

## Asit Maden (Kaya) Drenajında Aktif ve Pasif Çözüm Yöntemleri

M. Karadeniz

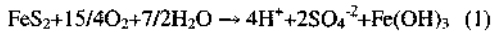
MTA Genel Müdürlüğü, Ankara

**ÖZET:** Sülfürlü metal veya kömür madeni işletmelerinde karşılaşılan asit maden drenajının belirgin özellikleri; düşük pH, yüksek asidite, yüksek iyon koasantasyonu (Fe<sup>+2</sup>/Fe<sup>+3</sup>, Al<sup>+3</sup>, Mn<sup>+2</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> gibi), askıda katı ve çözülmüş 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, zaafı da bulunmaktadır. Yöntem seçiminde belirleyici unsurlar; ortam koşulları, güvenilirlik, maliyet ve çevre standartlarıdır.

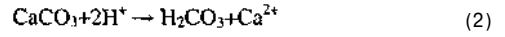
**ABSTRACT:** AMD that is usually seen in metal and coal mine works bearing sulfides is characterized by low pH, high acidity, high ion concentrations such as Fe<sup>+2</sup>/Fe<sup>+3</sup>, Al<sup>+3</sup>, Mn<sup>+2</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, TSS and TDS. Treatment methods are developed 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 kullanarak (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 temelinde 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 tartışmasız 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 zaruridir.

## 2 AKTİF ARITMA

Çevre açısından, AMD'ı çözümlenmesinde izlenmesi zorunluluk arz eden parametreler; pH, asidite, Fe, Mn ve Al gibi metal iyonu konsantrasyonları ile

askıda ve çözünmüş katı düzeyleridir. Buna göre, aktif arıtma esas itibarıyla, bir alkali kimyasal madde yardımıyla önce drenaj çözümlenmesini 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 sıvının uzaklaştırılmasını takiben, çamur bertaraf edilerek (derin madenlerde veya uygun mekanda depolama) arıtma tamamlanır (EPA; 1983).

Bu amaç doğrultusunda kullanılacak belli başlı kimyasallar arasında hangisinin seçileceği teknik ve ekonomik etmenlere bağlıdır. Drenaj hacmi, asidite seviyesi, çözümlenmiş metal konsantrasyonu ve türü, askıda ve çözünmüş katı mevcudiyeti ile başlangıç pH değeri gibi drenaj çözümlenmesinin geliştiği ortama bağlı olarak kazandığı kimyasal ve fiziksel yapı (Çizelge 1) dışında, gerekli kimyasal oranlar 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
Alkalilik	0	5 - 400	5 - 200
Fe <sup>+3</sup>	5 - 2 000 +	0 - 5	0 - 20
Fe <sup>+2</sup>		5 - 500 +	0 - 100 +
Al <sup>+3</sup>	5 - 300 +	0 - 5	0 - 100 +
Mn <sup>+2</sup>	2 - 300 +	2 - 300 +	2 - 25
Ca <sup>+2</sup>	0 - 200	200 - 800	200 - 600
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	500 - 4 000 +	500 - 2 000	500 - 2 000
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	10 - 30 +	0 - 5	0 - 300 +
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	5 - 300	5 - 300
TAK	-0	-0	15 - 2 000 +
TÇK	300 - 3 000 +	300 - 3 000 +	300 - 3 000 +

\* Tüm parametrelere ait birimler pH hariç, mg/l'dir.

## 2.1 Çözeltideki 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 çökler.

Nihai hedefte, pH'm çok yüksek olması istenmiyorsa (8-8.5), karbonatlı bileşikler yeterli olur. Ancak, ortamın pH seviyesinin daha fazla yükselmesi istenirse, hidroksit bileşikleri 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 çökler. 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 varlığında yaşanır. pH 9-9.5 aralığında çökelen Mn'i 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 çözeltiliye geçer ve ancak pH 10.5'den sonra çökler.

Doğaldır ki, drenaj çözeltilerinde bulunan metal iyonları bunlarla sınırlı değildir. Mineralojik yapı kapsamında bakır, kurşun, çinko, nikel ve diğer ağır metaller 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

oksiteleyiciler olmak üzere üç grupta toplamak mümkündür.

Potasyum, magnezyum, amonyak ve diğer kalsiyum bazlı olanlar da dahil çok sayıda kimyasal bileşik ve mineral arıtmada alternatif olabilecek özellikler taşımaktadır (Stokowski, Shapiro & Pincomb, 1992). Nütürleştirici bileşikler toprak alkali metallerin oksit, hidroksit veya karbonattandır (Çizelge 2 ve 3). Ancak, ağırlıklı 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 sodyumlulara göre ucuz ve reaksiyon hızları düşüktür. Hidroksitler pH'm yükseltmesinde ve metallerin çöktürülmesinde etkili, buna karşın kullanımları daha güç, maliyetleri fazladır.

