

## Cevher Hazırlama Tesislerinden Çıkan Atıklar ve Yönetimi

Hasan HACİFAZLIOĞLU<sup>1\*</sup>, Hilal ŞAHİN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Maden Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye  
<sup>\*1</sup> hasanh@iuc.edu.tr, <sup>2</sup> hilaalsahin99@gmail.com

(Geliş/Received: 02/09/2022;

Kabul/Accepted: 29/11/2022)

**Öz:** Cevher hazırlama tesisleri kompleks tesisler olup, bu tesislerden katı, sıvı ve gaz halinde çeşitli atıklar çıkabilmektedir. Genellikle sulu proseslerden geçen atıkların içerisinde çoğu zaman çeşitli kimyasallar bulunabilmektedir. Proseste kullanılan zenginleştirme yönteminin türüne göre atıkların içerikleri de değişmektedir. Kimi atıklar tamamen zararsız doğal taşlardan oluşurken, kimi atıklar ise siyanür, sülfür, yağ asidi, alkol ve kostik gibi zararlı kimyasallar içerebilir. Böyle durumlarda atıklara muamele de farklılık gösterir. Her maden türü için farklı bir atık bertaraf metodu izlenmelidir. Bu çalışmada, yasal müeyyidelerle de kontrol altına alınmış olan cevher hazırlama tesislerinden çıkan atıklar ve atıkların yönetimi ele alınmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Cevher hazırlama, Atık, Gürültü, Toz, Gaz

## Wastes from Mineral Processing Plants and Its Management

**Abstract:** Ore preparation facilities are complex facilities and various wastes in the form of solid, liquid and gas can come out of these facilities. Generally, various chemicals can be found in the wastes that pass through the aqueous processes. According to the type of enrichment method used in the process, the contents of the wastes also change. While some wastes consist entirely of harmless natural stones, some wastes may contain harmful chemicals such as cyanide, sulfur, fatty acid, alcohol and caustic. In such cases, the treatment of waste also differs. A different waste disposal method should be followed for each mine type. In this study, the wastes from the ore preparation facilities, which are also under control with legal sanctions, and the management of wastes are discussed.

**Key words:** Mineral Processing, Waste, Noise, Dust, Gas

### 1. Giriş

Madencilik sektörü dinamik bir sektör olup, itici gücüyle birçok ülkenin ekonomik zenginliğinin ve gelişiminin temelini oluşturmaktadır. Madencilik, katma değeri en yüksek olan sektörler arasındadır. Günümüzün ileri teknolojisi, madencilğe getirdiği avantajlarla sektörün büyümesinde önemli bir rol oynamıştır. Yeni yöntemlerin geliştirilmesiyle birlikte madenin yeraltından çıkarılması, kırılıp öğütülmesi, zenginleştirilmesi, susuzlandırılması, kurutulması ve nakliyesi gibi işlemlerde verimlilik giderek artmış ve bu sayede üretimde gözle görülür artışlar ve kârlar elde edilmiştir. Ancak, üretimlerin artmasıyla birlikte maden atıklarında da hızlı bir artış görülmüştür. Çünkü maden ocaklarından çıkarılan cevherler bilindiği gibi doğrudan piyasaya sürülememekte, “cevher hazırlama” dediğimiz, içerisinde kırma, öğütme ve sınıflandırmayı da içeren bir dizi boyut küçültme ve zenginleştirme işleminden geçmektedir. Bu tesislerde genellikle sulu prosesler bulunmakta ve cevher sulu bir ortam içerisinde “pasa” denilen taşından ayrıştırılmaktadır. Cevher hazırlama tesislerinde atık oluşumu kaçınılmaz olarak vardır ve bertaraf edilmesi zaruridir. Bu işlemlerin sonucunda, ister istemez birtakım atıklar ortaya çıkmaktadır. Çıkan atık miktarı ve tehlikesi, çıkarılan cevherin türüne, tenörüne, içeriğine ve tane boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Örneğin Siyanür liçi uygulanan altın ve gümüş zenginleştirme tesislerinde (dünyadaki tesislerin %80’inde siyanür liçi uygulanır) işlenen cevherin hemen hemen % 99’u atık olarak çıkmakta ve bu atıklar genellikle önemli oranlarda siyanür kimyasalı içermektedir. Çünkü altın ve gümüş madenlerinde değerli mineral yüzdesi %0.1’den bile çok daha azdır. Geri kalan kısım daha çok

\* Sorumlu yazar: [hasanh@iuc.edu.tr](mailto:hasanh@iuc.edu.tr). Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup> 0000-0003-1651-7779, <sup>2</sup> 0000-0002-0168-389X

taşlardan oluşan atıktır. Demir, mangan, antimon ve krom gibi madenlerde ise atık oranı %40'lara kadar düşebilmektedir. Çünkü bu cevher tiplerinde değerli mineral içeriği %60'lara kadar çıkabilmektedir. En tehlikeli atıklar ise; uranyum ve toryum gibi radyoaktif minerallerin işlendiği tesislerdir ve bu tesislerde ilave radyasyon güvenlik önlemleri alınmalıdır [1-3]. İnşaat imalatında kullanılan; kum, çakıl, kırma taş, çimento ve seramik gibi hammaddelerin üretiminde ise atık olarak genellikle zararsız kil, çamur, toprak ve doğal taşlar ortaya çıkmaktadır. Bunlar kimyasal içermedikleri için zararsız atıklardır. Kömür madenciliğinde ve kömür yıkama tesislerinde kimyasal kullanılmadığı için (gravite ile zenginleştirme) çoğunlukla zararsız atıklar oluşmaktadır. Önemli oranlarda kükürt içeren kömürlerde ise asidik maden drenajı oluşabileceği için ilave güvenlik önlemleri alınmalıdır. Yine kömür madenlerinde yan taş silisyumlu ve killi kayalardan oluşmakta olup, bu malzemeler inert malzemeler olarak bilinmektedir.

Türkiye'de 1000'e yakın cevher hazırlama tesisi bulunmaktadır. Bunlar endüstriyel hammaddeler (kalsit, barit, kuvars, bor, feldispat, olivin, kaolen, bentonit, perlit vb), metalik madenler (altın, bakır, gümüş, çinko, krom, manganez, demir vb) ve kömür-linyit gibi enerji hammaddelerini işleyen tesislerdir. Çimento, cam ve seramik sektörleri de entegre tesisler olup, prosesin herhangi bir bölümünde cevher hazırlamayı gerektiren işlemler barındırırlar. TÜİK verilerine göre maden işletmelerinden oluşan atık miktarı 2020 yılı için 27 milyon 581 bin 875 tondur [4]. Bu rakama dekapaj malzemesinin de dahil edilmesiyle birlikte atık miktarının 50 milyon tona yaklaşacağı tahmin edilmektedir. Cevher hazırlama tesislerinden açığa çıkan atığın türüne göre alınacak önlemler de değişiklik gösterir. Bunun için oluşan atık iyi tanımalı ve ne gibi zararlara sebep olacağı iyi bilinmelidir. Atığın düzenli olarak takibi ve kimyasal analizi yapılmalıdır. Ayrıca alınacak önlemlerin çeşitli faktörlerden etkilenebileceğini göz önünde bulundurmalı ve bertaraf şekli buna uygun bir şekilde yürütülmelidir. Bu bağlamda ülkemizde 2015 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 29417 sayılı "Maden Atıkları Yönetmeliği" yayınlanmıştır [5]. Bu yönetmeliğin amacı; madenlerin aranması, çıkarılması, hazırlanması/zenginleştirilmesi veya depolanması sonucunda ortaya çıkan atıkların üretiminden nihai bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde yönetilmesine ilişkin usul ve esasları düzenlemektir. Tesislerden çıkan atıklar bu yönetmeliğe uygun olarak bertaraf edilmelidir.

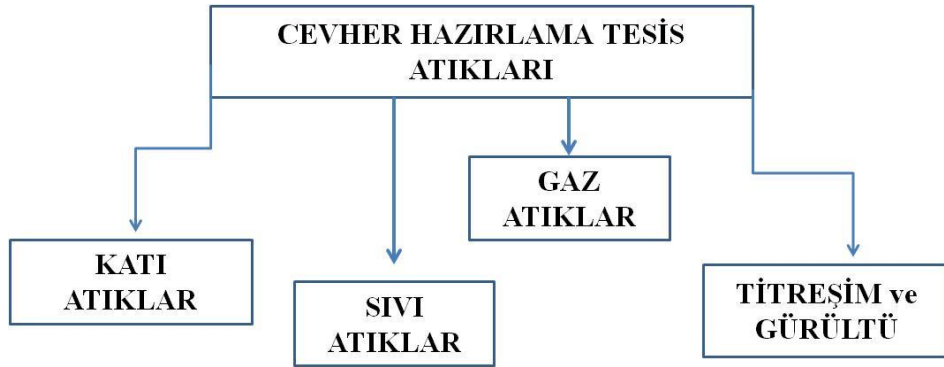
Cevher hazırlama tesislerinden katı, sıvı, gaz atıklar ile birlikte önemli derecede titreşimle birlikte gürültü de oluşmaktadır. İşlenen madenin türüne bağlı olarak oluşan atıklar da doğal olarak değişiklik gösterir. Zenginleştirme yöntemi seçimini; cevherdeki minerallerin türleri ve serbestleşme tane boyutları belirler. Ayrıca, ayırıştırma cihazının ekonomikliği ve verimi de yöntem seçiminde etkilidir. Flotasyon, aglomerasyon, seçimli flokülasyon, agloflotasyon, amalgamasyon ve liç ile zenginleştirme yöntemleri sulu ortamda çeşitli kimyasallar kullanılarak yapılır. Bu kimyasallardan en tehlikelileri siyanür ve civadır. Siyanür ve civa zehirli kimyasallardır ve kullanımında ilave tedbirler gerektirir. Civa ile altın ve gümüş kazanımı terk edilmiş olsa da, özellikle siyanür tüm dünyada altın madenciliğinin %80'inde güvenli bir şekilde kullanılmaktadır. Civa ile altın ve gümüşün kazanımı sadece gelişmemiş bazı ülkelerde, yoksul halk tarafından pilot ölçekte uygulanmaktadır. Gravite (yoğunluk farkına göre ayırıştırma), manyetik ve elektrostatik zenginleştirme yöntemlerinde ise herhangi bir kimyasal kullanılmaz ve prosten zararlı atıklar çıkmaz. Yine benzer şekilde kuru zenginleştirme yapan tesislerden de zararlı atıklar çıkmaz. Ayrıca proses kuru olduğu için sulu atık da oluşmaz. Kuru tesislerde genellikle katı atık, toz ve gürültü kaçınılmaz olarak oluşur. Yine, inert bir cevherden (örneğin kuvars, silis kumu kil mineralleri vb gibi) gaz atık oluşumu ya da suyla kimyasal tepkime ya da asit oluşumu mümkün değildir. Ancak hemen hemen her tesisten katı atık çıkabilir. Madencilikte katı atıkların çoğu doğal taşlardan oluşan inert atıklar iken, bazıları kimyasal içeren ya da reaksiyona meyilli atıklardan oluşabilir. Örneğin sülfür içeren cevherler (bakır, kurşun, çinko mineralleri) açık alanlarda su ile temas ettiğinde AMD (Asidik Maden Drenajı) denilen asit ve ağır metaller oluşturabilmektedir [6]. Bu asidin bertarafı için genellikle kireçle nötralizasyon yapılır ancak ağır metallerin tutulması için aktif karbon adsorpsiyonu gibi bazı teknolojilerin uygulanması gerekir.

