

Asit Maden (Kaya) Drenajında Aktif ve Pasif Çözüm Yöntemleri

M. Karadeniz

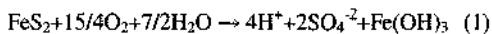
MTA Genel Müdürlüğü, Ankara

ÖZET: Sülfürlü metal veya kömür madeni işletmelerinde karşılaşılan asit maden drenajının belirgin özellikleri; düşük pH, yüksek asidite, yüksek iyon koasantasyonu ($\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$, Al^{+3} , Mn^{+2} ve SO_4^{+2} gibi), askıda katı ve çözünmüş katı olarak sıralanabilir. Arıtma teknikleri temel olarak soruna kaynaklık eden bu parametreler için geliştirilmektedir. Her açıdan avantajlı olan kaynakta önleme, çevresel önlemler zamanında alınmadığı takdirde, çözüm getirememektedir. Bu durumda, ya öteden beri bilinen aktif arıtma veya son yıllarda giderek yaygınlaşan pasif arıtma yöntemlerinden biri uygulanmak durumundadır. Uzun yıllardır yapılan araştırmalar sonucunda çok sayıda aktif ve pasif yöntem geliştirilmiştir. Ancak, maden yataklarının ve buna bağlı ortam koşullarının kendine özgü olması sebebiyle, tüm yataklara uygulanabilen bir yöntem mevcut değildir. Doğal olarak her çözümün bazı üstün nitelikleri olduğu gibi, zaafları da bulunmaktadır. Yöntem seçiminde belirleyici unsurlar; ortam koşulları, güvenilirlik, maliyet ve çevre standartlarıdır.

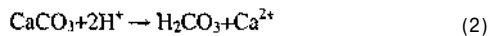
ABSTRACT: AMD that is usually seen in metal and coal mine works bearing sulfides is characterized by low pH, high acidity, high ion concentrations such as $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$, Al^{+3} , Mn^{+2} and SO_4^{+2} , TSS and TDS. Treatment methods are developed as considering those parameters which are the main sources of problem. The best way of dealing with AMD is the control at source however, it may not be a solution unless environmental preventions are taken in time. In these cases, one of either conventional active treatment known for a long time or passive treatment methods those are applied more and more recently must be chosen. Numerous active and passive treatment techniques have been developed as a result of the researches that taken years. Since mine deposits and environment conditions that depend on them are unique, there is no any treatment technique applicable to all mine works. Naturally, every solution has some superiorities over the others, of course, together with some deficiencies. Local conditions, reliability, cost and environmental limitations or standards are the factors that play determining roll on the selection of method to be used.

1 GİRİŞ

Başta pirit olmak üzere, sülfürlü metalik mineral içeren kömür, baz metal, uranyum ve değerli metal madenlerinde görülen asit maden drenajı, sülfürlü minerallerin nemli ortamda genellikle mikrobiyolojik katkıyla (Kuyucak, 2000) oksidasyona uğraması sonucu, drenaj sularının asidik karakter kazanmasıdır. Süreci etkileyen parametrelerin çokluğu karmaşık ve çok kademeli reaksiyonlar (Karadeniz, 2000) zincirine sebep olur. Asit üreten reaksiyonları basite indirgeyerek;



ve ortamdaki karbonat ve silikat minerallerinin tetiklemesiyle asit oluşumunu engelleme ve nötürleştirme yönünde ortaya çıkan reaksiyonları ise,



ifadeleriyle özetlemek mümkündür. Buna göre, ortamın mineralojik yapısına bağlı olarak, hem oksidasyon hem de nötürleştirme reaksiyonları gerçekleşebilir.

Kimi zaman insan faaliyetlerinin dışında tamamen doğal olarak da gelişebilen AMD; düşük pH, yüksek asidite, yüksek iyon konsantrasyonu

(zengin metal içeriği), askıda ve çözünmüş katı özellikleriyle çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir (Gray, 1997). Burada belirtilmesi gereken önemli husus, sülfür içeren her maden işletmesinde AMD probleminin görüleceğini ileri sürmenin doğru olmadığıdır.

Öncelikle, işletmenin planlanması aşamasında, söz konusu maden yatağı jeolojik, mineralojik, kimyasal, fiziksel, biyolojik ve bölgesel açıdan incelenmek, değerlendirilmek ve neticede de tanımlanmak durumundadır (Karadeniz, 2004). Ardından statik ve kinetik testler veya bir başka kestirim yöntemi kullanılarak (Yörükoğlu & Karadeniz, 2003), AMD'na ilişkin olası gelişmeleri önceden, belli ölçüde de olsa tayin etmek gerekir.

