

Kazan Taban Külü ile Asidik Maden Drenaj (AMD) Sularının Nötralizasyonu - AMD Organik Humat Çamuruyla Tarım Alanlarının İyileştirilmesi

AMD Neutralization by Bottom Fly Ash - Remediation of Agricultural Fields by Organic Humate Mud of AMD Treatment

Y. İ. Tosun

Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, Şırnak

ÖZET Asidik Maden Drenaj suları geçirimsiz havuzlarda toplanarak asidik niteliği nötrleştirme işlemi ile nötr karaktere dönüştürülmesi ve havalandırılması gerekmektedir. Tarım alanlarının iyileştirilmesi için kullanılacak humat ilavesi sağlayan çeşitli yöntemler mevcuttur ve bu AMD nötrleştirme yöntemine göre suyun etkileri giderilerek atık çamur gübre kimyasalları ile toprağın iyileştirilmesine yardımcı olabilmektedir. Şırnak asfaltit açık ve yeraltı ocaklarından açığa çıkan Avgamasya göletindeki AMD' sularını nötrleştirmek için kullanılan kimyasal ve biyolojik yöntemler ile nötrleştirme sağlanmalıdır. Bu işlem ile metal içerikleri minimize edilerek asidik pH 3,5 atık suyu uçucu kül ve yerel kireçtaşları ile nötrleştirilebilmiştir. Bu çalışma kirli asidik suların kimya sanayinde ve tekstil proses tesislerinde atık sulara olduğu gibi tikinerde kimyasal nötralizasyon ve havalandırma işlemlerini içermiştir.

ABSTRACT There is a variety of methods that can be used to improve agricultural areas, and according to this AMD neutralization method. In this study, there was a need to improve fertilizer mud as by-product of AMD treatment with use fly ash and soil by eliminating metal effects. The occurred AMD waters in Avgamasya Lake, Şırnak, of asphaltite mines with acidic pH 3.5 can be neutralized by fly ash and local limestones by use chemical and biological methods and minimizing metal contents that are open to environment. This work involved chemical neutralization and ventilation in the thickner as well as in the wastewater in the chemical industry and textile processing plants of dirty acidic waters.

1.GİRİŞ

Kömür madenciliği yapılan açık işletmelerde ve yeraltı üretim sahalarında atık olarak çevreye salınan asidik maden suları ve bakır sülfürlü madenlerin üretmi esnasında açığa çıkan atık suların çevreye terketilmesi doğayı kirletmektedir. Bu tip atık sular asidik karakterlidir ve çevre kirliliğine neden olan ağır metalleri de içermektedir. Bu nedenle doğal akarsulara ve tarımsal alanların sulama sularına asidik maden drenaj (AMD) sularının bırakılması, yerel göletlerde habitatların ve canlı balıkların asitle yanmasına neden olabilmektedir.

2. ASİDİK MADEN DRENAJ SUYUNUN NÖTRALİZASYONU

Asit maden drenajı, asitli metalik sülfatlı zengin atık suların çevresel açıdan büyük sorun yaratmaktadır. Bu tip atık sular, galvanizleme sızıntısı ve termik santrallerde baca gazlarının yıkanması gibi çeşitli endüstriyel işlemlerin yan ürünleridir (Johnson, 2000). Bu tür atık suların başlıca üreticisi, madencilik endüstrisinde meydana gelmektedir ve tarımsal ve çevresel tehdit oluşturmaktadır. Aktif ve özellikle de terk edilmiş madenleri ve maden atıklarını içeren sular çoğunlukla asidiktir (bazen çok yüksek asidiktir). Bu tür sular genellikle yüksek konsantrasyonda metal (demir, alüminyum ve manganez ve muhtemelen diğer ağır metalleri) ve metaloitleri (ki kadmiyum

arsenik, telürit) içerdiği için çevreye ek bir tehlike oluşturmaktadır. 1997 yılındaki verilere göre 19.300 km akarsu ve nehir ve ve 72.000 hektarlık göl ve rezervuar, AMD atık sularıyla ciddi şekilde kirlenmiştir. Ancak AMD su kirliliğinin neden olduğu çevre kirliliğinin miktarını tespit etmek güçtür. Şırnak ili kömür ocağı sahalarından asidik ocak suları pH 4 civarında olacak şekilde çevreye etki etmektedir ve iyileştirilmesi ve balık üretimi için restorasyonu planlanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Şırnak Kömür Maden Sahasındaki atık asidik su gölet alanı, balıkçılık için AMD iyileştirmesi