Bu çalışmanın konusu; mevzuatı da dikkate alarak madenciliğin bir dalı olan cevher hazırlama tesislerinden çıkan atıklar ve bu atıkların yönetimi hususudur. Çoğunluğu zararsız olan maden atıkları katı, sıvı ve gaz formunda olabilir ve her biri ayrı bir bertaraf yöntemi gerektirir. Bu çalışmada bu yöntemler genel olarak ele alınmış ve bir takım güvenlik önlemlerinden bahsedilmiştir.

## 2. Cevher Hazırlama Tesislerinde Oluşan Atıklar

Klasik bir cevher hazırlama tesisinde, değerli mineral alındıktan sonra geriye katı bir atık ile sulu bir çamur kalır. Bu çamur çoğunlukla zararsız olup, kil, silt, toprak ve kum gibi ince parçacıklardan oluşur. Ancak tesiste ayırıştırma "liç" ya da "flotasyon" gibi yöntemlerle yapılıyorsa bu çamurun içerisine kimyasal reaktifler de

bulunur. Bu reaktifler, zenginleştirilen cevherin türüne bağlı olarak ksantat, alkol, yağ asidi, siyanür, asit, amin, kostik ya da çeşitli polimerler (anyonik, katyonik, noniyonik) olabilir. Kullanılan bu kimyasalları tekrar kullanmak çoğu zaman mümkün değildir. Ancak bozundurulması ya da bertaraf edilmesi yasal olarak zorunludur. Cevher hazırlama tesislerinden çıkan atıklar Şekil 1’de şematize edilmiştir. Buna göre, atıklar 4’e ayrılır. Katı atıklar; değersiz minerallerden oluşur, kısmen değerli mineral içerir, iri, ince veya toz halinde olabilirler. Toz ise bir diğer katı atık tipi olup, askıda kalan ince tanelerden oluşur ve cevher hazırlamanın kuru işlem gören kısımlarında sıklıkla bulunur. Sıvı atıklar ise su ve suyun içerisinde bulunan çeşitli iyonlar, çözülmüş kimyasallar ve koloidal tozlar ihtiva edebilirler. Çoğu zaman çamur formunda bulunurlar ya da çamurdan filtrasyonla süzülerek oluşurlar. Gaz atıklar ise; genellikle entegre tesislerden çıkan baca gazlarından oluşur. Örneğin kalsinasyon ve kavurma işlemleri sonucunda gaz oluşumu (CO, CO<sub>2</sub>, NO vb.) kaçınılmazdır. Yine metal eritme fırınlarından çok değişik zehirli gazlar (H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> vb.) çıkabilmektedir. Titreşim ve gürültü kirliliği ise cevher hazırlama tesislerinin olmazsa olmazıdır. Özellikle kırma, eleme ve öğütme gibi işlemlerde yüksek desibel değerlerinde (> 80dB) gürültü ve titreşim oluşur [7-9].



Şekil 1. Cevher hazırlama tesislerinde oluşan atıkların sınıflandırılması

### 3. Cevher Hazırlama Tesislerinde Atık Yönetimi

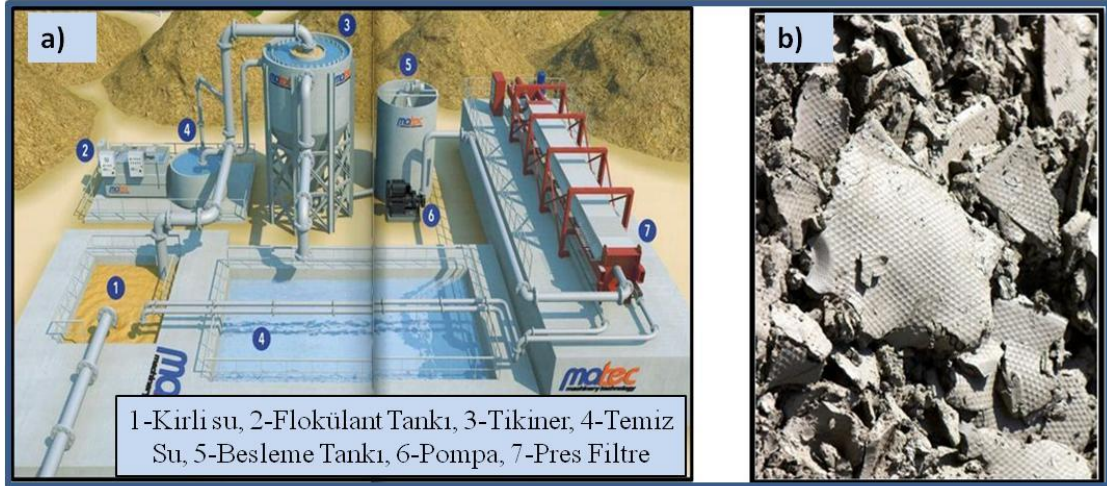
Atık yönetimi, atıkların özelliklerine göre kaynağında azaltılması, geri dönüştürülmesi, depolanması ve bertarafı gibi süreçleri içeren yönetim şeklidir. Cevher hazırlama tesislerinde atık yönetimi ise atığın fiziksel ve kimyasal özellikleri ile atık alanının iklimine, topografyasına, jeolojisine ve ülkenin yasal düzenlemeleri gibi çeşitli kriterlere bağlıdır. Uygulanan atık bertaraf yöntemleri; atık türüne, amaca, konuma ve drenajına göre değişiklik göstermektedir. Cevher hazırlama atıkları genellikle mevcut sahaların yüzeylerinde istifleme ya da barajlama yöntemi ile depolanmaktadır. Son zamanlarda katı atıkların yeraltında, maden boşluklarında depolandığı uygulamalar da mevcuttur. Atıkların yer altı boşluklarında dolgu olarak kullanılması, zemin veya duvarlara destek sağlama ve çökmeyi önleme açısından büyük avantajlara sahiptir. Ayrıca, derin deniz deşarjı denilen yöntemle çok ince çamur atıklar derin deniz diplerine basılarak bertaraf edilebilmektedir [2,10,11].

#### 3.1 Katı atıklar ve yönetimi

Cevher hazırlama tesislerinden çıkan katı atıklar; iri ve ince boyutlu olmak üzere iki gruba ayrılır. İri boyutlu atıklar birkaç mm’den daha büyük olan atıklardır ve genellikle rüzgar, su gibi etkilerle daha az çevreye yayılan sorunsuz atıklardır. İstiflendikleri yerde hareketsiz olarak durabilirler. Genellikle iri boyutlarda yapılan fiziksel zenginleştirme işlemleri sonucunda açığa çıkarlar. Örneğin Jig ya da ağır ortam tesisi atıkları iri boyutludur. İri atıkların yığın halinde istiflenmesi kolaydır ve yüzey alanları daha küçük olduğu için daha az miktarda suyu absorbe ederler. Ancak yığındaki atık zamanla çözülebilir ve çeşitli kimyasal reaksiyonlara neden olabilir. Özellikle sülfürlü cevherlerin suyla temas sonucu asit ve ağır metaller oluşabilmektedir [12,13].

İnce atık olarak bilinen 1 mm’nin altındaki atıklar (genellikle 150 mikron boyutuna kadar) ise daha zor ve sorunlu istiflenir. Kurudukça tozuma ve akma riskleri vardır. Ayrıca büyük ve aktif yüzey alanları nedeniyle kimyasal tepkimelere de daha yatkındır. Rüzgar ve yağmurdan daha fazla etkilendiği için istiflenmesinde ekstra

önlemler gerektirir. Tane boyutu 150 mikronun altında olan şamlar ise en sorunlu atıklar olup, genellikle suyun içerisinde askıda ya da balçık halinde bulunurlar. Şamlar için özel barajlar yapılmalıdır. İstiflenmesi uygun değildir. Tesiste bulunan tikinerin alt akımını ya da hidrosiklonun üst akımını oluşturan bu şamların ileri derecede susuzlandırılması için filtreler kullanılır. Filtreden çıkan şamların nem içerikleri cevherin cinsine göre %10'lara kadar düşebilmektedir. Filtrede susuzlandırılıp kek haline getirilen şamların istiflenmesi daha kolaydır. Ancak filtrelerin ilk yatırım, bakım ve işletme maliyetleri fazla olduğu için işletmeciler tarafından çok tercih edilmemektedir. Bu durumda şamlar susuzlandırılmadan direkt atık barajlarına gönderilmekte ve devasa atık (şlam) barajları oluşmaktadır. Bu şamlar da çevre için ciddi tehdit oluşturur. İdeal olan şamların filtre edilip kek haline getirilmesidir. Ayrıca filtrasyon tesisi sayesinde su geri dönüşümü sağlanır ve tesislerde daha az temiz suya ihtiyaç duyulur. Klasik bir filtrasyon tesisinin akım şeması Şekil 2'de, üretmiş olduğu şlam keki ile birlikte gösterilmiştir. Filtrasyonlu tesislerde atıklar daha kolay bertaraf edilebilmekte ve baraj yenilmeleri daha az yaşanmaktadır. Bu yüzden yasalarla filtrasyon tesisi zorunlu kılınmıştır, ancak uygulamada halen sıkıntılar bulunmaktadır. Madencilik uygulamalarında en yaygın kullanılan filtreler düşey levhali pres ve disk filtrelerdir. Pres filtrelerin ilk kurulum ve işletme maliyetleri daha düşük olup, kek nemleri de disk filtrelere göre daha düşüktür. Ancak, pres filtreler kesikli çalışır ve kapasiteleri düşüktür. Disk filtrelerin tercih edilmesinin nedeni kapasitesinin yüksek ve sürekli (sürekli) çalışabilmesidir. Şekil 2'de filtrasyon ünitesinin elemanları ve filtreden çıkan susuzlandırılmış çamur (şlam) kekin görüntüsü verilmiştir. Bu kekin ortalama nem içeriği cevherin tipine ve kil oranına bağlı olarak %10 ile %25 arasındaki değişmektedir. Şekil 2'de gösterilen kek, kömür şlamı (<math><38\mu\text{m}</math>) olup, nem içeriği %18'dir [14].

