A-U	07-02-1967	12000	
34	Cyprus Thompson Creek, Idaho, USA	molibden	MY	CST	146	27.000.000	2A-SE	1989		
35	Incident No. 1, Elliot Lake, Ontario, Canada	uranyum	WR	E	9		3-	1979		
36	Dashihe, China		AY		37		2A-EQ	1976		
37	Deneen Mica Yancey County, North Carolina, USA	mica	AY	CST	18	300.000	1A-SI	06-01-1974	38000	30
38	Derbyshire, United Kingdom	kömür	AA		8		1B-FN	1966	30000	100
39	Dixie Mine, Colorado, USA	altın					1B-U	04-01-1981		
40	Dresser No. 4, Montana, USA	barit	MY	E	15		1A-FN	08-15-1975		
41	Earth Resources, N M, USA	bakır	AY	T	21		1A-OT	1973		
42	El Cerrado, Chile	bakır	AY	T	25		2B-EQ	03-28-1965		
43	El Cobre New Dam, Chile	bakır	AA	CST	19	350.000	1A-EQ	03-28-1965	350000	12000
44	El Cobre No. 4, Chile	bakır	AA	CST	50		2A-EQ	03-03-1985		
45	El Cobre Old Dam, Chile	bakır	AY	T	35	4.250.000	1A-EQ	1965	1,900,000	12000
46	El Cobre Small Dam, Chile	bakır	AY	T	26	985.000	2B-EQ	03-28-1965		
47	GCOS, Alberta, Canada	oil kums	AY	T	61		2A-SI	1974		
48	Galena Mine, Idaho, USA	gümüş	AY	E	14		2A-ER	1972		
49	Galena Mine, Idaho, USA	gümüş	AY	MW	9		1A-OT	01-15-1974	3800	610
50	Golden Gilpin Mine, Colorado, USA	altın			12		1B-U	11-01-1974		

No	Maden Adı ve Yeri	Cevher Tipi	Baraj Tipi	Baraj Dolgu Malzemesi	Baraj Yüksekliği	Depolama Hacmi (m3)	Vaka Türü	Vaka Tarihi	Boşalan Atık Miktarı (m3)	Atıkların Yayıldığı Mesafe (m)
51	Golden Sunlight, MT, USA	altın	MY	CST			3-	05-01-1983		
52	Granisle, BC, Canada	bakır	AA	MW	24		2A-SE			
53	Grey Eagle, California, USA	altın	AA	E			3-	1983		
54	Grootvlei, South Africa	altın	AY	T			1A-SI	1956		
55	Hierro Viejo, Chile	bakır	AY	T	5		1A-EQ	03-28-1965	800	1000
56	Hirayama, Japan	altın	AA		9	87.000	2B-EQ	1978		
57	Hokkaido, Japan		AY	T	12	300.000	1A-EQ	1968	90000	150
58	Hollinger, Canada	altın	AY	T	15		1A-FN	1944		
59	Homestake. N. Mexico. USA	uranyum	AY	T	21		1A-ST	02-01-1977	30000	
60	IMC K-2, Saskatchewan, Canada	potasyum	AY	T	30		3-	1968		
61	Irelyakh, USSR		WR	E	10		2A-ST			
62	Kennecott, Garfield, Utah, USA	bakır	AY	T			1A-SI	1941		
63	Kennecott, Utah, USA	bakır	AY	T			1A-FN	1942		
64	Kerr-McGee, Churchrock, New Mexico, USA	uranyum	WR	E	9		1A-FN	04-01-1976		
65	Keystone Mine, Crested Butte Colorado, USA	molibden					1B-U	05-01-1975		
66	Kimberley, BC, Canada	iron	AY	T			1A-SI	1948	1,100,000	
67	Kyanite Mining, Virginia, USA	kiyanit			11	430.000	2A-OT	1980		
68	La Belle, Pennsylvania, USA	kömür	AA	MW	79	1.230.000	2A-FN	07-17-1985		
69	La Patagua New Dam, Chile	bakır	AY	T	15		1A-EQ	03-28-1965	35000	5000
70	Los Maquis No. 1, Chile	bakır	AY	T	15		2B-EQ	03-28-1965		
71	Los Maquis No. 3, Chile	bakır	AY		15	43.000	1A-EQ	03-28-1965	21000	5000
72	Lower Indian Creek, MO, USA	kurşun	AY	E			2A-SI	1960		