2.1 Kireçtaşı Havalandırma ve Oksidasyon

2.1.1 Kimyasal Oksidasyon

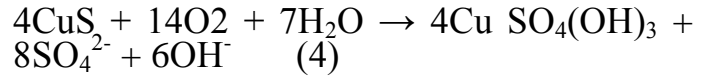
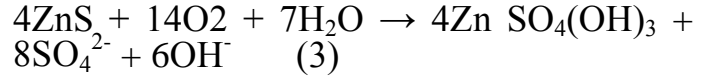
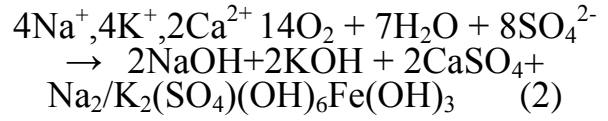
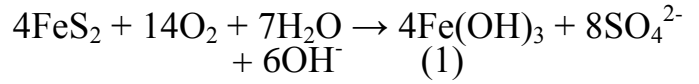
Bakır sülfür ocakları üretimi ve sülfürlü cevherlerin oksitlenmesi sonucu olarak bu mineraller hem oksijene hem de suya maruz bırakıldığında sülfürlü minerallerin oksidasyonu oluşmaktadır. Aynı şekilde, kömür yatakları, değişken (genellikle% 1-20) miktarda Pirit (Markasit gibi diğer demir sülfür minerallerini) de ve organik kükürt içermektedir.

Bu metal sülfürlerin ortak nötralizasyon işlemi, kireç, kostik kireci, ayrıca kükürt gidermede kullanılan santral uçucu külü veya orta külü gibi yerel atıklarla gerçekleştirilebilir. Demir çökmesi (pirit oksidasyonu üzerine demir hidroksitli hale dönüşümü) ve diğer metalik sülfid minerallerinin oksitlenmesi aşağıdaki reaksiyonlarda tanımlanmıştır.

Piritin asidik gölet veya yüzey akımlı sulu çözeltilerde oksidasyonu özetleyen ve sıklıkla kabul gören reaksiyon aşağıdaki şekilde gelişmektedir.(Eşitlik 1,2,3,4)

Pirit oksidasyon sonucu aşağıdaki tepkimeler sonucu ferrik'e oksitlenmekte ve işlem sırasında ayrıca ara ürün olarak açığa çıkan indirgenmiş kükürt bileşiklerinin

oksidasyonu sonucu sülfat bileşikleri oluşmaktadır.



2.1.2 Biyo Oksidasyon

Pirit mineralinin kimyasal oksidasyonuna katkıda bulunan bir oksidasyondur. Özellikle pH 4 ve üzerindeki değerlerde, kimyasal olarak veya biyolojik olarak Gallionella ferruginea tip demir oksitleyici bakteriler etkili olmaktadır. Ancak pH 5'in altında değerlerde biyolojik demir oksidasyonu önemsizdir (Stumm ve Morgan, 1981) ve orta derecede ve aşırı derecede Asidofilik demir oksitleyici bakterilerin AMD suyunda etkili olmaktadır (Johnson and Hallberg, 2003). Yeraltında birikinti sular yüzeye pompalanması ile veya terk edilmiş ocakların birikintileri dışarı pompalandığı zaman kirli atık sular yeraltı suyuna karışmıştır (Younger ve diğerleri, 2004; Neal ve ark., 2004). Özellikle birikmiş asitli tuzlar çözündüğünde daha fazla kirlenme eğilimi gözlenmiştir. (Clarke, 1995).

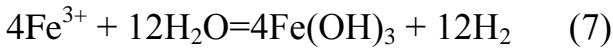
Asidik AMD suları atık barajı yığınları içersinde veya maden atıkları şeklinde de oluşabilir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, bu tip atık barajlarının potansiyel uzun süreli bir kirlilik oluşturmasıdır. Atık barajları devre dışı bırakıldıktan sonra kirlilik yıllarca sürebilir. Genellikle AMD sularının pH'ı 4 üstünde olabilir. Demir ve mangan söz konusu olduğunda, bu metaller genel olarak inanılmaz derecede pH 1 düşürmektedir (Fe^{2+} ve Mn^{2+}) iyonik olarak bulunur ve daha yüksek pH'da tamamen oksitlenmiş (Fe^{3+} ve Mn^{4+}) iyonlarına kıyasla çok daha kararlı halde sulu ortamlarda bulunmaktadır. Bazı AMD su akıntıları, nötr-alkali pH 8 halde değişim göstermiştir. Tüm metallerin çözünümü örnek olarak demir, alüminyum ve manganezin birlikte konsantrasyonu gözlenmiştir.

2.1.3.Nötürleşme

Asidikliği bir alkaliliğe karşı dengelemektir; Esas olarak kireçtaşları yaygın olarak kullanılır ve kimyasal olarak kalsiyum karbonat çözünmesinden kaynaklanan bikarbonat (HCO_3^-) biçiminde nötürleştirir. Biyolojik işlemler de AMD su akımlarında alkalilik oluşturulabilir.

