

## MADEN ATIK ALANLARININ KAPATILMASI - ÖRTÜ KAPLAMALAR

### Closure of Mining Waste Facilities – Covers

Geliş (received) 15 Kasım (November) 2010; Kabul (accepted) 01 Nisan (April) 2011

Nuray KARAPINAR\*

#### ÖZET

Madencilik faaliyetleri, ömrü ekonomik rezervin miktarı ile sınırlı olan sonlu ekonomik faaliyetlerdir. Madencilikte çıkarılan malzemenin genelde çok az bir kısmı ekonomik değer olarak alınmakta ve geriye kalanlar, depolanmak ve uzun süre yönetilmek isteyen, atık olarak bırakılmaktadır. Kötü yönetilmesi durumunda önemli çevresel ve ekolojik etkilerin kaynağını oluşturabilen maden atıkları, günümüzde, madencilik faaliyetlerinin en tartışmalı bileşeni olup, çevreci gruplar tarafından madenciliğin verdiği zararın delili olarak gösterilmektedir.

Dünyadaki geçmiş uygulamalarda atıkların depolanabileceği iyi mühendislik uygulaması yapılar oluşturmak maden atık yönetiminde temel amaç olup, maden atık alanlarının kapatılması gereksinimlerine ve uzun süreli yönetimine dair konulara yeterince önem verilmemiştir. Günümüzde, maden atık alanları için, duraylılık ve çevresel performans kriterlerini sağlayabilecek şekilde kapatılacak mühendislik tasarımları oluşturulması ihtiyacı doğmuştur. Maden atıkları ile ilgili küresel ve Avrupa Birliği (AB) düzeyinde yapılan sıkı yasal düzenlemeler neticesinde madenciliğin temelde "Atık Yönetim İşletmesi" halini aldığını söylemek çok da yanlış olmayacaktır.

Bu çalışmada, maden atık alanlarının kapatılması konusu ve kullanılan alternatif örtü kaplama sistemleri hakkında dünya genelinde kullanılan uygulamalardan örnekler gösterilerek bilgi verilmiş, ülkemizdeki konu ile ilgili mevzuat üzerine bir değerlendirme yapılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Maden Atık Alanları, Asit Maden Drenajı, Kapatma, Örtü Kaplama

#### ABSTRACT

Mining operations are finite economic activities and their life is restricted by the amount of ore reserve. A very small amount of extracted material is economically benefited and then the remaining becomes waste requiring disposal and long time management. Since poorly managed, mining waste could be the source of serious environmental impacts. Therefore, mining wastes nowadays have received attention as the most contentious component of mining activities and they have been pointed out by environmentalist as an evidence of damages of mining.

The earlier practices primarily aimed to provide a well-engineered structure without giving a great deal of attention to closure requirements or issues related to long term management of mining wastes. Presently, a mining waste facility must include an engineered structure for closure so that structural stability and environmental performance criteria can be achieved. It is not too extreme to say the mining has become a "Waste Management Operations" according to the stringent regulations in the World and EU.

In this study, information is provided about the closure of mining waste facilities and alternative cover technologies in use by giving examples that have been practiced in the World, and an evaluation was presented on the relevant current legislative situation in our country.

**Keywords:** Mining Waste Facilities, Acid Mine Drainage, Closure, Covers

---

(\*) Doç. Dr., MTA Genel Müd., MAT Dairesi, ÇED. Koordinatörlüğü, 06520 ANKARA

## 1. GİRİŞ

Madencilik faaliyetleri sonrası gerek pasa gerekse cevher zenginleştirme artıkları olarak geride bırakılan maden atıkları uygun şekilde bertaraf edilmediğinde çevre ve ekolojik dengenin bozulmasının temel kaynağı olabilmekte ve dolayısıyla da insan sağlığı açısından tehdit oluşturabilmektedir. Bu gerçekten hareketle küresel ölçekte yapılan yasal düzenlemeler maden atık yönetimi kavramını değiştirmiş, başlangıçta nehir, göl ve akarsulara boşaltılan atıkların daha sonraları gölet ve baraj gibi mühendislik inşa yapılarında bertarafını zorunlu kılmıştır. Son 30 yıldaki yeni sıkı yasal düzenlemelerle de maden atık yönetimi kavramı, maden atık alanlarının kapatılması, rehabilitasyonu ve uzun süreli yönetimine dair konuları da içerecek şekilde bugünkü halini almıştır.

Cevher zenginleştirme artıklarının baraj ve gölet gibi inşa edilen alanlarda depolanması gereğinin ortaya çıkmasından sonra, işletme ve rehabilitasyon şartları bu yapıların fiziksel duraylılığının sağlanması ile sınırlı kalmıştır. Ancak, son yıllarda atık alanlarından kirletici bileşenlerin özütlenerek alıcı su ortamlarına taşınımının temel çevresel etki oluşturmasının farkına varılmasıyla, maden atık alanlarında kimyasal duraylılığın sağlanması kritik konu haline almıştır. Günümüzde, rehabilite edilen alan hem fiziksel hem de kimyasal anlamda duraylı olacağı gibi alanın önceki veya bir başka kabul edilen şartlarda kullanımının sağlanması gerekmektedir.

2006/21/EC nolu Avrupa Parlamentosu ve Konseyi Yönergesi (The management of waste from extractive industries) Madde 12 'de maden atık alanının kapatılması ve kapatılması sonrası işlemlerde işletmecinin sorumluluğu ve denetim yetkisine sahip otoritenin rolü belirtilmiştir. Herhangi bir atık alanının kapatılması işleminin tamamlanmasında, işletmeci tarafından sunulan tüm raporların yetkili otorite tarafından değerlendirilmesi, yerinde yapılacak denetleme sonrasında faaliyetten etkilenen alanın rehabilite edildiği onaylandıktan sonra işletmeciye kapama onayı bildirildiğinde, işletmeci tarafından alanın nihai olarak kapatılabileceği düşünülecektir. İşletmeci, kapama sonrasında yetkili otoritenin istediği sürede bakım, izleme, kontrol ve doğru tedbir ve önlemlerin alınmasından sorumludur. İşletmeci, atık alanının fiziksel ve kimyasal

duraylılığını kontrol altına almak ve negatif çevresel etkilerini (özellikle yüzey ve yeraltı sularına olan) minimize etmekle yükümlüdür.

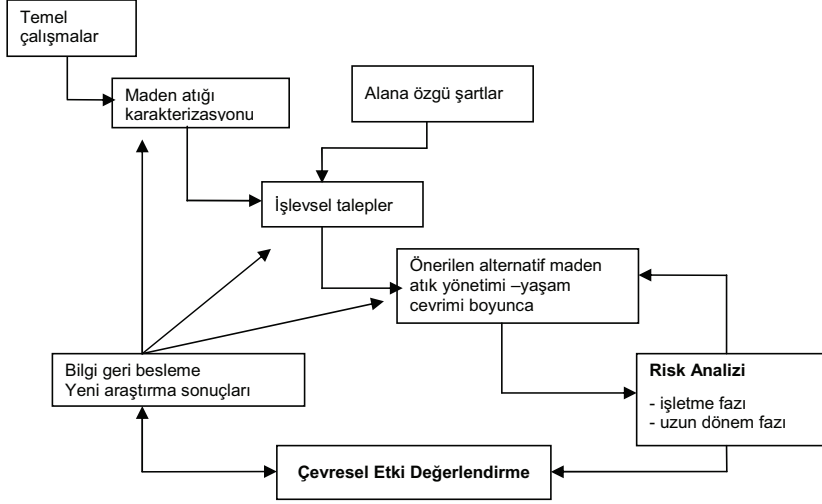
## 2. MADEN ATIK ALANLARININ KAPATILMASI VE KAPATMA TEKNOLOJİLERİ

Çevre dostu maden atık yönetimi, maden atık alanlarının duraylılık ve çevresel performans kriterlerini sağlayacak şekilde kapatılmak üzere tasarlanmasını ve inşa edilmesini gerektirmektedir. Maden atık alanı kapatma planı, maden işletme projesinin bir parçası olarak proje başlangıcında, maliyet ve belirsizliği azaltan risk temelli bir yaklaşımla hazırlanmalı, teknik, ekonomik ve sosyal olarak fizibil olmalıdır. Kapatma planı projenin mevcut durumunu yansıtmalı ve dinamik bir süreç olmalı, düzenli aralıklarla gözden geçirilerek gerektiğinde revize edilebilmelidir (Paul, 2009). Maden atık alanı kapatma planı için bir bilgi akış diyagramı Şekil 1' de, maden atık alanı kapatma prosesi için planlama aşamasından başlayarak uygulama aşamasını da içeren süreçte dikkate alınacak temel kriterler Çizelge 1'de verilmiştir.

Maden atık yönetiminin belirlenmesinde kritik nokta atığın doğru karakterizasyonudur. Atığın karakteri, gerek işletme (depolama tekniği, koruyucu tedbirler vs) gerek kapatma (kapatma gereksinimleri ve kapatma teknikleri) ve gerekse kapatma sonrası (uzun dönem davranımının tahmini) aşamada atıkların nasıl yönetilmesi gerektiğini belirler. İdeal olan atığın maden faaliyete geçmeden önce karakterize edilmesi ve atık yönetiminin bu sonuçlara göre tasarlanmasıdır. Karakterizasyon kısa, orta ve uzun sürelerde çözünme/ bozunma davranımını tahmin eden fiziksel ve kimyasal karakteristiklerinin ve de jeoteknik davranımının belirlenmesini içerir. Kapama planının önemli bir parçası da madencilik sonrası alanın kullanımını, ekolojik, çevresel, reklamasyon ve ekonomik şartlar arasında bir denge oluşturacak şekilde planlanması gerekir (BREF, 2004). Rehabilitasyon alternatifleri değerlendirilirken, 1) istenilen çevresel şartlara uygunluk, 2) maliyet-etkin olması, 3) uygulanan teknoloji ve tekniğin ve bunların tahmin edilen uzun süreli performansının kesinliği ve 4) bakım ve izleme gereksinimleri gibi şartları içeren kriterler göz önünde bulundurulmalıdır (UNEP/ WHO 1998).

Maden atık alanlarının kapatılmasında standart oluşturmaya yönelik son yıllarda dünya genelinde çalışmalar yürütülmekle beraber, genel olarak rehabilitasyon çalışmalarında dikkate alınması

gereken temel konular; 1) fiziksel duraylılık, 2) kimyasal duraylılık ve 3) alan kullanımı olarak belirtilmektedir (Tailsafe, 2004).



Şekil 1. Maden atık alanı kapatma planı tasarımı için bilgi akış diyagramı (BREF, 2004).

Çizelge 1. Maden Atık Alanı Kapatma Tasarım Kriterleri (MIRO, 1999)

KONU	KAPATMA HEDEFLERİ
Fiziksel duraylılık	Geride bırakılan tüm insan yapımı yapıların fiziksel duraylılığı sağlanmalıdır.
Kimyasal duraylılık	Fiziksel yapıların kapama sonrası kimyasal duraylılığı da sağlanmalıdır.
Biyolojik duraylılık	Alanın eko-sistemi ile dengeli ve doğal bir biyolojik çevre oluşturulmalı veya biyolojik çeşitlilik ve doğal bir rehabilitasyon oluşturabilecek şekilde dengeli bir ortam bırakılmalıdır.
Hidroloji ve hidrojeoloji	Kapatma işlemi, yüzey ve yeraltı sularına fiziksel ve kimyasal kirleticilerin taşınımını ve alıcı ortamın kalitesinin düşürülmesini önlemeyi hedeflemelidir.
Coğrafi ve iklimsel etki	İklim koşulları (yağış, fırtına), mevsimsel uç şartlar ve coğrafi faktörler bazında bulunduğu yörenin şartlarına ve ihtiyaçlarına uygun olmalıdır.
Yerel hassasiyetler ve fırsatlar	Kapatma işlemi alanın yeniden düzenlenmesinde fırsatları optimize etmeli ve alan kullanımının iyileştirilmesinin uygun ve/veya ekonomik olarak fizibil olması dikkate alınmalıdır.
Alan kullanımı	Rehabilitasyon nihai alan kullanımını optimize edecek şekilde olmalı, çevre alanına uygun ve bölgede yaşayanların ihtiyaçlarını karşılamalıdır.
Kapama maliyeti	Kapama planının uygulanmasını sağlayacak yeterli ve uygun para olmalıdır.
Sosyo-ekonomik şartlar	Bölgede yaşayanlar için alternatif fırsatlar oluşturulmalı, pozitif sosyo-ekonomik şartlar maksimize edilmelidir.