73	Iwiny, Lower Silesia, Poland	bakır	WR	E	25		1A-MS			
74	Madison, Missouri, USA	kurşun	WR	E	11		1A-OT	02-28-1977		
75	Maggie Pye, United Kingdom	çin kili	AY	T	18		1A-SI	1970	15000	35

No	Maden Adı ve Yeri	Cevher Tipi	Baraj Tipi	Baraj Dolgu Malzemesi	Baraj Yüksekliği	Depolama Hacmi (m3)	Vaka Türü	Vaka Tarihi	Boşalan Atık Miktarı (m3)	Atıkların Yayıldığı Mesafe (m)
76	Marga, Chile	bakır					1B-OT	1985		
77	Marianna Mine #58, PA, USA	kömür	AY	E	37	300.000	2A-SI	11-19-1986		
78	Miami Copper, Arizona, USA	bakır	AY	T			2A-SE			
79	Mike Horse, Montana, USA	kurşun/çinko	AY	T	18	750.000	1B-OT	1975	150000	
80	Mines Development, Edgemont, South Dakota, USA	uranyum					1A-U	06-11-1962	100	
81	Mir, Bulgaria	kurşun/çinko	AY	T			1A-U	1966		
82	Missouri Lead, Missouri, USA	kurşun	AA	CST	17		2A-ST			
83	Mobil Chemical, Florida, USA	fosfat					1A-U	1967	250000	
84	Mochikoshi No. 1, Japan	altın	AY	T	28	480.000	1A-EQ	01-14-1978	80000	7000
85	Mochikoshi No. 2, Japan	altın	AY	T	19	480.000	1A-EQ	01-15-1978	3000	150
86	Monsanto Dike 15, TN, USA	fosfat	AA	E	43	1.230.000	2A-SE	1969		
87	Montana Tunnels, MT, USA	altın	AA	MW	33	250.000	3-	1987		
88	Mulfilira, Zambia	bakır			50		1A-MS	1970		
89	N'yukka Creek, USSR		WR	E	12		2A-FN	1965		
90	Norosawa, Japan	altın	AA		24	225.000	2B-EQ	01-14-1978		
91	Ollinghouse, Nevada, USA	altın	WR	E	5	120.000	1A-SE	1985	25000	1500
92	PCS Rocanville, Saskatchewan, Canada	potasyum	AY	T	12		3-	1975		
93	Park, United Kingdom	çin kili	WR	T	3		1A-OT	1970		
94	Phelps-Dodge, Tyrone, New Mexico, USA	bakır	AY	CST	66		1A-SI	10-13-1980	2,000,000	8000
95	Pinchi Lake, BC, Canada	civa	WR	E	13		2A-ER	1971		
96	Pit No. 2, Western Australia	rare earth	AY	T	9		1A-SI	1977		
97	Portworthy, United Kingdom	çin kili	AA	R	15		1A-ST	1970		
98	Rain Starter Dam, Elko, Nevada, USA	altın	WR	ER	27	1.500.000	3-	1988		
99	Ramayana No. 1, Chile	bakır	AY	T	5		1A-EQ	03-28-1965	150	

No	Maden Adı ve Yeri	Cevher Tipi	Baraj Tipi	Baraj Dolgu Malzemesi	Baraj Yüksekliği	Depolama Hacmi (m3)	Vaka Türü	Vaka Tarihi	Boşalan Atık Miktarı (m3)	Atıkların Yayıldığı Mesafe (m)
100	Ray Mine, Arizona, USA	bakır	AY	T	52		1A-SI	12-02-1972		
101	Ray Mine, Arizona, USA	bakır	AY	T	52		2A-SI	02-05-1973		
102	Royster, Florida, USA	jipsiyum	AY	T	21		1A-FN	1982		
103	Santander, Spain						1A-FN			
104	Sauce No. 1, Chile	bakır	AY	T	6		2A-EQ	03-28-1965		
105	Sauce No. 2, Chile	bakır	AY	T	5		2B-EQ	03-28-1965		
106	Sauce No. 3, Chile	bakır	AY		5		2B-EQ	03-28-1965		
107	Sauce No. 4, Chile	bakır	AY	T	5		2B-EQ	03-28-1965		
108	Silver King, Idaho, USA	bakır	AA	E	9	37.000	2A-OT	08-05-1989	küçük	
109	Silver King, Idaho, USA	bakır	AA	E	9	37.000	1A-OT	01-16-1974	6000	