Tüm bu adımlar geçildikten sonra, eğer işletmede AMD üretim potansiyeli varlığı görülüyorsa, örtü kayaç veya pasa malzemesinin kontrollü yerleştirilmesine ve suların yönetimi temeline dayanan kaynağında önleme yaklaşımı (sorun ortaya çıkmadan çözüm aranması) doğru tercihtir. ABD'nin doğu kısmında yapılan araştırmalarda, AMD sorununun yaklaşık %90 mertebesinde kapatılmış açık ocak ve derin kömür madenciliklerinden kaynaklandığı belirtilmektedir (Ziemkiew ichz, Skousen & Simmons; 2005). Bu bağlamda, kaynakta önleme tartışması en ucuz ve etkin çözümdür.

Aksi taktirde, geleneksel olarak uygulanmakta olan aktif arıtma veya son yıllarda hızlı gelişme gösteren ve dolayısıyla giderek yaygınlaşan pasif arıtma yöntemlerinden uygun olan birinin seçilmesi zorunludur. Yöntemin belirlenmesinde; maden yatağının jeolojik ve mineralojik yapısı, üretim yöntemi, yerüstü ve yeraltı su rejimi, tesis ömrü, arazi topografyası, iklim ve maliyet dikkate alınması gereken unsurlardır.

Maden yataklarına ilişkin koşulların kendine özgü olmasından dolayı, çok sayıda arıtma yöntemi (iyon değişimi, radyasyon, ani damıtma, ters osmoz, dondurma, elektrodializ ve köpük ayırımı gibi) geliştirilmesine karşın (Williams, 1975; Bhole, 1994), bunların büyük çoğunluğu, farklı sınırlamalardan dolayı, yaygınlaşma olanağı bulamamıştır. Yine, iyi bilinen yöntemler üzerinde de, hemen her defasında bazı değişikliklere gidilmesi zoruridir.

2 AKTİF ARITMA

Çevre açısından, AMD'ı çözeltilende izlenmesi zorunluluk arz eden parametreleri: pH, asidite, Fe,

askıda ve çözünmüş katı düzeyleridir. Buna göre, aktif arıtma esas itibarıyla, bir alkali kimyasal madde yardımıyla önce drenaj çözeltilisini nötrleştirme ve sonra, metalleri çöktürme (presipitasyon) işlemidir.

Genel olarak aktif arıtma proseslerinde, AMD uygun bir yerde (gölet gibi) toplandıktan sonra, arıtma işleminde kullanılmak üzere seçilen kimyasal beslemesi yapıp, karıştırılır. Karıştırma mekanik, türbülanslı akış vasıtasıyla sağlanabileceği gibi, doğal çözünme de uygulanabilir. Kimyasal süreç, gerektiğinde havalandırma, oksidasyon (kimyasal veya biyolojik), salkımlaştırma gibi yardımcı işlemlerle desteklenir. Bu aşamayı, berraklaştırıcılar, diğer mekanik ayırıcılar (koyulaştırıcı gibi) kullanmak suretiyle gerçekleştirilen çöktürme izler. Kimi zaman da sadece çöktürme havuzlarından faydalanılır. Katı-sıvı ayrılmıya atık sızının uzaklaştırılmasını takiben, çamur bertaraf edilerek (derin madenlerde veya uygun mekanda depolama) arıtma tamamlanır (EPA; 1983).

Bu amaç doğrultusunda kullanılabilecek belli başlı kimyasallar arasında hangisinin seçileceği teknik ve ekonomik etmenlere bağlıdır. Drenaj hacmi, asidite seviyesi, çözeltildeki metal konsantrasyonu ve türü, askıda ve çözünmüş katı mevcudiyeti ile başlangıç pH değeri gibi drenaj çözeltilisinin geliştiği ortama bağlı olarak kazandığı kimyasal ve fiziksel yapı (Çizelge 1) dışında, gerekli kimyasal oranlan ve doğal ortama verilecek suyun niteliği teknik faktörlerdir. Ayrıca, kimyasal maliyeti, ekipman durumu, tesis ömrü, işçilik ve tabii ki risk faktörü ekonomik açıdan belirleyici rol oynamaktadır.

Çizelge 1. AMD Sularının Sınıflandırılması (Ziemkiewicz & Skousen, 1996).

