

## Asit Maden Drenajı Kestirim Yöntemlerinin Karşılaştırılması

A.Yörükoğlu & M. Karadeniz

MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

**ÖZET:** Asit maden drenajı problemi için etkin bir çevre yönetimi uygulanabilmesi, öncelikle asit oluşumunun kaynağı durumundaki kayaç yığınlarının, atık barajına terk edilen proses artıklarının ve stokların asit üretme ve nötrleştirme potansiyellerinin (NP) ortaya konmasına bağlıdır. Bu amaçla, son yıllarda giderek önem kazanan statik ve kinetik testlerle matematiksel modeller gibi kestirim yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Ancak, cevher yataklarının kendine özgü nitelikler taşımasına bağlı olarak, yöntemlerin birbirlerine göre bazı üstünlükleri ve zayıflıkları söz konusudur. Bu çalışmada, yöntemler arasında bir değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır.

**ABSTRACT:** Applicability of an effective environmental management for an acid mine drainage problem depends on the determination of acid generation and neutralization potentials of rock heaps, process tailings left to the tailings dams and stockpiles that are sources of acid formation. The prediction methods such as static, kinetic tests and mathematical models have been used for this purpose. However, due to the unique characteristics of ore deposits, prediction methods have some superiorities and weaknesses in respect to each other. In this study, these methods have been evaluated.

### 1 GİRİŞ

Asit maden drenajı sulu, özellikle demir sülfür mineralleri içeren kömür, baz metal, uranyum ve değerli metal madenlerinde sık sık görülen bir su kirliliği sorunudur. Oluşumun kaynağı ise kayaç yığınları, atık barajına terk edilen proses artıkları, pirit konsantresi stokları, açık ve kapalı maden işletmeleridir (Kontopoulos 1996 & Kuvueak 2000).

Kimyasal ve biyokimyasal oluşum mekanizması, çok sayıda araştırmacı tarafından (Zawadski 1967, Singer & Slumun 1968, Schmidt & Conn 1969, Baker & Wilshire 1970, Smith & Shumate 1970, Blessing, Lackey & Spry 1975, Hartley 1976, Illa 1977, Kleinmann ve diğerleri 1981) incelenen asit maden drenajı (acid mine drainage - AMD), letikleyici bir sülfürlü mineralin (genellikle pirit) su ve hava (oksijen) etkisine maruz kalması sonucunda oksidasyona uğramasıyla nihai tepkime ürünü olarak sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) meydana gelmesi ve ortamdaki metallerin çözünmesi olayıdır. Böylelikle, ortamdaki sular asidik karakter kazanır ve pH seviyesi düşer. Bu olay kısaca AMD olarak bilinir.

Asidik karakterli maden sularının olumsuz özellikleri yalnızca düşük pH değerleri ile sınırlı değildir. Aynı zamanda, cevher mineralizasyonuna bağlı yüksek metal konsantrasyonu, yüksek oranda çözünmüş katı ve organik madde eksikliği ile kendilerini gösterirler (Ulrich 1999). Aşırı metal konsantrasyonundan dolayı toksiktir. Yine, metal konsantrasyonu ve çözünmüş katı içeriği sebebiyle sedimentasyon proseslerinin gelişmesine neden olurlar.

Asit maden drenajı özellikle nehir ve göllerin ekosistemleri üzerinde etkilidir. Bitki ve hayvan türlerini elimine edip, besin zincirinin basitleşmesine, hatta yıkılmasına sebep olabilir. Sudaki yaşamı tamamen ortadan kaldırabilir (Grav 1997).

### 3 KESTİRİM YÖNTEMLERİ

Asit maden drenajı sorununun etkin şekilde bertaraf edilebilmesi, iyi bir çevre yönetimi uygulanmasıyla mümkündür. Bu işlemin zamanında yapılacak kestirim çalışmaları sonucunda, potansiyelin yeterli yaklaşıklıkla ortaya konmasına bağlıdır. Faaliyetler esnasında açığa çıkacak farklı kayaç tiplerinin asit

üretim ve nütürleştirme potansiyelleri ile kirlenmelerin ve metallerin potansiyellerinin ne olduğu. hangi koşullarda probleme dönüşeceği sorularının cevaplanması gerekmektedir. Kestirim asil maden drenajı potansiyelinin büyüklüğünün, sürekliliğinin, çevreye metal salımlarının ve u/un dönem etkilerinin değerlendirilmesini kapsar (Paktunç 1999). Bunun için ilk adımda maden alanının ilgili yerlerinden alınan temsili numunelerin kimyasal ve mineralojik analizleriyle, onların fiziksel ve jeoteknik karakterlerinin tayinini, sıvı ve katı numunelerde demir ve kükürüleri oksitleyen bakterilerin mevcudiyetini ve miktarını tespit etmek gerekir (Kontopoulos ve diğerleri 1996).