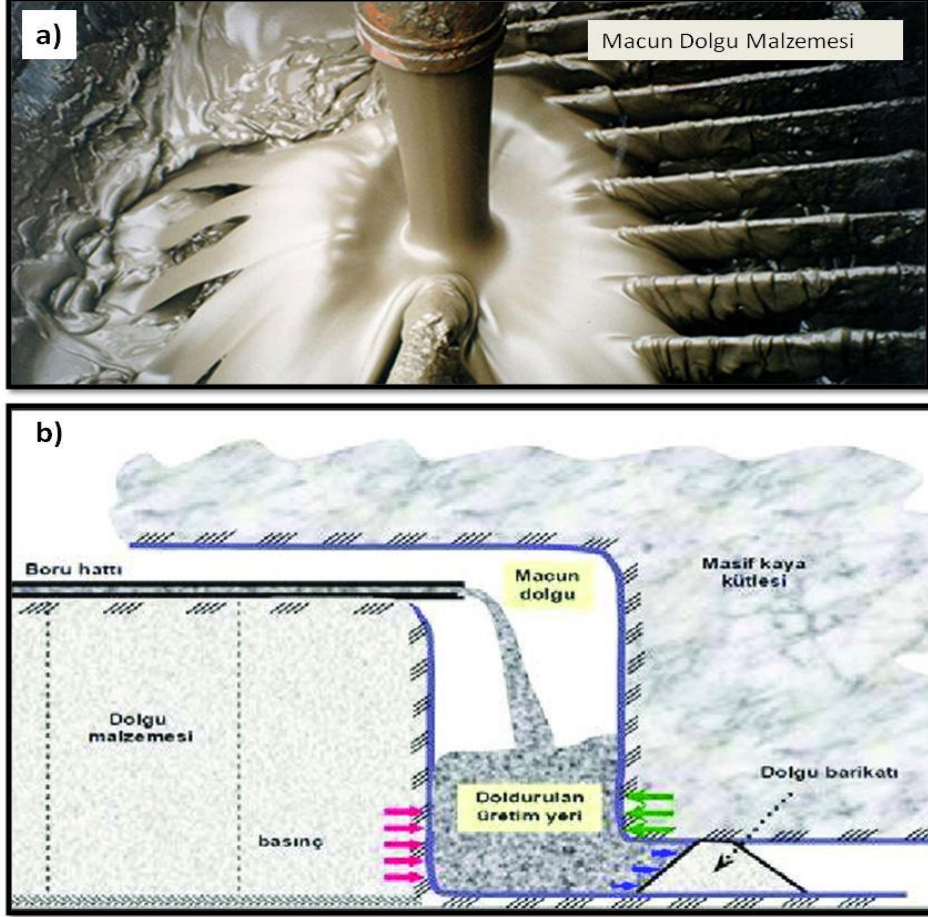


Şekil 2. (a) Filtrasyon ünitesi ve (b) üniteden çıkan şlam kekinin görüntüsü [14]

İri cevher atıklarının yeraltında açılan boşluklarda dolgu malzemesi olarak kullanılması oldukça yaygındır. Son yıllarda yeni teknolojilerin geliştirilmesiyle birlikte ince ve şlam atıkların da yeraltına depolanabileceği anlaşılmış ve bu alanda çalışmalar yürütülmüştür. Macun dolgu olarak bilinen bu yöntemde ince taneli malzeme belli katkı maddeleri (çimento, kireç, polimer vb) ile sulu bir ortamda karıştırılmakta ve borular vasıtası ile yeraltına gönderilmektedir. Özellikle Avustralya ve Kanada'da kazı-dolgu ve oda-topuk maden işletme yöntemleri için "macun dolgu" uygulaması yaygındır. Macun dolgu sisteminde, %10-15 bağlayıcı madde (çimento, uçucu kül, kireç vb) ve %30-40 aralığında su bulunur. Geri kalan kısım katı ince malzemeden ya da şlamdan oluşur. Bu karışım bir tank içerisinde homojenize edildikten sonra pompalarla basılarak yeraltındaki boşluklara doldurulur [10,11]. Macun dolgu malzemesi ve macun dolgu ile yer altı boşluklarının tahkim edildiği bir uygulama Şekil 3'de gösterilmiştir.

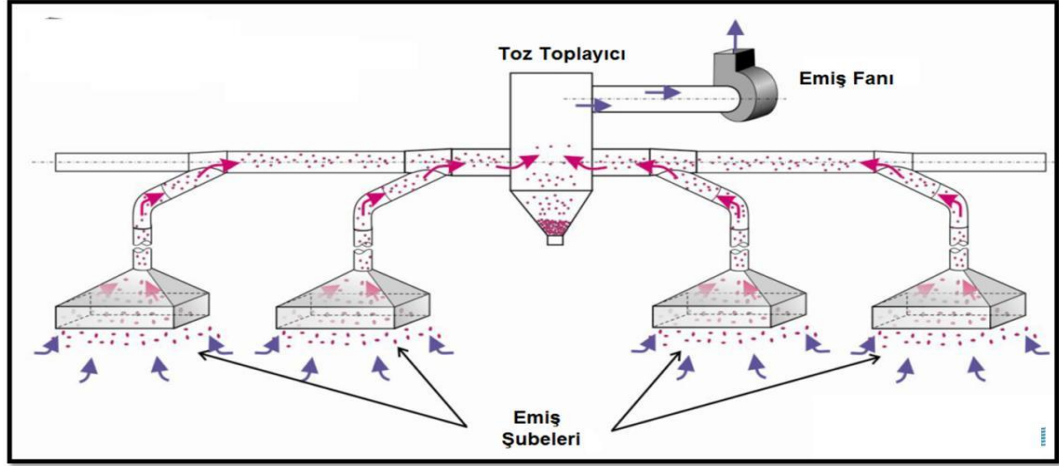
Katı atıklardan çok ince ve kuru olanları havada askıda kalmaktadır. Bunlar toz olarak bilinir ve genellikle boyut olarak 100 mikronun altındadır. Özellikle, tesislerde kırma-eleme ve öğütme gibi işlemler sonucunda yoğun miktarda toz ortaya çıkar. Kuru öğütme tesisleri en fazla tozun oluştuğu cevher hazırlama tesisleridir. Özellikle kalsit, bentonit, zeolit, feldispat ve barit gibi endüstriyel hammaddelerin mikronize öğütülmesinde yoğun miktarda toz oluşur. Ayrıca, cevherin bir yerden başka bir noktaya nakliyesi sırasında da tozuma olabilir. Pirometalurjik işlemlerden olan kurutma ve kalsinasyon işlemleri sonucunda da toz oluşur. Toz çalışanların, ciğerlerine yapışarak pnömokonyoz, silikozis ve kanser yapabilir. Tozu önlemek için, toz oluşturan makinelerin

yalıtılması ya da kapalı tutulması en basit yöntemdir. Bu mümkün değil ise su veya sis püskürtülerek tozuma önlenebilir. Eğer su cevherin yapısı için zararlı ise ve mekanik yapışmalara neden oluyorsa endüstriyel kuru toz toplama sistemleri kurulmalıdır. Bu sistemde tozlar bir aspiratör yardımı ile mikronize delik çaplı torba filtrelerle çekilerek bertaraf edilir. Genellikle 2 mikrondan daha büyük çaplı taneler tutulabilir. Bir endüstriyel toz toplama sistemi Şekil 4’de gösterilmiştir. Tozların boşaltılması ise basınç etkili pnömatik işlemlerle yapılır.