Parametre	Tip 1	Tip 2	Tip 3
pH	2.5 - 5.5	6.2 - 8.3	5.5 - 8.3
Asidite	10 - 2 000 +	0 - 500	0 - 200
Alkallılık	0	5 - 400	5 - 200
Fe ⁺³	5 - 2 000 +	0 - 5	0 - 20
Fe ⁺²		5 - 500 +	0 - 100 +
Al ⁺³	5 - 300 +	0 - 5	0 - 100 +
Mn ⁺²	2 - 300 +	2 - 300 +	2 - 25
Ca ⁺²	0 - 200	200 - 800	200 - 600
SO ₄ ⁻²	500 - 4 000 +	500 - 2 000	500 - 2 000
H ₂ CO ₃	10 - 30 +	0 - 5	0 - 300 +
HCO ₃ ⁻	0	5 - 300	5 - 300
TAK	~0	~0	15 - 2 000 +
TÇK	300 - 3 000 +	300 - 3 000 +	300 - 3 000 +

2.1 Çözültideki iyonlar ve davranışları

AMD'nı sorun haline getiren ilk parametre yüksek H^+ iyonu konsantrasyonu (düşük pH), diğeri de, bilhassa mineral asiditesi olarak tanımlanan (Skousen, 1996) ve üzerinde daha fazla durulan metal iyonu konsantrasyonudur. Bu nedenle, ilk adım çözeltinin nütürleştirilmesidir. Ayrıca, metal iyonları genelde kimyasal olarak suyun pH değeri 6-9 arasında iken çökeler.

Nihai hedefte, pH'm çok yüksek olması istenmiyorsa (8-8.5), karbonatlı bileşikler yeterli olur. Ancak, ortamın pH seviyesinin daha fazla yükselmesi istenirse, hidroksit bileşikler ilâve edilmelidir. Bu yalnızca su kalitesine bağlı değildir. Çözeltinin içerdiği metal iyonlarının davranışlarıyla da yakından ilgilidir.

Ortamda oksijen varsa, Fe^{+2} iyonları oksitlenerek Fe^{+3} e dönüşüp demir hidroksit oluşturur ve pH 3.5'e ulaştığında sarımsı turuncu renkte bir katı halinde çökeler. Şayet, oksijen yetersizse, demir Fe^{+2} iyonları formundadır. Çökme ancak, pH 8.5'e çıktığında görülür ve mavimsi yeşil renk verir. Oksijen fakirliği halinde, iki değerlikli demir iyonlarının üç değerlikli demire yükseltgenmesi için havalandırma yararlı olur.

Çökme açısından asıl büyük problem Mn iyonları varlığına yaşanır. pH 9-9.5 aralığında çökelen Mn'ı tamamen uzaklaştırabilmek için, bu değeri 10.5'e çıkarmak gerekebilir. Demir iyonu konsantrasyonunun manganez iyonu konsantrasyonuna kıyasla 4 kat ya da daha fazla olması halinde, pH 8'in üzerinde birlikte çökme gerçekleşir.

Bir diğer önemli metal iyonu olan Al'un davranışı oldukça farklıdır. pH 5'in üzerine çıktığında çökelen Al, pH 9'a ulaştığında yeniden çözünerek çözeltiye geçer ve ancak pH 10.5'den sonra çökeler.

Doğaldır ki, drenaj çözültülerinde bulunan metal iyonları bunlarla sınırlı değildir. Mineralojik yapı kapsamında bakır, kurşun, çinko, nikel ve diğer ağır metallere de rastlanabilir. Ayrıca, yine yatak mineralojisine bağlı olarak, drenajda sülfat iyonu dışında bazı anyonlar bulunabilir.

2.2 Kimyasallar

Aktif arıtmada kullanılan kimyasallar amaçları yönüyle; nütürleştiriciler, topaklayıcılar/salkımlaştırıcılar (koagülantlar/flokiilantlar) ve

oksitleyiciler olmak üzere üç grupta toplamak mümkündür.

Potasyum, magnezyum, amonyak ve diğer kalsiyum bazı olanlar da dahil çok sayıda kimyasal bileşik ve mineral atımda alternatif olabilecek özellikler taşımaktadır (Stokowski, Shapiro & Pincomb, 1992). Nütürleştirici bileşikler toprak alkali metallerin oksit, hidroksit veya karbonattandır (Çizelge 2 ve 3). Ancak, ağırıklı olarak tercih edilen dört kimyasal; kireçtaşı, hidrate kireç, soda külü ve kostik sodadır. Bu bileşiklerin özelliklerini oluşturan sodyum/kalsiyum ve karbonat/hidroksit arasında karşılaştırma yapılarak uygun kimyasal belirlenir. Kalsiyumlu bileşikler sodyumlarına göre ucuz ve reaksiyon hızları düşüktür. Hidroksitler pH'm yükselttilmesinde ve metallerin çöktürülmesinde etkili, buna karşın kullanımları daha güç, maliyetleri fazladır.

Çizelge 2. Arıtma Kimyasalları ve Nölürleştirmede Etkinlikleri (Skousen, Hilton & Faulkner, 1996).