Asit maden drenajının oluşumu esnasında bir şekilde rol oynayan faktörlere ilişkin verilerin elde edilmesinden sonra, drenaj potansiyelinin hangi boyutları ve drenaj çözeltisinin niteliklerinin nasıl olabileceği konusunda kestirim yapabilmek mümkündür. Tüm bunların ışığında, kirlenici salımlarının kontrolü için kısa ve uzun vadeli önlemlerin geliştirilmesinin (emeli oluşturulur. Yine de. polansiyelin kestirimi zor. maliyetli ve güvenilirlik açısından sorgulanmaya açıktır (EPA 1994).

Kestirim için kullanılmakta olan yöntemler arasında jeokimyasal statik ve jeokimyasal dinamik (kinetik) testler, jeokimyasal modelleme. liç (özütme) testleri, jeostatiksel modelleme (3D modelleme). saha ve laboratuvar çalışmalarıyla sağlanan verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması sayılabilir. Ayrıca, benzer özellikler gösteren başka maden alanlarındaki arlık malzeme ile ilgili gelişmelerden (gözlem ve izleme) edinilen veriler de çalışmalara katkı getirebilir.

Bu çalışmada, halen ağırlıklı olarak kullanılmakta olan statik ve kinetik testlerin kendi içlerinde karşılaştırılması yapılmıştır.

### 3.1 Statik testler

Statik testler esas itibarıyla potansiyelin anlaşılmasında ilk adım olup. araştırmaların devam edip etmeyeceği kararının verilmesine katkı yapan eleme niteliğindeki testlerdir. Asit maden drenajı ile ilişkisi olan kayaçların karakterlerinin tanımlanmasını içerirler. Kayaçların asil üretim ve nütürleştirme kapasiteleriyle, drenajın niteliğini tahmin için geliştirilmişlerdir. Asili üreten ve nütürleştirme minerallerinin varlığıyla, birbirlerine göre çözünme hızları arasındaki farkları dikkate almazlar (Lapakko 2002).

Statik testler kısa sürede sonuç verir, düşük maliyetlidir ve nispeten basittir.

Jeokimyasal statik testler için farklı yöntemler geliştirilmiş olmakla birlikte, temelde sütlürlü anıkların asit üretim potansiyelleri (sülfür minerallerinin oksidasyonu) ile karşı grupta yer alan minerallerin (karbonatlar ve silikat minerallerinin çözünürlükleri) asili nütürleştirme kapasiteleri

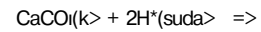
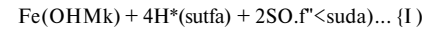
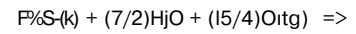
arasındaki denge irdelenir (EPA 1994. Environment Australia 1997).

Son 30 yılda yapılan ve halen devam eden yoğun araştırma çalışmaları neticesinde, temel yaklaşımı aynı olan çeşitli statik testler geliştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan test. 1973'de tanımlanan (Kleinmann 2000) ve 1978'de Sobek tarafından geliştirilerek bazı değişimlere de uğrayan Standard Asit Baz Hesaplama (ABH)'dır (Asid Base Accounting). Onun dışında. 1989'da Coasteeh Research Inc. tarafından ABH testinde yapılan değişikliklerle oluşturulan Modifiye ABH. kömür madenleri için 1979'da Duncan ve Bruneysteyn'in geliştirdiği British Columbia Research Başlangıç Tesii (BCRIT) ile prosedür farklılıkları gösteren Nölürleştirme Potansiyeli (pH6) ve Net Asit Üretim Testleri (White v.d. 1999. Lapakko 2000) ağırlıklı olarak kabul gören testlerdir. Bununla birlikte, ABD. Kanada. İngiltere ve Avustralya gibi ülkelerde bu tekniklerin dışında ve yine aynı tekniklerin değişik biçimleri yıllardır kullanılmaktadır (Environment Australia 1997; White v.d. 1999, Lapakko 2000).