Atık alanı kapatılırken üzerinin kaplanması (örtü kaplama), atık alanlarının fiziksel (erozyon, tozlaşma) ve kimyasal duraylılığının (asit maden drenajı (AMD), metallerin özütlenmesi, reaktifleri ve diğer kimyasalların salınımı gibi) sağlanması anlamında mevcut en iyi uygulama olarak belirtilmektedir (Tailsafe 2004).

Örtü kaplama sistemlerinin amaçları ve dolayısıyla tasarım kriterleri alandan alana değişmekle beraber genel olarak;

- toz ve erozyon kontrolü
  - asit oluşum potansiyeline sahip atıkların kimyasal duraylılığının sağlanması (oksijen ve/veya su girişinin kontrolü ile)
  - kirletici bileşen salınımının kontrolü (sızmanın kontrol altına alınması)
  - bitki yetişmesi için büyüme ortamının sağlanması
- olarak verilmektedir (Tailsafe, 2004).

Örtü kaplama tasarımında yukarıda verilen amaçlar temel gereksinimler olmakla beraber, mevcut yasal düzenleme, atık karakterizasyonu, iklim, topografya, malzeme temini ve alıcı ortamın hassasiyeti gibi alana özgü faktörlere göre değişim göstereceğinden örtü kaplama tasarımında ilk adım olarak alana özgü şartların değerlendirilmesi gerekmektedir. Bir sonraki aşama olarak potansiyel örtü kaplama tipinin belirlenmesi, alternatifleri ile beraber maliyet karşılaştırması, performanslarının model ve/veya arazi testleri ile ispatı, yasal kabul edilebilirlik, bakım ve izleme ihtiyaçlarının değerlendirilmesi konuları gelmektedir. Bunlara ilaveten, yeraltı suyu şartlarının değerlendirilmesi, kaplama malzemesinin erozyonu, kaplanan alanda yüzey suyu yönetimi, kaplama sisteminde eğitim ve kaplamanın sürekliliği gibi yan konuların kaplama tasarımında dikkate alınması gerekir (Kowalewski, 1999). Şekil 2' de, AMD/metal özütlenmesi kontrolünü sağlayacak toprak örtü kaplama tasarımı için alan bazında performans kriterleri geliştiren bir yöntem verilmiştir. Yöntem özetle beş adımdan oluşmaktadır. İlk önce, atığın tipi, depolama tesisinin boyut ve geometrisi, iklim vb. gibi alana özgü şartlara bağlı olarak bir kavramsal kaplama tasarımı seçilir. İkinci adımda, farklı kaplama tasarım tercihleri ve kaplama tasarım parametrelerinin (kaplama kalınlığı gibi) kaplama performansı (atık içine net sızma gibi) ile ilişkisini araştıran detaylı kaplama tasarım analizi yapılır. Üçüncü adım kaplama dizayn parametreleri (kaplama kalınlığı

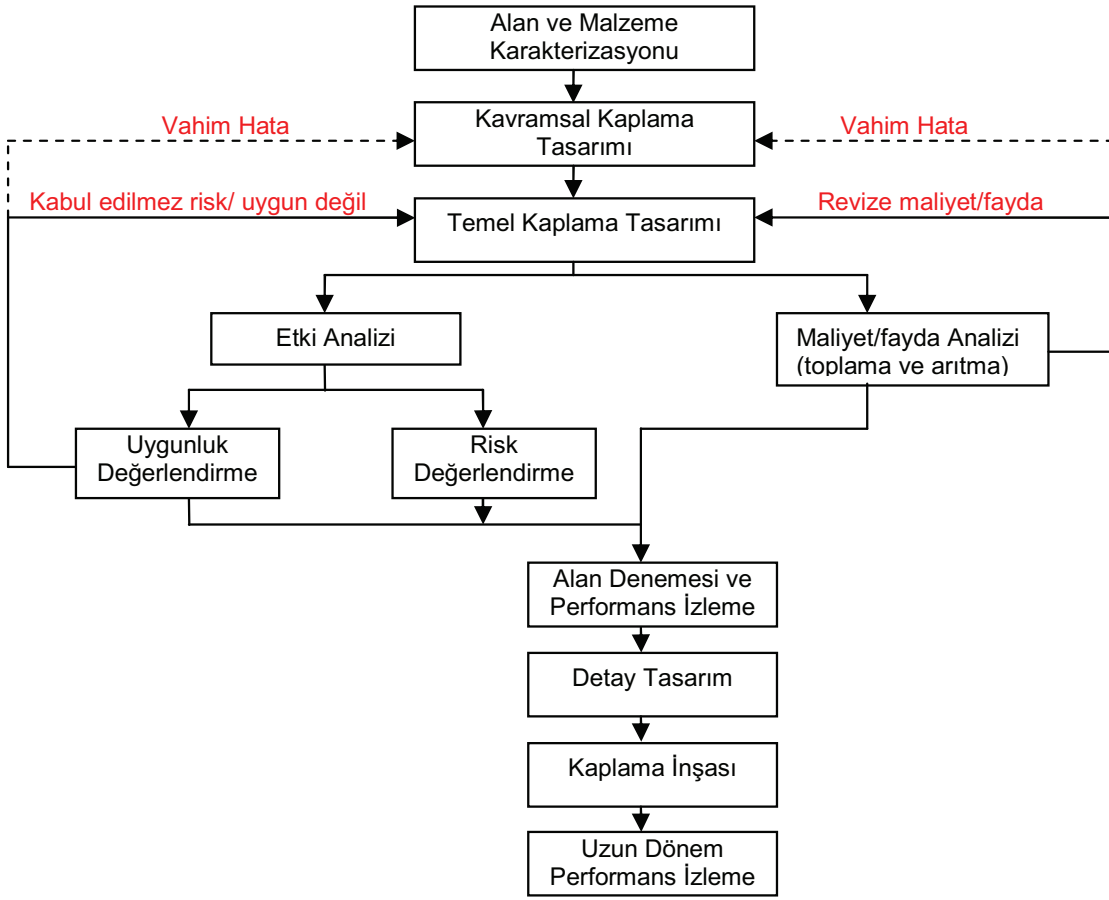
gibi) ile çevresel etki (yeraltı suyu kalitesi gibi) arasındaki ilişkiyi kantitatif olarak ortaya koyan etki değerlendirme aşamasını içerir. Dördüncü adımda, çevresel etkiler yasal standartlara göre değerlendirilir. Bu adım, uygulanan kanun ve yetki alanına bağlı olarak, tahmin edilen etkilerin basitçe standartlardaki sayısal değerlerle karşılaştırılmasını veya kompleks bir risk değerlendirmesini içerebilir. Tahmin edilen etkiler tüm standartları sağlıyorsa veya kabul edilemeyen bir risk yok ise, nihai tasarım aşamasına geçilir. Eğer, etkiler (veya tahmin edilen risk) kabul edilemez çıkarsa, birincil kaplama tasarımı değişiklik(ler) gerektirir. Kaplama dizaynında basit değişiklikler yeterli olmuyorsa bu tasarımda "vahim hata" olarak kabul edilir ve sonuçta farklı bir kavramsal tasarım yapılmasını gerektirir. Etki değerlendirme ve kaplama tasarımı arasındaki bu geri besleme döngüsü, kaplama sisteminin geliştirilmesinde kritiktir.

Tasarım amaçlarına göre değişik tipte atık kaplamaları temelde 3 gruba ayrılmaktadır (Peng and Jiang, 2009; Tailsafe, 2004; MiMi, 1998'den düzenlenmiştir):

- 1- Oksijen bariyeri kaplamalar; bariyer oluşturarak veya oksijeni harcayarak atık içine oksijen difüzyonunu engelleyen kaplamalardır. Hem toprak örtü hem de su örtü kaplama sistemleri oksijen difüzyon bariyeri olarak kullanılabilirler.
- 2- Düşük su akıllı kaplamalar; atık içine su sızıntısını engelleyen kaplamalardır. Bu tip kaplamalar düşük geçirgenlikli ve buharlaşma-terleme (evapotranspiration) özellikli toprak örtü kaplamalardır.
- 3- Kullanım sonrası (after use) kaplamalar, atık alanı yüzeyinin görüntüsünü iyileştirmeyi amaçlar. Yüzeyde erozyonu, atık ile yüzey sularının temasını önler ve bitkiler için uygun büyüme ortamı oluşturur.

### 3. TOPRAK ÖRTÜ KAPLAMALAR

Toprak örtü kaplama sistemlerinde temel amaç maden atık alanının kapatılması sonrasında oluşabilecek çevresel etkilerin azaltılmasıdır. Toprak örtü kaplama sistemleri dünya genelinde birçok alanda asit maden drenajı oluşumunu önlemek için kullanılan genel bir yöntem olup birincil amacı atık içine su ve oksijen girişini azaltmaktır. Bunların yanı sıra erozyona karşı dayanıklı olması ve bitki örtüsü için uygun bir ortam sağlaması kaplamadan beklenen amaçlardır (MiMi, 1998).



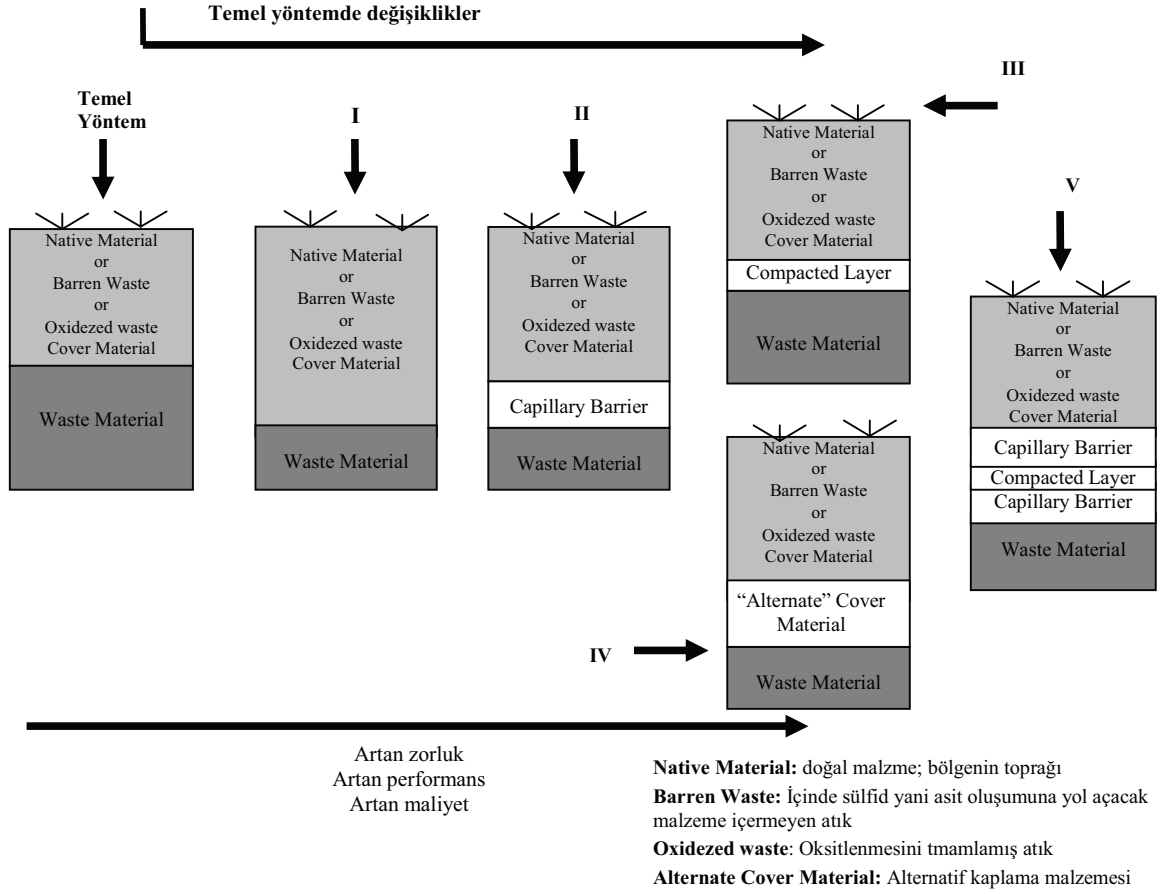
Şekil 2. Toprak örtü kaplama tasarımı prosesi akım şeması (O’Kane and Wels, 2003’den adapte edilen, INAP, 2009).