Kimyasal	Formül	Nötürleştirme Etkinliği
Kireçtaşı	$CaCO_3$	%30
Hidrate Kireç	$Ca(OH)_2$	%90
Sönmemiş Kireç	CaO	%90
Soda Külü	Na_2CO_3	%60
Kostik Soda	$NaOH$	%100
%20'lik Sıvı Kostik	$NaOH$	%100
%50'lik Sıvı Kostik	$NaOH$	%100
Amonyak	NH_3	%100

Çizelge 3. Kalsiyum veya Sodyum Bileşiklerinin Seçimini Etkileyen Etmenler (Skousen, 1996).

Etmen	Kalsiyum	Sodyum
Çözünürlük	Yavaş	Hızlı
Uygulama	Karıştırma gerekli	İyi dağılma
Sertlik	Yüksek	Düşük
Jips Oluşumu	Evet	Hayır
Yüksek Askıda Katı Oranı veya Kil Tanecikleri	Killer etkiler	Killer dağılır ve askıda kalır
Kimyasal Maliyeti	Düşük	Yüksek
Tesis ve Bakım Maliyeti	Yüksek	Düşük

Çöktürme havuzlarında önem taşıyan kalış süresini kısaltabilmek adına, hızlı çökelmeyi temin için çözeltiye topaklayıcılar veya salkımlaştırıcılar ilâve edilmesi bilinen bir uygulamadır. Bu amaçla, çözüldüğünde yitsek yüklü iyonlar veren ($Al_2(SCO_4)_3$) ve ($FeSCO_4$) gibi polielektrolitler veya karşı yüklü katıları uzaklaştırmak üzere.

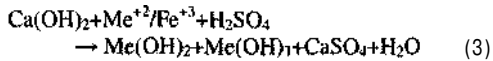
çözündüğünde negatif veya pozitif yüklü iyonlar üreten polimerlerden yararlanılabilir.

Metallerin daha düşük pH seviyelerinde Çökelmesini temin ve kimyasal arıtmanın etkinliğini artırarak maliyeti düşürme gayesiyle çözeltiye, oksitleyici olarak peroksit, hipoklorit ve permanganat bileşikleri karıştırılabilir.

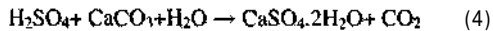
2.3 Arıtma kimyasalları

AMD sorununun kimyasal ilâvesiyle artırılması öteden beri bilinen ve yaygın şekilde kullanılan bir yöntemdir. Madenlerdeki yataktan yatağa değişen özellikler nedeniyle, yıllardır sayısız kimyasal bileşik denenmiştir. Burada, genel anlamda başarılı sonuçlar alınan dört tanesine kısaca değinilmiştir.

Hidmet kireç (Ca(OH)₂): Tüm aktif arıtma kimyasallarının en yaygın kullanılanı, özellikle asiditenin yüksek ve drenaj hacminin fazla olduğu yerlerde, bilhassa kömür madencilğinde tercih edilenidir. Toz halinde bulunması, belli ölçüde de olsa hidrofobik davranması nedeniyle, olumlu sonuçlar elde edilmesi, çözeltide iyi dağılmasına, diğer bir deyişle, karıştırma işleminin etkin yapılmasına bağlıdır. Reaksiyona girdiğinde, jips oluşturur (3) ve çamur hacmi yüksektir.



Kireçtaşı (CaCO₃): En ucuz ve güvenilir seçenek olan, diğerlerine oranla kullanım kolaylıkları sağlayan kireçtaşı, düşük çözünürlüğü nedeniyle pH'm ve metal iyonu konsantrasyonunun düşük olduğu şartlarda oldukça iyi sonuçlar vermektedir. etkinliğini tane boyutu, kalsiyum içeriği ve spesifik yüzey alanı belirlemektedir. İnce tane boyutu (-325 mesh), yüksek kalsiyum düşük magnezyum oranı ve yüksek spesifik yüzey alanı kireçtaşının verimliliğini artırmaktadır.



Kireçtaşı uygulamalarında, düşük çözünürlüğü dışında, reaktivitesi açısından karşılaşılan başlıca sorun yüzeyinin çözeltide bulunan metal iyonları, jips ve demir hidroksit ile kaplanması neticesinde etkisiz kalmasıdır.

Soda külü (Na₂GO₂): Soda külü akış hızının, metal konsantrasyonunun ve asiditenin az olduğu

koşullarda tercih edilen bir bileşiktir ve maliyeti yüksek, çöktürme süresi uzundur.

Kastık soda (NaOH): Akış hızının düşük, asiditenin fazla ve özellikle manganez konsantrasyonunun yüksek olduğu koşullarda tercih edilen kimyasaldır. Yüksek maliyeti ve kuvvetli baz olması nedeniyle gelen kullanım zorluğu en önemli dezavantajdır. Ayrıca, çok soğuk havalarda donma riski taşımaktadır.

