

Türkiye II). Kömür Kongresi liildihler Kituhu/Trmeeüings of the I (mı Coal Congress of Turkey

ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN KÖMÜR OCAKLARINDA DEPOLANMASI

STORAGE OF INDUSTRIAL WASTE IN COAL MINES

*Cengiz KUZU**

*Gündüz ÖKTEN** Senat SALTOĞLU****

ÖZET

Endüstriyel atıkların madencilik maliyetleri ile açılmış bulunan boşluklara veya ocaklarda sonradan bu amaçla açılan hacimlere depolanması, günümüz dünya madenciliğinde canlılığın korumakta olan bir konudur. Madencilik ve madencilik dışı atıklar yurdumuzda da ciddi depolama sorunları oluşturmaktadır. Bu çalışmada kömür ocaklarında (açık/yeraltı ocakları) depolama olanaktan ve konunun temel prensipleri, özellikle depolama yapılan hacimlerin yeraltı suyuna karşı yalıtılması konusu örnekleri ile incelenmektedir.

ABSTRACT

The storage of industrial waste in mine openings or cavities that are additionally excavated for storage in existing mines is currently a hot research subject in mining. In Turkey, also mining and non-mining wastes cause serious problems during storage. In this paper storage of wastes in coal mines (open pit and underground mining) and basic storing principles especially the construction of storage spaces and their sealing against underground water are reviewed in detail.

* Y. Doç. Dr. Maden Yük. Müh. LT.Ü Ma t o Fakülte» Maden Mühendisliği Bölümü
** Doç Dr. Maden Yük. Müh. 1.T.0 Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü
*** Prof. Dr. Maden Yuk. Müh. 1.T.Ü Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü

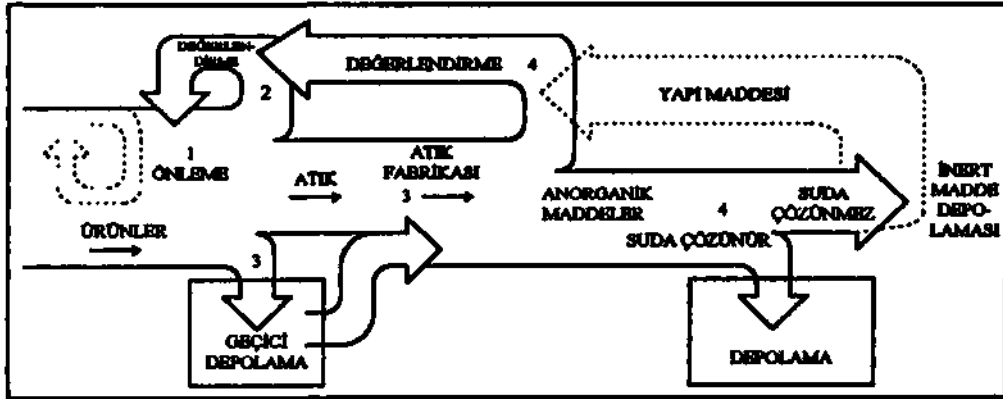
1. Giriş

Gönümüzde genel olarak, konutlar, küçük ölçekli işletmeler ve endüstri olmak üzere üç ana atık kaynağı söz konusudur. Bunlardan kaynaklanan atıklar, konut atıklarından radyoaktif atıklara kadar uzanan geniş bir yelpaze oluştururlar. Madencilik sektörü de kendine özgü atıklarla bu yelpazede yerini almaktadır. Madencilik sektörünün tipik atıldan, yerüstü ve yeraltı madenciliğinin ve bunlarla direkt bağlantılı olarak çalışan tesislerin atıldandır. Bunların arasında ocaktan çıkan taşlar, sular, termik santral külleri, cevher-kömür hazırlama tesisleri atıldan, vb. ilk akla gelenleridir. Bu atıkların doğaya gelişigüzel bir şekilde atılması, çevre için giderilmesi imkansız olan sonuçlar doğurmaktadır. Bu durum, özellikle son yıllarda gelişen çevre bilincinin etkisi ile kamuoyunda büyük tepkilere neden olmaktadır.

2. Atık ve Depolama Türleri

Atıklar, enerji eldesi veya çeşitli maddelerin üretilmesi, hazırlanması, yeniden şekillendirilmesi aşamalarında ortaya çıkan nesnelere dir. Bunlar, işletme tarafından çeşitli amaçlarla kullanılabilir gibi, sonradan değerlendirilmek üzere geçici olarak depolanabilir. Değerlendirme imkanı olmayan atıklar ise nihai depolamaya tabi tutulmaktadır. Ancak atık oluşumunu azaltmaya ve atıldan değerlendirmeye yönelik uygulamalar her zaman depolamaya göre tercih edilmelidir.

Bu kural madenciliğın arama, üretim ve zenginleştirme çalışmaları sırasında ortaya çıkan atıklar için de geçerlidir. Eğer atıkların başka amaçlarla kullanılması mümkün değilse, depolama zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Yine de atıldan ön işlemlere tabi tutarak, değerlendirilmesi mümkün olan kısımların ayrılması konusu gözardı edilmemelidir. Böylece depolanacak atık miktan azaltılabileceği gibi, depolama sonrası için daha güvenli şartlar da sağlanmış olur (Şekil 1) (1,2).

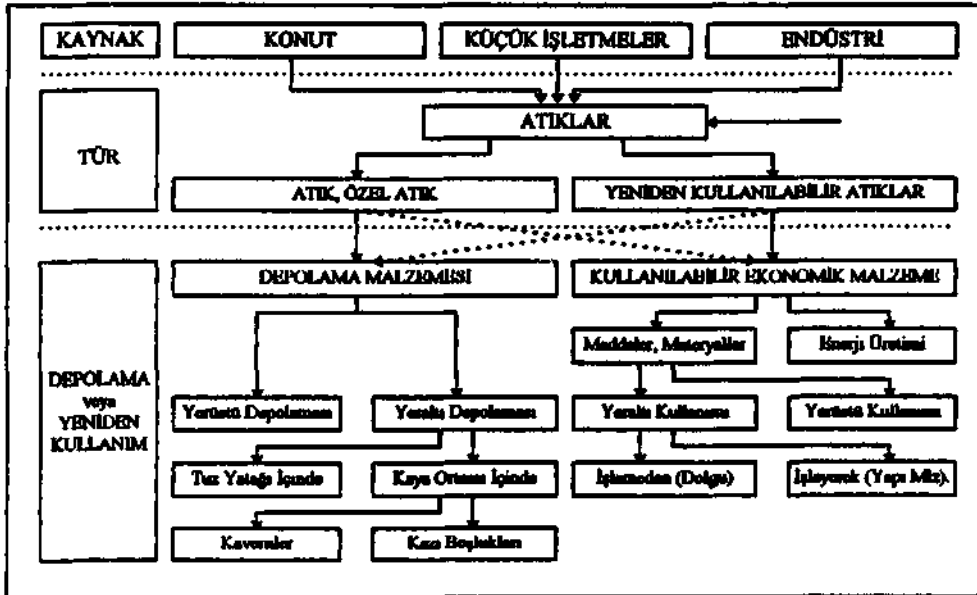


Şekil 1 : Atıkların ortadan kaldırılması ve madde dolaşımına ait ideal bir tasarım (2)