Şekil 3 de gösterildiği gibi, kaplama, topraktan oluşan tek bir tabaka olabileceği gibi toprak, inert artık/atık kaya, jeosentetik malzemeler ve organik malzemelerin kullanılabilmesi çok tabakalı da olabilmektedir. Kaplamada tabaka sayısı ve tasarım kompleksliği arttıkça, uygulama zorluğu, maliyet ve performans da artmaktadır. Kaplama tasarımı ve tabaka sayısı atığın karakteristiğine göre belirlenir. Örneğin, inert atığın kaplanması fiziksel duraylılığı ve bitki ekimi/büyümesini sağlayacak tek tabaka yeterli olabilir.

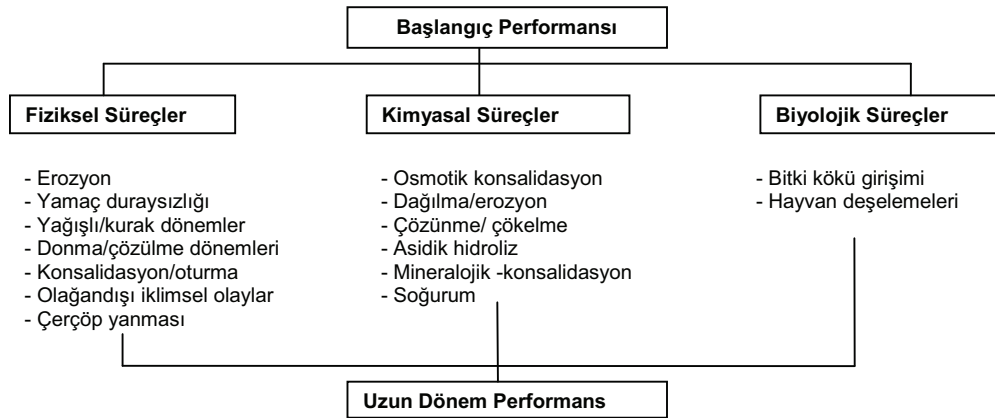
Toprak örtü kaplama sistemi tasarımlarında genel yöntem kil, silt ve çakıl gibi değişik tipteki toprak tabakalarının düzenlenmesidir. Kaplamanın etkinliği kaplama tabakalarındaki nem içeriğine bağlıdır. Kaplama tabakalarının toplam kalınlığı normalde 0,3-3m ve sızdırmaz tabakanın geçirimsizliği  $1 \times 10^{-7}$ - $1 \times 10^{-9}$  arasında değişir (BREF 2004).

Şekil 4’de gösterildiği gibi, toprak örtü kaplamalarının ömrü, başlangıç inşa performansını değiştirerek uzun dönem performansını şekillendiren alana özgü fiziksel, biyolojik ve kimyasal süreçlere bağlı olarak değerlendirilebilir. Toprak örtü kaplamalarının kısa dönem performansı, bariyerde çatlak oluşumu ve diğer süreksizliklere yol açan farklı bozucu süreçlerin bir sonucu olarak uzun dönemde azalabilmektedir (Şekil 4). Alana özgü kimyasal ve biyolojik etkilerin kaplama performansına etkisi bir çok açıdan sadece kalitatif olarak değerlendirilebilirken, bir çok fiziksel sürecin sayısal olarak değerlendirilebildiği belirtilmektedir.

İnert maden atık alanlarının kapatılmasında, uzun dönem fiziksel duraylılık, peyzaj ve bitkilendirme, erozyon ve tozlaşmanın önlenmesi başlıca önemli kriterlerdir. Artıkların üzeri kil, toprak ve bitki örtüsü ile kaplanır. Çalı ve ağaç dikilir (BREF 2004).



Şekil 3. Değişik toprak örtü kaplama tasarımları (MEND 2001'den alınan INAP, 2009).



Şekil 4. Toprak Örtü Kaplamaların uzun dönem performansını etkileyen süreçlerin kavramsal gösterimi (INAP, 2003'den INAP 2009).



### 3.1. Oksijen Bariyeri Kaplamalar

#### 3.1.1. Oksijen Difüzyon Bariyeri Kaplamalar

Bu tür kaplamalar, atmosferden atık içine oksijen difüzyonunu engelleyen kaplamalardır. Gözenekli bir ortamda su ile doygunluk artıkça difüzyon azalacağından, bu tür kaplamalar içerisinde su ile doygun bir tabaka varlığı ile oksijen difüzyon bariyeri oluşturulur. Ancak, iklimsel şartlara bağlı olarak su içeriği azaldığında ve toprak kurduğunda ki bu yüzeyel topraklarda periyodik olarak gerçekleşir, etkin difüzyon hızla artacağından bariyer etkinliği azalacaktır (ör., Herbert, 1992). Dolayısıyla, kullanılan bariyer malzemesinin kurumaya karşı dayanıklı olması ve oksijen transferine karşı etkin bir bariyer oluşturacak şekilde kaplama içinde suyu tutabilme özelliğine sahip olması istenir.

Oksijen difüzyon bariyerinin etkinliği, kullanılan malzemenin gözenek boyutu, yer altı su seviyesine göre yükseklik ve iklim şartlarına göre değişir (Nicholson vd., 1991, INAP, 2009). Malzemenin gözenek boyutunun küçük olması su tutma kapasitesini dolayısıyla etkinliğini artıracaktır. Yer altı su seviyesine göre derinliğin artması, kapiler emmeyi artıracığından kaplamadan suyun çekilmesine yol açarak doygunluğu ve dolayısıyla oksijen difüzyon bariyeri etkisini azaltacaktır. Ayrıca, iklime bağlı yüzeydeki suyun buharlaşması suyun kapiler olarak yukarı transferine yol açacağından, kurak zamanlarda su içeriğini önemli derinliklerde etkileyecektir. Dolayısıyla, oksijen difüzyon bariyerinde kullanılacak malzemenin yüksek kapiler emmede yüksek oranda doygunluk sağlaması gerekmektedir.

Oksijen difüzyon bariyeri toprak örtü kaplamalar tek veya çok tabakalı olabilmektedir.

#### Tek Tabakalı Toprak Örtü Kaplama:

Oksijen difüzyon bariyeri şartlarını sağlayacak tek tabaka toprak örtü kaplama genelde ince gözenekli malzemenin yapısıdır. Bunlar kil, killi silt gibi ince taneli malzeme ve yüksek oranda killi ve siltli morines içeren iyi sınıflandırılmış malzemenin oluşur (MiMi, 1998, Tilsafe, 2004). Tek tabakalı toprak örtü kaplamalar, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu ve kaplamanın su ile doygunluğunu yüksek oranlarda sağlayabileceği alanlarda etkin bir oksijen difüzyon bariyeri oluşturabilir. Bölgenin jeo-hidrolojik konumuna bağlı olarak bu şartların

belirli atık alanlarında bulunabileceği belirtilmekte ve İsveç Kristeneberg 'deki uygulama örnek gösterilmektedir. İsveç- Kristeneberg örneğinde iki tane atık alanın, till'den oluşan tek tabaka toprak örtü kaplama ile reklamasyonu yapılmıştır (Lindval, 1999).

Yeraltı suyunun daha derin olduğu yerlerde kaplama içinde tutulan suyun drene olması riski mevcuttur. Kuru dönemlerde kaplamadaki suyun drene olması ve oksijen transferini artırması söz konusu olabilmektedir. Ancak, yine de atığın karakterine bağlı olarak kaplama etkinliği gereksiniminin değişebileceği ve tek tabaka toprak örtü kaplamaların uygulanabileceği belirtilmektedir (MiMi, 1998).

Tek tabaka toprak örtü kaplamalarla ilgili İsveç Çevre Koruma Ajansı tarafından finanse edilen "Deposits of waste from mining industry" başlıklı araştırma programı dahilinde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, till'den oluşan 1 ve 1,5m'lik toprak örtü kaplamasının herhangi bir atık alanında pirit alterasyon hızını (ve metal salınımı) sırasıyla, %80 ve %90 oranında azalttığını içermektedir. Yine bu çalışmada, etkin bir düşük geçirgenlikli bariyer içeren çok tabakalı bir kaplamada pirit alterasyon hızında hesaplanan azalmanın %99 olacağı kestirilmiştir. Bu araştırma programı sonrasında İsveç'te bazı atık alanları için tek tabakalı kaplama içeren nihai kapatma planı uygulamaların başlatıldığı, bazı atık alanları için nümerik olarak simüle edilen etkilerin daha önce hesaplanandan daha iyi sonuç verdiği belirtilmektedir. Örneğin Aitik' deki atık göleti için 1 metrelik till'den oluşan kaplamadaki pirit alterasyon hızındaki azalmanın %99 olduğu görülmüştür (Lindvall vd., 1997, Lindval ve Ericson, 2005).

Farklı tek tabaka kaplama konseptinin İsveç Adak'taki atık alanı için de uygulandığı belirtilmektedir. Kaplama 0.5m'lik sıkıştırılmış till (bariyer) üzerine 1.5m'lik sıkıştırılmamış till' den inşa edilmiştir. Bariyer tabakasının geçirgenliğinin çok düşük ( $5 \cdot 10^{-8}$  m/s) olmasına rağmen, yağmur sularının sızmasını önleyecek yeterlilikte bir bariyer oluşturmadığı belirtilmektedir. Bu yapı için yıllık oksijen akısının yaklaşık 0,2 mol/m<sup>2</sup> olduğu tahmin edilmektedir (MiMi, 1998).

Kanada ve Amerika'da tek tabaka kaplamaların oksijen transferini önlemekten çok genelde bitki örtüsünü geliştirmek için kullanıldığı belirtilmektedir (Tailsafe, 2004).

### **Çok Tabakalı Toprak Örtü Kaplamalar:**

Teorik olarak kapiler bariyer etkisine sahip kaplamalar olarak isimlendirilmekte olup, son yıllarda madencilik sektöründe bilinirliği giderek artmaktadır. Bu tip kaplamalarda oksijen bariyeri su ile doymuş bir tabakanın oluşturulması ile sağlanırken, su ile doymuş tabakanın sürekliliği ise, buharlaşma ve drenajı önleyecek kapiler bariyer sayesinde korunmaktadır. Kapiler bariyer etkisi, kapiler emme transferi kabiliyeti olmayan iki sıra iri tasnifli malzeme arasına yüksek su tutma kapasitesine sahip ince tasnifli malzemenin yerleştirilmesi ile sağlanabilmektedir (Mbonimba vd., 2008; Rasmuson ve Eriksson, 1987, Bussiere vd., 2003).