Statik testler iki ana kısımdan ibarettir. Deneysel ameliye gerektirmeyen ilk aşamada, analizlerle bulunan kükürt (asit oluşumunun kaynağı sülfürlü minerallerdir) içeriği değerinden numunenin asilleştirme potansiyeli (AP) hesaplanır. Sonrasında, numune belli miktarda asitle muamele edilerek nütürleştirme potansiyeli tespit edilir, Elde edilen iki değer arasındaki farkı veya birbirine oranından net nütürleştirme potansiyeli (NNP) bulunur.

### 2.1, i Standard Asit liai Hesabı (ABH) Testi

Standard ABH testinde, tüm kükürdün kaynağının pirit olduğu, mevcut kükürdün tamamının reaksiyona girip asit üreteceği kabul edilmektedir. Ayrıca. 1 mol kükürdün 4 mol H<sup>+</sup> iyonu (2 mol asit) (eşitlik 1) meydana getireceği, buna karşın her mol CaCO<sub>3</sub>'ün 2 mol asit tüketiceği (eşitlik 2) varsayılmaktadır (EPA 1994. Paktunç 1999. White v.d. 1999).



Bu varsayımlar ışığında, kükürt analiziyle elde edilen %S değeri 31.25 çevrim katsayısıyla çarpılığında, teorik AP değerine ulaşılmaktadır. S'ün her g'ı için 3.125 g CaCO<sub>3</sub> (eşitlik 1 ve 2'den) gereklidir, ifadenin kg/t biriminde CaCO<sub>3</sub> eşdeğeri olması için çarpan 31.25 alınır.

Numunenin ntrleştirme potansiyelinin tayini için. kullanılacak asitin (HCl) niceliğinin ve niteliğinin belirlenmesi amacıyla, numunedeki kalsiyum ve magnezyum karbonatların miktarını tahmin etmeyi sağlayan "fizz testi" uygulanır (Kleinmann 2000, Mills 2002). Fizz testi, numune üzerine seyrellik ( $\% < 25$ ) HCl damlatarak asitin numunedeki etkisinin gözleendiği basit bir işlemidir. Ancak, test sonucunda yorumun gözleme dayalı olması, takip eden aşamalar açısından son derece önemlidir.

Teste göre gereken hacmi ve konsantrasyonu belirlenen HCl ile, tane boyutu -60 mesh'e indirilen 2 g numune muamele edilir. Reaksiyon tamamlanıncaya dek karşım kaynatılır. Soğulma işlemi sonrasında, son pil değeri 7 olacak şekilde NaOH ilâve edilir. Numune tarafından nötralize edilen asitin miktarından ntrleştirme potansiyeli hesaplanır.

AP ve NP değerlerinin tespit edilmesinin ardından, NNP değerinin hesaplanması basit bir aritmetik işlemidir.  $NNP = NP - AP$  veya  $NNP = NP/AP$  eşitliğinden yararlanılır. Burada, esas mesele hesaplama sonucunda ortaya çıkan değerin yorumlanmasıdır. Yorumlamada farklı kriterler kullanılmaktadır (EPA 1994, White v.d. 1999, Kleinmann 2000, Mills 2002). Çizelge I rnek olarak verilmiştir (Brodie v.d. 1991).

Çizelge I Numunenin asit üretme potansiyelinin yorumu.

Asit-baz hesabı	(NP / AP)
Asit retir	< 1
Belirsiz zon	$1 < NP/AP < 3$
Asit retmez	> 3

### 2.1.2 Modifiye ABH Testi

Numune miktarı ve tane boyutu, asit lrii, konsantrasyonu ve hacmi dikkate alındığında Standard metotla aynı olup, asideme potansiyelinin hesaplanmasında, asit üretmediği varsayımıyla sülfatlar dikkate alınmamaktadır. Bu durum, kükürt analizinde uygulanan yöntemlerde değişlik gerektirmektedir (Kleinmann 2000, Lapakko 2002). Asitle muamelede, kaynatma işlemi yerine 24 saat süreyle oda sıcaklığında bekletme tercih edilmektedir. Asitleme sonucunda, karşım pH'nın 1.5-2.0 arasında olması iştenmekle, daha yüksek pH değerleri görüldüğünde asit ilvesiyle test tekrarlanmaktadır. Nihayet, NaOH ile ortamın pH'ı 8.3'e yükseltilerek hesaplama yapılmaktadır.