Aerobik sulak alanlar

Aerobik sulak alanlar genellikle net alkalın olan suların temizlemek için yapılır. Bunun nedeni, içerisinde meydana gelen iyileştirici tepkime, demirli demirin oksidasyonu ve daha sonra üretilen ferrik demirin hidrolizi net bir asit üretme reaksiyonudur



Reaksiyon sonucu olarak pH'da önemli bir düşüşü önlemek için maden suyunda yetersiz alkalilik varsa, örneğin anoksik kireçtaşı drenaj uygulamasında asidiklik değiştirilebilir (Swanson ve diğerleri, 1997). Oksidasyon şartlarını korumak için aerobik sulu alanlar, yüzey su akışı ile çalışan nispeten sığ sistemlerdir. Makrofitler, su akışını düzenlemek için (örneğin kanal oluşturmayı önlemek için) estetik nedenlerle ekilirler ve biriken ferrik çökeltileri (kurur) filtrelemek ve stabilize etmek için dikilirler. Ayrıca, katı faz ferrik demir bileşikleri ve minerallerin çökertilmesi için ek yüzey alanını da sağlarlar.

Çoğu aerobik sulak alan, nötr pH'de çalışılmaktadır. Bu pH6 civarında demirin kimyasal oksidasyonu biyolojik etkiye göre daha hızlı ilerlediği görülmüştür. Bununla birlikte, nütrofilik demir oksitleyici bakterilerin varlığı, aerobik ve anaerobik sularda (*Gallionella ferruginea*) ve organik olarak kompleks demir (*Leptothrix* gibi) demir oksidasyonuna katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca Arsenik tehlikesi özellikle asidik atık sularda anyonik As^{5+} (AsO_4^{3-}) arsenat olarak görülmektedir ve bu arsenik, çoğunlukla, pozitif yüklü demirli kolloidlere adsorpsiyon ile skoroditin (FeAsO_4) oluşumu ile uzaklaştırılabilmiştir.

Bu bakteri muhtemelen bu suların arseniklerinin uzaklaştırılmasına katkıda bulunmuştur ve sabit yataklı biyoreaktör sistemlerinde, demirin oksidasyonu ve çökertilmesi sağlanmıştır. Ferrik Fe (pH

2.5'in üstünde çözünmeyen) aerobik sulak alanlarda ve biyoreaktörlerde biyolojik oksidasyonu gerçekleştirmiştir.

Pasif biyolojik sistemler:

Anaerobik sulak alanlar ve kompost biyoreaktörlerdeki işlemlerdir. Aerobik sulak alanların aksine, AMD'nin kirletici etkisini gidermek için kullanılan kompost biyoreaktörlerde meydana gelen reaksiyon anaerobiktir. Tamamen zemin seviyesinin altında bulunur. Bitki kaynaklı bitki kökleri, oksijen içeriğinin anaerobik bölgelere girmesine neden olabilir; bu da, indirgeyici süreçler açısından zararlıdır. Katalize edilmiş reaksiyonlar ile net alkalilik ve biyojenik sülfür üretilmiştir. AMD aerobik sulak alanların aksine indirgeyici ortam reaksiyonları ile çamur veya kompostun kendi organik matrisinde oluşmaktadır. Suyun katı faz ürünleri ıslak toprak çökeltileri içinde kompost ta kalır. Daha büyük arıtma sahasına ihtiyaç duyulur ve uzun vadeli bir işlemdir (Johnson and Hallberg, 2002)

2.2. Oksidasyon Kinetiği

Dahası, hava kısımlarından kök sistemlerine oksijen akışı göndererek, bazı su bitkileri demirli demir oksidasyon hızını artırabilir. Aerobik sulak alanlarda demir oksidasyonun, en azından kısmen, mikroorganizmalar tarafından abiyotik veya yoğunlaştırılıp azaltılmadığı düşünülmektedir. Eşitlik 8 deki reaksiyon Stumm and Morgan (1981) tarafından öne sürülen, sulu ortamlarda demirli oksit oksidasyon oranını tanımlayan eşitlik ve hem oksijen konsantrasyonun hem de pH değerinin demir oksitlenme hızına etkisi belirlemiştir. Oksitlenme kinetiği aktivasyon enerjisine ve sıcaklığa bağlı gelişmiştir ve önemli parametreler aşağıdaki eşitlikte gibi etki etmektedir.

$$\frac{d\text{Fe}}{dt} = k^{1/4} \left(\frac{\text{O}_2 \cdot (\text{OH})^-}{\text{Fe}^{2+}} \right)^{1/2} \quad (8)$$

Ancak Stumm ve Morgan tarafından belirtildiği gibi (1981) düşük pH değerlerinde, demir oksidasyon hızı, pH'a bağlı olarak değişmiştir..