Çizelge 2. Arıtma Kimyasallar ve Nütürleştirmede Etkinlikleri (Skousen, Hilton & Faulkner, 1996).

Kimyasal	Formül	Nütürleştirme Etkinliği
Kireçtaşı	CaCO <sub>3</sub>	%30
Hidrate Kireç	Ca(OH) <sub>2</sub>	%90
Sönmemiş Kireç	CaO	%90
Soda Külü	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	%60
Kostik Soda	NaOH	%100
%20'lik Sıvı Kostik	NaOH	%100
%50'lik Sıvı Kostik	NaOH	%100
Amonyak	NH <sub>3</sub>	%100

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

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

Çöktürme havuzlarında önem taşıyan kalış suresini kısaltabilmek adına, hızlı çökelmeyi temin için çözeltiliye topaklayıcılar veya salkımlaştırıcılar ilâve edilmesi bilinen bir uygulamadır. Bu amaçla, çözüldüğünde yüksek yüklü iyonlar veren (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) ve (FeSC<sub>2</sub>) gibi polielektrolitler veya karşı yüklü katıların uzaklaştırmak üzere.

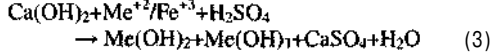
çözündüğünde negatif veya pozitif yüklü iyonlar üreten polimerlerden yararlanılabilir.

Metallerin daha düşük pH seviyelerinde Çökmesini temin ve kimyasal artmanın etkinliğini artırarak maliyeti düşürme gayesiyle çözeltiliye, oksitleyici olarak peroksit, hipoklorit ve permanganat bileşikleri karıştırılabilir.

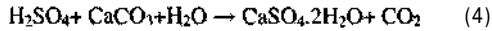
### 2.3 Artma kimyasalları

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.

*Hidme kireç (Ca(OH))*: Tüm aktif artma 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 deyişte, karıştırma işleminin etkin yapılmasına bağlıdır. Reaksiyona girdiğinde, jips oluşturur (3) ve çamur hacmi yüksektir.



*Kireçtaşı (CaCO<sub>3</sub>)*: 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 arttırmaktadır.



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 (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)*: Soda külü akış hızının, metal konsantrasyonunun ve asiditenin az olduğu

koşullarda tercih edilen bir bileşiktir ve maliyeti yüksek, çökeltme 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 Çözeltilerde amonyak oldukça etkilidir. Güçlü bir nötürleştiricidir. 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 artmaya alternatif olarak geliştirilen pasif artma 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 artma yöntemlerinde de görüldüğü gibi, madenlerin kendilerine özgü karakterleri neticesinde, çok sayıda pasif artma 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.

Artma 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 desteklenmesi bataklıklar, organiklerin varlığıyla indirgen koşullar temin etmektedir (<http://ctenet/scrip/passive.htm>, 2001).

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

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 nütürleştirilme, 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 pasası ve organik maddelerle doldurulup geçirimsizliğin sağlandığı ve saz, kamış gibi bitkilerle desteklenmesi, en üstte 3-5 cm derinliğinde su katmanının bulunması 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. Yüzeyle 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, çözülmüş 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 altta 30-60 cm kalınlığında toprak, bataklık yosunu, çürümüş mantar, hızar 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.

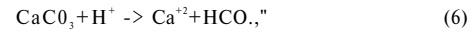
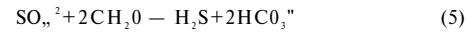
İnşa edilen diğer bataklık sistemlerindeki benzer ve aynı amaçlı bitkilendirme yapılmaktadır.

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

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

Organik tabakada hem kimyasal, hem biyokimyasal indirgen reaksiyonlar gelişerek metal sülfür oluşmasına, çökmesine ve nütürleşmeye 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 bataklık sistemleri aerobik ve anaerobik ortamları birlikte barındırdığından, daha geniş çaplı kullanım 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 kireçtaşını 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 Ardışık Alkali Üreten Sistemler (SAPS)

Anoksik kireçtaşı drenleri ile organik malzemeden oluşan bir katmanın, diğer bir ifadeyle, suni bataklığın ardışık 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 başlıklar vasıtasıyla çözelti organik malzeme içinden

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

Ardışık 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 izlenebilmesidir. 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 olabilmektedir. 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 içeren bir maden yatağında üretim yapılıyorsa, AMD

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 olmaktan çıkmış, ciddi etkileri görülmüştür. Bu kapsamdaki işletmelerin yaşadığı sorunların giderilmesinde, yakın geçmişte 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 yoldan birer değerlidirler.

Ancak, uygulamada askitte ile metal konsantrasyonları, yüksek debi ve iklim belli başlı sınırlayıcılarıdır. 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 paralele 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/crip/passive.htm>, 2001, Passive Treatment Technologies.
- <http://www.wvui.edu/~agcxcn/landrcc/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 Çevre 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.C. p. 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 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.