Kapiler bariyer içeren kaplamalar için yapılan modelleme çalışmalarının sonuçları, oksijenin difüzyonla transferini önemli derecede azaltacak, ince tasnifli tabakadaki yüksek su içeriğinin korunmasının oldukça mümkün olduğunu önermektedir. Nispeten yağışlı iklim koşullarında, atık göletlerinin kapatılmasında oksijen bariyeri olarak kullanımı en geçerli seçenek olarak görülmektedir (Mbonimba vd., 2008; SRK 1989). Ayrıca, doymuş olmayan şartlarda kapiler bariyer tabakasında suyun yatay hareketi ile bu tabakanın sızma bariyeri etkisi de gösterebileceği belirtilmektedir. Ancak, bu durumun alandan alana değişebileceği, etkin bir sızma bariyeri oluşturmak için kapiler tabakanın yeterince düşük geçirgenlikte olması gerektiği belirtilmektedir (Rasmuson ve Erikson, 1987). Bussiere ve ark. (2003) kapiler etkisine sahip toprak örtü kaplamaların kurak ve yarı kurak iklimlerde, düşük geçirgenlikli bariyerlere iyi bir alternatif olduğunu belirtmektedir.

Kapiler bariyer etkisine sahip çok tabakalı kaplamaların kullanımına dair hem laboratuvar hem de arazi ölçeğinde yapılmış birçok araştırma mevcuttur. Ancak, bunlardan bazılarına burada yer verilmiştir.

Kapiler bariyer etkisine sahip çok tabakalı kaplamaların etkinliği Yanful vd. (1999) tarafından laboratuvar ölçeğinde kolon testleri ile araştırılmıştır. Deneysel çalışmada okside olmamış sülfürlü atıkların üzerine sırasıyla 15cm iri kum, 30cm sıkıştırılmış kil ve 15cm ince kum tabakası yerleştirilmiştir. Atık malzeme, Waite Amulet (Quebec, Kanada) atık göletinin doymuş bölümünden alınmış ve ağırlıkça % 20 pirit, %

6 pirotit ve az miktarda diğer sülfürlü mineraller ve %70 oranında gang mineralleri (kuvars, plajiyoklas, klorit vs.) içerdiği belirtilmektedir. Çalışmaya karşılaştırma yapabilmek için kaplama içermeyen iki tanede ayrıca kolon eklenmiştir. Kullanılan kaplamanın, artıkların oksidasyonunu 760 günlük deney süresi boyunca önlediği, sıkıştırılmış kil tabakasındaki su içeriğinin korunduğu ve artıkların gözenek suyundaki demir derişiminin kaplama içermeyen sisteme göre 100-500 kat daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Benzer başka bir çalışma Aachid vd. (1994) tarafından yapılmıştır. Ancak bu çalışmada inert atıklar kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır. Kapiler bariyer etkisi içeren kaplama yukardan aşağıya 0,2m kum, 0,5m inert atık ve 0,3m kum tabakasından oluşturulmuştur. Yapılan ölçümler kapiler tabakadaki su içeriğinin yüksek doymulukta sağlanabildiğini göstermiş ve bu sonuçlar uygun artıkların kapiler bariyerlerde su tutan tabaka olarak kullanılabilceğini gündeme getirmiştir.

Kapiler bariyer etkisi içeren çok tabakalı toprak örtü kaplama arazi ölçeğinde Yanful vd. (1993a,b) tarafından Healt Steele madeninde (New Brunswick, Kanada) 2500m<sup>2</sup>'lik bir atık kaya yığınının reklamasyonunda uygulanmıştır. Üç tabakalı sistem olarak adlandırılan kaplama dizaynı, 0,3m kalınlığında iyi sınıflandırılmış kum tabakası üzerine 0,2m şeklinde 3 kat olarak sıkıştırılan 0,6m kalınlıkta ince tasnifli buzul kili ve 0,3m kalınlığında iri taneli granül tabakadan oluşmaktadır. Kaplamayı erozyona karşı korumak için 0,1m kalınlığında çakıl tabaka ile kaplanmıştır. Kaplama 1991 Eylül'de yapılmıştır. Arazideki hidrolik iletkenlik testleri kapiler tabakada hidrolik iletkenliğin 1x10<sup>-8</sup>m/s olduğunu, Mayıs 1993' e kadar till'in su içeriğinde önemli bir değişiklik gözlenmediğini, yığındaki oksijen derişiminin Mayıs 91 de %18-21 iken Mayıs 92 de %0,8-1,1'e düştüğünü ortaya koymuştur. Ayrıca, raporda sıcaklığında aynı şekilde düştüğü, süzüntü suyun pH'sının yükseldiği belirtilmektedir.

Benzer bir yapı yine Yanful vd. (1994) tarafından Waite Amulet (Quebec, Kanada)'de arazi ölçeğinde uygulanmıştır. Aynı üç tabaka kaplama sistemi kullanılmıştır. 3 yıl sonrasında hidrolik geçirgenliği 1x10<sup>-9</sup>m/s olarak tahmin edilen bariyerin oksijen girişini %99 oranında



azalttığı bununda asit oluşumunu %95 azalttığı rapor edilmiştir. Bariyer, alana düşen yağmur sularının %96 sının atık içine girmesini engellemiştir. Kapiler bariyer etkisine sahip toprak örtü kaplamaların etkinliğinin araştırıldığı bu ve diğer çalışmalar (ör.Nicholson vd., 1989; Rasmuson ve Eriksson, 1986), bu tip toprak örtü kaplamaların AMD kontrolünde etkin bir yöntem olduğunu içermektedir.

Uygun ince taneli kaplama malzemesinin temininin problemleri olduğu alanlarda, artıkların bu amaçla kullanımı söz konusu olup, birçok araştırmaya konu olmuştur. Bussiere (1997) desulfürüze edilmiş atıkların kapiler bariyerde kapiler tabaka olarak kullanım imkânını araştırmıştır. Kolon testleri, referans kolon ve değişik oranlarda sülfür içeren artıklardan oluşan kapiler bariyerlerle kolonlarda testler yapmıştır. En düşük sülfür içerikli (0,14%) artıklarla oluşturulmuş kapiler bariyer kolonunda referans kolona göre oksidasyon hızındaki azalmanın %95 oranında gerçekleştiği belirtilmektedir.

Asit oluşturmayan artıkların kapiler bariyer malzemesi olarak kullanımı, Les Terrens Auriferes (Quebec, Kanada,)’de arazi ölçeğinde araştırılmıştır (Ricard vd., 1997). AMD oluşumu modelleme sonuçları, 0,8m kalınlığında ve etkin oksijen difüzyon katsayısı  $1 \times 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$  olan çok tabakalı bir kaplamanın alttaki artıklarda asit oluşumunu yeterli ölçüde önlediğini göstermiştir. Bunu sağlamak için bariyerdeki artıkların, karakteristiğine göre, %85 veya daha fazla doymuş hale getirilmesi gerekmektedir. Kaplama 1995/96 kışında inşa edilmiştir. İlk 6 aylık sürede kaplama performansı izleme sonuçları yığının üstünde ortalama su ile doymunluğun % 86 olduğunu göstermiştir.

Ekonomik olarak fizibil bir alternatif olduğunda, kapiler bariyer içeren kaplamalar birçok araştırmaya konu olmuş ve tam ölçek olarak uygulanmıştır. Ancak, çok tabakalı bariyer uygulamalarında tasarım öncesi yapı malzemesinin tam karakterizasyonu ve gereken tabaka sayısı ve tabaka kalınlıklarını içeren gerçek saha ve su bütçesi modellemesinin önemli olup işin zor kısmını oluşturduğu belirtilmektedir (MiMi, 1989). Örneğin büyük ölçek alanların modelleme çalışmaları kapiler bariyer etkisinin sadece kullanılan kapiler malzemesinin özelliklerine bağlı olmayıp aynı zamanda alanın geometrisine de bağlı ve eğer eğim çok dik ve

uzunsa kaplamanın bir kısmının desaturasyon riskine sahip olduğunu göstermiştir. Kaplama için kullanılacak malzemenin sahada ve saha civarında kolaylıkla bulunabilmesi, kaplamanın ekonomik fizibilitesinde önemli bir faktördür ve modelleme çalışmalarında düşünülmalıdır.

### 3.1.2. Oksijen Tüketen Bariyer Kaplamaları

Atık içine oksijen transferinin alanın oksijen tüketen malzeme ile kaplanmasıyla da azaltılabileceği belirtilmektedir. Quebec’deki East Sullivan madeni reklamasyon çalışmalarında oksijen tüketen bariyer konsepti uygulanmıştır (Tasse vd., 1997; Germain vd., 2000, Germain vd, 2003, Tasse ve Germain, 2004). Maden 1966 yılında kapanmış ve geride kontrolsüz 15 milyon ton asit üreten artık bırakmıştır. 1984 yılından itibaren atık alanı üzerine yığılmakta olan ağaç (organik) atıkları ile alanın reklamasyon çalışmaları 1990 yılında başlatılmıştır. Kaplama 2m’lik organik atıktan (ağaç kabuğu %85, %10 kağıt hamuru ve %5 testere talaşı) oluşmaktadır. 1991 yılı içinde kaplamadaki oksijen içeriğinin derinlikle azaldığı, 0,7 m derinlikte oksijen içeriğinin %1,5 olduğu belirtilmektedir. İzleme sonuçları kaplanan alanda sızıntı suyundaki metal oranının azaldığını ve pH’nın yükseldiğini ancak düşük derişimlerde fenol ve tanin gibi bazı organik kirlenmenin olduğunu göstermiştir.

Bir başka uygulama ise İsveç Falun Gagberget’teki bir atık göletinin kağıt proses çamuru, uçucu kül ve ağaç atıklarından oluşan malzeme ile kaplanmasıdır (BREF, 2004; Hallberg vd. 2005) Atık göletinin üstüne toplam 1m kalınlığında uçucu kül, kağıt proses çamuru karışımı serilmiştir. İki tabaka halinde sıkıştırılmış ve sonrasında 0,5m ağaç atığı ve iri till ile kaplanmıştır. Bu kaplamanın kısmen oksijen harcanacağından etkin bir oksijen bariyer oluşturacağı ve kısmen de uçucu kül ve kağıt proses çamuru karışımının sıkıştırılması ile fiziksel düşük geçirgenlikli bir bariyer oluşturacağı düşünülmüştür. Laboratuarda karışımın hidrolitik iletkenliği  $< 5 \times 10^{-9} \text{m/s}$  olarak ölçülmüştür. Bariyerde su tutma kapasitesi ölçülmüş ve yüksek doymunluğu sağlayacak yeterlikte olduğu düşünülmüştür. Diğer bir muhtemel pozitif etkisi ise uçucu küldeki yüksek kalsiyum hidroksit içeriği dolayısıyla asit oluşturan bakterileri engellemesi olarak belirtilmektedir. Bu durum sızıntı suda pH’nın yükselmesini sağlayacak

ve hidrojen sülfid üretmek metalleri çökeltecek sülfat indirgeyici bakteriler için uygun ortam oluşturacaktır. Ancak, alanın okside olmuş üst kısmında demir hidroksitler ve organik bileşikler kombinasyonu ile birlikte çökelen ağır metallerin çözünmesine yol açacak demirin bakteriyel olarak indirgenmesi riski mevcuttur. Takip eden izlemelerde sülfidlerin oksidasyonunun azaldığı, alandaki pH'nın referans alana göre yükseldiği ve önemli bir bakteriyel sülfat indirgenmesine dair bir ipucu henüz gözlemlenmediği belirtilmiştir.

Diğer bir araştırmada 3 farklı organik malzemenin (turba, kireçle stabilize edilmiş atık su çamuru, evsel katı atık kompostu) hem kesikli hem de pilot ölçek testlerde oksijen tüketen kaplamalar olarak etkinliği araştırılmıştır (Eliot et al, 1997). Karşılaştırmalı veri elde etmek için desülfürize edilmiş atıklarla da kaplama sistemi test edilmiştir. Bu çalışmalardan, kireç ile stabilize edilmiş arıtma çamurunun çevreye salınan metalleri azaltmada büyük potansiyel sergilediği görülmüştür. Bu durumun, AMD prosesinin pH'nın yükselmesi ile tersine çevrilmesi, metal derişiminin azalması ve atık-kaplama ara yüzeyinde indirgeyici ortamın oluşması ile sağlandığı belirtilmektedir. Kompostun kaplama malzemesi olarak kullanılması durumunda, oksijen derişiminin derinlikle önemli derecede azaldığı gözlenmiş, 0,9m atık derinliğinde oksijen içeriği sifıra yaklaşmıştır. Bu sonuçların kullanılan kompostun oksijen bariyeri olarak çalıştığını gösterdiği belirtilmektedir. Ancak alttaki atıklardan metal salınımına etkisi orta derecede olmuştur. Turbanın kullanılması durumunda ise oksijen derişiminde derinlikle azalma minimum olmuştur. Yani, malzemedeki oksijen tüketimi bu malzemenin oksijen transfer bariyeri olamayacak kadar düşük olduğunu göstermiştir.