110	Simmer and Jack, South Africa	altın	AY	T			1A-SI	1937		
111	Soda Lake, California, USA	kum & çakıl	AY	E	3		2A-EQ	10-17-1989		
112	Southern Clay, Tennessee, USA	kil	WR	E	5		1A-SE	09-07-1989	300	
113	Southwest US, USA		AY	T			2A-SI			
114	Spring Creek Plant, Borger, Texas, USA	kum & çakıl			5	30.000	1A-OT	08-01-1986		
115	St. Joe Lead, Flat River, Missouri, USA	kurşun	AY	T	15		1A-OT	1940		
116	Stancil, Maryland, USA	kum & çakıl	AY	E	9	74.000	1A-SI	08-25-1989	38000	100
117	Stava, North Italy	fluorite	AY	CST	29	300.000	1A-SI	07-19-1985	190000	4000
118	Suncor E-W Dike, Alberta, Canada	oil kums	WR	MW	30		2A-SI	1979		
119	Sweeney Tailings Dam, Longmont, Colorado, USA	kum & çakıl			7		1A-SE	05-01-1980		
120	Syncrude, Alberta, Canada	petrollü kum	MY	T			2A-FN	1978		
121	TN Consolidated Coal No. 1, Tennessee, USA,	kömür	AA	MW	85	1.000.000	2A-ST	01-19-1988		
122	Texasgulf 4B Pond, Beaufort Co., North Carolina, USA	fosfat	WR	T	8	12.300.000	2A-SI	04-01-1984		

No	Maden Adı ve Yeri	Cevher Tipi	Baraj Tipi	Baraj Dolgu Malzemesi	Baraj Yüksekliği	Depolama Hacmi (m3)	Vaka Türü	Vaka Tarihi	Boşalan Atık Miktarı (m3)	Atıkların Yayıldığı Mesafe (m)
123	Texasgulf No. 1 Pond, Beaufort Co., North Carolina, USA	fosfat	WR	E		24.700.000	2A-SI	1981		
124	Tymawr, United Kingdon	kömür					1A-U	12-1961		800
125	Tymawr, United Kindom	kömür			12		1A-OT	03-29-1965		700
126	Unidentified		AY				1A-SI			
127	Unidentified		WR	E			1A-ST			
128	Unidentified		AY	T			2A-ST			
129	Unidentified		AY	MW			1A-SI			
130	Unidentified		AY	T			2A-SE			
131	Unidentified		AY				2A-SI			
132	Unidentified	altın	WR	E	8		3-			
133	Unidentified	altın	AA	E			3-			
134	Unidentified, Europe		WR	R	24		2A-FN			
135	Unidentified, Peru						1A-EQ	1962		
136	Unidentified, South Africa	altın					1A-U	1917		
137	Unidentified, South Africa	altın	AY	T			2A-FN			
138	Unidentified, South Africa	altın	AY	T			2A-SE			
139	Unidentified, South Africa	altın	AY	T			1A-SI			
140	Unidentified, USA	bakır	AY	CST	60		2A-SI			
141	Unidentified, USA	magnezyum	WR	E	6		2A-FN			
142	Unidentified, United Kingdom			R	12		1A-U			
143	Unidentified, United Kingdom	kömür	AA				2B-SI			
144	Unidentified, United Kingdom	kömür	AA		20		1A-SI	1967		
145	Unidentified, United Kingdom	kömür	AA	MW	14		2A-SI	1967		
146	Unidentified, United Kingdom	kumtaşı	AA	E	30		2A-SE	1967		
147	Unidentified, Arizona, USA	bakır	AY	CST	18		2A-SE			
148	Unidentified, Colorado, USA		WR	E			3-			

No	Maden Adı ve Yeri	Cevher Tipi	Baraj Tipi	Baraj Dolgu Malzemesi	Baraj Yüksekliği	Depolama Hacmi (m3)	Vaka Türü	Vaka Tarihi	Boşalan Atık Miktarı (m3)	Atıkların Yayıldığı Mesafe (m)