Konut, bahçe, haatahane, inşaat, küçük Ölçekli işletmeler vd. nedenlerden kaynaklanan çeşitli atıkların sınıflandırılarak işlem gördüğü ileri ülkelerde, sayıların dışında kalan endüstriyel atıdan içine alan özel atıklar, çalışmanın konusunu teşkil etmektedir. Bu türden atıklar, yukarıda sayılan diğer atık türleri ile beraber işlem göremeyecek türdeki zararlı maddeleri içermektedirler. Örneğin, Almanya' daki uygulamalarda bu atıklar, özel Atık-A, özel Atık-B, özel Atık-C ve C* şeklinde gruplandırılmış olup herbiri için ayrı bir ön hazırlama ve depolama şekli öngörülmüştür. Söz konusu depolama şekilleri yine Federal Almanya örneğinde 6 ayrı depolama grubunda toplanmıştır (3);

1. Grup: Çevreye zararsız doğal taş, toprak ve benzeri malzemeden oluşmaktadır.
2. Grup: Su kirlenmesine neden olmayan ya da tolere edilebilir şuurular içinde, geçici etkilere neden olabilen inşaat atıdan ve benzeri malzeme bu grupta yer almaktadır.
3. Grup: Burada, konut atıdan ve buna benzer küçük işletme atıdan bulunmaktadır.
4. Grup: Endüstri ve küçük işletmelerin atıklarını kapsamaktadır.
5. Grup: Endüstri ve küçük ölçekli işletmelerin özel atık olarak nitelenen atıdan bu gruba girmektedir.
6. Grup: Bu grup, zararlı özellikleri nedeniyle susuz formasyonlarda depolanması gereken özel atıdan kapsamaktadır.

Bu çalışmada, madencilik ilgilendiren ve yeraltında depolanması gereken atıklar konusu işlenecektir. Şekil 2' de bu amaçla yukarıda anlatılan atık ve depolama türlerini de özetler bir biçimde, atıkların madencilik faaliyetleriyle (açık ve yeraltı işletmeleri) oluşturulan yeraltı yapılarında depolanması özet bir şekilde gösterilmektedir (4).

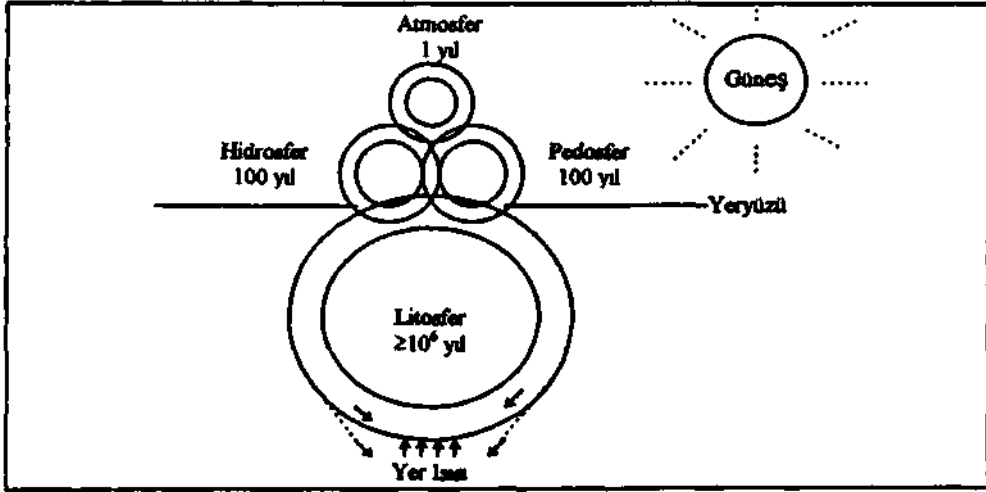


Şekil 2: Çeşitli atıkların depolanması ve yeniden kullanımına ait uygulama türleri (4)

3. Yeraltı ve Yerüstü Kömür işletmelerinde Depolama

Atıkların depolanmasındaki temel amaç, çevreye zararlı olan bu maddelerin *biyosferde* oluşturabilecekleri zararlı etkilerin (çözeltiyeye karışıp, depolama hamının dışına çıkması) tamamen ortadan kaldırılmasıdır. Özellikle, ekotoksik maddeleri (bilhassa ağır metaller ve tuzlar) çözücü-taşıyıcı olarak çevreye yayabilen yeraltı suyunun etkisi sınırlandırılmaktadır.

Doğadaki madde dolaşımı, dolayısıyla "zararlı madde dolaşımı" bulunulan ortama göre, farklı hızlarda meydana gelmektedir. Şekil 3' ten de görüleceği üzere atmosfer için bu değer yıl, pedosfer ile hidrosfer için on yıllar ile birkaç yüz yıl, litosfer (derindeki, yeryüzüne su yolları ile bir bağlantısı olmayan kısım) için ise 10^6 yd mertebesinde olmaktadır. Bu bakımdan depolama yerine ait doğal hidrojeolojik özelliklerin tanınması ve nihai depolama hacimlerinin, yeraltı suyuna ve bununla ilgili her türlü su bağlantısına karşı yalıtılmış ortamlarda tesis edilmesi zorunludur (4, 5).



Şekil 3: Jeokimyasal madde dolaşım süreleri (2)

3.1. Yeraltı işletmelerinde Depolama

Burada, yeraltı işletmelerinde mevcut açıklıkların depolama amacıyla değerlendirilmesi kapsamında; "Üretim Sonucu Oluşan Hacimler, Galeriler, Kuyu ve Kör Kuyular" incelenmiştir.

Depolama konusu olabilecek atıklardan aşağıdaki özellikler beklenmektedir,

- Atıklar patlayıcı niteliklere sahip olmamalıdır,
- Atıklar kendiliğinden yanmaya eğilimli olmamalıdır,