### 3.2. Düşük Geçirgenlikli Bariyerler

Düşük geçirgenlikli bariyerler atık yığınının yağmur sularının sızmasını sınırlandırmak için kullanılan bariyerlerdir. Toprağın su geçirgenliğinin düşük olması onun su tutma özelliğini artırarak özellikle bariyerin üst bölümlerinde su ile doymuş tabaka oluşturacağından, drene olmadıkça aynı zamanda oksijen transferini de önleyen bariyer görevi sergilemesini de sağlayacaktır.

Düşük geçirgenlikli bariyerler temelde kil, killi morines gibi ince tasnifli topraklardan, jeosentetik

astar (jeotekstil/bentonit astar), jeomembran (plastik astar), çimento ile stabilize edilmiş ürünler ve bazı ince tasnifli endüstriyel proses atıklarından (temelde çamur) oluşabilmektedir (MEND, 1994).

Hem oksijen difüzyonu hem de süzüntü suyuna karşı bir bariyer olarak düşük geçirgenlikli bariyer içeren kaplamaların AMD oluşumunu ve maden atıklarından metal salınımını sınırlama potansiyelleri yüksektir. Bu tür bariyerlerin kullanımı üzerine bir çok araştırma ve saha uygulamaları mevcuttur. Bunlardan biri İsveç'te yapılan "Deposits of waste from mining industry" araştırma programıdır. Modele dayalı tahminler yapılmış ve bariyer toprağında %95 den %99'a kadar oksidasyon hızında pozitif bir azalma; süzüntü hızında da %80 den %95'e kadar bir azalma olduğu, kirlilik taşınımı ile atık içine sızan su arasında doğrudan bir ilişki olduğu gösterilmiştir (MiMi, 1998).

Kanada British Columbia'da bir atık kaya yığınının düşük geçirgenlikli bariyer konsepti uygulanmıştır (MiMi, 1998). Bariyerin ince tasnifli till'den inşa edildiği, alanın en üstüne, doymuşluk hidrolik iletkenliği  $2.10^{-9}$  m/s olan 0,5m sıkıştırılmış till bariyer uygulandığı ve üzerinin koruyucu tabaka olarak 0,3m gevşek till ile kaplandığı belirtilmektedir. Kısa süreli takip modellemesinde atık içine sızan oksijen akısının yaklaşık %99 oranında azaldığı ve kaplanmamış atık alanı ile karşılaştırıldığında oksijen akısında %99,7 oranında azalma olduğu belirtilmektedir. Kanada Quebec'de Waite Amulet sahasında kurulan, 0,3m'lik kum tabakası arasında 0,6m sıkıştırılmış kilden oluşan kapiler bariyerin aynı zamanda düşük geçirgenlikli bariyer olarak da görev yaptığı belirtilmektedir (Yanful vd., 1994). Kil bariyerin arazide ölçülen hidrolik iletkenliği yaklaşık  $1 \times 10^{-9}$  m/s dir. Kaplama içindeki süzüntü suyu bir yıl süre ile bariyer altında lisimetre ile izlenmiş ve 37 mm süzüntü olarak belirlenmiştir. Değişik iklim verileri ile yapılan 20 yıllık simülasyon ve hesaplamalarda bariyerdeki süzüntü hızı ortalama 39 mm/yıl olarak saptanmıştır.

Bir diğer örnek ise Bersbo (İsveç), Steffenburg ve Storgrove alanlarındaki maden atık alanlarının rehabilitasyon çalışmalarıdır. Storgrove alanında 0,25m kalınlığındaki geçirgenlikli tabakanın, çimento ile stabilize edilmiş uçucu külün (Cefyll) kırılmış kaya parçaları içine harç şeklinde doldurularak

oluşturulduğu, Steffenburg alanında ise üç kat olarak sıkıştırılan ve 2 m'lik buzul till ile korunan buzul kilinden oluştuğu belirtilmektedir. Doygun haldeki Celfyl tabakasının hidrolik iletkenliği  $1 \times 10^{-9}$  m/s ve sıkıştırılmış kilin ise  $1 \times 10^{-10}$  m/s olarak ölçülmüştür (MiMi, 1998).

Bir diğer çalışma ise İsveç Saxberg madeninde biri 28 hektar diğeri 35 hektar alandan oluşan iki tane büyük atık göletinin kaplanmasıdır (Lidval vd,1997a). Toplamda %2 S ve %1'den az Zn ve %0,5-1'den az kalsit içeren 4 milyon ton atık içermektedir. Alanın kapatılmasında bir tane düşük geçirgenlikli tabaka ve onun üzerinde bir tane koruyucu tabaka içeren en az iki bileşenli kaplama konsepti uygulanmıştır. Kaplama çalışmaları 93 yazında başlamış ve 95 sonbaharında tamamlanmıştır. Geçirimsiz tabaka 0,3m kalınlığında, 2-3 kat sıkıştırılmış killi buzul till'den oluşmaktadır. Koruma tabakası ise 1,5m kalınlığında kumlu, buzul till'den oluşmaktadır. Her iki till tipi de göletlere yakın yerden temin edilmiştir. İzleme çalışmaları kaplama altında oksijen derişiminin oldukça düşük olduğunu nadiren %0,5'in üzerine çıktığını, ancak, hava transferinin kaplamadaki süreksizliklerden kaynaklanan kaçaklara karşı aşırı hassas olduğunu göstermiştir. Ayrıca, kaplamadaki su dengesinde sadece mevsimsel değil aynı zamanda mekânsal değişimlerinde etkili olduğu görülmüştür.

Avrupa'daki başarılı uygulamalara bir örnek de Ranstad (İsveç)'daki uranyum zenginleştirme artıklarının (25ha, 1milyon m<sup>3</sup> artık) rehabilitasyonu gösterilmektedir (Sundblad, 2003). Düşük geçirgenlikli kaplama yaklaşımı uygulanarak hem oksijen hem de su girişinde azalma hedeflenmiştir. Moraine'den oluşan geçirimsiz tabaka ( $k < 5 \times 10^{-9}$  m/sn) üzerine kireç taşından drenaj tabakası oluşturulmuş ve en son bitkisel toprak ile üzeri kapatılmıştır. 1992'de tamamlanan kaplamanın 10 yıl sonrasında planlandığı şekli ile çalıştığı belirtilmektedir.

Rehabilitasyon alanına yakın çevrede uygun malzeme bulunmaması durumunda, malzeme temini yüksek maliyetli taşıma veya proses gerektirmektedir. Birçok durumda, yakınlardaki endüstrilerden temin edilen alternatif malzemeler kullanılarak maliyet düşürülebilmektedir. Kağıt proses çamuru ve uçucu kül malzemelerinin kaplama inşasında kullanıldığı İsveç Falun Galgberget'teki atık göletinin rehabilitasyonu

literatüre giren ilk örnekler arasında yer almaktadır.

Kanada Quebec'de Eustic (Cabral vd, 1997) ve Ascot (Chtaini, 2001) alanında kağıt geri kazanım tesisi (deinking) çamurunun düşük geçirgenlikli bariyer olarak kullanımına dair arazi ölçeğinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Cabral vd. (1997) kısmen okside olmuş atıkların üzeri 1,2m'lik sıkıştırılmış deinking çamuru ve sonrasında 0,3m'lik kompost-deinking çamurundan oluşan bitkisel örtü ile kaplanmıştır. Kaplama öncesi üst 0,3m'lik okside olmuş atıklar pH'nın yükseltilmesi için alkali çamur ile karıştırılmıştır. Kullanılan deinking çamurunun oldukça yüksek su içerdiği (%160-185), %38-50 kaolin kili ve organiklerden oluştuğu belirtilmektedir. Laboratuarda sıkıştırılmış örnekler üzerinde yapılan ölçümlerde geçirgenliğin  $5 \times 10^{-10}$  -  $2 \times 10^{-9}$  m/s olduğu ve 45 kPa hava giriş değerinde uygun su tutma karakteristiği gösterdiği belirtilmektedir. Ayrıca, çamurun ince tasnifli toprağın tersine geniş bir su içeriği aralığında sıkışabildiği ve hala düşük geçirgenlik özelliği gösterdiği ifade edilmektedir. İzleme sonuçları kaplamadaki oksijen içeriğinin 0,5m derinlikte tespit sınırının altında olduğunu dolayısıyla kaplamanın mükemmel bir oksijen bariyeri olduğunu göstermiştir. Kaplamadaki sıcaklık profilindeki artış da organiklerin bozunmasına işaret olup oksijen tüketimi ile kaplamanın oksijen difüzyon bariyeri etkisinin güçlendirildiğine işaret gösterilmektedir.

### **Evapotranspirasyon (Buharlaşma-Terleme) Toprak Örtü Kaplamalar:**

Yıllık yağışın düşük (<300mm/yıl) ve potansiyel buharlaşmanın yüksek olduğu (700 mm/yıl) kurak ve yarı kurak iklimlerde Evapotranspirasyon (ET) kaplamalar kullanılmaktadır (O'Kane vd. 2000; O'Kane ve Wels, 2003; EPA 2003; Peng ve Jiang, 2009; INAP, 2009). Bu tip kaplamalar sakla - bırak kaplamalar olarak da bilinmektedir. Düzenlenmiş bitki örtüsü içeren bu tip kaplama sistemleri toprağın suyu, bitki örtüsü tarafından serbest bırakması (terleme) veya toprak yüzeyinden buharlaşma oluncaya kadar tutması özelliğine dayanır. Kuru sezonda nemini bırakan ve yağ sezonda su tutma kapasitesine sahip bu kaplamalarda bitki örtüsü önemli olup ET kaplama sistemleri bir veya daha fazla bitkilendirilmiş toprak tabaka içerirler. ET kaplamalarda amaç atık içine su sızıntısının azaltılması olup bu

durum düşük geçirgenlik özelliğinden daha çok toprağın su depolama kapasitesi özelliğine dayanır. Dolayısıyla ET kaplama tasarımı alanın hidrolojik şartlarına (toprağın su tutma kapasitesi, yağış, buharlaşma, yüzey akışı gibi) göre yapılır. Yüksek su tutma kapasitesi ve buharlaşma-terleme özelliği, düşük süzüntü suyu anlamına gelmektedir.

Üç tip ET kaplamadan bahsedilmektedir; monolitik ET kaplama, kapiler bariyer ET kaplama, anizotropik ET kaplama (Dwyer,2001). ET kaplama konsepti Mt. Whaleback (Newman Batı Avustralya) alanında atık kaya yığını alanının kapatılmasında araştırılmıştır (O'Kane vd., 2000). Burada hem yatay hem de eğimli atık kaya yığınları kaplanarak performansları incelenmiştir. Maliyeti azaltmak için uygun maden atık malzemesi kaplama inşasında kullanılmıştır. ET kaplamanın amacı atık kaya malzemesi içine su girişini önleyerek asit kaya drenajını kontrol altına almak olarak ifade edilmektedir. İki yıl sonra alınan arazi verileri ET kaplamalarında anahtar performans parametresi olan süzüntü suyunda azalma olduğunu göstermiştir. Ayrıca arazide alınan sonuçların Mt. Whaleback alanında asit kaya drenajının kontrolü için atık kaya malzemesinin ET kaplama sisteminde kullanımının uygun olduğunu göstermiştir. Eğimli yüzeylerde kaplama sistemi performansının yatay alanlara göre önemli derecede azaldığı belirtilmektedir.