149	Unidentified, Idaho, USA	fosfat	AA	E	34		2A-SI	1976		
150	Unidentified, Idaho, USA	fosfat	AA	E	18		2A-SI	1965		
151	Unidentified, Indiana, USA	kömür					1B-OT			
152	Unidentified, Mississippi, USA	jipsiyum	AY	T	15		1A-OT	1970		
153	Unidentified, Mississippi, USA	jipsiyum	AY	T	20		2A-FN	1974		
154	Unidentified, Texas, USA	jipsiyum	AY	T	16		1A-SE	1966	130000	300
155	Unidentified, Wvomina, USA	trona	WR	E	24		3-			
156	Unidentified, Alfaria River, Florida, USA	fosfat	WR	E	8		1A-SI	02-01-1952		
157	Unidentified, BC, Canada		AA	CST			2A-SE			
158	Unidentified, BC, Canada		AA	MW	30		2A-SE			
159	Unidentified, Canaca, Mexico	bakır	AY	T	46		1A-OT	1974		
160	Unidentified, Eastern USA	kömür		MW	150		2A-SI			
161	Unidentified, Green River, Wyoming, USA	trona	WR	E	18		3-	1975		
162	Unidentified, Hernando County, Florida, USA	kireçtaşı	MY	E	6		2A-FN	1977		
163	Unidentified, Hernando County, Florida, USA	kireçtaşı	AY	E	12	3.300.000	1A-OT	09-01-1988	4600	
164	Unidentified, Hernando County, Florida, USA	kireçtaşı	AA	E	12		2A-FN	1988		
165	Unidentified, Peace River, Florida, USA	fosfat	WR	E	8		1A-SI	03-01-1952		
166	Unidentified, Peace River, Florida, USA	fosfat	WR	MW	30		1A-SE	07-01-1951		
167	Unidentified, Peace River, Florida, USA	fosfat	WR	MW	6		1A-SE	09-01-1951		
168	Unidentified, Peace River, Florida, USA	fosfat	AA	E			1A-SE	02-01-1951		

No	Maden Adı ve Yeri	Cevher Tipi	Baraj Tipi	Baraj Dolgu Malzemesi	Baraj Yüksekliği	Depolama Hacmi (m3)	Vaka Türü	Vaka Tarihi	Boşalan Atık Miktarı (m3)	Atıkların Yayıldığı Mesafe (m)
169	Unidentified, Southern USA	bakır	AY	E	43	500.000	1A-SI	1973	170000	25000
170	Union Carbide, Green River, Utah, USA	uranyum					1A-OT	08-19-1959	8400	
171	Union Carbide, Maybell, Colorado, USA	uranyum					1A-U	12-06-1961	280	
172	Union Carbide, Uravan, Colorado, USA	uranyum	AY	T	43		2A-SI	03-01-1979		
173	United Nuclear, Churchrock, New Mexico, USA	uranyum	WR	E	11	370.000	1A-FN	07-01-1979	370000	110000
174	Utah construction, Riverton, Wyoming, USA	uranyum					2A-OT	06-16-1963		
175	Vallenar 1 and 2, Chile	bakır					1B-OT	1983		
176	Veta de Agua A, Chile	bakır					1A-EQ	1981		
177	Veta de Agua B, Chile	bakır					1A-EQ	1981		
178	Veta de Agua No. 1, Chile	bakır	AY	T	24	700.000	1A-EQ	03-03-1985	280000	5000
179	Virginia Vermiculite, Louisa County, Virginia, USA	vermikülit	WR	E	9		1A-ST	1984		
180	Western Nuclear, Jeffrey City, Wyoming, USA	uranyum					1A-SI	1977	40	
181	Western Nuclear, Jeffrey City, Wyoming, USA	uranyum					1A-ST	03-23-1971		
182	Williamsport Washer, Maury County, Tennessee, USA	fosfat			21		1A-U	1970		
183	Williamthorpe, United Kingdom	kömür					1A-FN	1966		