Bu reaktiflerin dışında, iki değerlikli demir ve manganez konsantrasyonunun fazla olduğu Çözeltelerde amonyak oldukça etkilidir. Güçlü bir nitrüleştiricidir. Kullanım zorluğu, zehirliliği nedeniyle risk taşıması ve alıcı ortamlarda yaşayan canlılar için ciddi tehdit oluşturması kullanımını büyük ölçüde sınırlamaktadır.

3 PASİF ARITMA

Kimyasal ilâvesi gerektirmemesi sebebiyle, pasif diye adlandırılan ve aktif arıtmaya alternatif olarak geliştirilen pasif arıtma teknolojilerinin karmaşık kimyasal ve biyolojik mekanizmaları hakkındaki araştırmalar, son 15 yıllık dönem içinde yoğunluk kazanmıştır. Düşük maliyeti, işletme ve bakım basitliği gibi sebeplerle giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sistemlerden beklenen, metallerin, indirgenme veya yükseltgenme reaksiyonlarıyla kimyasal anlamda çöktürülerek sudan uzaklaştırılması ve suyun pH değerinin söz konusu ortamdaki canlıların yaşamlarını idame ettirecekleri seviyeye yükseltilmesidir.

Aktif arıtma yöntemlerinde de görüldüğü gibi, metallerin kendilerine özgü karakterleri neticesinde, çok sayıda pasif arıtma teknolojisi geliştirilmiştir. Bunlar arasında; Doğal ve Suni Bataklıklar (yükseltgen ve indirgen şeklinde de ayrımlar bilinmekte), Anoksik Kireçtaşı Drenleri (ALD), Ardışık Alkali Üreten Sistemler (SAPS), Kireçtaşı Havuzları ve Açık Kireçtaşı Kanalları başlıca uygulananlardır. Kimi zaman birden fazla sistem bir arada kullanılabilir. Buna göre, uygulama için bir strateji geliştirilmesi gerekmektedir.

Arıtma sistemin başarısı; suyun (çözeltilinin) kimyasal yapısına, debisine, arazinin topografyasına ve ortamın karakterine bağlıdır. Dolayısıyla, uygulanacak yöntemin seçimi ve tasarımından önce, bu parametrelerin belirlenmesi hayati önem taşımaktadır.

3.1 Bataklık sistemleri

Drenaj sulan doğal veya inşa edilerek oluşturulmuş bataklık alanlardan geçirilmek suretiyle arıtılabilmektedir. Bitki ve hayvan barındırmaları, estetik görünüm sağlamaları nedeniyle, değerli birer ekosistem niteliği taşıdıkları kabul edilmektedir.

3.1.1 Doğal bataklıklar

AMD kendiliğinden büyümüş yosunlar, sazlar veya kamışların bulunduğu bataklık alanlardan geçirildiğinde, su kalitesinde iyileşme olmaktadır.

Suya doymuş toprağın veya çökellerin bitkiyle desteklendiği bataklıklar, organiklerin varlığıyla indirgen koşullar temin etmektedir (<http://ctcnet/scip/passive.htm>, 2001).

Drenaj içindeki metalleri adsorbe eden organik maddeler bir filtre gibi davranırken, indirgen ve yükseltgen mikrobiyolojik reaksiyonlarla da metaller çökelerak uzaklaşır.

Ancak, uzun dönemler dikkate alındığında, doğal ortamda bozulma olasılığı, bu sistemlerin önündeki temel engeldir.

3.1.2 Suni Bataklıklar

AMD'ran arıtılması gayesiyle inşa edilen bataklık sistemleri ya aerobik (serbest oksijenli ortam) ya da anaerobiktir (serbest oksijen bulunmayan ortam).

Bataklıklarda metallerin alıkonma mekanizmaları; metal hidroksitlerin oluşumu ve kimyasal çökmesi, organik bileşik oluşumu, negatif yüklü yerlerde diğer katyonlarla değişim ve bitkilerce doğrudan alınmayı içerir. Bunlardan başka, karbonatlar tarafından nötrleştirilme, alt tabaka malzemesine tutunma, algler üzerine metal adsorpsiyonu ve değişimi ile demir hidroksitler ve sülfatın mikrobiyolojik olarak indirgenmesi sayılabilir (<http://www.wvu.edu/~agexten/landrec/>).

Aerobik bataklıklar: Sığ bir kazı (30-90 cm) yapılarak açılan boşluğun kum, toprak, kil, maden paşası ve organik maddelerle doldurulup geçirimsizliğin sağlandığı ve saz, kamış gibi bitkilerle desteklendiği, en üstte 3-5 cm derinliğinde su katmanı bulunan yapay ekosistemlerdir.