#### 4.SU ÖRTÜ KAPLAMALAR

Su örtü kaplama veya "yaş kaplama" suyun oksijen difüzyon bariyeri olarak kullanıldığı bir örtü kaplama sistemidir ve asit oluşturma potansiyeli bulunan atıkların reklamasyonu için tercih edilen bir yöntemdir. Şöyle ki, oksijenin sudaki difüzyonu ( $2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ) ve çözünürlüğü ( $25^\circ\text{C}$ ' de  $8,6 \text{ g}/\text{m}^3$ ) havadaki ile karşılaştırıldığında ( $1,78 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ve  $285 \text{ g}/\text{m}^3$ ) çok daha düşüktür (BREF; 2004; MiMi 1998). Dolayısıyla su örtü ile kaplanan atıklarda sülfid oksidasyonu önlenmektedir. Su örtü kaplama sistemlerinde su derinliğinin atık yüzeyinde çözülmüş oksijen miktarını yeterince azaltacak seviyede olması (en az 2-3m) gerekmektedir. Ancak insan yapımı göller ve yerinde su bastırılan havuzlar, inşa boyutunu küçültmek için genelde sığ ( $< 2 \text{ m}$ ) olabilmektedir.

Reaktif atıkların su altında güvenli depolanması için gerekli su derinliği, su dengesi ve rüzgar koşullarına göre belirlenir; Su dengesindeki değişim hızına bağlı olarak, kuru sezonda gerçekleşen buharlaşma ve de set kaçakları, ayrıca, dalga hareketi ve bunla beraber atığı oluşturan malzemenin tane boyutu hesaba katılır (MiMi, 1998). Dalga hareketi ve tane boyu, sediman yüzeyinde kesme kuvveti veya erozyon hızını aşmayacak değerde olmalıdır. Su örtü kaplama için genel bir tasarım klavuzu MEND tarafından geliştirmiş ve hazırlamıştır (MEND 2.11.9). Bu klavuz su örtü kaplama sisteminin nerde ve nasıl kullanılacağına dair temel kılavuz ve talimatları ana hatları ile vermektedir.

MEND programı çerçevesinde yapılan hem laboratuvar hem de arazi çalışmaları su örtü sistemlerinin jeokimyasal anlamda gerçekte %100 etkili olduğunu göstermiştir (Tailsafe, 2004).

Ancak, su ile kaplama aşağıdaki durumlarda uygun değildir (Wels vd., 2000);

- 1- su ile kaplama çok fazla miktarda kirletilmiş sızıntı su oluşumuna yol açarsa,
- 2- yapılan set duraylı kalamıyacak ve/veya ekonomik olarak duraylı hale getirilemeyecekse,
- 3- oluşturulan su göletinde su dengesi sürekli sağlanamayacaksa.

Yukarıdaki durumların birisinin olması durumunda, toprak örtü kaplamalar atıkların reklamasyonunda uygun yöntem olarak seçilir. Herhangi bir atık alanında su örtü kaplama yapabilmek için aşağıdaki şartların oluşması gerekmektedir (BREF 2004). Bunlar;

- sürekli minimum su derinliğini sağlayacak şekilde bir pozitif su dengesi,
- uzun süreli fiziksel duraylılığa sahip barajlar,
- olağandışı durumlarda bile yeterli boşatma kapasitesine sahip uzun dönem duraylı çıkış,
- dalga hareketi ile atıkların tekrar süspansiyon haline geçmesini önleyecek şekilde gölette yeterli su derinliği ve
- su içinde dağılan atıklardır.

Ayrıca, gölet içine ulaşan bir doğal akış varsa flora ve fauna için organik malzeme sağlayacağından

nihai kapatmada avantaj oluşturacaktır. Bu durum zamanla oluşacak sedimanın ilave difüzyon bariyeri etkisi oluşturması nedeniyle su örtü kaplamasının performansını artıracaktır.

Su örtü sistemleri atıkların su altında sürekli depolanması sistemi olabileceği gibi Elliot Lake uranyum madeninde olduğu gibi kapama sonrası su bastırma şeklinde de kullanılmaktadır.

Kanada'da faaliyet sonrası atıkların su ile bastırılmasına önemli referans örnekler mevcuttur. Elliot Lake uranyum maden bölgesinde pirit içeren birçok artık barajı su bastırma yöntemi ile kapatılmış ve yapay göller oluşturulmuştur (Ludgate vd., 2003). Proje, Eliot Lake'de kurulan CanMet araştırma merkezi tarafından dikkatlice izlenmektedir. Asit drenajını kontrol etmek için, % 5-10 oranında pirit içeren ve alkali içeriği düşük olan aktif ve yeni tüm atık alanları, sığ olmayacak (en az 1m) ve su altında bırakılmasını sağlayacak şekilde revize edilmiş ve sağlamlaştırılmış, bazı durumlarda su kaçaklarını önlemek ve en az 1m su derinliği sağlayacak şekilde yeniden inşa edilmiştir. Bu bölgedeki su kaplamalarının tasarlandığı gibi çalışmakta olduğu ve asit oluşumunun çok düşük seviyelerde kaldığı belirtilmektedir. Su örtü kaplama sisteminde ve atık su arıtma tesisinde su kalitesini sağlamak için kullanılan yıllık kireç taşı miktarı dikkate alındığında daha önceki duruma göre asit oluşum hızının çok azaldığı belirtilmektedir. Ayrıca, su örtü ile kaplanan Denison atık barajının birçok hayvan ve bitkinin istilası ile üretken bir sulak alan haline dönüştüğü belirtilmektedir.

Avrupa'daki su örtü kaplama sistemlerine İsveç'teki Kristineberg ve Stekenjook uygulamaları örnek gösterilmektedir. 1988 yılında kapatılan Stekenjook madeni atık göletinde su örtü kaplama konsepti uygulanmış ve bu uygulama sülfürlü artık içeren atık göletlerinin kapatılmasında öncü alan olarak gösterilmektedir. Elde edilen sonuçların tatminkâr olduğu ve bu uygulamanın atık göletleri için referans olduğu belirtilmektedir (Ericson vd., 2002). İlk 8 yıllık izleme sonuçlarında su örtü kaplamasının sülfid oksidasyonunu etkin bir şekilde önlediği ve elde edilen sonuçların kapatma projesi hedeflerinin de üstünde olduğu belirtilmektedir.

Kristeneberg'de 4 göletin su örtü kaplama sistemi ile kapatılması çalışmalarının MiMi araştırma

projesi çerçevesinde dikkatlice takip edildiği belirtilmektedir (BREF, 2004)

Maden atıkların sürekli su altında depolanmasına ise İsveç'teki Grangesberg madeni Avrupa'daki ilk örnek olarak gösterilmektedir. Bazı durumlarda ise okyanuslara sürekli su altı depolanması yapılmaktadır (Norveç-Titania ve Greenland-Greenex) (MiMi 1998)

Doğal göllerin su altı depolama yöntemi olarak uzun süreli kullanılması ile de ilave bilgiler kazanılmıştır. 1943-1945 yılları arasında Mandy gölünde artıkların depolanmasının 46 yıl sonra göl tabanında kimyasal reaksiyona dair çok az veya hiç delil olmadığı rapor edilmektedir (Fraser ve Robertson, 1994). Benzer sonuçların Buttle gölü (Vancouver Adası) içinde olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (BREF 2004). Ancak, sülfürlü artıkların su altında depolanmasına yönelik yapılan diğer bazı çalışmalar, sülfid oksidasyonunu önlemede su altı depolamanın çok da etkin olmadığını işaret etmektedir (ör. Lappakko, 1994).

Asit üreten artıkların doğal göllerde depolanması bir çok avantaj sunmaktadır; göllerin duraylı göletler olması, su gelirin garantisi olması, su örtü kaplama için yeterli derinlik ve kapasite sağlanması ve düşük maliyetler gibi (Robertson, 1987). İnsan yapımı sistemlerde sürekli su altı depolamanın dezavantajları nihai yükseklikte hazırlık bent inşası ve pahalı boru hattı düzenlemesi nedeniyle nispeten yüksek başlangıç maliyetidir. Ancak nihai kapatma maliyeti düşüktür. Sonradan su bastırma işlemi için ise nihai kapatma maliyetleri yüksektir. Ayrıca işletme sırasında da, uygun olmayan hava koşullarında toza sebep olacak olan sahil ve ilaveten gölet suyunda metal ve sülfat derişiminin yükselmesine yol açacak sahildeki malzemenin bozunması gibi dezavantajları da mevcuttur (MiMi 1998).

Artıkların su içinde muhafazası fikri, hala önemli maliyete sahip yer altı ve yüzey sularının sürekli izlenmesini gerektirecektir.

## **5. MADEN ATIKLARI YÖNETİMİNE DAİR TÜRKİYE'DEKİ MEVZUAT VE UYGULAMALARI**

Avrupa Birliğinde olduğu gibi ülkemizde



de maden atıkları özel atıklar kapsamında değerlendirilmiş, bu atıklarının yönetimine dair yönetmeliğin Çevre ve Orman Bakanlığı ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca müştereken çıkarılması öngörülmüştür. Mevzuatımızda, halen hazırda, maden atıklarının yönetimine dair ayrı bir yönetmeliğin henüz yürürlükte olmadığı görülmektedir. Ancak, AB Maden Atık yönetimi yönergesinin Ulusal Mevzuata aktarım çalışmaları ilgili Bakanlıklarca müştereken başlatılmış ve çalışmaları devam etmektedir (Mining Waste Management- CRIS Number:TR080205).

Halen hazırdaki mevzuat incelendiğinde, 5995 sayılı kanunla değişik 3213 sayılı Maden Kanununun, madenlerin aranması, işletilmesi, üzerinde hak sahibi olunması konularının yanı sıra madenlerin terk edilmesi ile ilgili esas ve usulleri düzenlemeyi amaçladığı görülmektedir. Ancak, Tanımlar bölümünde "maden atıkları" tanımlanmamış; pasa tanımına yer verilirken, pasa döküm alanı ve atık barajı geçici yapı ve binaları kapsamında alt yapı tesisi olarak tanımlanmıştır. Kanunun diğer maddelerine bakıldığında cevher zenginleştirme artıklarının bakiye yığını olarak ifade edildiği görülmektedir. Kanunun 36. maddesinde maden atıklarının muhafazasına yönelik usul ve esaslar tarif edilmiştir Ancak burada konuya teşkil maden atıkları, çevre kirliliği açısından mahzur teşkil etmeyen atıklardır. Bunlar; ekonomik değer ihtiva eden ancak günün şartlarında teknik veya ekonomik değerlendirmesi mümkün olmayan maden atıklarıdır. Ekonomik değer ihtiva eden bu atıkların faaliyet sonrasında işletmeci tarafından nakledilmesi ya da valilik tarafından geliri özel idareye aktarılacak üzere ihale edilmesi söz konusudur ve bu süre zarfında muhafazasına yönelik sadece ayrı depolanması gerektiği belirtilmektedir. Ekonomik değeri olmayan ve çevre açısından risk oluşturmayan atıkların muhafazasına yönelik bir bilgi yer almamakta, 32nci madde hükümleri gereğince ruhsatın hükümden düşmesi durumunda gerekli emniyet tedbirlerinin alınarak çevreye uyumlu hale getirilmesi istenmektedir. Ancak, Kanunda, ekonomik değeri olan/olmayan ve çevre açısından risk oluşturan atıkların muhafazasına ilişkin usul ve esaslarla ilgili bir bilgiye yer verilmemiştir.

Ruhsatın hükümden düşmesi ve alınacak tedbirler bölümünde, faaliyet alanının nasıl terk edileceği tanımlanmaktadır. Maden atık alanları

ayrıca belirtilmemekle beraber faaliyet alanı kapsamında değerlendirildiği düşünülürse, işletme sahibi, maden atık alanlarını da gerekli emniyet tedbirlerini alarak işletme projesi doğrultusunda çevreye uyumlu hale getirmekle yükümlü olacaktır. İlgili Kanunun Uygulama Yönetmeliğinde (6.11.2010 tarihli 27751 sayılı Resmi Gazete), Çevre ile Uyumlu Hale Getirme, Madencilik faaliyetinde bulunan alanın faaliyet süresince ve sonrasında projesine uygun olarak, çevre emniyetinin sağlanarak arazinin islah edilmesi ve doğaya yeniden kazandırılması faaliyetleri olarak tanımlanmaktadır. İlgili yönetmelikte "madencilik faaliyetleri" tanımında "atıkların bertarafı ve bu faaliyete yönelik tesislerin yapılması" da yer almaktadır (madde 4, hh fıkrası).