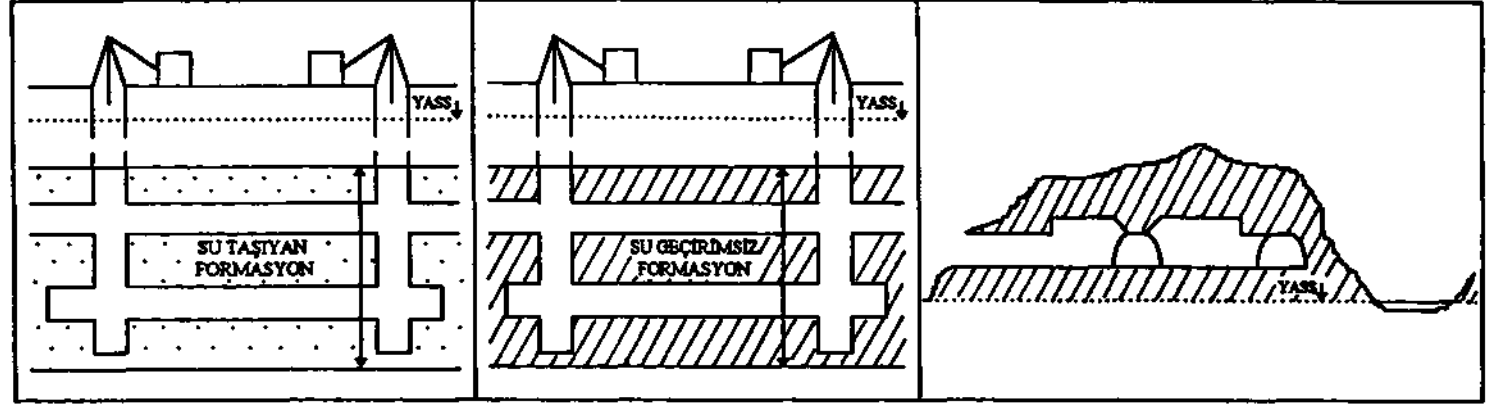
- Atıklar katı madde olmalı, serbest sıvı kısmı bulunmamalıdır,
- Atıklar patlayıcı veya diğer tür gazların oluşumuna neden olmamalıdır,
- Atıklar radyoaktif özellik göstermemelidir,
- Atıklar ayrıca bir yalıtıma gereksinime duyulan hallerde kimyasal ve mekanik etkilere karşı koruma sağlayacak bir şekilde muhafaza içine alınmalıdır (6).

Kömür ocaklarında depolanabilecek atıklar arasında başlıcaları ve bunların kaynakları Çizelge 1'de verilmiş olup, genellikle çeşitli firmaların, kül ve tozlar, seramik, tuğla, cam, inşaat atıkları ile kömüre bağlı atıklardan oluşmaktadır (2).

Yukarıda da belirtildiği gibi burada en önemli konu, depolama hacimlerinin içinde sözkonusu atıkların biyosfere olan ulaşımını önlemektir. Biyosfere ulaşımı sağlayan en önemli bağlantı ise yeraltı suyu (YAS) olmaktadır (Şekil 4).

Çizelge 1: Kömür ocaklarında depolanabilir atık türleri ve kaynakları

ATK CİNSİ	KAYNAK
YOKEK FİNO ÇORUFLAN	Demir-öelik üretimi
Uçucu kül ve toz	Yakma tesisleri
Uçucu kömür ve kok	Kömür tozu yakma tesisleri
Linyit kömürü	Linyit yakma tesisleri
Fino çamuru	Yakma tesisleri
Cam elyafı atıkları	Üretim
Seramik atıkları	Üretim
Cam atıkları	Üretim, işleme
İnşaat atıkları	İnşaat, yıkım
Hafriyat malzemesi	İnşaat
Ateş kili	Üretim
Kalıp çamuru	Döküm işleri
Taş tozu	Taş işleme
Asbest arıklar	Hazırlama, işleme
Jips atıkları	Jips ürünleri üretimi
Baca Razi mineral atıkları	Kuru yöntemle baca nazı temizleme
Asındırıcı arıklar	Üretim
Beton şlamı	Hazır beton üretimi
Asındırıcı taş şlamı	Taş işleme
Kil süspansiyonu	Tuğla, seramik, v.s. üretimi
Çimento fabrikası skimi	Üretim
Kalker şlamı	Kalker işleme
Jips şlamı	Jips ürünleri üretimi



Biyosfere açık; Atıklar, su abmm kesilmesi ile YAS içinde; Atıkların korumaya alınması önemli bir »ti«™ yok; Kuyuların YAS *mltmAt* yalıtılman; İD sonrası kuyuların barajlanması gerekti; Durayı ortam temini için özel tedbirler alınmalı; İD esnasında devam su «tam gerekli, içine girilebilir, Gravite, istifleme, hidrolik, pnömatik olarak atık *t>irm««* cinse göre depolama mümkün; İD sonrası YAS izlenmesi gerekti; Atıkların İD

jjfKJf g""? «lmtniwi itiflmlrlfti

Kuyuların YAS alanında yabamı zorunlu; fi) sonrası kuyuların barajlanması gerekli; Depolama yerleri barajlanmah; Atıklar koruyucu muhafazaya alınmalı; Depolama *h>rmııı* oOyUÜandimia, *t>Mrim««* ve fi)' «"" kısa tutulması ile stabil ortam sağlanabilir; fi) esnasında su atmn az, içine girilebilir, Gravite, istifleme, hidrolik ve pnömatik olarak atık taşması, cinse göre depolama mümkün; Atıklar fi) içinde geri alınabilir.

Biyosfere açık; Aşkların muhafazaya »tmm««ınn büyük bir anlamı yok; fi) sonrası depolama alanları girişleri barajlanmah; Depolama hacim boyunandırma, *tuMrimut* ve fi)' nin kaa tutulması Se stabil ortam sağlanabilir, fi) esnasında devamlı su atmn gerekli, içine girilebilir, Gravite, istifleme, hidrofile, pnömatik olarak abk taşması; cinse göre depolama rntntkfln; fi) sonrası ve esnasında YAS izlenmesi gerekli; fi) orasında devamlı su atımı gerekli; Atıkların fi) içinde geri *«immuy* mümkün.

YAS: Yeraltı Suyu YASS: Yeraftı Su Seviyesi İD: İşleme Dönemi

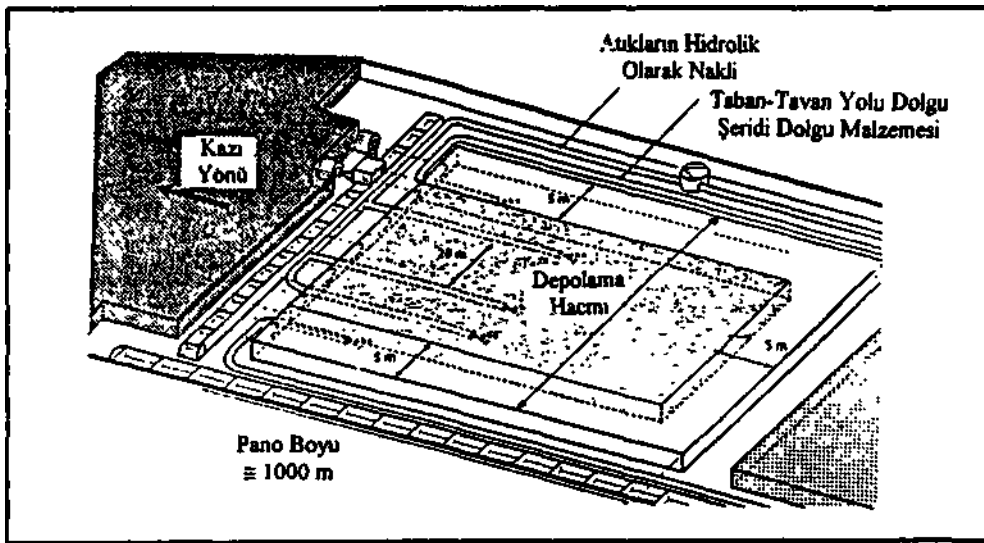
Şekil 4: Yeraltı suyu ile depolama hacimleri arasındaki ilişkiler (7)