Bitkilendirmeyle bir taraftan görsellik hedeflenirken, diğer taraftan da su akış rejimi düzenlenip homojenlik sağlanır. Bitki varlığının önemli bir rolü de biyokimyasal reaksiyonlara

ilişkindir. Yüzeyde su derinliğinin az, buna karşın alanın geniş olması metal oksidasyonunu ve hidrolizi etkinleştirir. Özellikle Fe, Al ve Mn hidroksitler çöker. Arıtma esas olarak sığ olan yüzeyde gelişir.

Aerobik suni bataklıkların etkinliği; drenaj çözeltisinin pH seviyesine, çözünmüş metal ve oksijen içeriğine, alkalilik durumuna, mikroorganizma varlığına ve drenaj çözeltisinin sistemde kalış süresine bağlıdır.

Aerobik suni bataklık uygulamaları asiditenin az veya drenaj suyunun alkali olduğu durumlarda, yüksek Fe konsantrasyonu olduğunda çok başarılı sonuçlar vermektedir. Zor çökelen Mn için geniş yüzey alanı gerekmektedir.

Anaerobik bataklıklar: Aerobik bataklıklarda olduğu gibi en üstte 3-5 cm derinlikte bir drenaj suyu tabakası, hemen altında 30-60 cm kalınlığında toprak, bataklık yosunu, çürümüş mantar, hıyar tozu, gübre gibi organik maddelerden oluşturulmuş geçirgen bir organik katman yer almaktadır. Genellikle en alta da 15-30 cm kalınlığında kireçtaşı yerleştirilmektedir. Kireçtaşı kimi zaman organik tabaka içine karıştırılmaktadır.

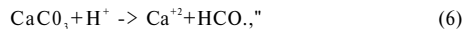
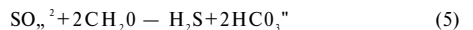
İnşa edilen diğer bataklık sistemlerindeki benzer ve aynı amaçlı bitkilendirme yapılmaktadır.

Drenaj suyu organik tabakadan geçirilmekte dolayısıyla arıtma reaksiyonları bu tabaka çerçevesinde gerçekleşmektedir. Yüzeyde çözünmüş oksijen varlığına bağlı metal oksidasyonu ve hidroliz reaksiyonları gelişir.

Organik tabakanın geçirgen olması nedeniyle, drenaj suyu bu tabakadan süzülür. Biyolojik oksijen ihtiyacı sudaki çözünmüş oksijenin tüketilmesi sonucunu doğurur ve ortam anaerobik hale gelir.

Organik tabakada hem kimyasal, hem biyokimyasal indirgen reaksiyonlar gelişerek metal sülfür oluşmasına, çökmesine ve nötrleşmeye sebep olur. Ayrıca, metal değişimi ve bileşik oluşumu reaksiyonları gelişir.

Alkali üretiminde, iki farklı mekanizma rol oynamaktadır. Bakteriler (*Desulfovibrio* ve *Desulfotomaculum* gibi) organik malzemeyi karbon kaynağı ve sülfatları kullanıp biyokimyasal süreçler geliştirerek, ortama hidrojen sülfür ve bikarbonat iyonları verir. Öte yandan, kireçtaşı da H iyonları ile kimyasal reaksiyon yaparak Ca ve bikarbonat üretir.



Aerobik koşullarda kireçtaşının hidroksit iyonlarıyla kaplanması neticesinde işlevini kaybetmesine karşılık, anaerobik şartlarda ve pH 7'nin üzerine iken Fe^{+2} iyonları çözünür hale gelir ve kireçtaşı yüzeyi kaplanmaz ve reaksiyonlar sürer.

Anaerobik bataklik sistemleri aerobik ve anaerobik ortamları birlikte barındırdığından, daha geniş çaplı kullanımı imkânı vermektedir. Sadece bazik drenaj suları için değil, çözünmüş oksijen içeriği, asiditesi ve Fe iyonu konsantrasyonu yüksek, pH seviyesi düşük AMD sularının arıtılmasına da uygundur.

3.2 Anoksik Kireçtaşı Drenleri (ALD)

Anoksik (yetersiz veya çok düşük oksijen bulunan ortam) kireçtaşı drenleri, kazılan bir kanala kireçtaşı doldurularak ve plâstik astarla kaplanıp toprak örtüyle kapatılarak hazırlanmaktadır. Sistemde canlı organizma bulunmadığından, süreç biyokimyasal reaksiyon içermez.

Arıtma için, drenaj suları drenlerden geçirilir. Kireçtaşıyla temas eden drenaj çözeltisi kireçtaşı çözer. pH düzeyi yükselirken, çözelti bazik karakter kazanır. Ortamda oksijen yetersiz olduğundan, kireçtaşı yüzeyi demir hidroksitle kaplanmaz ve çözünmeye devam eder.