Faaliyet sahibinden İşletme Projesi ile birlikte istenen Çevre ile Uyum Planı (Ek-10, Bölüm V) faaliyet öncesi mevcut durum ve faaliyet sahasının yeniden düzenlenmesi konularını içermektedir. Fiziksel duraylılık ve alan kullanımının yanı sıra kimyasal duraylılık konularına da (i, j, k ve m fıkraları) yer verilmiştir.

Alanın terki, ruhsat sahibinin gerekli belgelerle birlikte Maden İşleri Genel Müdürlüğüne terk talebinde bulunması ve Müdürlükçe uygun bulunması durumunda gerçekleşmektedir. Alanın terkinde esas, Çevre ile Uyum Planı çerçevesinde gerekli güvenlik ve çevresel önlemlerin alınmasıdır. Aksi durumda tedbir alınana kadar sorumluluk ruhsat sahibinin olması şartıyla, valiliğe bildirim yapılacağı, çevre ile uyum çalışması için gerekli tedbirlerin çevreye uyum planına uygun olarak orman arazilerinde ilgili Orman İdaresi, diğer alanlarda İl Özel İdareleri tarafından yerine getirileceği, masrafların ruhsat ve çevre ile uyum teminatından karşılanacağı, teminatların yeterli olmaması durumunda çevre ile uyum planı çerçevesinde eksik kalan masrafların 6183 sayılı Kanuna göre ruhsat sahiplerinden tahsil edileceği belirtilmektedir. İlgili yönetmeliğe göre çevre ile uyum teminatı ruhsat bazında alınacak olup, özel kanunlarında belirtilen hükümler hariç, yıllık işletme ruhsat harç bedeli kadardır ( madde 35).

Terk işleminde Çevre ile Uyum Planının gerekli güvenlik ve çevresel önlemler içermesi gerektiği anlaşılmaktadır. Maden atık alanlarının terkinde fiziksel ve kimyasal duraylılığın sağlanması konusu çevre emniyetinin sağlanması altında



düşünülebilmekle birlikte bunların nasıl sağlanacağına dair bir detay içermemektedir. Örneğin, bu yazıya da konu teşkil eden AMD oluşturma potansiyeline sahip maden atık alanlarının kimyasal duraylılığının sağlanarak kapatılmasında kaplama sistemlerine (üst örtü tabakası) yönelik bir tarif yapılmamıştır.

Çevre ve Orman Bakanlığının Atıklarla ilgili mevzuatı incelendiğinde, "Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (05.07.2008 tarihli, 26927 sayılı Resmi Gazete)" "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (26.03.2010 tarihli 27533 sayılı Resmi Gazete)" "Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (RG-4/9/2009-27339 ve RG 30/3/2010-27537 ile değişik 14.03.2005 tarihli ve 25755 sayılı Resmi Gazete)" ve "Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği (23.01.2010 Tarihli ve 27471 sayılı Resmi Gazete)" nin maden atıkları yönetimi konusunu içerdiği görülmektedir.

Atıkların oluşumlarından bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetimlerinin sağlanmasına yönelik genel esasları belirleyen "Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik"de "Taş ocağı faaliyetleri ile mineral kaynakların aranması, çıkarılması, işlenmesi ve depolanması sonucu oluşan atıklar" kapsam dışında bırakılmıştır. Yönetmeliğin içerik bakımından da maden atıklarının yönetimi ve alanların terkine yönelik usulleri içermediği görülmektedir. Benzer şekilde, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği"nde de maden atıkları özel atık olarak tanımlanmış ve kapsam dışı tutulmuştur (Madde 48).

Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelikte verilen atık listesi 01 bölümünde maden atıklarına yer verilmiştir (Ek-IV). Bu listede verilen atıkların hangi durumda tehlikeli kabul edileceği (Ek-III A) tarif edilmiştir. Listedeki A işaretli maden atıkları tehlikeli kabul edilirken, M işaretli olanlar için tehlikeli atık eşik konsantrasyonları Ek-II B'de verilmiştir.

"Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik" atıkların düzenli depolama yöntemi ile bertarafı sürecine ilişkin depo tesisi inşa, atık kabulü, depo tesisi işletilmesi, kapatılması, kontrol ve bakım süreçleri, ıslahı, kapatılması ve kapatma sonrası bakım süreçlerine ilişkin teknik ve idari hususları belirlemektedir.

Yönetmelik, depolama tesisi sınıfına göre (I. II. ve III. Sınıf sırasıyla, tehlikeli, tehlikesiz ve inert atık depolama tesisi)) depo taban teşkilini tanımladığı gibi, depolama işlemi tamamen bittikten sonra, deponun üst örtüsünün nasıl yapılacağını da tanımlamaktadır. Atığın temel özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması için kullanılacak test yöntemleri Yönetmeliğin Ek-1 bölümünde verilmiştir. Maden atıklarının depolama kriterlerinin belirlenmesinde kısa süreli liç testi (TS EN 12457-4) kullanılmaktadır. Eluat derişimine göre atıkların tehlikeli, tehlikesiz ve inert atık olarak sınıflandırılması ve sınıfına uygun düzenli depolama sahasında depolanması gerekmektedir. Ancak bazı sınır değerlerin aşılması durumunda, Bakanlık depolama tesisi ve çevresinin özelliklerini dikkate alarak emisyonların tesise ilave bir yük getirmediği işletmeci tarafından belgelenmesi halinde yönetmelikte belirtilen oranlarda sınır değer artırım yetkisine sahiptir. Bu yönetmelikte, inert maden atıklarının depolanması kapsam dışında bırakılmış, yasal mevzuatta boşluk olmaması gerekçesiyle 27 Ağustos 2010 tarihinde çıkarılan Genelge ile inert maden atıklarının alan ıslahı, restorasyon, dolgu maksadıyla kullanımı veya Depolanmasına ilişkin genelge ile düzenlenmiştir.

Düzenli depolama alanlarında üst örtü teşkiline ilişkin hususlar Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelikte tarif edilmiştir. Buna göre, tüm depolama tesis sınıfları için depolama alanında üst örtü teşkil edilmeden önce atık kütesinin kayma ve çökme riskine karşı yeterince oturduğunun tespitinin yapıldıktan sonra alanın normal kazı toprağı ile tesviyesi yapılır. Depo üst örtü sistemi en az 25cm kalınlığında iki tabaka halinde mineral geçirimsizlik tabakası ve en az 50cm kalınlığında geçirgenliği en az  $K \geq 1.0 \times 10^{-4}$  m/s olan drenaj tabakası ve nihayetinde bitki yetişmesi için en az 50cm üst örtü toprağı olacak şekilde oluşturulur. Tehlikeli atık sınıfına giren atıkların (I. sınıf atık tesisi) depo üst örtü teşkilinde yapay geçirimsizlik kaplamasının uygulanması mecburidir. Yönetmelikte mineral geçirimsizlik tabakasının geçirgenliği ile ilgili bir sayısal değer verilmemiştir. Ancak tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliğinde verilen "örnek depo üst örtüsü sızdırmazlık sistemi" ne bakıldığında tehlikeli atıklar için bu tabakanın geçirimliliğinin  $1 \times 10^{-9}$  m/s 'den küçük olması gerektiği görülmektedir. Çevre ve Orman Bakanlığınca lisans verilen Düzenli Depolama Tesislerinin Kapatılması

lisansla belirtilen koşulların sağlandığından emin olduğunda Çevre ve Orman Bakanlığının onayı ile gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, işletmeci kapatma sonrası lisansla belirtilen süre boyunca sahanın izlenmesi bakımı ve kontrolünden, oluşan sızıntı suyunun analizinden ve saha çevresindeki yer altı suyu rejiminin ve kalitesinin izlenmesinden sorumlu tutulmaktadır.

Ancak, düzenli depolama yönetmeliği öncelikli olarak atıkların normal depo alanlarında depolanmasını düzenlemek üzere uygulanan bir yönetmeliktir. Atık baraj/gölet yönetimi, pası yığınları yönetimi ile ilgili tüm konular bu yönetmelik içerisinde dikkate alınmamıştır. Ayrıca, atık listesinde tehlikeli olarak tanımlanan AMD oluşum potansiyeline sahip maden atığının (01 03 04), düzenli depolama yönetmeliğinde belirtilen özütlenme testine (TS EN 12457-4) göre inert veya tehlikesiz atık olarak nitelendirilmesi söz konusu olabilmektedir. Sülfidli mineral içeren maden atıklarının asit oluşturma potansiyelinin belirlenmesine yönelik test/standard mevcut olmayıp uygulamadaki özütlenme testi bu amaca cevap vermemektedir.

Çevre ve Orman Bakanlığınca çıkarılan "Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya yeniden Kazandırılması Yönetmeliği"nde (madde7 fıkra b) Madencilik faaliyetleri esnasında ve sonucunda ortaya çıkan atıkların depolandığı alanlarda gerekli düzenleme yapılarak duraylılığın sağlanacağı, bu depolama alanlarında doğaya yeniden kazandırma çalışmalarının, doğal ya da gerekli tıraşlama veya dolgu ile şekillendirilmiş ortam ve malzeme üzerinde yapılacağı belirtilmektedir (orman sayılan alanlar, tarım ve mera alanlarında yapılan madencilik faaliyetleri için ayrıca düzenleme yapılmıştır). Doğaya yeniden kazandırma projesi Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) sürecince değerlendirilip, sonuçlandırılmaktadır. Doğaya yeniden kazandırma formatı ÇED Yönetmeliği Ek-1 ve Ek-2 listesinde yer alan faaliyetler için ayrı olarak yönetmeliğin eklerinde verilmiştir. Doğaya yeniden kazandırma çalışmaları, ilgili İl Çevre Orman Müdürlüğünün değerlendirmesi sonucunda kesinlik kazanır. İşin sorumlu kişi tarafından yapılmaması durumunda, masrafları işletmeci tarafından karşılanmak üzere, mevcut arazi kullanım durumu kapsamında ilgili mevzuata göre ilgili kuruluşlarca yerine getirileceği belirtilmektedir. Doğaya yeniden kazandırma çalışmaları, doğal yapının yeniden

düzenlenmesi, doğal dengenin kurulması, alanın yeniden insanların ya da diğer canlıların güvenle yararlanabileceği hale getirilmesi esasına dayanmaktadır.

## 6. SONUÇLAR

Maden atıklarının özellikle de AMD oluşturma potansiyeline sahip atıkların uygun şekilde bertarafı madencilik faaliyetlerinin sürdürülebilirliği anlamında en önemli konulardan birini oluşturmaktadır. Global ölçekteki örnekler gerekli tedbir ve önlemler alınmadığında bu tür atıkların çevre ve insan sağlığı açısından tehdit oluşturabildiğini göstermektedir. Ancak, teknolojik ve bilimsel temelde maden atıklarının doğru yönetiminin mümkün olduğu unutulmamalıdır.

Madencilik faaliyetleri sonrasında geride bırakılan maden atık alanlarının proje başlangıcında çevre performans kriterlerini sağlayabilecek şekilde ve kapatılmak üzere dizayn edilmesi gerekmektedir. Maden atık alanları için hazırlanacak kapatma planı tasarımında, atık ve alan karakterizasyonu temel iki kriter olup, alan kullanımı planında da sosyo-ekonomik şartlar ve yerel hassasiyet ve fırsatların dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Standartlar ülkelere göre değişiklik göstermekle birlikte, fiziksel duraylılık, kimyasal duraylılık ve alan kullanımı konularının maden atık alanları kapatma teknolojilerinin temelini oluşturduğu görülmektedir.