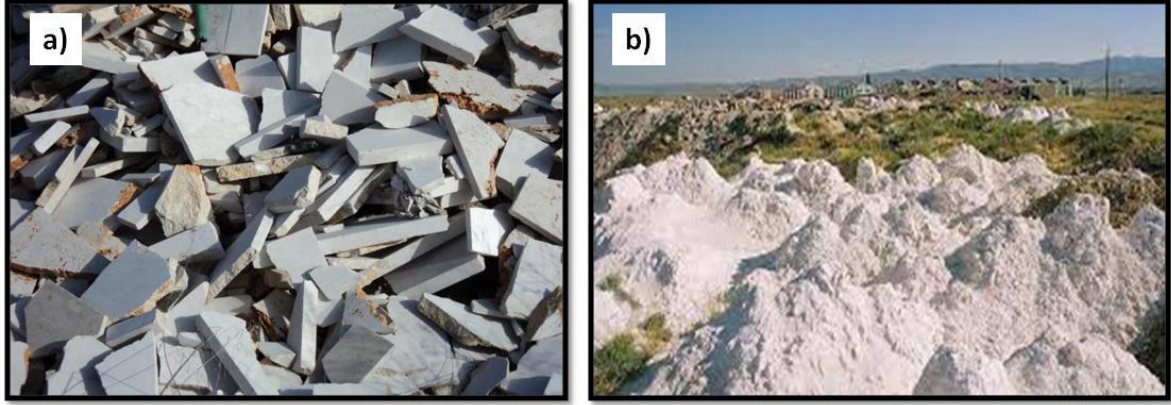


Şekil 3. (a) Macun dolgu malzemesi ve (b) yeraltında boşluk doldurma uygulaması[10]

Özellikle ülkemizde toz katı atıkların önemli tonajlarda çıktığı bir diğer alan mermer madenciliği ve mermer işleme fabrikalarıdır. Bu tozlar sulu katı ya da kuru katı uçucu formda olabilmektedir. Türkiye’de 2 bine yakın mermer ocağı ve 10 bine yakın mermer fabrikası ve atölyesi bulunmaktadır. Bu işletmelerde toz atık oranı %30'lara kadar çıkabilmektedir [16]. Özellikle mermer plakalarının üretildiği tesislerde önemli miktarlarda toz sulu atık oluşur. Bu atıklar için en verimli bertaraf yöntemi alternatif kullanım alanı yaratmaktır. Keza ülkemizde de mermer atıkları başta inşaat, cam, çimento ve seramik sanayisi olmak üzere pek çok alternatif alanda kullanılabilir [17,18]. Şekil 5’de Mermer işletme tesislerinden ortaya çıkan iri ve ince mermer atıklarının görüntüsü verilmiştir [19].

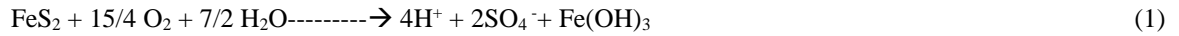


Şekil 4. Toz toplayıcı ve emiş şubelerinden oluşan endüstriyel fabrika toz toplama sistemi [15].



Şekil 5. (a) Mermer işletme tesislerinden ortaya çıkan iri ve (b) ince mermer atıklarının görüntüsü [19]

Katıların bertarafı ve depolanması çoğu zaman kolayken, sülfür içeren katıların depolanması ilave önlemler gerektirir. Sülfürlü mineralleri içeren bir artık, depo sahasında su ve oksijenle reaksiyona girerek çeşitli ağır metaller (Fe, Al, Mn, Cu vb.) ve asidik sular oluşturabilmektedir. Ayrıca pH'nın düşmesi (<7) ve çözülmüş iyon sayısının artması (SO<sub>4</sub>, Ca<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> vb.) sulara gözlenen en önemli tehlikelerdir. Asidik maden drenajı karmaşık ve çok kademeli reaksiyonlarla gerçekleşir. Bu reaksiyonlarda bakteriler de önemli rol oynar. Asit üreten reaksiyonları basite indirgeyerek aşağıdaki tepkime yazılabilir [20].



Asitli suların tehlikesinin azaltılması ve bertarafı için öteden beri bilinen aktif arıtma veya son yıllarda giderek yaygınlaşan pasif arıtma yöntemlerinden biri uygulanabilir. Ortam koşullarına ve cevherin mineralojik yapısına bağlı olarak, hem oksidasyon hem de nötürleştirme reaksiyonları gerçekleşebilir. Aktif arıtma yöntemlerinde çeşitli kimyasallar (kostik soda, soda külü, kireç, amonyak) kullanılırken, pasif arıtma yönteminde kimyasal kullanılmaz. Asitli su doğal ya da yapay bir bataklıktan geçirilerek bakterilerin de yardımıyla arındırılır. Bu bağlamda bataklıklarda çeşitli bitki, hayvan ve yosunların bulunması önemlidir. Bir diğer pasif yöntem ise asitli suyun kireçtaşı havuzuna pompalanması ya da kireçtaşı kanallarından geçirilmesi yöntemidir [21-25]. Pasif arıtma yöntemleri doğal ortamda gerçekleştiği için daha çevreci bir uygulamadır.

### 3.2. Sıvı atıklar ve yönetimi

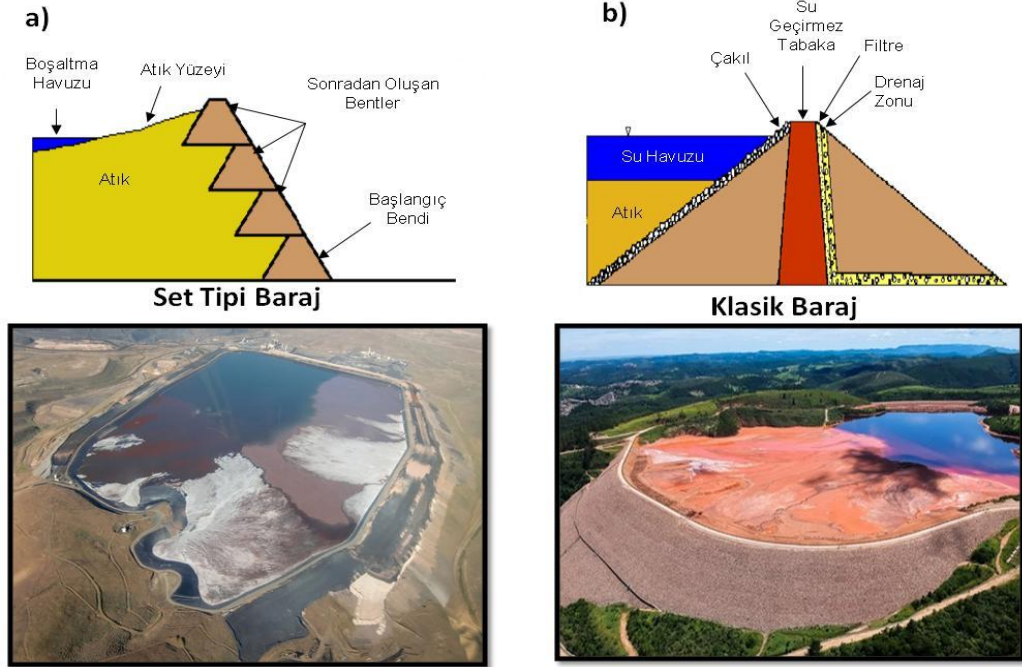
Cevher hazırlama tesisleri genellikle sulu proseslerden oluştuğu için oluşan atıklar katı-sıvı karışımı şeklindedir. Katılar filtrasyon ekipmanları ile sıvıdan ayrılrsa da, sıvının içerisinde çeşitli iyonlar, ağır metaller ve kimyasallar kalabilmektedir. Bu yüzden tesis atıkları direkt alıcı ortama/doğaya bırakılmamalıdır. Sudaki iyon konsantrasyonu düşürülerek ve kimyasallar bozundurulurken alıcı ortama bırakılmalıdır. Jig, spiral, sallantılı masa, Falkon, Knelson, Icon gibi gravite yöntemleri ile zenginleştirme yapan tesislerin proses suları genellikle kimyasal içermemekte ve direkt alıcı ortama bırakılabilmektedir. Çünkü bu yöntemlerin hiç birinde kimyasal madde kullanılmamaktadır. Ancak, altın, gümüş, bakır, kurşun, nikel, alüminyum gibi metalik ve sülfürlü madenlerin işletildiği tesislerden zararlı ve zehirli sular çıkabilmektedir. Proseste oluşan ve kimyasal içermeyen katı-sıvı karışımları önce bir tükine (çöktürme tankına) gönderilmektedir. Tükine üzerinden taşan temiz su alınıp, tekrar tekrar kullanılırken, tükine altı sulu çamur filtrele beslenerek ilave susulandırma işlemine tabi tutulur. Filtreden kek halinde çıkan çamur katı bertaraf yöntemlerine göre muamele edilirken, elde edilen sıvı tekrardan proseste kullanılır. Ancak, sıvının içerisinde zararlı kimyasallar varsa sıvı geçirimsiz tabakası olan bir atık barajına alınır ve bu havuzda çeşitli yöntemlerle (doğal, biyolojik ya da kimyasallarla) bozundurulur. Yani, baraj içerisinde tesiste kullanılan kimyasallar zararsız hale getirilir.

Sıvı ya da katı-sıvı karışımı atıkların tutulması ve bertarafı için en yaygın kullanılan yöntem atık barajı yöntemidir. Atık barajları, katı-sıvı karışımları için en çok kullanılan yerüstü bertaraf alanlarıdır. Atık barajları tükinelere göre daha yüksek kapasitelidir ve binlerce ton suyu tutabilir. Yüksek hacimlere sahip suyun tutulması için idealdir. Atık barajlarında katılar çökerken sıvılar taşarak üstten alınır ya da bir bölümü alıcı ortama verilir. Barajlar çok değişik tip ve şekillerde inşa edilebilmektedir. Genel olarak barajlar, klasik ve set tipi olmak üzere iki çeşittir (Şekil 6). Set tipi barajlar genellikle düz topografyalarda uygulanır. Bu yöntemde atıkların depolanacağı bölgenin etrafı birkaç metrelik bir dolgu seti (genellikle kaya malzemesi) ile çevrilir, ya da topografya derinleştirilir (Şekil 6a). Kapasitenin dolması ile birlikte dolgu set üzerine tekrar dolgu yapılarak kademeli kapasite artışı sağlanır. Klasik baraj ise akış halinde olan bir sıvının önüne set çekilmesi ile oluşturulur (Şekil 6b). Baraj yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli husus setin sağlamlığı ve zemininin geçirimsiz olmasıdır. Kaya dolgululu ve betonarme barajlar en sağlam barajlardır. Ancak maliyetleri yüksektir. Bazalt, andezit, granit gibi sert magmatik kayalar zemin sızdırmazlığı için uygun kayalardır. Kil taşı, kum taşı, jips ve kireçtaşı suda çözünen kayalar olduğu için bu kayalar üzerine yapılan barajlarda zamanla sızmalar ve su kaçakları meydana gelebilir. Tabakalı kayalar üzerinde baraj kurulacaksa, tabaka doğrultularının barajın eksenine paralel ve suyun çıkış noktasına eğimli olması gerekir [2, 26, 27].