2.3. Organik Çamur

AMD üretimini en aza indirmek için önerilen diğer bir yaklaşım, asit üreten ve asidik tüketim malzemeleri karıştırarak çevreye zararlı kompostlar üretmektir (Mehling ve diğerleri, 1997). Bu konunun

ayrı bir reaksiyonu olarak demir (III) 'ü ferrik fosfat olarak çöktürülmesi için atık suya fosfatlar (apatit gibi) eklemiştir. Eklenen fosfat minerallerinin nütürleşme sürecinden sonra) gübre kompost üretilmiştir (Evangelou, 1998 Evangelou, 1998). Hidrojen peroksit ilavesi de, ferritik fosfatın oluşumunu ve fosfat ile reaksiyonu hızlandırmıştır (Evangelou, 1998). Ayrıca, litotrofik (yörel demir ve kükürt oksitleyici) bakterilerin, biyositler içinde suyun arıtılmasında daha geniş yaygın bir kullanımı olabilmektedir.

3. PROJE ETÜDÜ

Kömür sahasında atık kömür tozu içeriği asidik suların etkisin de göletlerde fümik asit ve hümik asit içeren ve tarım alanlarının iyileştirilmesinde kullanılan humat içerikli sıvı organik gübre maddeleri oluşturmuştur. Arıtma havuzlarının (Şekil 2) ve arıtma tesisinde (Şekil 3) pHı 3,5 ten nötr pH yükseltilmesi için yerel uçucu kül ve kireçtaşları hem toz -10mm boyutunda hem de kum boyutunda değerlendirilmiştir. Yaklaşık olarak 20-30-40-60-90 kg/tonluk kireçtaşı ve uçucu kül ilavesi 1/1 ağırlık oranında karıştırılarak havuzlarda tutulmuştur. pH 6,5 a çıkarılmıştır. Alkali miktarına bağlı olarak nütürleşme süresi takip edilmiştir. Test sonuçlarına göre 100dk lık bir sürede 10kg/tonluk kireç ilavesi ile nütürleşme sağlanmıştır.(Şekil 4) Şırnak santral uçucu külü ile 200dk da 20kg/ton oranındaki ilavede benzer nütürleşme sağlanmıştır (Şekil 5). Katı sıvı ayrımı için alınan bulamaçlar günlük sedimantasyona 1m yüksekliğindeki kolonlarda tutulmuştur. Ayrıca havuzların kompresör ile havalandırması yapılarak su sirkulasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Taban çamuru üst toprak iyileştirme işlemi için toplanmış ve analiz edilmiştir. Toprağın tuzluluğu özellikle buğday yetiştiriciliğinde ve balık üretiminde önemli olduğu için aşağıdaki analiz verileri belirlenmiştir.



Şekil 2. Asidik Maden Drenaj Suyunun Şırnak Kömür Ocağı için Uçucu kül ile Arıtım Kesit Su Akışı

Ayrıca CO₂ verilen sularda çamur niteliği de belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan nütürleştime yöntemlerinin karşılaştırılması, uçucu kül kullanımı ve kireçtaşı ile gelişmiş nötralizasyon ve topraktaki karbon maddesi içeriği tartışılmıştır. Tipik olarak, asit madeni suyu ile atık çamur suyunda yüksek miktarda CO₂ bulunmuştur. CO₂, elbette, tek başına oldukça zararsızdır. Bununla birlikte, atık gölet çamurunda kalmasına izin verilirse, suyun daha ileri akış yönünde arıtılması için gerekli kimyasalların çoğu geri kazanılabilmektedir. Atık sudaki CO₂'ti en aza indirmenin en iyi yolu, havalandırma veya dekarbonasyon tankı ile en iyi şekilde havalandırma veya ajitasyon yoluyla sağlanmıştır. Havalandırılmış suyun altındaki bayat suyu çalkalandırır. Hava boşaltma / dekarbonatlama tankının tasarımı sadece gelen CO₂ yüküne göre boyutlandırılmıştır. Nispeten yüksek miktarda CO₂ (100 mg / L'nin üzerinde) olmuş ve 30 - 40 dakika lık bir sürede işlem tamamlanmıştır. Bu süre zarfında, yavaş hızdaki yüzey havalandırıcı, suyu çalkalayarak oksijenin veya azotun CO₂ tin yerine geçmesine neden olur ve bu noktada CO₂'in basitçe atılması sağlanmıştır.

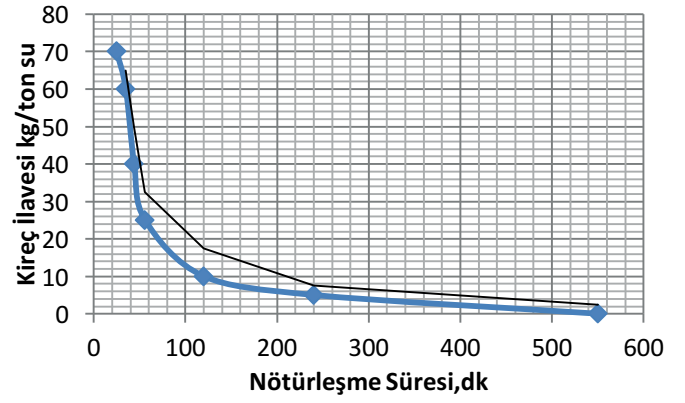


Şekil 3. Ağır Çamur Nötralizasyon Sistemi-Şırnak Kömür Ocağı için Uçucu kül ile Arıtımı