Gerek hacmi gerekse kendine has özelliğinden dolayı maden atıklarının ülkemizde de ayrı bir yönetmelik çerçevesinde yönetilmesi bir zorunluluktur. Maden atıkları yönetimi konusunda halen hazırda bir yönetmelik olmayıp, Çevre ve Orman Bakanlığının atıklarla ilgili diğer yönetmelikleri içerisinde değerlendirildiği, maden atıklarının muhafazası, alanın terki Maden Kanunu ve Uygulama Yönetmeliği gereği Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının yetki alanına da girdiği görülmektedir. Her iki Bakanlık arasında yetki paylaşımı olmayıp, bazı konularda iki bakanlığında kontrol, denetim ve onayı aranmaktadır. Ayrıca, maden atıkları yönetimine dair tüm teknik konuların ve uygulamalarının mevzuatımızda yeterince açık olmadığı anlaşılmaktadır. Çıkarılacak yönetmeliğin maden atık yönetimi ile ilgili tüm teknik ve idari konuları netleştirilmesi beklenmektedir.

## KAYNAKLAR

Aachib M., Aubertin M., Chapuis R.P., 1994; Column test investigation of milling wastes properties used to build cover systems. International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and the third International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, Pittsburgh.

Bussiere B., Aurore S., Aubertin M and Chapuis R.P., 2003; Water Diversion capacity of inclined capillary barriers, Canadian geotechnical Conference, Winnipeg.

Bussiere B., Nicholson R.V., Aubertin M., Servant S., 1997; Effectiveness of covers built with desulphurized tailings: column test investigation. Fourth International Conference on Acid Rock drainage, Vancouver, B.C. Canada, May 31-June 6.

Cabral, A.; I. Racine; F. Burnotte; G. Lefebvre, 2000. Diffusion of oxygen through a pulp and paper residue barrier. Canadian Geotechnical Journal, **37(1)**, 201-217.

Cabral A., Lefebvre G., Burnotte F., Proulx M-F., Audet C., Labbe M., Michaud C., 1997; Use of deinking residues as cover material in the prevention of AMD generation at an abandoned mine site. Fourth International Conference on Acid Rock Drainage, Vancouver, B.C. Canada, May 31-June 6.

Chtaini A., Bllaloui A. Ballivy G. ve Narasiah S., 2001; Field investigations of controlling acid mine drainage using alkaline paper mill waste, water, Air and Soil Pollution, **125**, 357-374.

Dwyer Sf, 2001; Finding a better cover. Civil Engineering, **71(1)**, 58-63.

Elliott LCM, Liu L, Stogran S.W., 1997; Organic cover material for tailings: Do they meet the requirements of an effective long term cover? Proc, 4th International Conf on Acid Rock Drainage, Vancouver, Canada, 811-824.

Eriksson N., Lindvall M. ve Sandberg M., 2002; A quantitative evaluation of the effectiveness of the water cover at the Stekenjokk tailings pond in Northern Sweden: Eight years of follow-up. United States Environmental Protection Agency, EPA, Evapotranspiration Landfill Cover Systems

Fact Sheet. EPA 542-f-03-015 September 2003. www.epa.gov.tr

Fraser, W.W. and Robertson, J.D., 1994; Subaqueous disposal of reactive mine waste: An overview and update of case studies-MEND/CANADA. In: Proc. International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and the third International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, Pittsburgh. April, vol.1 USBM SP 06A-94, 250-259.

Germain, D., 2000; A novel treatment for acid mine drainage, using a wood-waste cover preventing sulfide oxidation. Fifth International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD), 21-24 May 2000, Denver, Colorado 1, 987-997. Germain D., Tasse N, Cyr J., 2003; Treatment of acid mine effluents using a wood-waste cover. Sudbury 2003 Mining and the Environment Conference.

Hallberg R.O, Granhagen J.R. Lijemek A. 2005; A fly ash/biosludge dry cover for the mitigation of AMD at the Falun Mine. Chemie der Erde-geochemistry, **65 (1)**, 43-63.

Herbert R., 1992; Evaluating the effectiveness of a mine tailing cover, Nordic Hydrology, **23**, 193-208.

Kowalewski, P.E., 1999; Design and Evaluation of Engineered soil covers for infiltration control in heap leach closure. Closure, Remediation and management of precious metals heap leach facilities. Ed. D. Kosich and G. Miller.

Lapakko K.A., 1994; Subaqueous disposal of mine waste: laboratory investigation. Bureau of mines special publications, SP 06-a-94, 270-278.

Lindvall M., Eriksson N., ve Jönsson H., 1997. Design of decommissioning plans at Boliden Mineral's Aitik Mine. Fourth International Conference on Acid Rock drainage, Vancouver. Lindvall M., Lindahl L.A. ve Eriksson N., 1997a; The reclamation project at the Saxberget mine, Sweden. Fourth International Conference on Acid Rock drainage, Vancouver B.C., 31-May-6 Jun, 1389-1400.

Lindvall M., Eriksson N and Ljungberg J., 1999; Decommissioning at Kristineberg Mine, Sweden,

in proceedings of Sudbury'99. Mining and the Environment II, vol. 3 s. 855-861.

Ludgate, I., Coggan A. ve Dave n.K., 2003; Performance of shallow water covers on pyritic uranium tailings. In proceedings sixth International Conference on Acid Rock Drainage, 2003, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Carlton Victoria, 287-296.

MEND 1994: Evaluation of alternate dry covers for the inhibition of acid mine drainage from tailings. MEND (Mine Environment Neutral Drainage Program) Project 2.20.1.

MEND 1998. Design guide for the subaqueous disposal of reactive tailings in constructed impoundments. Report 2.11.9.

MEND 2001. Mine environment neutral drainage (MEND) manual, Vol. 4: Prevention and Control, MEND 5.4.2d, *Canada Centre for Mineral and Energy Technology(CANMET)*, Canada.

Mbonimpa M., Hamdi J., Masoud A., Bussierre B. and Aubertin M., 2008; Oxygen monitoring in a cover with capillary barrier effects, *GeoEdmonton*, 831-838.

Mineral Industry Research organization,MIRO, 1999; A technical framework for mine closure planning, technical Review Series No 20, Staffordshire, England.

MiMi, 1998; Prevention and control of pollution from mining waste products, state-of-the-art-report, MiMi 1998:2.

Nicholson, R.V., Gillham, R.W., Cherry, J.A., and Reardon, E.J. 1989; Reduction of acid generation in mine tailings through the use of moisture-retaining layers as oxygen barriers. *Canadian Geotechnical Journal*, **26**: 1-8.

Nicholson, R.V., Akindunni F.F., Sydor R.C., Gillham, R.W.,1991; Saturated tailings covers above the water table: the physics and criteria for design. Proceedings. Second International conference on the abatement of acid drainage, Montreal.

O'Kane M. ve Wels C., 2003; Mine waste cover system design-Linking predicted performance to groundwater and surface water impacts in 6th

ICARD, 341-349.

O'Kane, M., Porterfield, D., Weir, A. and Watkins. A.L. 2000; Cover System Performance in a Semi-Arid Climate on Horizontal and Sloped Waste Rock Surfaces. Proceedings of the 6th International Conference on Tailings and Mine Waste '99, Fort Collins, CO, USA. 24 to 27 January. , 1309-1318.

Paul M., 2009; Uranium Mine Closure and environmental remediation, Workshop on Environmental Remediation, 23-27 November 2009, Pocinhos do Rio verde, Brazil.

Peng S. and Jiang H., 2009; A review on soil cover in waste and contaminant containment: design, monitoring, and modeling. *Front. Earth Sci. China*, **3(3)**,303-311.

Rasmuson A. ve Eriksson J-C., 1987; Capillary barriers in covers for mine tailings dumps. Swedish Environmental Protection Agency Report No 3307.

Rasmuson, A. ve J.C. Eriksson. 1986; Capillary barriers in covers for mine tailings. NationalSwedish Environmental Protection Board Report 3307. Stockholm, Sweden.

Reference document on Best available techniques for management of Tailings abd waste-Rock in Mining Activities (BREF, 2009). European Commission, DG, JRC, Institute for Prospective Technological Studies in Industry, Energy, and Transport, European IPPC Bureau, Seville.

Ricard, JF, Aubertin M., Firlotte R, Knapp R, McMullen J, 1997; Design and construction of a dry cover made of tailings for the closure of Les Terrains Auriferous site, Malartic, Quebec, Canada. In : Proceedings of the 4 th international conference on acid rock drainage (ICARD), Vancouver, Canada. 31 May-6 June. Vol.4, 1515-1530.

Robertson, A.M., 1987; Alternative acid mine drainage abatement measures. In proceedings of the 11<sup>th</sup> annual British Columbia Mine Reclamation Symposium in Campbell River, BC, 1987.

SRK (Steffen, Robertson and Kirsten) 1989;

Draft Acid Rock *Technical Guide*. BC AMD Task Force, Vol.1.

Sunblad, B., 2003; Ten years experience of multi-layer cover system for uranium mill tailings in Grandstand Sweden. In: Proceedings of Mining and the Environment III, Sudbury, Ontario, Canada, 25-28 May, 2003.

Tassé, N., Germain D., Dufour C. and Tremblay, R., 1997. Organic-waste cover over the east Sullivan mine tailings beyond the oxygen barrier. In Fourth International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD), 31 May-6 June 1997, Vancouver, BC, Canada.

Tasse N. ve Germain D., 2004. The east-Sullivan mine site: from abandonment to restoration. Geo Quebec 2004.

TAILSAFE 2004. Implementation and Improvement of closure and restoration plans for disused tailings facilities, a report of TAILSAFE. The International Network for Acid Prevention (INAP), 2003. Evaluation of the long-term performance of dry cover systems, Final report. O'kane Consultants Inc., (Eds). Report No. 684-02, March.

The International Network for Acid Prevention (INAP), 2009. Global Acid Rock Drainage Guide (GARDGuide) www.gardguide.com

UNEP/WHO 1998. Mine rehabilitation for environment and health protection- a trainer's manual, United Nations Environment Programme.

Yanful E.K., Bell A.V. and Woyshner M.R., 1993a. Design of a composite soil cover for an experimental waste rock pile near Newcastle, New Brunswick, Canada. Can. Geotech. J., 30, 578-587.

Yanful E.K., Riley M.D., Woyshner M.R. and Duncan J., 1993b. Construction and monitoring of a composite soil cover on an experimental waste rock pile near Newcastle, New Brunswick, Canada. Can. Geotech. J., 30, 588-599.

Yanful, E.K., B.C. Aube, M. Woyshner, and L.C. St-Arnaud. 1994. Field and laboratory performance of engineered covers on the Waite Amulet tailings. p. 138-147. In: International Land

Reclamation and Mine Drainage Conference, 24-29 April 1994, USDI, Bureau of Mines SP 06B-94, Pittsburgh, PA.

Yanful E.K, Simms P.H and Payent S, C. 1999. Soil covers for controlling acid generation: a laboratory evaluation of the physics and geochemistry. Water Air and Soil Pollution, **114**, 347-375.

Wels, C., Robertson, A. MacG, Jakubick, A.T. (2000). A review of dry cover placement on extremely weak, compressible tailings. CIM Bulletin, **93(1043)**, 111-118.

....2006/21/EC nolu Avrupa Parlemontosu ve Konseyi Direktifi- management of waste from extractive industries.

Maden Kanunu, 5995 sayılı kanunla değişik. 24.06. 2010 tarih ve 27621 sayılı Resmi Gazete.

Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliği, 06.11.2010 tarih ve 27751 sayılı Resmi Gazete. İnert Maden Atıklarının Alan Islahı, Restorasyon, Dolgu Maksudıyla Kullanımı veya Depolanmasına İlişkin Genelge (2010/13).

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete.

Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik, 05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı Resmi Gazete.

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı Resmi Gazete.

Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği. 23.01.2010 tarih ve 27471 sayılı Resmi Gazete.

Orman Kanununun 16 ncı maddesinin uygulama yönetmeliği, 30 Eylül 2010 tarih ve 27715 sayılı Resmi Gazete.