184	Zlevoto No. 4, Yugoslavia	kurşun/çinko	AY	T	25	1.000.000	1A-SI	03-01-1976	300000	
185	Arcturus, Zimbabwe	altın	AY	T	25	1.7-2.0 Mt	1A-OT	01-31-1978	39000 t	300
186	Heath Steele main dam, New Brunswick, Canada	bakır/çinko	WR	R, E	30		2A-FN	Since 1970s		
187	No.3 Tailings Pond, Sipalay, Philippines	bakır	WR	MW		37 Mt	1A-FN	11-08-1982	27Mt	

No	Maden Adı ve Yeri	Cevher Tipi	Baraj Tipi	Baraj Dolgu Malzemesi	Baraj Yüksekliği	Depolama Hacmi (m3)	Vaka Türü	Vaka Tarihi	Boşalan Atık Miktarı (m3)	Atıkların Yayıldığı Mesafe (m)
188	Mineral King, BC, Canada		MY	CST	6	küçük	1B-OT	03-20-1986		
189	Itabirito, Minas Gerais, Brazil	demir	Çöktürme	Taş Yığma	30		1A-ST	05-1986	100000	12000
190	Rossarden, Tasmania		WR	E	7.5	200.000	1B-OT	05-16-1986		
191	Story's Creek, Tasmania		Vadi tipi		17	30.000	1B-OT	05-16-1986	Minimum	
192	Pico de Sao Luis, Minas Gerais, Brazil			T	20		1A-ER	10-02-1986		
193	No.3 Tailings Pond, Mankayan, Luzon, Philippines	bakır		E			1A-ST	10-17-1986		
194	Xishimen, China	iron	AY	T	31		1A-SI	03-21-1987	2230	
195	Jinduicheng, Shaanxi Province., China	molibden	AY		40		1A-OT	04-30-1988	700000	
196	Iron Dyke, Sullivan Mine, Kumberley, BC, Canada		AY		21		1A-SI	08-23-1991		
197	No.2 Tailings Pond, Padcal, Luzon, Philippines	bakır				80Mt	A1-FN	01-1992	80Mt	
198	Kojkovac, Montenegro	kurşun/çinko	WR	E		3.500.000	2B-ER	11-1992	none	
199	Itogon-Suyoc, Baguio gold district, Luzon, Philippines	altın					1A-OT	06-26-1993		
200	TD 7, Chingola, Zambia	bakır	AY	T&E	5		1A-OT	08-1993	100t	
201	Kaynak dökümanda eksik metin									
202	Merriespruit, nr Virginia, South Africa	altın	AY padok	T	31	10Mt	1B-OT	02-22-1994	2.5Mt	2000
203	Riltec, Mathinna, Tasmania		MY	E	7	120.000	2A-SE	01-06-1995	40000	
204	Middle Arm, Launceston, Tasmania		MY	E	4	25.000	1A-OT	06-25-1995	5000	
205	Tailings dam No 1, Omai, Guyana	altın	WR	R	44	5.250.000	1A-ER	08-19-1995	4,200,000	
206	Placer Bay, Surigao del Norte, Philippines		WR	E	17		1B-SI	09-02-1995	50000	denize kadar
207	Golden Cross, Waitekauri Valley, New Zealand	altın		R	25-30	3Mt	1A-FN	12-1995	None	

No	Maden Adı ve Yeri	Cevher Tipi	Baraj Tipi	Baraj Dolgu Malzemesi	Baraj Yüksekliği	Depolama Hacmi (m3)	Vaka Türü	Vaka Tarihi	Boşalan Atık Miktarı (m3)	Atıkların Yayıldığı Mesafe (m)
208	Marcopper, Marinduque Island, Philippines	bakır					1A-ST	03-24-1996	2.4Mt	25000
209	Los Frailes, nr Seville, Spain	çinko-kurşun-bakır	WR	R	27	15.000.000	1A-FN	04-24-1998	6,800,000	40000
210	Mirolubovka, Southern Ukraine	Iron	AY	EandT	32	80.000.000	2A-SI	01-15-1984	none	
211	Balka Chuficheva, Russia	Iron	AY	CST	25	27.000.000	1A-SI	01-20-1981	3,500,000	1300
212	Bekovsky, Western Siberia	kömür	AY	kiltaşı	53	52.000.000	US	03-25-1987	hiçbiri	