Atık barajlarının yerinin seçiminde, bölge topografyası önemli bir rol oynar. Genellikle atık barajları tesisten daha düşük kotta uygun bir vadiye kurulur ve atıklar doğal akışı ile atık barajına gönderilir. Ancak iklim ve arazi koşullarının uygun olmadığı bölgelerde kot farkından bağımsız olarak bölgenin en yüksek kesimlerine atık barajlarının yapılması olası yağışlardan kaynaklanabilecek sel ve baraj kaymalarının önlenmesi açısından önemlidir. Setlendirilme yapılan barajlar, açık ocak çukurları, özel kazılan çukurlar ve bataklık bölgeleri yerüstü atık bertarafı için kullanılan alanlardır. Maliyet açısından, atık bertarafı için en uygun yer, üretim yapılmış açık ocaklardır. Ancak, böyle yerler kullanılacak ise devam eden diğer maden üretim faaliyetlerini engellememeli ve ocak şevlerinin stabilitesi bozulmamalıdır. Atık barajlarının stabilitesi, topografya ve barajın su dengesi ile ilişkilidir. Barajlar atıklara ek olarak çevreden gelen yağış ve suyu da tutarlar. Ayrıca bir barajın su toplama havzasının alanı baraj gölü alanının 10 katından fazla olmamalıdır. Vadilerdeki su geliri diğer bölgelere oranla daha fazladır. Vadiye baraj inşa ederken, taşkınları engellemek amacıyla bir su tutma barajı yapılabileceği gibi, su akışının yönünü değiştirmek için engel ve kuşaklama kanalları gibi bazı önlemler de alınabilir. Eğer vadinin su girdisi yüksek ise bu durumda baraj yeri yamaç veya vadi dibi seçilmelidir. Ancak baraj yapılacak arazinin eğimi %15'i geçmemelidir. Bu tarz barajlar için iyi su yolu düzenlenmesi şarttır. Atık toplamaya uygun doğal çöküntüler ve benzeri topografya oluşumlarının olmadığı durumlarda düz alanlar üzerine inşa edilen atık barajları zorunlu bir seçenektir [2, 27].

Atıkların bertarafında yaygın kullanılan barajlar beraberinde tehlikeli durumları da getirmektedir. Baraj yenilmesi diye bilinen barajın yıkılması veya patlaması sık rastlanılan bir durumdur. Barajlar fazla suyun etkisi ile yıkılabilmekte ve tüm sıvı atık madde çevreye yayılabilmektedir. Örneğin 2010 yılında Macaristan'da meydana gelen bir baraj yenilmesi olayında tüm Tuna nehri kırmızı çamurla kızıla boyanmıştır (Şekil 7). Kırmızı çamur; alümina üretim tesislerinden çıkan demirli bileşikler ve ağır metalleri içeren bir atık türüdür. Boksitten alüminyum üretiminde Bayer Prosesi kullanılır ve bu proseste kullanılan kimyasallar sonucunda üretilen her ton alümina için yaklaşık 1 ila 1.5 ton kırmızı atık çamur oluşur. Dünyada ortalama her yıl 150 milyon tonun üzerinde kırmızı çamur oluşur ve bu çamurun depolandığı atık mevzuatlara uygun olarak inşa edilmezse tüm çevre ve canlılar bu çamurdan büyük ölçüde zarar görür. Ülkemizde de; Seydişehir/Konya Eti Alüminyum

tesislerinde boksitten alüminyum üretilirken kırmızı çamur açığa çıkmaktadır. Bu çamur barajlarda tutulmakta ve içeriğinde kalmış olan bazı metallerin (demir, titanyum, vanadyum, skandiyum vb.) geri kazanımı için çeşitli çalışmalar yürütülmektedir.



Şekil 6. En yaygın baraj tipleri (a) set tipi baraj görüntüsü (b) klasik baraj görüntüsü [27]

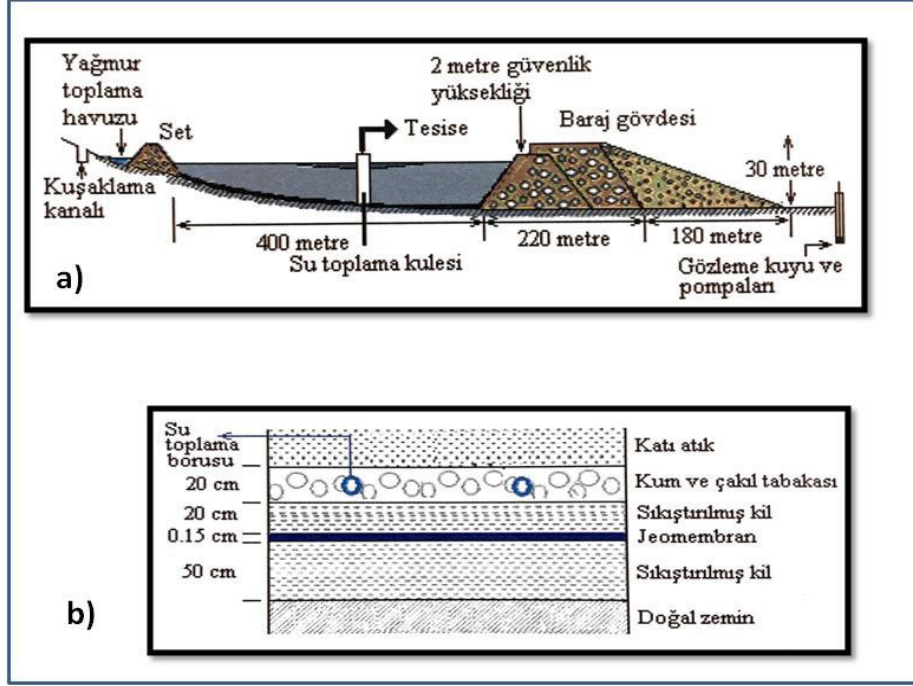


Şekil 7. Macaristan'da baraj yenilmesi sonucu kırmızı çamurun Tuna nehrine yayılışı

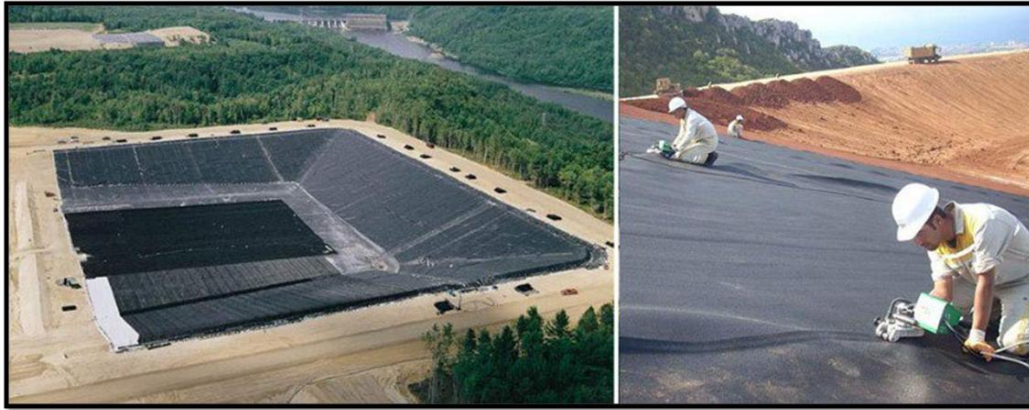
Türkiye'deki bir altın madeni için tekniğe ve mevzuata uygun olarak yapılan bir atık barajının kesit görüntüleri Şekil 8'de verilmiştir. Atık havuzunun geçirimsizliğini arttırmak için tabana kil serilip sıkıştırılmıştır. Tabanın çok iyi geçirimsizliğe sahip olması istendiğinde ise tabana sentetik bir polimer astar



serilir [2]. Toprak, kaya veya diğer zeminlerde suyun aşağıya geçmesini önleyen ve sızdırmazlığı sağlayan bu polimer malzemelere geomembran veya jeomembran adı verilir. Genellikle 3 mm kalınlığında olan bu geomembranlar; HDPE (High Density Polyethylene), LLDPE (Linear Low Density Polyethylene), PVC (Polivinil Klorür) ve EPDM (Etilen Propilen Dien Monomer) gibi çeşitli malzemelerden üretilmektedir. Şekil 9'da bir geomembran uygulaması gösterilmiştir. Çoğu cevher hazırlama tesisinde atık barajları öncesinde tikinerler bulunur. Tikinerlerin kapasiteleri daha düşük olup, suyun ön arıtımı için kullanılır. Tikinerler, atık barajlarına göre suyu daha hızlı arındırıp tesise gönderirler. Bu bakımdan hemen hemen her tesiste bir tikiner bulunması suyun hızlı bir şekilde geri kazanımı için zaruridir.



Şekil 8. Altın madeni barajı, (a) yeryüzü kesiti, (b) taban kesiti [2]

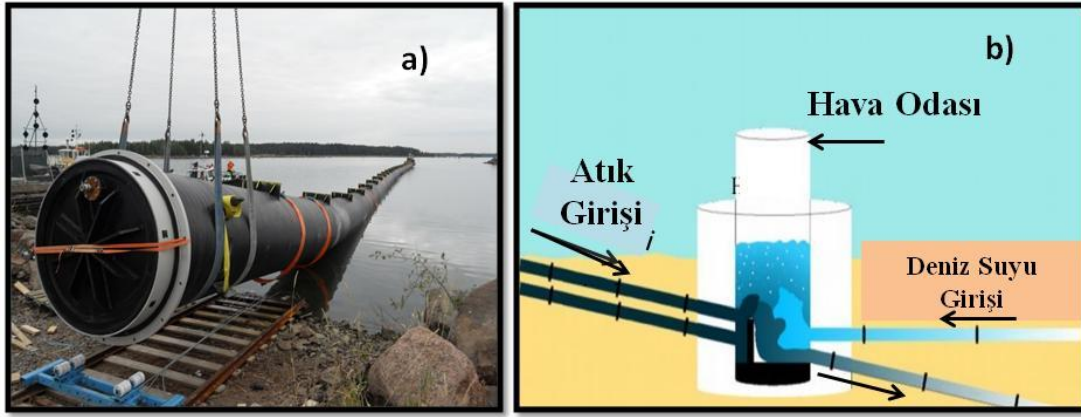


Şekil 9. Bir atık barajı için geomembran ile geçirimsiz alt tabakanın oluşturulmasının görüntüsü

Cevher hazırlama tesislerindeki atık çamurları için kullanılmakta olan bir diğer yöntem derin deniz deşarjı atık yönetimi sistemidir (Şekil 10). Dünyada atık çamurlarının %99.4'ü yerüstü atık barajlarında depolanırken sadece %0.6'sı deniz ortamında depolanmaktadır[28,29]. Denizin yakın ve derin, yağışın fazla, buharlaşmanın az, yerüstü atık bertaraf yöntemlerinin riskli olduğu bölgelerde uygulanır. Son zamanlarda önemi giderek artan bu yöntem, asit maden drenajı potansiyeline sahip atıklar için de geçerlidir. Atıklar genellikle sahilden deniz

tabanına döşenen yüksek yoğunluklu polietilen borular vasıtasıyla canlı yaşamının olmadığı mesafelerde ve derinliklerde deniz yatağına bırakılır [2].