### 2.1.3 British Columbia Research Baslangıç Testi

Standard AİH testinde olduğu gibi, AP hesaplanmasında toplam kükürt değeri kullanılırken, NP'nin tayin edilmesi öncesinde numune -325 mesh'e öğütülmekte. 10 g numune HCl yerine 10 N  $H_2SO_4$  ve 100 mL saf su kullanılarak asitleme uygulanmaktadır (Mills, 2002). Titrasyonda ortam pH'ı 3.5'e getirilmekle, dolayısıyla fizz testi yapılmaktadır. pH değerinin 3.5 olarak seçilmesinin nedeni, bakteri etkisinin (Thiobacillus ferrooxidans) daha yüksek pil'larda kayda değer olmadığı görüşüdür (Kleinmann 2000).

### 2.1.4 Net Asit retim Testi

nceki statik testlerden farklı olarak, kükürt analizi yapılma?. Demir sülfür minerallerinin oksidasyonunu gerçekleştirmek ve süreci hızlandırmak için  $H_2CV$ den yararlanılır. İşlem %15'lik 100 mL  $H_2O$  ile 5 g'lık numunenin muamele edilmesini içerir (EPA, 1994). Ortam pH'ı düşünce ntrleştirici etkisi olan minerallerin kendiliğinden znme süreci başlar. Reaksiyonun sürdüğünü gösteren işaretler bitlikten soma, bir saat kadar beklenip zlti pH'ı ölçülür. Son aşama, zltinin pH'ı 7 olacak şekilde titre edilmesidir. Böylelikle, numunenin asit üretme ve ntrleştirme kapasitesi doğrudan bulunmuş olur.

### 2.1.5 Ntrleştirme Potansiyeli (pH6) Testi

Bu metod asit kuvveti ve zltinin titre edildiği pH hariç. British Columbia Research Başlangıç Testiyle aynıdır. Öncelikle, 10 g numune 100 mL deiyonize su ile karşıtılır ve 1 N  $H_2SO_4$  yardımıyla pH 6 olacak şekilde titre edilir. Tüketilen asit miktarından hesap yoluyla NP değer bulunur.

### 3.2 Kinetik testler

Sanılanın aksine, asit maden drenajı niteliğinin kestirimine yönelik çalışmaların olduğua uzun bir geçmişinden söz etmek mümkündür. Lie kolonlarıyla ilk araştırmaların Mellon Enstitüsünde 1949 yılında Braley tarafından gerçekleştirildiği ifade edilmektedir (Hornberger & Brady 1998).

Kinetik testler statik testlerden bir sonraki adım olup, esas itibariyle simülasyon testleridir. Statik testlerdeki belirsizlikleri azaltmak, elde edilen verileri doğrulamak, belirleyici reaksiyonları tanımlamak, asit üretme hızını tespit etmek ve drenaj suyu kalitesini belirlemek amacıyla yapılırlar. Burada, uzun süre hava ve nem etkisine maruz kalmış kayaa ve proses artığı örnekler üzerinde oksidasyon ve bozunma (weathering), gerçekleştirilen testlerle simule edilir. Bu metotlarla asit üretiminin başlaması için gereken süre (lag time) ve kontrol tekniklerinin etkinliği konusunda da fikir sahibi olunabilir

(Fıvııonmenl Australia 1997) A)nui test so nuçlarından \ararlanmak suretiyle drenajın metal vuku ile ilgili talimin \apılabilir Stank lestler sadece potansi>eli (kapasievi) gosteriken kındık lestler olaun gerçekleşip gerçekleşmevceği hakkında bilgi verir Alternant değil tamaml}ici niteliktedir

Kındık testlerin önemli bu özelliği bakteri sıcaklık ve numune tane boju lu gibi asit üretim ve n otu rl eşi irme reaksiyonlarında rol oynayan laikli değişkenlerin etkisinin ırdelenebilmesidir

Uzun yıllardır yapılan aı aştu rinalar I a çok sayıda kinetik testi metodu geliştirilmiştir Ancak bunların yalnızca bu kaç\ı avgın olarak kullanılmaktadır