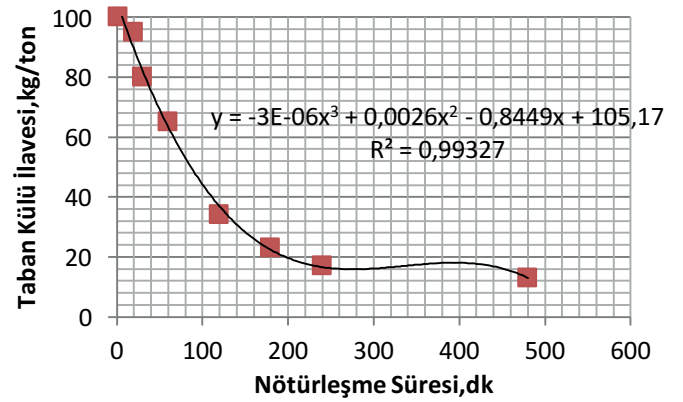
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tasarımda tikner nötralizasyonu ağır çamur sedimentasyonu (HDS) sürecine bağlıdır. Klasik sedimentasyon sistemlerine göre görülen nötrleşme süreci kısaltılarak pH'nın 6 ya yükseltilmesi jelleşmeyi önler. Deneyimler, HDS sürecinin düzgün bir şekilde kullanılmasının %30-40 su/katı oranında taban çamuru oluşumu düşük konsantrasyon oluşturduğu gözlenmiştir. Böylelikle tesis tikner tanklarında % 20-25'lik bir zaman dan tasarruf edilmiştir. Aşağıdaki tesiste uçucu kül çamur tankının pH'nın 11.5 olduğu belirlenmiştir(Şekil 6).

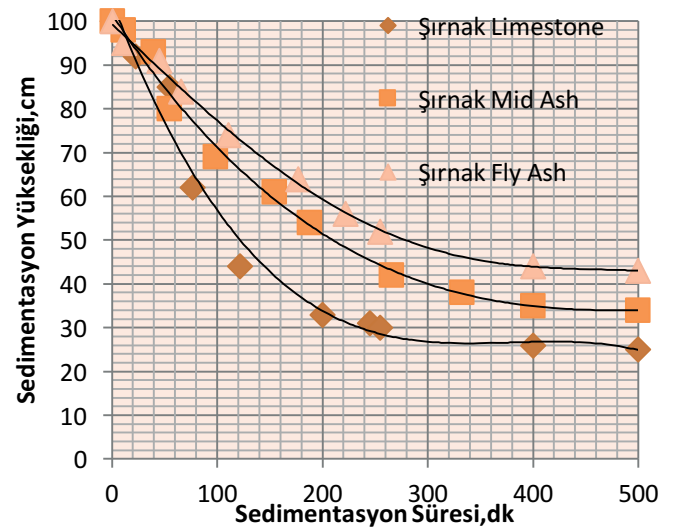
Asıl amaç mineraller ve çözünmüş oksijen arasındaki temastan kaçınmaktır. Sığ su örtüleri kullanılabilir ve bu rüzgar ve dalgaların etkisinden dolayı atıkların tekrar süspansiyon edilmesine karşı bir miktar koruma sağlayan oksijen girişini sınırlayan ikili fayda sağlayan çökelti veya membran zemin tablası oluşturmak reaktif metal oksitlerin yüzeyde depolanması ve organik bir tabaka da tutulması ile mümkündür (Şekil 7). Bozulmayı örten membran-kil tabakası, genellikle çatlamış zemin oluşumuna rağmen AMD sularının sızmasını etkisiz hale getirmiştir tane boyutsal sınıflandırmada Eriez sınıflandırıcı ile hem havalandırma hem de çamur giderimini sağlamıştır(Şekil 8).



Şekil 4. Asidik Maden Drenaj Suyunun Şırnak Kömür Ocağı için kostik kireç ile İyileştirilmesi pH ;6



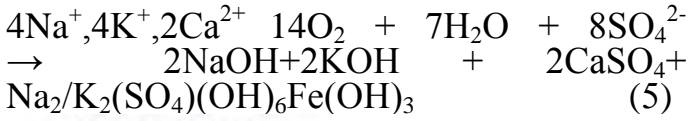
Şekil 5. Asidik Maden Drenaj Suyunun Şırnak Kömür Ocağı için Uçucu kül ile İyileştirilmesi



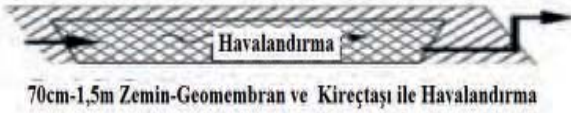
Şekil 6. Asidik Maden Drenaj Suyunun Şırnak Kömür Ocağı için Uçucu kül ile İyileştirilmesi