Tesis atığı çamurunun denizaltında depolanmasıyla ilgili ilk uygulamalar 2012 yılında başlamıştır. Bu uygulamalardan 5 adedi Norveç'te, 3 adedi Papua Yeni Gine'de, 1'er adette Türkiye (Çayeli-Rize), Fransa, Yunanistan, Şili, İngiltere ve Endonezya'da bulunmaktadır. Çayeli Bakır İşletmesi tesis atık bertaraf yöntemi bu uygulamanın güzel bir örneğidir. Çayeli Bakır İşletmeleri'nde oluşan atıklar ön arıtma yapılmadan derin deniz deşarjı ile Karadeniz tabanına verilmektedir. Karadeniz'de yüzeyden -175 metrenin altındaki su kütleinin oksijen değerlerinin tamamen minimize olması ve ortamın kükürtlü hidrojen gazı ile doymuş hali tesis atığı çamurun Karadeniz'e deşarj edilmesine imkân sağlamaktadır. Bu katmanda sıcaklık ve tuzluluğun son derece homojen olduğu ve mevsimsel değişimlerden etkilemediği yapılan çeşitli araştırmalarda görülmüştür. Karadeniz'in derin sularındaki hidrojen sülfürün varlığı, çözünebilir ağır metallerin metal sülfite indirgenerek pirit veya benzeri mineraller halinde çökmesini sağlamaktadır. Diğer taraftan deniz tabanındaki kil özelliğindeki ince materyal çözünebilir ağır metallerin tutulmasını sağlayan bir ortam oluşturmaktadır [29,30]. 1994 yılında 350 metre derinliğe derin deniz deşarj izni alan Çayeli Bakır İşletmeleri, 2002 yılında Çevre Bakanlığı'ndan aldığı izinle deşarj uzunluğunu 273 metreye indirmiştir [8]. Çayeli Bakır İşletmeleri'nde kullanılmakta olan sistem Şekil 10'da gösterilmiştir.



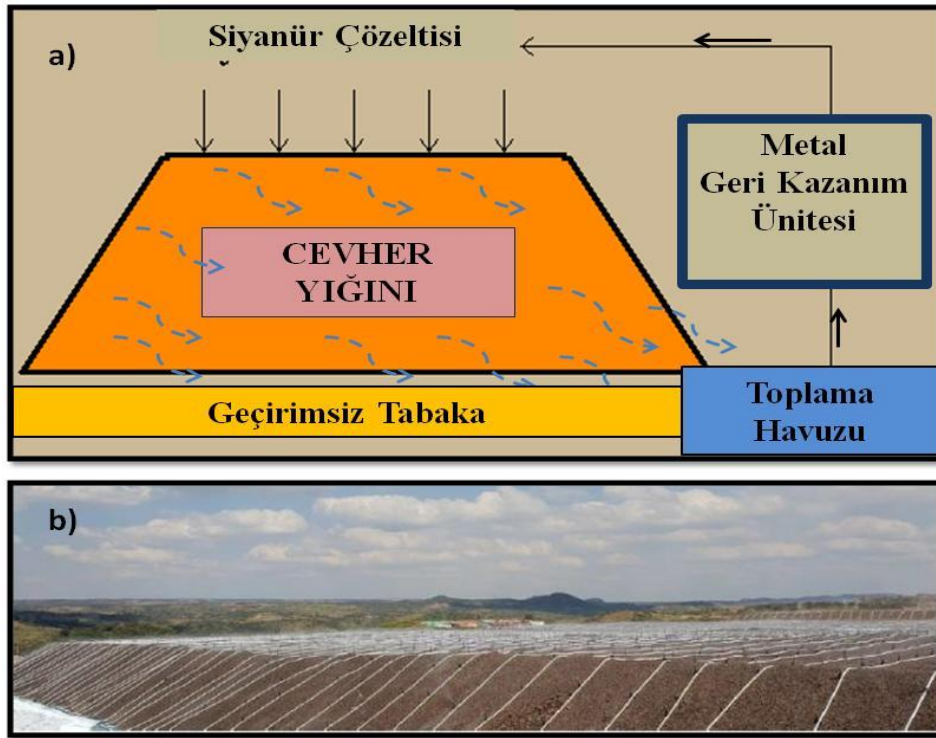
Şekil 10. (a) Derin deniz deşarjı boru döşeme sistemi ve (b) uygulamasına ait bir görüntü [8]

### 3.3. Gaz atıklar ve yönetimi

Tesis çalışırken ya da atık bertaraf işlemi sırasında bazı gaz atıklar oluşabilmektedir. Suda çözünen gazlar, ortam sıcaklığına, pH'sına ve gazın kısmi basıncına bağlı olarak sudan gaz formunda ayrılabilirler. Buna en iyi örnek siyanürlü altın madenciliğinde de sıkça rastlanan HCN (hidrojen siyanür) gazıdır. Bu gazın oluşmasını önlemek için atık suların pH değeri 10'un üzerinde tutulmalıdır. Aksi takdirde hidrojen siyanür gazı oluşur. Siyanür bertarafı için bir başka yöntem ise ortamı asidik yaparak HCN gazı çıkışı sağlamak ve bu gazı alkali bir ortamda geri kazanmaktır. Yine biyolojik (bakteriyel) ve ışınal tepkimeler sonucunda da SO<sub>2</sub> gibi çeşitli gazlar oluşabilmektedir. Bu gazın oluşumunun önlenmesi için bakteriyel aktivite durdurulmalı ve mümkünse ışıkla bağlantısı kesilmelidir. Ayrıca, entegre tesislerde bir takım ısısal işlemler sonucunda CO, CO<sub>2</sub> gibi sera gazları oluşabilmektedir. Özellikle, kalsinasyon işlemleri sonucunda yoğun miktarda karbon emisyonu oluşmaktadır. Bu karbon emisyonunun bertarafı için çok çeşitli metotlar uygulanabilmektedir. Bunlar, yakma öncesi yakalama (pre-combustion CO<sub>2</sub> capture), yakma sonrası yakalama (post-combustion CO<sub>2</sub> capture) ve Oksi-yakıt yakma tutumu (oxy-fuel) teknikleridir. Bu teknikler halen gelişim ve geliştirme aşamasındadır [31,32].

Altın ve gümüşün özütleme (liçinde), altın ve gümüş kazanım verimi düşük olmasına rağmen proses ekonomikliği nedeniyle yığın liçi tercih edilmektedir. Bu yöntemde, cevher bir tankın içerisine alınıp kapalı bir ortamda işlem görmez. Yığın liçi işlemi tamamen açık havada, açık doğal bir ortamda yapılır. Açık alanda bulunan cevher yığını üzerine bir pompa ve borularla düşük konsantrasyonda siyanür çözeltisi püskürtülür. Her ton çözelti içerisinde ortalama 1-2 kg civarında çözülmüş sodyum siyanür bulunur. Püskürtülen siyanür çözeltisi

yığındaki altın ve gümüşü çözeltiliye alarak geçirimsiz tabana doğru akar. Çözelti tabandaki havuzdan metal geri kazanım ünitesine gönderilir ve burada altın ve gümüş aktif karbon ünitesinden geçerken karbona adsorplanır. Siyanürlü sıvı ise ayarlanarak tekrardan yığın liçi işlemine gönderilir. Her ne kadar yığın liçi kontrollü yapılsa da, yığın üzerine aşırı yağışların gelmesi sonucunda kontrolsüz akışlar ve taşmalar meydana gelebilmektedir. Bu taşmaların çevreye yayılma riski vardır. Dolayısıyla yığın liçi, düşük yağış alan yerler için daha elverişlidir. Yığın liçi işlemi bittiğinde de, siyanürle kirletilmiş atıklar olduğu gibi kalmakta, yığındaki siyanür konsantrasyonu düşük de olsa yağışlarla çevreye yayılma riski bulunmaktadır. Ayrıca, ortamın pH'sı düştüğü için hidrojen siyanür gazı da oluşabilir ve canlılara zarar verebilir. Bu bakımdan mümkün olduğunca yığın liçinden kaçınılmalı, tank içerisinde kapalı ortamda kontrollü ve yalıtımlı liç yapılmalıdır [33-35]. Bu sayede hem altın ve gümüşün kazanım verimi artırılabilir, hem de çevresel sorunlar daha kolay bertaraf edilebilir. Şekil 11'de gösterilen yığının ortalama yüksekliği 10 metre, kapladığı alan ise birkaç dönüm olabilmektedir. Diğer yandan, madenin üretim ve tesisin işletme kapasitesine bağlı olarak hem yığın yüksekliği hem de kapladığı alan verilen değerlerin çok daha üzerine çıkabilir [36].