#### İ 2 1 Nim Hin UM Testi

Nem hucısı hava gıuş-çıkışı bulundu odacıktır Numune -2 38 mm ve kırılır ve 200 g lık bu miktar konteynere verileştirilir Belirlenen test suresince or lamdan hava geçülür Bakteri aşılması yapılabilir Bu suicç lamanıldığında numune kum asal özeli liklen bilmen su>ta perı>odik olarak yıkanıl Yıkama suyu analiz edilerek pH asidite alkalılık iletkenlik redoks potansiyeli sultat ve çözünmüş metal konsantras;onu gibi parametelere bakılır

Testleın suresi ile ilgili olarak değişik gosuşlei oncmli larklılıkları ar/ etmekteci CPA nın (1994) belirttiği üzere standard bir nem hücresi testi >oktu Test suresi ise 10 baltadan (EPA 1994) bu kaç hatta ^ \ ıla kadar (Morn & Hull 1999) değişebilmektedu

#### 122 Kolon Testi

Kolon tesllen nem hücresi testleri ile bıyık benzerlik gosteru Teste tabı tutulacak numune silmdük kolona verleşirilir Suvla ıslatma ve kuulma penvotları u\guların iler bir devu bıkaç gun ile bukac hâila di asında bazen daha la/la surer kolondan geçirilen su toplanıp oksidasyon hı/ı sultat oluşumu melal salımı \e dtgeı parametelerin belirlenmesi için analı/ edilir

Basit düzenek bakteri etkisi su doaygunluğu kucçtaşı gibi dcğişkenlenn irdelenmesine olanak sağlar Numune tane boji lu ivin bu değei verilmemiş olmakla birlikte araşlı maldı da 0 5 em den m taneli numunelerin saha koşullarını daha IM lemsil etlgi ilade edilmiştir (Bıadham & Carucuo 1990)"

#### 2 2 3 Soxhelet Lkstahton Testi

Soxhelet ekstraksiMin cihazıyla ço/eltının numunen tekrar geçirildiği bir snnülasyon tesidı Numune cihazdaki bir \uksuk içine yerleştirilip bir ie/eıvuaıdan devir daim ettirilen ço/eliyle muameleye tabı tutulur İki larklı işlem Li\gulaJimaktadır Standaid proseduide sıcaklığı 70 "C olan asetik asil veya damıtık suyla sure değışken olmakla beıaberı genellikle 6 halta suresince

numune o/utlenir Modi live testle ise oda sıcaklığında damıtık su kullanılır

#### 22 4 Butıslı C ohınıbtu Reseat eh Doy uluma I esti

British Columbia Research Başlangıç Testinin devamı niteliğinde ondan elde edilen sonuçları doğrulama amaçlı o/çllikle bakteri etkisini belit ie mek için geliştirilmiş bu testtu

Bazı araştırmacılar orijinal prosedürde olma masına karşın numune] -401) mesh e oğıtup testte 15-30 g numune kullanılmaktadır (TPA 1994)

Ortam pH ı 2 5 olacak şekilde numune 4 saat suresince çalkalanmak suretiyle sullunk asitle muamele ediliı Bakteri aşılması (Thiobacillus teı 100\ıdan) yapılıp çalkalama işlemlı sudurulur PH 2 8 in altında olmak üzere ilk uç gun çözeltildeki melalle izlenir Somasında damıtık su ilâve edilip mı ki «biyolojik aklıvie bitinceye (pH ve metal kon sanırasvonları sabitleninceye) dek her ıkı günde bir kontroller sudurulur Yeni numune eklenip 24 saat daha çalkalamanın sonunda pH ölçulur pH 3 5 veya büyükse tesl tamamlanmış olur Aksı halde son tsæm tekrarlanır Ölçülen pH değen 3 5-4 arasında değilse test tamamlanır Bu aralıkta ise çalkalama suresi 48 saat uzatılır ve pH olcumu yapılı Bulunan değei 3 5 in üzerinde\se numunenin asit üretmediği sonucu çıkar

#### 3 IRDELXME

Maden işletmesi alanındaki kavaç yığınları atık barajına terkedilcn proses artıkları ve pint kon satıtesı stokları çerçevesinde meydana gelen asil maden drenajında asit üretim kapasitesini belirle>en faktörler asılı üreten sullurlu nuncıallcile asıtu tüketen karbonatlı ve silikattı mıncralleıdı Statik lestler leaksiyon kınclıkicını diğer bir ifâdeyle reaksiyonların gelişimine elki eden doğal ortam koşullarını dikkate almazlar