Sonuç olarak artan pH artışı ile AMD üzerindeki iyileştirici etkiyi görürsek,

sülfatın indirgenmesi, toksik metallerin AMD'den uzaklaştırılmasında önemli bir mekanizma haline gelir; Jarosit, Bakır ve kadmiyum gibi metallerin çözünmeyen sülfatları çökeltmekle giderilir (Eşitlik 5),



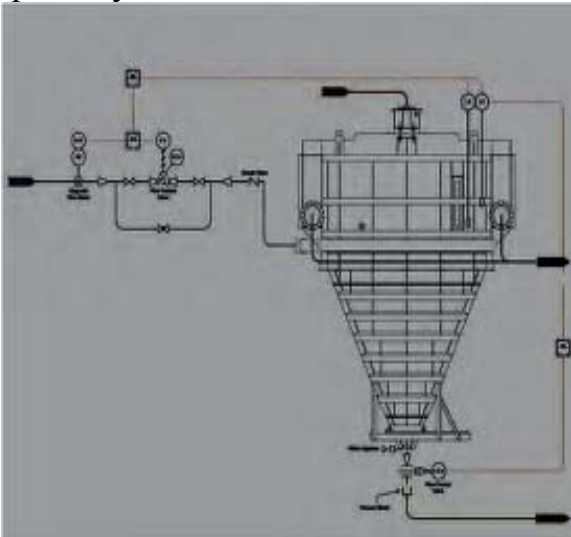
ANOKSİ KİREÇ DRENAJI



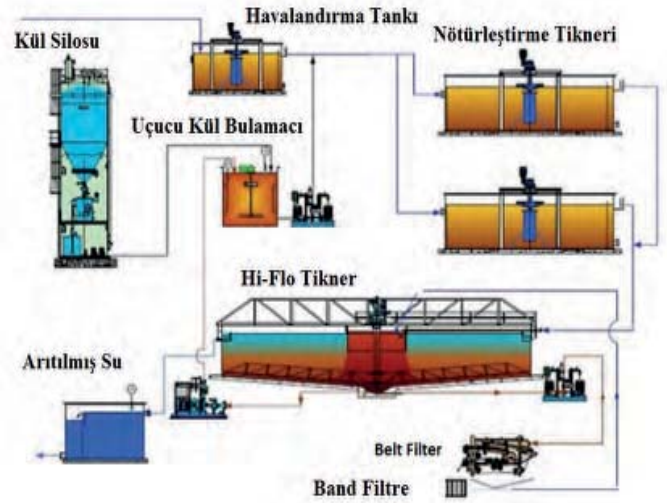
ALKALİ NÖTÜRLEŞTİRME / DİKEY AKIŞLI ARITMA



Şekil. 7 AMD için arazide aerobik kireçtaşı uçucu kül ihtiva eden sulak alanlar ve kompost biyo-reaktörler



Şekil 8. Eriez sınıflandırıcı ile Sırnak Kömür Ocağı Atık Suyu nötürleştirme



Şekil 9. Asidik Maden Drenaj Suyunun Şırnak Kömür Ocağı için Uçucu kül ile İyileştirilmesi Tasarı Tesis Akım Şeması

5. SONUÇLAR

Geleneksel olarak, büyük deşarj düzeyli maden suları, özellikle suyun asidik olduğu zaman, aktif kimyasal işleme tabi tutulabilmiştir. Gerekli arazi yüzölçümü ve topografik sorunlar, bazı durumlarda pasif biyolojik sistemleri mümkün kılmamıştır. Ancak, artan kazan taban külü atığı ve AMD çamurunun tarımsal alanlarda değerlendirilebilmesi bu yöntemi ilginç kılmaktadır.

Havalandırılmalı ve uzun süreli biyolojik prosesler özellikle balık yetiştiriciliği için önerilmiştir. Üretim esnasında daha küçük ölçekli kültür gölet kullanılabilir hale getirilebilir. Pasif sistemler belirli bir miktarda yönetim gerektirir ve biriken sarı sular (aerobik sulak alanlar) ve sülfidler (kompost biyoreaktörler) kontrollü havuzlarda zehirli elementleri (arsenik, kadmiyum, vb.) içerebileceğinden, depolanması veya atımı mutlaka sağlanmalıdır.

AMD atık suların değerlendirilmesi ülke yararına büyük yararlar sağlayabileceği gibi humat çamur üretimi ile de tarıma katkı sağlayabilecektir.

AMD su kaynağının önlenmesi için genel olarak tercih edilen biyoaktif havuzlarda çöktürmek ve AMD oluşumunu engellemek için çamur çöktürülmelidir. Şırnak ili kömür ocakları atık su göleti için atık su kontrolü sağlayan Şekil 9 daki gibi bir tesis gereklidir.