213	Fernandinho, nr Belo Horizonte, Brazil	Iron	AY	T	40		1A-SI			
214	Minera Sera Grande: Crixas, Goias, Brazil	altın	AA sonra AY	CST	41	2.25 Mt	2A-SI	02-1994	hiçbiri	
215	Forquilha, Brazil	Iron					1A-OT			
216	Williamthorpe, UK	kömür		MW			1A-OT	03-24-1966		
217	Stoney Middleton, UK						1A-SI	02-08-1968		
218	Maritsa Istok 1, Bulgaria	kül		kömür külü	15	52.000.000	1A-ER	03-01-1992	500000	
219	Madjarevo, Bulgaria	kurşun/çinko/altın	AY	T	40	3.000.000	1A-ST	04-1975	250000	
220	Sgurigrad, Bulgaria	kurşun/çinko/bakır/gümüş	AY	T	45	1.520.000	1A-SI	05-01-1996	220000	6000
221	Baia Mare, Romania	altın	AA sonra AY	T	birkaç metre	800000 (hesap)	1A-ST	01-30-2000	100,000 (hesap)	

EK A.2 : WISE Uranium Project Tarafından Kayıt Altına Alınan Kazalar ve Ülkemizdeki Kazalar

No	Maden Adı ve Yeri	Cevher Tipi	Baraj Tipi	Baraj Dolgu Malzemesi	Baraj Yüksekliği	Depolama Hacmi (m3)	Vaka Türü	Vaka Tarihi	Boşalan Atık Miktarı (m3)	Atıkların Yayıldığı Mesafe (m)
1	Aitik mine, Gällivare, Sweden	bakır	NR	NR	NR	NR	1A	08.09.2000	4.000.000	
2	Inez, Martin County, Kentucky, USA	kömür	NR	NR	NR	NR	1A	11.10.2000	950.000	120.000
3	Nandan county, Guangxi province, China		NR	NR	NR	NR	1A	18.10.2000		
4	Sebastião das Águas Claras, Nova Lima district, Minas Gerais, Brazil	demir	NR	NR	NR	NR	1A	22.06.2001		6000
5	San Marcelino, Zambales, Philippines		NR	NR	NR	NR	2A	27.08.2002		
6	San Marcelino, Zambales, Philippines		NR	NR	NR	NR	2A	11.09.2002		
7	Cerro Negro, Petorca prov., Quinta region, Chile	bakır	NR	NR	NR	NR	1A	03.10.2003	50000 t	20000
8	Malvésı, Aude, France	uranyum çevrim santrali çöktürme ve buharlaşma havuzu	NR	NR	NR	NR	1A	20.03.2004	30.000	
9	Partizansk, Primorski Krai, Russia	kömür külü	NR	NR	NR	NR	1A	22.05.2004	160.000	
10	Riverview, Florida, USA	fosfát	NR	NR	NR	NR	1A	05.09.2004	227.000	
11	Pinchi Lake, British Columbia, Canada	civa	NR	NR	NR	NR	1B	30.11.2004		
12	Bangs Lake, Jackson County, Mississippi, USA	fosfát	NR	NR	NR	NR	1A	14.04.2005		
13	Near Miliang, Zhen'an County, Shangluo, Shaanxi Province, China	altın	NR	NR	NR	NR	1A	30.04.2006		5000
14	Nchanga, Chingola, Zambia	bakır	NR	NR	NR	NR	1A	06.11.2006		
15	Taoshi, Linfen City, Xiangfen county, Shanxi province, China	demir	NR	NR	NR	NR	1A	08.09.2008		
16	Kingston fossil plant, Harriman, Tennessee, USA	kömür külü	NR	NR	NR	NR	1A	22.12.2008	4.100.000	
17	Huayuan County, Xiangxi Autonomous Prefecture, Hunan Province, China	manganez	NR	NR	NR	NR	1A	14.05.2009		
18	Karamken, Magadan region, Russia	altın	NR	NR	NR	NR	1A	29.08.2009		
19	Zamantı Madencilik Çinko-Kurşun-Bakır Flotasyon Tesisi, Ordu, Türkiye	Çinko, Kurşun, Bakır	NR	NR	NR	NR	1B	01.09.2009		