İlk adımda asit oluşumunun kaynağı olan kukutun rolünün tanımlanması stalık testltim oı taya kojacağı sonuçların gerçekçılığı açısından el zem gounmektedir Modılıyc ABH testi hariç statik testler numunedeki kukııdun tamamının asit uete ceğini varsaymaktadır Oysa bant ve lips gibi su I tatlar ile kdmur valaklaımda bulunan organık kökenli kukurtler asit üretme özelliği taşıma/lar Ay rica doğal ortamda asit üreten kükürdüın tamamının reaksiyona gııcek sullata dönüşeceğim ilen sürmek tartışmaya avık bu noktadır Bu durumda toplam kıkut dikkate alınarak asılleme potansiyeli hesaplandığında gervekle olduğundan büyük bu değei bulunacaktır Buna karşın melanterit ve jaro sıt gibi bazı oksidasyon urunu sultatların çozınselerı hıdıolize olsalar asıl uetseler dahi hunun önemsiz olduğu sultat mıneralleının oksitleme potasiyeli

olmadığı dolayısıyla, sadece metallere bağlı kükürlün asit oluşumuna kaynaklık edip dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir (Mills 2002). Ancak, Perkins tam tersini savunmuş, melanerit ve lerihidril gibi reaksiyon ürünü sülfatların çözelti asiditesini kontrol ettiklerini özellikle vurgulamıştır (Paktunç 1999). O halde, asit üretebilen sülfatlar göz ardı edildiğinde, asit üretim potansiyeli muhtemelen eksik hesaplanmış olacaktır. Asit potansiyeli hesaplamasında kullanılan kükürt analizi için combustion furnace kullanımının zaafi gidereceği öne sürülmektedir (White v.d. 1999).

Nötürl eşî irme potansiyelinin belirlenmesi, tamamen teorik olarak hesaplanan asit üretme potansiyelinin aksine (net asit üretme tesii hariç), salt hesaplamadan ibaret değildir. Numune boyutlarında değişiklik, asitle muamele ve litrasyon işlemleri bir çok değişkenin sürecin parçası haline gelmesine sebep olur. Bu nedenle, aynı numune için değişik test metotları uygulandığında, birbirinden çok farklı nôtürleştirme potansiyeli değerleri elde edilebilmektedir. Rol oynayan başlıca değişkenler: numunenin tane boyutu, kullanılan asitin cinsi, miktarı ve konsantrasyonu, ortam sıcaklığı, süre ve titrasyonda hedeflenen pH"dır.

Maden işletme alanlarında yer alan proses artıkları ve konsantrere dışı kalan ve asil üretimine kaynaklık eden malzemelerin iane boyutu iridir. Öte yandan, nôtürleştirme potansiyelinin belirlenmesi işlemleri öncesinde, Net Asil Üretim Testi hariç, numune Öğütülmektedir. Oysa, bir mineralin iane boyutu küçüldüğünde, yüzey alanı artacağından reaksiyona girme yeteneği, bir diğer ifadeyle, çözünürlüğü artar. Dolayısıyla, numunede bulunan nôtürleştirici minerallerin çözünürlükleri, doğal ortama kıyasla daha fazla olacağından, tespit edilen NP değeri gerçeğinden fazla çıkacaktır. Bu durum, British Columbia Research Başlangıç ve NP (pH6) testlerinde iane boyutu genellikle -325 mesh'in altına indirildiğinden sıkıntı diğer ABA testlerine göre büyüktür.

Nôtürleştirme potansiyelinin belirlenmesi sürecinde, testlerin hata kaynaklarından biri de, numunenin asitle muamele edilmesidir. Standard ve Modifiye ABH testlerinde HCl asit kullanılmaktadır. Doğal ortamda ise, asit drenajı gerçekleştiğinde oluşan ve doğal olarak nôtürleştirici veya tampon etkisi gösteren minerali çözen  $H_2SO_4$ 'li HCl ve  $H_2SO_4$ 'in mineraller Üzerindeki çözüme etkinliğinin aynı olduğunu savunmak mümkün değildir. HCl'in demir ve karbonatların çözüldürülmesinde daha etkili olduğu bilinmektedir. Asit drenajı oluşumu esnasında çözünmediğinden prosesin gelişimine katkısı olmayan siderit, HCl ile yapılan testlerde çözünüp alkali etkisi göstermektedir. Benzer davranış, süllürlü mineral olan pirotinde de izlenmekte, hu mineralin çözünürlüğünün HCTde daha yüksek olduğu belirtilmektedir (White v.d. 1999). Buna göre,  $H_2SO_4$  kullanılan British Columbia Re-

search Başlangıç ve NP (pH6) testlerinin daha gerçekçi sonuçlar vereceği söylenebilir.