3.1.1. Üretim Sonucu Oluşan Hacimlere Depolama

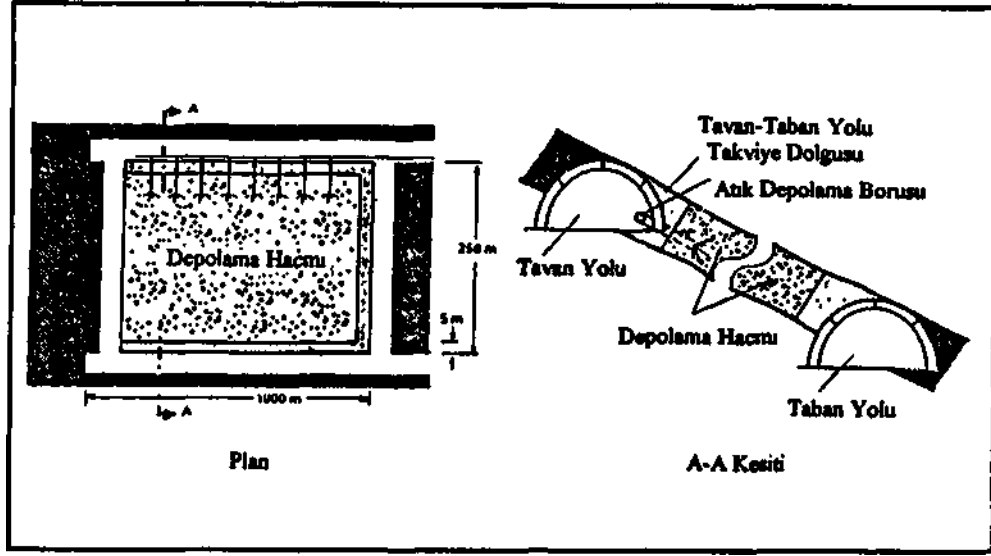
Uzunayak yönteminde damar içinde devamlı olarak ilerleyen, kalıcı olmayan bir hacimsel açıklık mevcuttur. Bu açıklığın kömür üretim Matemine entegre edilmiş bir şekilde depolama amacıyla kullanılması mümkündür (göçertmeli yerine dolgulu üretim şekli). Burada bilinen dolgu yöntemlerinden pnömatik ve hidrolik dolgu uygulanmasına gidilebilir. Genellikle, işyeri şartları ve işçi sağlığı bakımından hidrolik dolgu tercih edilmektedir.

İlgili şekillerden de izleneceği gibi (Şekil 3, 6), hidrolik dolgu uygulamasında kullanılan suyun göçertilen ayak arkası formasyonlar içinde tutulması; killi formasyonlar, ortamda oluşan hidrasyon süreçleri ve/veya su bağlayıcı katkı maddeleri ilavesiyle sağlanmaktadır. Böylece dolgu maddesi göçük malzemesine entegre olabilmektedir. Genellikle suyun pano dışına yayılmasını önlemek için pano kenarları barajlanmaktadır. Söz konusu uygulama ile hidrolik ramblede su atımı problemi ortadan kalkmakta, zararlı maddelerin su ile depolama alanından kaçışı da önlenmiş olmaktadır (3,8,9).

Üretim sonucu oluşan hacimlerde göçerime ve dolgu sonrası primer, üç boyutlu gerilme dağılımının oluşmasıyla birlikte kompakt bir depolama hacmi elde edilmektedir (Örneğin, 800 m derinde, ortalama 25 kN/m^3 özgül ağırlıkta örtü tabakası için 20 MPa 'lık düşey gerilme söz konusudur). Aynı yamanda, bu kompaktlaşma ile kf (geçirgenlik katsayısı) değerlerinin başlangıçtaki orijinal değerine ulaştığı belirlenmiş bulunmaktadır. Burada, killi çevre kayaların bulunması durumunda, özellikle uzun dönemde, tuz kavemlerindeki gibi depolama hacminin çevreden kavrılması mümkün olmaktadır.



Şekil S: Yatay damarlarda hidrolik dolgu (3)



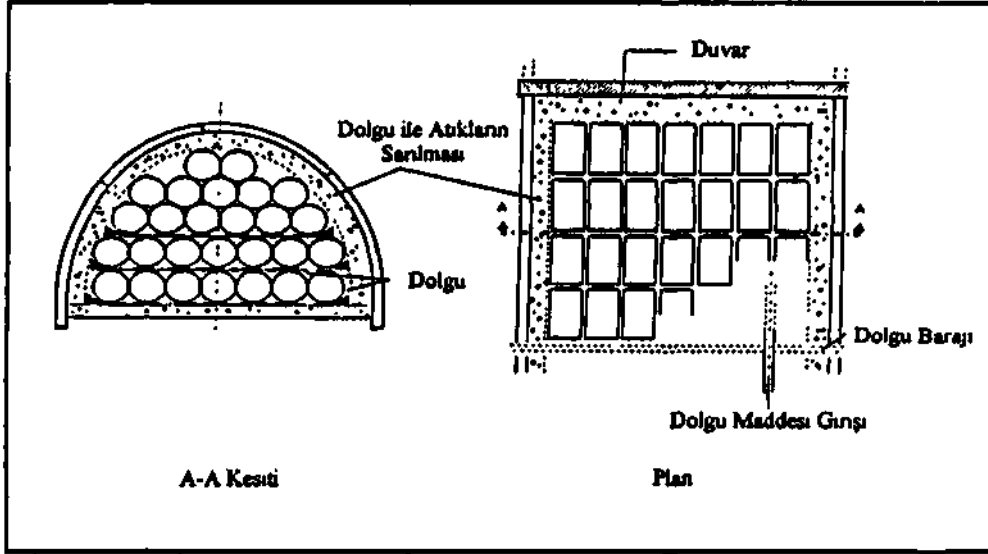
Şekil 6: Eğimli damarlarda hidrolik dolgu (3)

3.1.2. Galerilerde, Kuyu ve Kör Kuyularda Depolama

Galeriler, üretim sonucu oluşan hacimlere kıyasla, uzun dönemde açık kalan ve iyi tahkim edilmiş, gerilme dağılımı açısından da stabil hacimlerdir. Buna ilaveten galerilere gerek yürüyerek, gerekse çeşitli nakliye araçları ile ulaşmak mümkündür. Böylece depolanacak atıkların taşınması için çeşitli alternatifler kullanılabilir. Bunlar arasında, yeraltı için uyarlanmış bant tesisleri, raylı sistemler, tekerlekli veya paletli araçlar, boru hatları sayılabilir. Kısaca ulaşım açısından çözümsüzlük arz eden bir husus yoktur.