Drenaj çözeltisi yüzeye çıktığında oksidasyon ve hidroliz reaksiyonları gelişir ve çözelti bünyesindeki metaller çökeler. Bunun için, çıkışa konacak çöktürme havuz alanının yeterli büyüklükte olması önemlidir.

Anoksik kireçtaşı drenleri asiditesi yüksek, çözünmüş oksijen içeriği düşük ve metal konsantrasyonu fazla olmayan AMD'nin arıtılmasında kullanılabilir.

3.3 Ardısk Alkali Üreten Sistemler (SAPS)

Anoksik kireçtaşı drenleri ile organik malzemeden oluşan bir katmanın, diğer bir ifadeyle, suni bataklığın ardısk olarak yerleştirildiği sistemlerdir.

En üstte 1-3 m derinlikte asit havuzu yer alır. Altta, 20-30 cm kalınlığında organik bir katman bulunur. Tabandaki drenaj boruları ile organik katman arasında ise, 30-50 cm kalınlığında kireçtaşı vardır.

Drenaj borularıyla aerobik havuza alınan çözeltideki metaller çökeler. Sonrasında, hidrolik

geçirilir. Böylece, bünyesindeki oksijen tüketilirken, sülfaat ve demir indirgenir. Ardından, anoksik nitelikteki kireçtaşı dreninden geçirilen çözeltinin asiditesi azaltılır.

Ardısk alkali üreten sistemler asidik karakterli, metal iyon konsantrasyonu ve çözünmüş oksijen içeriği yüksek olmayan drenaj çözeltileri için etkindir.

3.4 Kireçtaşı Havuzu (LP)

Derinliği 1-3 m olan su havuzunun tabanına 30-90 cm kalınlığında kireçtaşı yerleştirilir. Su yukarı doğru kireçtaşından geçirilir. Havuz büyüklüğü, kireçtaşının çözünmesine yeterli süre sağlanabilmesi için suyun birkaç gün kalabileceği şekilde tasarlanır.

Kireçtaşı havuzu çözünmüş oksijeni düşük, demir ve alüminyum içermeyen çözeltilerin arıtılmasında kullanılabilir.

Sistemin önemli avantajı, kireçtaşının gömülmemesinden dolayı izlenebilirliktir. Yüzey kaplanmasına bağlı olarak reaksiyon durduğunda müdahale edilebilme veya tükendiğinde ilâve yapılabilir.

3.5 Açık kireçtaşı kanalları (OLC)

Açılan kanallar kireçtaşıyla kaplandıktan sonra, AMD bu kanallardan geçirilir. Kanal uzunluğu, kanal eğimi, drenaj besleme hızı gibi parametreler sistemin etkinliğinde belirleyici rol oynamaktadır.

Açık kireçtaşı kanalları asit karakterli, çözünmüş oksijen içeriği ve demir konsantrasyonu yüksek çözeltilerin arıtılmasında kullanılmaktadır. Eğim doğru seçildiğinde yüksek debilerde de etkin olabilir. Çünkü, presipite olmuş malzeme askıda kalmakta, yüzeyi kaplayan çökeller temizlenmektedir.

Ayrıca, bu sistemler birbirlerini tamamlayacak şekilde suni bataklıklarla birleştirilebilir.

4 DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Doğada gerçekleştirilen insan faaliyetleri, gerekli tedbirler alınmadığında, genellikle tahribat veya kirlilik yoluyla çevre üzerine olumsuz etki yaratma potansiyeline sahiptir. Bunlardan biri olan madencilik sektöründe, sülfürlü metalik mineralleri

oluşma ihtimali söz konusudur. AMD'nin oluşabilmesi üç temel bileşen olan sülfürlü mineral (pirit), nem ve oksijenin bir araya gelmesine bağlıdır. Zamanında önlem alınmadığında, AMD vasıtasıyla gelişen su kirliliği özellikle sudaki canlılar açısından önemli bir probleme dönüşebilir.

Henüz başlangıç aşamasında, işletmeye ilişkin plânlanmanın ocağın kapatılmasından sonraki dönemde yapılacakları da kapsamı ve uygulamaya konması en iyi yaklaşımdır. Diğer bir ifadeyle, kaynaktan önleme plânlanmanın bir parçası olup, doğal olarak başarı düzeyi en yüksek çözümdür. Temeli, üç bileşenin temasını kesmeye dayalıdır.