Şekil 11. (a)Yığın liçi işlemi ve (b) yığına çözeltiliyi püskürten boruların görüntüsü

Altın ve gümüş liç yöntemi ile kazanıldıktan sonra, içerisinde çeşitli ağır metalleri de içeren siyanürlü bir su kalır. Bu suyun pH değerinin sürekli olarak 10 ile 11 arasında tutulması gerekir, aksi takdirde düşük pH değerlerinde sodyum siyanür bozunur ve hidrojen siyanüre dönüşür. Bu gaz son derece zehirli ve öldürücü bir gazdır. Ayrıca, siyanür içeren tüm su havuzları doğru yönetilmezse, insan, bitki ve hayvanlar için son derece tehlikelidir. Özellikle göçmen su kuşları siyanürlü havuzlardan su içmeye meyillidir ve bu nedenle binlerce su kuşunun öldüğü bilinmektedir. Böyle kazaların yaşanmaması için siyanürlü havuzların üstü kuş topları ile kapatılmalıdır. Böyle bir uygulama ABD Cortez altın madeninde yapılmış ve Şekil 12'de gösterilmiştir. Atık havuzlarında biriktirilen siyanür bozundurulduktan sonra doğaya deşarj edilir. Doğal ortama boşaltılan sudaki siyanür içeriği en fazla 0.5 mg/lit olmalıdır. Bozundurma işlemi doğal yolla, kimyasallarla veya biyolojik yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Doğal bozundurmada güneş ışınları (ultraviyole ışınlar) kullanılır. Kimyasal yöntemlerde ise hidrojen peroksit, kükürt dioksit, alkali klorlama ve çeşitli asitler kullanılabilir. Biyolojik bozundurmada ise bakteriler kullanılır[37, 38].



Şekil 12. Siyanürlü atık havuzu yüzeyini örten yüzer kuş toplarının görüntüsü [38].

### 3.4. Gürültü ve yönetimi

Gürültü; hoş gitmeyen, istenmeyen, rahatsız ve hasta edici ses olarak tanımlanabilir. Bu bağlamda “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” hükümleri doğrultusunda belirtilen sınır değeri aşmayacak şekilde önlemler alınmalıdır. Cevher hazırlamada kullanılan makinelerin (kırıcılar, değirmenler, elekler vb.) çıkardığı sesler, yeterli ve etkin önlemler alınmadığı takdirde özellikle o iş kolunda çalışanlara önemli ölçüde zarar verebilmektedir. İnsan için 35-65 dB sesler normaldir. 65-90 dB arasındaki sesler ise gürültü olarak tanımlanabilir ve uzun süreli duyulduğunda çeşitli organlara zarar verebilir. Genel olarak değişik ülkelerde yürürlükte olan yönetmeliklere göre, gürültünün zararlı olmaya başladığı sınır 8 saatlik maruziyet için 90 dB, 4 saat için 93 dB ve 2 saat için 96 dB’dir. Cevher hazırlama tesislerindeki üniteler genellikle 60-100 dB arasında bir gürültü seviyesine sahiptir. Kullanılan makine ve ekipmanlara göre gürültü seviyesi de değişir. En gürültülü cihazlar değirmenler, kırıcılar ve eleklerdir. Kompresörler, Jeneratörler ve motorlar da önemli ölçüde gürültü oluşturur. Bu cihazlar, mümkün olduğunca stabil yerleştirilmeli, titreşim ve gürültü izolasyonu yapılmalıdır. Yine de önlem alınamıyorsa, çalışanlar kulak koruyucu kullanmalıdır. Eti Gümüş Maden İşletmesinin gürültü ölçüm değerleri Tablo 1’de verilmiştir [9]. Bu tablodan da görülebileceği gibi tesisin bazı ünitelerinde gürültü oluşumu sağlığı olumsuz etkileyebilecek düzeyde yüksektir.

**Tablo 1.** Eti Gümüş Maden İşletmesinin gürültü ölçüm değerleri [9]

Tesisteki Ölçüm Yeri	Gürültü Düzeyi (dB)
Konik kırıcı katı	93-94
Konik kırıcı besleyici katı	101-102
Pano odası	68-69
Dinlenme odası	57-58
Çeneli kırıcı yanı	90-91
Öğütme ünitesi (giriş)	95-96
Öğütme ünitesi dinlenme odası	70-71
Değirmen katı	97-98
Değirmen üst katı	97-98
Öğütme ünitesi giriş katı	98-99
Değirmen alt katı	107-108
Kompresör odası	89-90
Jeneratör odası	107-108
İzabe fırını	92-93
Regülatör	90-91
Dinlenme odası	78-79
Isı santrali	94-95
Dinlenme odası	47-48

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma sonucunda ulaşılan çıkarımlar aşağıda özetlenmiştir:

-Cevher hazırlama tesislerinden, değerli mineral kazanıldıktan sonra geriye “pasa” denilen bir atık çıkar. Bu atık, sadece doğal taştan oluşabileceği gibi, çeşitli kimyasalları da bünyesinde barındırabilir. Kimyasal içeren atıklar için ekstra güvenlik önlemleri alınması şarttır. Örneğin bu atıklara nötralizasyon veya indirgeme reaksiyonları uygulanabilir. Kimyasal içermeyen atıklar ise atık sahasında kontrollü olarak depolanabilir. Bunlar inert atık olarak bilinir ve yağmur, su ve rüzgar gibi dış etkilere etkilenmezler. Yani durdukları yerde zararlı kimyasallar üretmez veya çevreyi kirlenmeye bileşenler oluşturmazlar. Endüstriyel hammaddelerin (kil, pomza, kireç, silis kumu, mermer, perlit vb) atıkları genellikle bu tipte zararsız atıklardır.

-Cevher hazırlama tesislerinin yüzde 90’ında sulu prosesler kullanılır ve bu prosesler sonucunda sulu atıklar oluşur. Sulu atıkların bertarafı katı atıklara göre daha zor ve maliyetlidir. Çünkü katıların bazıları su içerisinde askıda kalabilir, çözünebilir ya da zararlı ağır metaller veya bileşikler oluşturabilir. Bu bileşikler birbiri ile tepkimeye girerek çeşitli kimyasallara ve zararlı maddelere dönüşebilir. Bu bakımdan, sulu atıklar için mevcut tesislere çöktürme tankları, atık barajları ve filtrasyon üniteleri kurmak gerekir.

-Cevher hazırlama tesislerinde, sulu atıklardan suyun geri kazanımı ve proseste tekrar tekrar kullanımı mümkündür. Bu işlemler için başta tükener ve akabinde çeşitli bez filtrelerden (disk ya da pres filtre) faydalanılır. Cevher içerisindeki kil oranına bağlı olarak, suyun hemen hemen %80’e yakın bir kısmı geri kazanılabilir ve tekrardan proseste kullanılabilir. Ancak kil oranının yüksek olduğu cevherlerde, suyun geri kazanım oranı azalabilir. Çünkü kil mineralleri hacimlerinin birkaç katı suyu absorbe eder ve bu su atılan killi kayaçla birlikte atığa gider ve oradan buharlaşarak yok olur.

-Cevher hazırlama tesislerinde büyük hacimlerde ortaya çıkan katı-sıvı karışımların, çamurların ya da sadece suyun tutulması amacıyla atık barajı inşası zorunludur. Atık barajları aynı zamanda kimyasal bozundurma da yapıldığı yerlerdir ve tehlikeli maddeler içerebilir. Bu bakımdan, mevzuata uygun olarak sağlam ve geçirimsiz inşa edilmelidir. Ayrıca, atık barajı yenilmeleri sıklıkla görülen olaylar olup, büyük ölçüde çevre felaketlerine neden oldukları için düzenli takip gerektirir.

-Siyanür, asit ve baz gibi çeşitli kimyasallarla zenginleştirme yapan liç tesisleri için atık barajı kaçınılmaz olarak inşa edilmelidir. Atık barajları mevzuata uygun olarak inşa edilmeli, taşma veya yenilme olaylarına karşı risk etütleri yapılmalıdır. Dünya genelinde cevher hazırlama tesislerinde baraj yenilmeleri sıklıkla görülen olaylardır. Bu durum, barajların yeterince sağlam yapılmadığının bir göstergesidir.

-Cevher hazırlama tesislerinde; kırma, öğütme ve eleme gibi işlemlerinde gürültü seviyesi 100 dB’in üzerine kadar çıkabilmektedir. Bu ses seviyesi insan sağlığı için zararlı olup, gerekli yalıtımlar yapılmalı ya da bu bölgelerde çalışanlara kişisel koruyucu ekipmanlar verilmelidir. Ayrıca, bu kısımlarda toz ve taş sıçraması olayları gerçekleşebileceği için baret ve koruyucu gözlük de kullanılmalıdır. Sesin olduğu yerde titreşimin de olacağı kaçınılmazdır ve titreşim için de gerekli önlemler alınmalıdır.

-Tesiste kullanılan kimyasallar, su ve bazı diğer elementlerle birleştiği zaman zararlı gazlar oluşturabilmektedir. Örneğin, siyanürle işlem gören altın ve gümüş madenlerinde zehirli bir gaz olan hidrojen siyanür oluşur. Bu gazın oluşumunu önlemek için ortamın pH’sı soda veya kireçle arttırılabilir ve gaz çıkışı önlenir. Bu reaksiyon sonucu sodyum siyanür elde edilebilir. Gaz çıkışının önlenmesi için pH 10-11 aralığında tutulmalıdır.

-Flotasyon tesislerinde çok çeşitli ve kompleks kimyasallar kullanılmaktadır [39]. Özellikle sülfür içeren kimyasallardan SO<sub>2</sub> gazı çıkması kaçınılmazdır. Benzer şekilde, diğer kimyasallardan da çeşitli koku ve gazlar çıkabilir. Bu bakımdan, flotasyon tesislerinde mutlaka gaz tipi tespiti ve ölçümü yapılmalı ve gerekli ise buralarda gaz maskesi kullanılmalıdır.

-Uranyum ve toryum gibi radyoaktif minerallerin zenginleştirildiği tesislerde ekstra güvenlik önlemi alınmalı Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği’ne [40] uygun olarak çalışılmalıdır. Tesislerde düzenli olarak radyasyon ölçümleri yapılmalı, toz maskesi kullanılmalı ve çalışanların izolasyonu en yüksek seviyede tutulmalıdır. Ayrıca bu tesislerde radon gazı ölçümleri de yapılmalı ve seviyesi 1000 Bq/m<sup>3</sup>’e ulaşan tesislere ilave havalandırma tesisatı kurulmalıdır.