Çalışanların sağlığı ve/veya depolanan atığın cinsi açısından kritik olarak nitelenebilecek atıklar için, özel koruyucu muhafaza kullanımı söz konusu olmakla birlikte (Şekil 7, 8), asıl güçlük nakledilen atıkların hacimsel veya kütleli büyüklüklerinden (taşınabilir büyüklükler birkaç ton veya birkaç metre mertebesindedir) doğabilmektedir.

Genellikle atıkların serbest şekilde veya büyük çuvalların (big bag) içinde taşınmasına sıkça rastlanmakta olup, her halükarda galeri çeperlerinin ilave takviyesi, geçirimsiz özellik kazandırılması (suya karşı yalıtım) gibi hazırlık işleri gerekli olmaktadır. Bu son sayılan hazırlıklar da bir zorluk göstermemekte olup madencilikte rutin olarak uygulanmakta olan işlerdendir. Diğer yandan, üretim sonucu oluşan hacimlere pnömatik olarak atık depolanmasında karşılaşılan toz sorunu burada kolayca çözümlenebilmektedir.



Şekil 7: Galeride varil içine yerleştirilmiş atıkların depolanması (3)



Şekil 8: Büyük çuvalların (big bag) kullanılması (10)

Galerilerin stabilitesi, üretim sonucu oluşan hacimlerde karşılaşılan aksine, **hgrifli** bir stabilite bozucu değişiklik olmadığı sürece devam etmektedir. Bu nedenle depolanan atıklar galeriyi çevreleyen formasyona tam olarak entegre olamamakta, dol-

guya rağmen bazı boşluklar kalmaktadır (Şekil 7). Yani üretim sonucu oluşan hacimlerde göçertme ve dolgu sonrası primer üç boyutlu gerilme Hngılın^ Ue kompakt bir depolama oluşmakta iken, galeri depolamasında bu husus mevcut değildir (Bölüm 3.1.1).

Galerilere atık depolamasında, üretim sonucu oluşan hacimlere göre diğer önemli bir fark, depolamanın ocağın işletmede olduğu ve kapatılmasını takibeden dönemlerde de mümkün olmasıdır. Bu ise, üretimden «MWHM» ve mgkangaj olarak bağımsız bir organizasyona olanak tanınmaktadır.

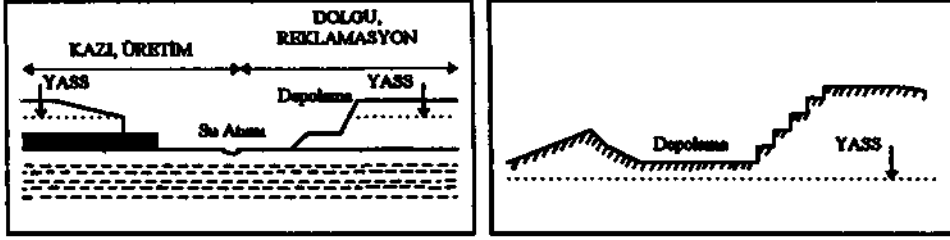
Son olarak kuyu ve kör kuyularda depolama konusunda şu hususlardan bahsedilebilir Galerilerde depolama hacmi içinde yatay hareket sözkonusu iken burada düşey hareket gerekli olmakta, bu ise depolama sırasında güçlük çıkarmaktadır. Genellikle kuyu veya kör kuyularda, kuyu dibinde ilave yalıtım önlemlerinin alınması gereklidir. Bunun dışında, galeri depolamasında olduğu gibi depolama yapılır. Depolama yapılan hacimlerin, depolama sonrası davranışı galerilerle benzerlik göstermektedir.

3.2. Yerüstü İşletmelerinde Depolama

Yerüstü işletmelerinde kazı sonrası oluşan açıklıklar, özellikle büyük miktarlardaki termik santral atıklarının (uçucu kül, cüruf, jips, işlem suyu (11, 12, 13)) depolanması için uygun hacimler oluşturmaktadır. Burada esas olarak iki depolama şekli sözkonusu olup, planlamalarda depolama yapılan hacmin yeraltı suyuna göre olan konumu dikkate alınmaktadır. Depolama hacimleri ya yeraltı su seviyesinin (YASS) üstünde ya da yeraltı su seviyesinin altında olabilir (Sekil 9) (7).

Açık ocak yeraltı depolamasının döküm sahası içinde herhangi bir yerde yapılması mümkündür. Ancak zararlı maddelerin biyosfere ulaşımını önlemek için hazırlanacak depo hacminin mümkün olan en derin seviyede oluşturulması gerekir. Derinde bir tek depolama hacmi inşaatı yerine birden fazla depolama hacmi inşaatı tercih edilebilir. Buradaki iş organizasyonu ve buna bağlı düzenlemeler, yeraltı ocaklarındaki depolama işlemlerine göre, daha esnek olarak şekillendirilebilmektedir (Şekil 10).

Derinde depolama inşaatına alternatif olarak yüze yakın seviyelerde depolama uygulaması da kullanılabilir. Yüze yakın depolama ile derine yapılan depolama varyasyonlarının arasında, depolama hacmi inşaatı tekniği açısından çok önemli bir fark bulunmamaktadır. Yüze yakın depolama hacimlerinin en büyük avantajı depoda meydana gelebilecek herhangi bir hasarın giderilebilmesi, gerektiğinde depolanmış atıkların tekrar geri alınabilmesidir. Bu husus derinlerdeki yeraltı depolama hacimleri için söz konusu değildir.

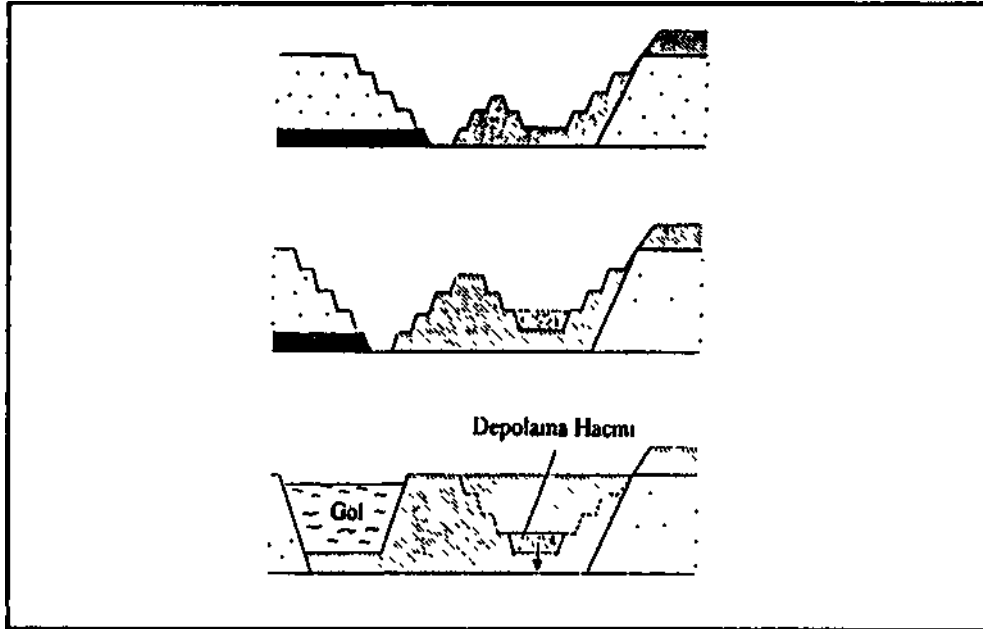


YASS'ın altında veya üstünde depolama:
 Biyosfere açık, yalıtım tedbirleri gerekli,
 Atıkların dolgu veya pasasabasına depolanması mümkün, tD'de büyük miktarda su atımı gerekli; Depolama hacmi yabıtmalı; Yüzeysel sulan kontrol edilmeli; Gravit (dökerek), hidrolik olarak atık taşınması mümkün; Atıkların geri alınması mümkün değil; İD esnasında ve sonrasında YAS izlemesi gerekli.