Mevcut durumda yaşanmakta olan AMD problemlerinde ortak payda, işletmelerin hemen tamamının kapatılmış veya eski olmasıdır. Geçmişte, çevre üzerinde meydana gelebilecek olumsuz etkiler dikkate alınmaksızın faaliyetler sürdürüldüğünden, bir çok sülfürlü madende AMD potansiyel olmanın çıkışı, ciddi etkileri görülmüştür. Bu kapsamdaki işletmelerin yaşadığı sorunların giderilmesinde, yakın geçmişe değin, aktif teknolojiler alternatifsiz uygulanmıştır. Ancak, sürekli kullanıma bağlı olarak kimyasalların pahalı olması, yüksek işletme ve bakım gideri gerektirmesi, uzun süreli bir uygulamayı gerekli kılması, prosesler tamamlandığında oluşan çamurun bertaraf edilmesinde zorluklarla karşılaşılması ve fazla enerji tüketilmesi alternatif çözüm arayışlarını beraberinde getirmiştir.

Basitlikleri, verimleri ve düşük maliyetleriyle aktif arıtmaya karşı etkin bir seçenek gibi görülen pasif sistemler henüz yenidir. Mevcut durumda, proses mekanizmaları yeterince anlaşılabilmiş değildir ve araştırma süreci devam etmektedir. Uzun dönem maliyetlerini azaltan periyodik bakımın yeterli olduğu, kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonların doğal olarak gerçekleştiği sistemlerdir. Arıtma mekânı kontrol altındaki yapay ekolojik ortamlardır. Bu meyanda, hem görsel zenginlik sağlarlar, hem de doğal yünden birer değerdiler.

Ancak, uygulamada askıta ile metal konsantrasyonları, yüksek debi ve iklim belli başlı sınırlayıcılardır. Ayrıca, aktif arıtmaya kıyasla pek çok avantaja sahip olmasına rağmen, işletme sahipleri pasif sistemlere karşı şimdilik mesafeli durmaktadır.

Yine de, halihazırda AMD sorununu yaşamakta olan kapatılmış veya eski madenler için yakın gelecekte pasif sistemlerin öncelikli seçenek olacağı düşünülmektedir.

Gelişen çevre bilinci, bu paralelde getirilmiş kanunlar, yönetmelikler ve standartlar çerçevesinde yürütülecek madencilik faaliyetlerinde, her türlü önlem henüz başlangıç aşamasında alınacağından, AMD büyük ölçüde problem teşkil etmeyecektir.

6 KAYNAKLAR

- Bhole, A. G., 1994, Acid Mine Drainage and Its Treatment, Impact of Mining on the Environment, p. 131-141.
- EPA, 1983, Neutralization of Acid Mine Drainage, Cincinnati, USA.
- Gray, N.F., 1997, Environmental Impact and Remediation of Acid Mine Drainage: A Management Problem, Environmental Geology, 30, (1/2), March, p. 62-71.
- <http://ctcnet/scrp/passive.htm>, 2001, Passive Treatment Technologies.
- <http://www.wvai.edu/~agcxcn/landrec/PTperform.pdf>, Long-term Performance of Passive Acid Mine Drainage Treatment Systems
- Karadeniz, M, 2000, Asit Maden Drenajı, Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi, Ankara, s. 721-725.
- Karadeniz, M. 2004, Sülfürlü Madenlerde AMD için Çevresel Yönetim Stratejisi Geliştirilmesi, X. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Çeşme, Türkiye
- Kuyucak, N., 2000, Microorganisms, Biotechnology and Acid Rock Drainage-Emphasis on Passive-Biological Control and Treatment Methods, Minerals&Metallurgical Processing, Vol. 17, No.2, p. 85-95.
- Skousen, J. G., 1996, Acid Mine Drainage, Acid Mine Drainage Control and Treatment (Compiled by J.G. Skousen and P.P. Ziemkiewicz), W.V.Univ. and N.M.L.R.Cp. 9-12.
- Skousen, J. G., Hilton, T. & Faulkner, B., 1996, Overview of Acid Mine Drainage Treatment with Chemicals, Acid Mine Drainage Control and Treatment (Compiled by J.G. Skousen and P.P. Ziemkiewicz), W, V, Univ. and N.M.L.R.C., p. 237-247.
- Stokowski, S., Shapiro, A. & Pincomb, A., 1992, Industrial Minerals for Acid Neutralization, Industrial Minerals, November, p. 67-73
- P.F. Ziemkiewicz and J.G. Skousen: Overview of Acid Mine Drainage At-Source Control Strategies, Acid Mine Drainage Control and Treatment (Compiled by J.G. Skousen and P.F. Ziemkiewicz), W.V.Univ. and N.M.L.R.C. (1996), p. 69-78.
- Williams, R. E., 1975, Waste Production and Disposal in Mining-Milling-Metallurgical Industries, Miller Freeman Publication Inc., San Francisco,
- Yörükoğlu, A., Karadeniz, M., 2003; "Asit Maden Drenajı Kestirim Yöntemlerinin Karşılaştırılması", 18. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi (IMCET), G. Özbayoğlu (Edit.), Antalya, s. 125-131.