AMD suları, kömür madenciliği sırasında Şırnak'taki açık ocaklarda açığa çıkıp yeraltı sularına karışması engellenmelidir. Ayrıca

Siirt'teki bakır bakır madenciliği ve konsantratörü AMD atık suları atık barajında tutularak doğayı kirletmesi engellenmelidir. Bu atık sular asidiktir ve sırasıyla 230 mg / lt, 122 mg / lt ve 57 mg / lt ferrik demir, çinko ve bakır metalleri gibi çevresel kirliliğe neden olan metaller bulunmaktadır. Bu nedenle, doğal nehirlerin ve tarım alanlarının sulama sularına asitli maden drenajı (AMD) sularının salınması, yerel akarsularda ve yerel göllerde habitatlara ve balıklara büyük tehlike oluşturabilir. AMD suları, geçirimsiz havuzlarda toplanması ve nötr karaktere nötralizasyon edilmesi ve havalandırması gerekir.

Yerel kireç taşları ve Uçucu kül ve taban küleri kullanılarak nötralizasyon yöntemi, biyolojik etkinliklere dayanan ve yararlı potasyum ve fosfat gübreleme çamurunu üretimini sağlar.

Bu önemli muamelelerde, Şırnak kireçtaşı uçucu külü ve taban külü ile eşit ağırlık oranlarda 60 kg/lt AMD suyu ile aktif ya da pasif nötralizasyon başarılı bulunmuştur. Şırnak kömür madenciliği ve Siirt bakır madenciliği alanındaki bu seçim, ekonomik ve çevresel aşamalarda nötralizasyonu takiben, AMD sularını iyileştirebilir. Bu iyileştirme sisteminin gerçek çevre maliyeti belirgin bir çalışmada düşük bulunmuştur. Bununla birlikte, maden endüstrilerinde, toprağa atık kireçtaşı ilavesi ve çamur bertarafı ve maliyeti yüksek olması nedeniyle AMD nötralizasyonunda değerlendirilmesi giderek önem kazanmaktadır. Pasif sistemleri için gerekli arazi alanları, biyolojik işlemleri en uygun hale getiren küçük toplama havuzlarından oluşmalıdır. Kömür veya Bakır maden sahasındaki asitli küçük göletler demirleri uzaklaştırmak için aerobik sulak alanlardan çok daha etkili ve ekonomik olabilmektedir. Bu tür bazı havuzlarda kompost atıklar zehirli elementler içerebilir (arsenik, sırasıyla 10 mg / lt ve 56 mg / lt gibi kadmiyum), depolanması veya bertaraf edilmesi için dikkat edilmesi gerekir.

Atık çamur demir oksit çamuru olarak fosfat gübre olarak kullanılabilir. Cu ve Zn metalleri de elektroliz ile atık temiz elektrolitlerden geri kazanılabilir. Siirt bakır konsantratöründeki kayıp metal geri kazanımı açığa çıkan AMD'nin kontrolü ile yatırım ve işletme maliyetlerinde bir miktar ek mali getiri sağlanabilir.

Gölet atıklarının öngörülen yoğunlaştırıcı nötralizasyonu, çamur ve çökeltilerdeki ana metallerin depolama problemlerinden kaçınılması Şırnak ve Siirt gibi doğal çevrenin ve zirai alanların korunmasında gittikçe yararlı olabilir. Atık kireçtaşları uçucu kül ve taban küleri kullanılarak kömür ve bakır madenciliği faaliyetlerinde AMD sularının kontrolünde çeşitli yararlar sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- Anonim a, 2016, *Tekfen İnşaat Şirket* web sayfası, <http://www.tekfeninsaat.com.tr>
- Anonim b, 2016, *Gayret Makina Şirket* web sayfası, <http://www.gayretmakina.com.tr>
- Anonim c, 2016, *Multotec Şirket* web sayfası, <http://www.multotec.com/category/industry/coal>
- Anonim d, 2016, *MBE Şirket* web sayfası, <http://www.mbe-cmt.com/en/products/pneufлот%C2%AE/pneufлот%C2%AE>
- Anonim e, 2016, *SCHAUENBURG Şirket* web sayfası, http://www.schauenburg-aka.com/index_e.html
- Anonim f, 2016, *CWP Şirket* web sayfası, <http://cwp.com.tr/en/products.aspx?id=30>
- Aube BC, Payant S. The Geco process: a new high density sludge treatment for acid mine drainage. *Proceedings of the Fourth*
- Battaglia-Brunet F, Dictor MC, Garrido F, Crouzet C, Morin D, Dekeyser K, et al. An arsenic(III)-oxidizing bacterial population: selection, characterization, and performance in reactors. *J Appl Microbiol* 2002;93:656–67.
- Benner SG, Blowes DW, Ptacek CJ. A full-scale porous reactive wall for prevention of acid mine drainage. *Ground Water Monit Remediat* 1997;17:99–107.
- Boonstra J, van Lier R, Janssen G, Dijkman H, Buisman CJN. Biological treatment of acid mine drainage. In: Amils R, Ballester A, editors. *Biohydrometallurgy and the Environment Toward the Mining of the 21st Century*, vol. 9B. Elsevier: Amsterdam; 1999. p. 559–67.
- Clarke LB. *Coal Mining and Water Quality*. London7 IEA Coal Research; 1995. 99 pp.