YASS'ın üstünde depolama:
 Biyosfere açık, yalıtım tedbirleri alınmalı; İD içinde büyük miktarda su atımı gerekli, Depolama hacminde yalıtım önlemleri alınmalı; Yüzeysel sulan kontrolü yapılmalı; Gravit (dökerek), hidrolik olarak atık taşınması mümkün; Atıklar geri atanabilir, İD esnasında ve sonrasında YAS izlemesi gerekli.

YAS Yer altı suyu YASS Yer altı su seviyesi İD İşletme dönemi

Şekil 9: Açık ocak depolama hacimlerinin yeraltı su seviyesine göre konumlan (7)

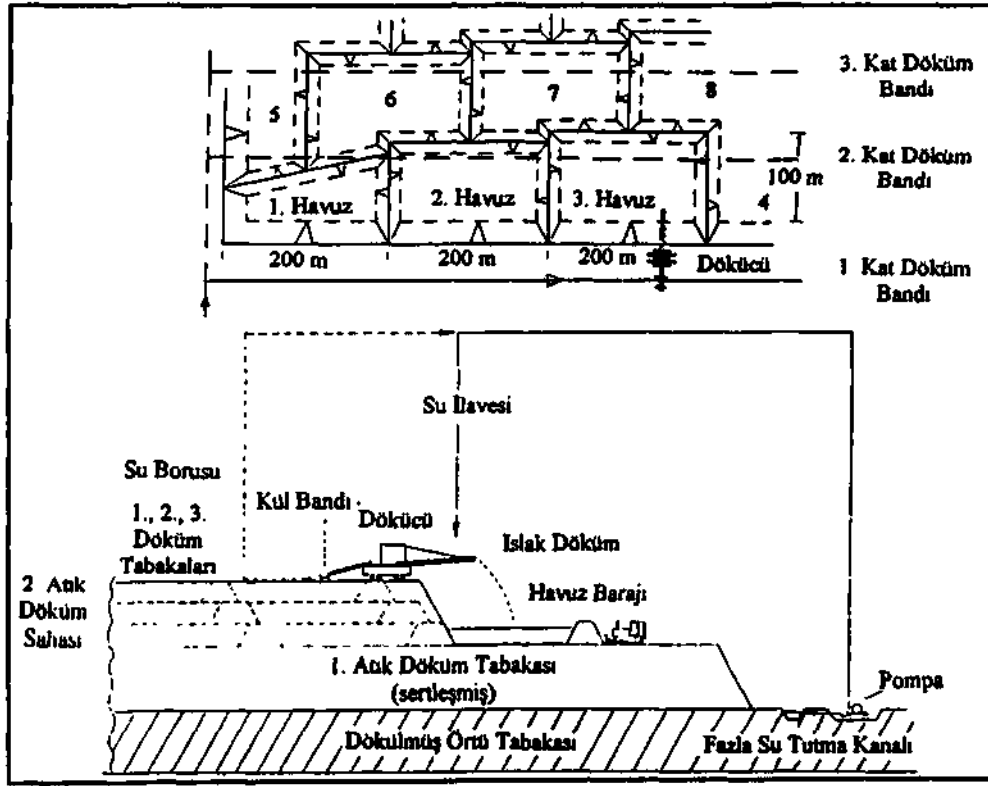


Şekil 10: Derinlerde oluşturulacak depolama hacmi inşaatındaki aşamalar (3)

3.2.1. Depolama Hacmi ve Hidrolojik Koşullar

Söz konusu açık ocak depolama türleri için, en büyük atık potansiyeli termik santral atıldan (uçucu kul, cüruf, jips, işlem suyu) olmaktadır. Depolama hacimleri Şekil 10' daki gibi trapez kesitinde oluşturulmakta (Federal Almanya* daki Rheinbraun İşletmesi' ne ait uygulamalarda eğim; tabanda 1:70, yan yüzeylerde 1:2.5 - 1:3) ve kesinlikle bir yalıtım tabakası ile geçirimsiz kılınmaktadır. Bu yalıtım tabakası için en uygun malzeme, açık ocak kazısından elde edilen kildir. Yalıtım malzemesi 20 cm kalınlığında 3 tabaka halinde serilmekte, malzemenin geçirgenlik değerleri yanlarda ve tabanda $k = 1 \times 10^{-9}$, kapakta ise $k \gg 1 \times 10^{-10}$ m/sn düzeyinde olmaktadır. Gereğinde jeotekstil maddesi (PVC, polivinil klorür), kil tabakaları ile ardışık olarak döşenerek yalıtım amacı ile kullanılabilir.

Açık ocak depolamasında birbirinden ayrı üç safha söz konusudur. Bunlardan işletme safhasında, atıkların oluşturulan hacim içine depolanması yapılmaktadır. Söz konusu doldurma işlemi, Federal Almanya Ren Havzası* ndaki açık linyit işletmelerinde olduğu gibi havuz (polder) yöntemine göre gerçekleştirilmektedir (Şekil 11). Yani depolama hacminin bir seferde tümüyle atık madde ile doldurulması yerine, oluşturulan polderler sırayla doldurulmaktadır (13).



Şekil 11 : Atık malzeme depolamasında polder yöntemi (13)

Şekil 12' de işletme, geçiş ve nihai durum safhaları ile ilgili çalışma sistemi verilmiştir. Görüldüğü üzere depolama hacminin en alt ve en üst kısmında iki ayrı drenaj tabakası oluşturulmuştur. İşletme döneminde, en alttaki drenaj tabakası burada toplanabilecek olan suların atılması için kullanılmaktadır. Söz konusu sular, sulu depolamada poldere atık dökülürken ilave edilen proses suyu ile yağışlardan kaynaklanmaktadır. Atığa ilave edilen proses suyunun miktarı ağırlıkça % 50' ye kadar varabilmektedir. Drenaj tabakasında tutulan fazla su, atık dökme devresine beslenmektedir (13).