-Tesislerde toz ve gürültü kaçınılmaz olarak oluşur. Bu bağlamda, cihazların yalıtımı önemlidir. Kırma, öğütme, eleme makinaları ve taşıma bantlarının üstünün kapalı olması gerekir. Açık olan kısımlara, tozumanın bastırılması için sprey su verilebilir. Gürültü ve titreşimin azaltılması için makine ve ekipmanlar sağlam betonarme zeminlere oturtulmalı, gürültüyü kesici veya azaltıcı parçalardan kullanılmalıdır. Örneğin eleme makinelerindeki çelik yaylar çok fazla gürültüye neden olurken, lastik ya da kauçuktan imal edilen Rosta gibi süspansiyon sistemleri tercih edilmelidir.

-Cevher hazırlama atıklarının farklı sektörlerde kullanılabilmesi unutulmamalı, her atık türü için alternatif kullanım alanları araştırılmalıdır. Günümüzde çoğu cevher hazırlama atığı başta inşaat, çimento ve seramik olmak üzere pek çok sektörde kullanılabilir [41]. Bu sayede, hem atıklar bertaraf edilmekte hem de katma değeri yüksek ürünlere dönüşmektedir. Bu yüzden atıklar iyi karakterize edilmeli ve üzerine bilimsel çalışmalar yürütülmelidir. Bu çalışmalar yasal müeyyidelerle zorunlu hale getirilmelidir.

Sonuç olarak, cevher hazırlama tesis atıklarının hepsi zararlı olmasa da, özellikle zararlı atıkların mevzuata uygun olarak bertaraf edilmesi gerekir. Maliyetlerden kaçma amacıyla, atıkların kontrolsüz olarak yayılması çevreye, canlılara ve daha birçok şeye ciddi zararlar verebilir. Oluşabilecek bu tehlikeler göz ardı edilmemeli ve gerekli önlemler mevzuatlar çerçevesinde alınmalıdır. Ayrıca, devlet tarafından düzenli denetimler yapılmalı ve mevzuatın uygulanması için azami çaba gösterilmelidir. Aksi takdirde, geçmişte olduğu gibi, madencilik kaynaklı pek çok çevre felaketi ile birlikte önemli ölçüde maddi kayıplar da gündeme gelecektir.

### Kaynaklar

- [1] Dold, B. Sustainability in metal mining: from exploration, over processing to mine waste management, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 2008; 7(4): 275-285.
- [2] Yıldız N. Atık Yönetimi, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Kitabı, Ertem Basım Yayın Dağıtım Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. 2010; 457.
- [3] Ashton, P., Love D., Mahachi H. Appendix 2: Environmental and social impacts of mining, environmental key, 2003; [https://pdf.wri.org/mining\\_background\\_literature\\_review.pdf](https://pdf.wri.org/mining_background_literature_review.pdf).
- [4] TÜİK. Atık İstatistikleri, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198>, Türkiye İstatistik Kurumu, 2020; Ankara,
- [5] Maden Atıkları Yönetmeliği, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/07/20150715-3.htm>, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015; Resmi Gazete, Ankara,
- [6] Johnson D.B., Hallberg K.B. Acid mine drainage remediation options: a review, *Science of The Total Environment* 2005; 338 (1-2): 3-14.
- [7] Gürtekin, G., Maden atık karakterizasyonunda proses mineralojisi uygulaması, Doktora Tezi, 2020, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [8] Karaca, E. Metalik maden zenginleştirme tesislerinin proses atıklarının atık barajlarında depolanması, Uzmanlık, 2010, Çevre ve Orman Bakanlığı Yayını. Ankara.
- [9] Ediz, G., Beyhan, S., Akçakoca, H., Sarı, E. Madencilikte gürültü sorunu ve gürültüye bağlı işitme kayıpları, Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 29-31 Mayıs 2002, Zonguldak, Türkiye.
- [10] Erçikdi, B. Mineral ve kimyasal katkı maddelerinin macun dolgu performansına etkisi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2009; Trabzon.
- [11] Uğurlu, Ö.F. Metal madenciliğinde yer altı açıklıkları için macun dolgu malzemesinin araştırılması, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013; İstanbul.
- [12] Smith R.W. Liquid and solid wastes from mineral processing plants, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* 1996; 16 (1): 1-22.
- [13] Lu, Z., Cai, M., Disposal methods on solid wastes from mines in transition from open-pit to underground mining, *The 7th International Conference on Waste Management and Technology*, Beijing, SciVerse Science Direct, 2012; 715-721.
- [14] Hacifazlıoğlu, H. Kömür yıkama tesis atıklarının susuzlandırılmasında eski ve yeni teknolojiler, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 2016; 55 (3):17-26.
- [15] Teknoconvey, Toz toplama sistemleri, <http://www.teknoconvey.com/blog/2019/05/03/toz-toplama-sistemleri-hakkinda-genel-bilgi/>, 2022.
- [16] Yıldız, Ö., Eşikaya, Ş., Afyon Doğaltaşı Toz Atıklarının Değerlendirilmesi, Türkiye Birinci Doğaltaş Sempozyumu, 1995; 1, 4552. 252
- [17] Erdemoğlu, M., Göktaş, M. Mermer artıklarından katma değeri yüksek ileri seramik tozların üretimi, Mermer Madenciliğinde Çevresel Yaklaşımlar (1. Basım), Yayınevi : Muğla Büyükşehir Belediyesi, 2018; ISBN : 978- 605-4839-14-8, 235-252.
- [18] Göktaş, M., Erdemoğlu, M. Aşırı öğütme ile mekanik olarak aktifleştirilmiş atık mermer tozları kullanarak yapay vollastonit üretimi ve kullanımı, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi, 2014; 54 (1-2) 39-42.
- [19] Yılmaz, A. Sürdürülebilirlik açısından mermer atıklarının karayolu inşaatında değerlendirilmesi: Ekonomik Analiz Örneği, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2020; 24 (2) 402-410.
- [20] Karadeniz, M. Asit maden (kaya) drenajında aktif ve pasif çözüm yöntemleri, *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, 5-6 Mayıs 2005, 91-97, Ankara.
- [21] Gray, N.F. Environmental Impact and Remediation of Acid Mine Drainage: A Management Problem, *Environmental Geology*, 1997; 30, (1/2): 62-71.

- [22] Gazea, B., Adam, K. Kontopoulos, A. A review of passive systems for the treatment of acid mine drainage, *Minerals Engineering* 1996; 9 (1): 23-42.
- [23] Ferris, F.G., Tazaki, K., Fyfe, W.S. Iron oxides in acid mine drainage environments and their association with bacteria, *Chemical Geology* 1989; 74 (3-4): 321-330.
- [24] Akcil, A., Koldas, S. Acid mine drainage (AMD): causes, treatment and case studies, *Journal of Cleaner Production*, 2006; 14 (12-13): 1139-1145.
- [25] Barrie Johnson, D., Kevin, D., Hallberg, B. Acid mine drainage remediation options: a review, *Science of The Total Environment*, 2005; 338 (1-2): 3-14.
- [26] Başçetin A., Özdemir O., Tüylü S., Adıgüzel D., Akkaya U.G. Proses atıklarının macun teknolojisi kullanılarak yerüstünde depolanması, *Yer Altı Kaynakları Dergisi*, 2015; 4 (7): 33-49.
- [27] Arslan V., Bayat O., Vapur H., Uçurum, M. Cevher hazırlama atık barajlarında taşma ve güvenlik önlemleri, *Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu 2017*; 1-11, Adana.
- [28] Trannum H.C., Gundersen H., Escudero-Oñate C., Johansen J.T., Schaanning M.T., Effects of submergine tailings on macrobenthic community structure and ecosystem processes, *Science of the Total Environment*, 2018; 630, 189-202.
- [29] Sezgin, N. Maden Atık Çamurlarının Denizaltı Depolama Yöntemi ile Bertarafı, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 2020; 6(1): 209-217.
- [30] İzdar E. Karadeniz'in hidrografik, biyolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle oluşturduğu tabakalaşmanın anoksik ortamında sülfid içeren atıkların depolanabilirliği, *Piri Reis Denizcilik ve Eğitim Vakfı*, 2009, İzmir.
- [31] Gibbins J. Chalmers H., Carbon capture and storage, *Energy Policy* 2008; 36 (12): 4317-4322.
- [32] Pires, J.C.M., Martins F.G., Alvim-Ferraz, M.C.M., Simões, M. Recent developments on carbon capture and storage: An overview, *Chemical Engineering Research and Design*, 2011, 89 (9): 1446-1460.
- [33] Yıldız, N. Altın madenciliği, Online yayınlanmış not. 2022. [https://www.researchgate.net/publication/284186106\\_Altin\\_Madenciligi](https://www.researchgate.net/publication/284186106_Altin_Madenciligi)
- [34] Petersen, J. Heap leaching as a key technology for recovery of values from low-grade ores – A brief overview, *Hydrometallurgy*, 2016, 165 (1): 206-212.
- [35] Kurşun, İ. Determination of mineral processing induced environmental impacts, *Asian Journal of Chemistry*, 2006, 18 (3): 2376-2384.
- [36] Ghorbani, Y., Franzidis, J., Petersen, J. Heap Leaching Technology—Current State, Innovations, and Future Directions: A Review, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review An International Journal*, 2016; 37 (2): 73-119.
- [37] Çelik, H., Mordoğan, H., İpekoğlu, Ü., Siyanürlü altın üretim tesisi atıklarını arıtma yöntemleri, *Madencilik*, 1997; XXXVI (1). 33-45.
- [38] Logsdon, M.J., Hagelstein, K., Mudder, T.İ. Altın üretiminde siyanür yönetimi, *Normandy Madencilik A.Ş.* 2001; 44, Ottawa, Ontario CANADA.
- [39] Bulut, G., Göktepe, F. Madencilik ve Cevher hazırlama işlemlerinde kullanılan kimyasallar, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2012; XXV (1): 37-56.
- [40] Radyasyon güvenliği yönetmeliği, Resmi gazete 24.3.2000. Sayı 23999, <https://www.mevzuat.gov.tr/>
- [41] Korkmaz, A.V. Perlit ve traverten atıkları ile üretilen puzolanik çimentoların mühendislik özelliklerinin incelenmesi, *MT Bilimsel, Yeraltı Kaynakları Dergisi*, 2020; 17: 32-50.