- Coulton R, Bullen C, Dolan J, Hallet C, Wright J, Marsden C. Wheal Jane mine water active treatment plant-design, construction and operation. *Land Contam Reclam* 2003;11:245–52.
- Coulton R, Bullen C, Hallet C. The design and optimization of active mine water treatment plants. *Land Contam Reclam* 2003;11:273–9.
- Coupland K, Battaglia-Brunet F, Hallberg KB, Dictor MC, Garrido F, Johnson DB. Oxidation of iron, sulfur and arsenic in mine waters and mine wastes: an important role for novel *Thiomonas* spp. In: *Biohydrometallurgy: a sustainable technology in evolution: Proceedings on the 15th International Biohydrometallurgy Symposium, 2003*.
- Evangelou VP. Pyrite chemistry: the key for abatement of acid mine drainage. In: Geller A, Klapper H, Salomons W, editors. *Acidic Mining Lakes: Acid Mine Drainage, Limnology and Reclamation*. Berlin: Springer; 1998. p. 197–222.
- Evangelou VP. *Pyrite Oxidation and its Control*. New York, CRC Press; 1995. 275 pp.
- Hallberg KB, Johnson DB. Biodiversity of acidophilic microorganisms. *Adv Appl Microbiol* 2001;49:37–84.
- Hedin RS. Recovery of marketable iron oxide from mine drainage in the USA. *Land Contam Reclam* 2003;11:93–7.
- International Conference on Acid Rock Drainage, May 30–June 6, 1997, Vancouver, BC, vol. I, p. 165–80.
- Johnson DB, Hallberg KB. Pitfalls of passive mine water treatment. *Reviews Environ Sci Bio/Technol* 2002;1:335–43.
- Johnson DB, Hallberg KB. The microbiology of acidic mine waters. *Res Microbiol* 2003;154:466–73.
- Johnson DB. Biological removal of sulfurous compounds from inorganic wastewaters. In: Lens P, Hulshoff Pol L, editors. *Environmental Technologies to Treat Sulfur Pollution: Principles and Engineering*. London: International Association on Water Quality; 2000. p. 175–206.
- Johnson DB. Chemical and microbiological characteristics of mineral spoils and drainage waters at abandoned coal and metal mines. *Water Air Soil Pollut: Focus* 2003;3:47–66.
- Kalin M, Cairns J, McCready R. Ecological engineering methods for acid-mine drainage treatment of coal wastes. *Resour Conserv Recycl* 1991;5:265–75.
- Kalin M, Chaves WLC. Acid reduction using microbiology (ARUM) treating AMD effluent emerging from an abandoned mine portal. In: Ciminelli VST, Garcia Jr O, editors. *Biohydrometallurgy: Fundamentals, Technology and Sustainable Development*, vol. 11B. Amsterdam, Elsevier; 2001. p. 289–96.
- Kepler DA, McCleary EC. Successive alkalinity producing systems (SAPS) for the treatment of acidic mine drainage. *Proceedings of the International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and the 3rd International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, April, 1994, Pittsburgh, PA, vol. 1, p. 195–204*.
- Kleinmann RLP, Hedin RS, Nairn RW. Treatment of mine drainage by anoxic limestone drains and constructed wetlands. In: Geller A, Klapper H, Salomons W, editors. *Acidic Mining Lakes: Acid Mine Drainage, Limnology and Reclamation*. Berlin: Springer; 1998. p. 303–19.
- Li MG, Aube BC, St-Arnaud LC. Considerations in the use of shallow water covers for decommissioning reactive tailings.
- Long ZE, Huang YH, Cai ZL, Cong W, Fan OY. Biooxidation of ferrous iron by immobilized *Acidithiobacillus ferrooxidans* in poly(vinyl alcohol) cryogel carriers. *Biotechnol Lett* 2003;25:
- Loos MA, Bosch C, Mare' J, Immelman E, Sanderson RD. Evaluation of sodium lauryl sulfate, sodium benzoate and sorbic acid as inhibitors of acidification of South African coal waste. *Groundwater and Mining: Proceedings of the 5th Biennial Symposium of the Groundwater Division of the Geological Survey of South Africa Randberg, Transvaal. Pretoria: Geological Society of South Africa; 1989. p. 193–200*.

Mehling PE, Day SJ, Sexsmith KS. Blending and layering waste rock to delay, mitigate or prevent acid generation: a case review study. Proceedings of the Fourth International Conference on Acid Rock Drainage, May 30–June 6, 1997, Vancouver, BC, vol. II, p. 953–70.

Neal C, Whitehead PG, Jeffery H, Neal M. The water quality of the River Carnon, west Cornwall, November 1992 to March 1994:p. 115– 30. Proceedings of the Fourth International Conference on Acid Rock Drainage, May 30–June 6, 1997, Vancouver, BC, vol. I,