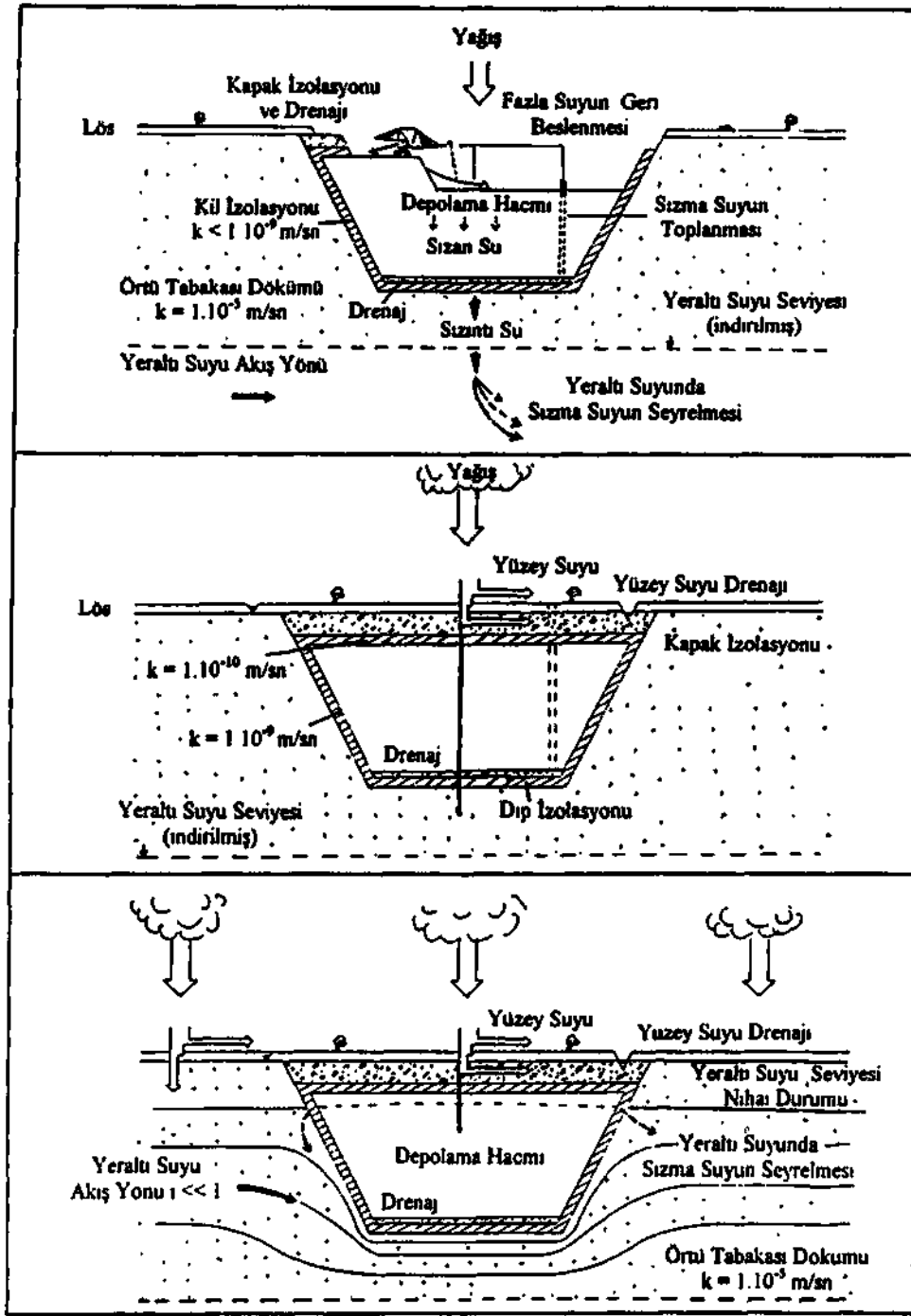
Deneyimlere göre, termik santral külü ağırlıkça % 25-30 oranında su içermesi durumunda hidrolojik özelliklerini tam olarak aktive edebilmektedir. Burada CaO:SiO₂ Oran' ının belirleyici etken olarak > 0.1:1 mertebesinde olması gerekmektedir. Uygun miktarda su ilavesi ile (ağırlıkça % 8-12 kadar su, daha taşıma esnasında toz yayılımına karşı tedbir olarak mevcuttur) CaO - CaSO₄ - Al₂O₃ - SiO₂ - H₂O madde sistemleri içinde sertleşme ve bağlamanın olduğu, kimyasal ve mineralojik kompleks bir proses başlar. Burada CaO' in su ile birleşmesi sonucu oluşan Ca(OH)₂, reaktif madde olarak uçucu kül ile reaksiyona girer ve Kalsiyum - Silikat - Hidrat (C - S - H) - Fazları meydana gelir. Ayrıca Ca(OH)₂ alüminyum ve anhidrit sülfat veya jips ile reaksiyonu sonucu Ca - Al - Sülfat - Hidrat' ın oluşur. Her iki reaksiyonda da Ca(OH)₂ parçalanmaktadır. Ortamda klorür bulunması bu sürecin hızlanmasını sağlamaktadır. C - S - H - Fazlarının yanında yeni mineralojik oluşumlar da görülmektedir (Ettringit, mono sülfat hidrat, kalsit). Meydana gelen bu yeni oluşum ve mineraller su içinde daha düşük bir çözünürlük göstermektedir.

Diğer yararlı sonuçlar arasında: oluşan minerallerin küldeki porların içini doldurarak geçirgenliği $k = 10^{-8}$, 10 m/sn' ye, basınç dayanımın S N/mm² ' ye ulaştırması sayılabilir. Bu ise stabil şartların sağlanması anlamına gelmektedir. Burada, depolama hacmini çevreleyen malzeme için $k = 1 \times 10^{-10}$ m/sn olup, k değerleri arasındaki farkın büyüklüğü ile orantılı olarak, yeraltı suyu depolama hacmi içine girmek yerine onun çevresinden dolaşmayı tercih etmektedir (12, 13).

Yukarıda açıklanan sulu depolama yöntemi yanında, atıkların taşıma esnasındaki nemi ile (%8-12) depolanması olanağı da mevcuttur. Bu durumda atıkların hidrolojik özelliklerinin aktive olabilmesi için gerekli su, yağışlardan sağlanmaktadır. Böylelikle alttaki drenaj tabakasında su tutma işlemine gerek kalmamaktadır.

Geçiş döneminde depolama hacminin üstü (kapak), yine geçirimsiz sayılabilecek bir kil tabakası ile kapatılmakta olup, bunun üstünde 2-4 m' lik (tanma yönelik düzenlemelerde 2 m, ormancılığa yönelik düzenlemelerde 3-4 m) bir reklamasyon tabakası oluşturulmaktadır. Burada kullanılan lös tabakası yağışlardan kaynaklanan bir miktar suyu kendisi depolamaktadır. Kalan suyun bir kısmı yüzey drenajı Ue alınırken, diğer kısmı, 1:50 eğim verilmiş olan kapak üstünden depo hacmi dışına akmaktadır.

Sulu malzeme kullanıldığında, suyun depo hacmi dışına sızması söz konusu iken, normal nemli (% 8-12) malzemenin depolanmasında böylesi bir olay meydana gelmemektedir. Yağışlardan gelen su, genellikle depolama hacmi dışına kaçarken, ikincisinde depolama malzemesinin hidrolojik özelliklerinin aktivasyonunda kullanılmaktadır.



Şekil 12: Açık ocaklarda depolamanın işletme, geçiş, nihai durum safhaları (13)

Geçiş döneminde su atımı işlemine son verilmesiyle birlikte, yeraltı su seviyesi yükselmeye başlamaktadır. Depolama hacmi içindeki 9u seviyesi yükselmesi ise, çevreye göre (yalıtım tabakası nedeniyle) daha yavaş bir şekilde gelişmektedir. Bu esnada depodan dışarıya su çıkamamakta, bunun yerine dışardan içeriye doğru bir akım oluşmaktadır. Bu ise yeraltı suyunun başlangıçtaki orijinal değerine yükselmesine kadar sürmektedir.

Son dönemde, yeraltı suyu seviyesi başlangıç yüksekliğine erişmiş bulunmaktadır. Depo ile onu çevreleyen formasyonların geçirgenlik katsayılarının farklı (yalıtım faktörü) ve çevre formasyonlardaki hidrolik eğim değerinin çok küçük ($i = 0.005$) olmasından dolayı yeraltı suyu, depolama hacminin etrafından dolaşmaktadır. Depolama hacmi üstündeki bölümden (kapak) sızan, yağış gelirinden kaynaklanan su en kısa yoldan (hemen yanlardan) veya en dipten dışarıya sızmaktadır. Alt kısımda bu aşamadan sonra bir drenaj söz konusu olmamaktadır. Çünkü bunu gerekli kılacak miktarda su birikimi oluşmadan, sular depolama hacmini terk etmektedir.

Burada en önemli husus, özellikle depolama hacmi üst kısmındaki yalıtımın kalitesidir. Çünkü düşey yöndeki su geliri, yatay yöndekine göre oldukça büyüktür. Aşağıdaki hesaplama şekli ile (13);

$$Q_{yatay} = F_{yatay} \cdot k \cdot i \qquad Q_{düşey} = F_{düşey} \cdot k \cdot i$$
$$Q_{yatay} = F_{yatay} \cdot 10^{-9} \cdot 0.005 \text{ m}^3/\text{sn} \qquad Q_{düşey} = F_{düşey} \cdot 10^{-10} \cdot 1.0 \text{ m}^3/\text{sn}$$

düşey ve yatay yönlerdeki su geliri ($Q_{düşey}/Q_{yatay}$) oran 20:1 olarak bulunmaktadır. Pratikte ise depolama hacmi üst kısmı, akıma maruz kalan alan bakımından ($F_{düşey}$) yan yüzeylere göre (F_{yatay}) daha büyük olduğundan, bu oran 100:1 mertebesine ulaşmaktadır. Bu ise depolama hacmi inşasında üst kısımların (kapak) geçirimsiz olarak inşa edilmesini özellikle önemli kılmaktadır.

4. Sonuç

Endüstriyel atıkların madencilik faaliyetleri ile açılmış bulunan boşluklara veya ocaklarda sonradan bu amaçla açılan hacimlere depolanması, günümüz dünya madenciliğinde canlılığını korumakta olan bir konudur. Çünkü açılan boşluklar, çok geniş bir yelpazede yer alan ve çevre açısından sorun yaratan atıkların depolanmasına uygun, milyonlarca metre küp mertebesinde hacimler sunmaktadır.

Atıkların depolanmasındaki temel amaç çevreye zararlı bu maddelerin biyosferi olumsuz yönde etkilemesi olasılığının ortadan kaldırılmasıdır. Bu amaca ulaşabilmek için depolama yapılacak ortamın ve depolama şartlarının çok iyi incelenmesi, özellikle deponun yeraltı suyuna karşı yalıtılması gerekmektedir. Ayrıca depolanacak atıkların bazı temel özelliklere (kendiliğinden yanma riskini taşımama, katı madde olma, patlayıcı ve yanıcı gaz oluşturmama, radyoaktif özellik göstermeme vb.) sahip olması gerektiği unutulmamalıdır.

Madencilik sektöründen kaynaklanan atıklar nllc^mir^ de çevre açısından çeşitli sorunlar yaratmaktadır. Özellikle büyük açık işletmelerin termik santraller ile bağlantılı olarak çalıştığı bölgelerde bu sorunlar daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır (14). Bahsedilen bölgelerde, yeraltı depolaması ile ilgili fizibilite çalışmalarına başlanarak olumlu sonuç elde edilmesi halinde bir an önce uygulamaya geçilmesi büyük yararlar sağlayacaktır.

Kaynaklar

1. FÜRER, G., Rahmenbedingungen for die Verwertung von Reststoffen oder Entsorgung von Abfällen im Bergbau, Glückauf 127 (1991) Nr. 19/20.
2. LUX, K.-H., Zur Abfallentsorgung in Untertagedeponien unter besonderer Berücksichtigung gebirgsmechanischer Aspekte, 1992.
3. WILKE, F. L., Untertageverbringung von Sonderabfällen in Stein- und Braunkohlenformationen, 1991 Cloppenburg, Druckerei Runge.
4. WILKE, F. L., Ergebnisse einer Machbarkeitstudie zur Verbringung schadstoffhaltiger Rückstände in Steinkohlenbergwerken, Glückauf 127 (1991) Nr. 19/20.
5. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT., Schachanlage Konrad vom Erzbergwek zum Endlager für radioaktive Abfälle, 1988 Braunschweig, Fischer Druck+Verlag.
6. KIND, H.-J., Untertagedeponie Herfa-Neurade, Glückauf 127 (1991) Nr. 19/20.
7. FÜRER, G., Entsorgung von Fremdadfällen in bergbaulichen Hohlräumen - Gesetzliche und bergtechnische Rahmenbedingungen, Erzmetall 42 (1989) Nr. 5.
8. KNISSEL, W. ; TRffIBEL, R., Grundlagen des Verfüllens untertägiger Hohlräume, Glückauf 127 (1991) Nr. 19/20.
9. KNISSEL, W., Die Nutzung von Grubenräumen for den Umweltschutz, Glückauf,127 (1991) Nr. 15/16.
10. HECKMANN, H., Hohlraumverfüllung in Salzbergwerken, Kompass 1994 Nr. 10.
11. ESEN, J., Termik Santallerin Çevresel Etkilerinde Kömür Faktörü, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Nisan 1993 istanbul, İTÜ / TUB / AKM Sempozyum Bildiriler Kitabı.
12. STARKE, R., Deponieren von Rückständen aus Braunkohlenkraftwerken in Tagebauen, Glückauf, 127 (1991) Nr. 19/20.
13. THOLE, B., Disposal of residues from the brown coal-fired power stations in the rhinland mining area -devolement, present state of art and future planing of dumping techniques-, Braunkohle Tagebautechnik 39 (1987) Heft 9.
14. KAVALALI, M. S., Entsorgungsprobleme der thermischen Kraftwerke in der Türkei, Vu. Internationales Weiterbildungsseminar Berlin 1991, TU Berlin.