Basit bir ön işlem gibi görünen fizz testinin, elde edilecek veriler üzerindeki etkisi büyüktür. Fizz testinin kıstasları gözleme dayalıdır ve bu anlamda testi yapan kişiye bağımlıdır. Sübjektif bir işlemdir. Verilecek karar da sübjektif olacağından kullanılacak asitin miktarı ve konsantrasyonu için, ciddi değişkenlik söz konusudur. Standard ABH'da pH 0.5-7.0 aralığında olduğundan, asit miktarındaki değişim teorik olarak 20 katına kadar çıkabilir (20 mL 0.1 N  $H_2SO_4$  - 80 mL 0.5 N  $H_2SO_4$ ). pH aralığı 1.5-2.0 olan Modifiye ABH testinde değişim ise 5 kal olabilmektedir.

Bilindiği gibi, çözeltideki asit miktarı arttırıldığında, ortam pH'ı düşer. Nötralizatör mineralin çözünürlüğü de, netice itibarıyla, artar (Paktunç 1999). Bu veriler ışığında, Standard ve Modifiye ABH testlerinde (Standard'da daha yüksek olmak üzere), asitle muameleden kaynaklanacak hata ihtimali fazladır. British Columbia Research Başlangıç ve NP (pH6) testlerinde hedef pH vardır ve bu kıstas objektiftir. Hata olasılığı da göreceli olarak azdır.

Hata kaynaklarından bir diğeri de, asitle muamele sonrasında, çözeltide kalan asitin miktarını tespit amacıyla uygulanan titrasyonda seçilen hedef pH'tır (back titration end point). Standard ABH'da pH 7.0 olarak alınırken, Modifiye ABH'da bu değer 8.3'lidir. Standart ABA'da, çözeltideki asit miktarının eksik tespit edilebileceği belirtilmiştir (White v.d. 1999). British Columbia Research Başlangıç ve NP (pH6) testlerinde ise titrasyon yapılmadığından, işlem esnasında açığa çıkan asidite hesaba katılmaz.

Statik testlerdeki değişkenler arasında sıcaklık ve sürenin etkisi de incelenmiş. Coastech Research (1989) ve Lapakko (1992) bu iki değişkenin etkilerinin ihmal edilebilir düzeyde kaldığını ifade etmiştir, Ancak, karbonat mineralleriyle USBM tarafından gerçekleştirilen testler, sürenin çözünme üzerinde oldukça etkin olduğunu göstermiştir. Yınc NP (pH6) testinde  $CaCO_3$ 'ün çözünme hızının  $MgCO_3$ 'a kıyasla yüksek olduğu görülmüştür (White v.d. 1999). Bu da, mineralojik yapının ne derece belirleyici olduğunun bir göstergesi olarak alınabilir.

Kinetik testler, doğal yolla gerçekleşen proseslerin laboratuvarlarda taklit (simüle) edilmesi ve hızlandırılmasıdır. Fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik faktörleri kapsamaktadır.

Doğada, sülfürlü minerallerin oksidasyonu sülfat oluşumu su ve oksijen varlığı, mineralojik yapı ve doku, sıcaklık, pH ve mikrobiyolojik aklivite gibi sayısız faktörün etkisine bağlıdır. Temel zorluk, tüm bu faktörlerin en gerçekçi şekilde laboratuvara taşınması ve testlerin tamamlanması sonrasında elde edilen verilerin doğru yorumlanmasındadır.

Hornberger ve Brady (1998), istenen doğruluk ve hassasiyette veri üretebilmek için, kinetik test donanımlarının boyut, biçim ve yapı olarak olabildiğince basit, ancak, sıvı ve gaz akışkanların sis-

tem içindeki sirkülasyonlarının, maden alanındaki ortam koşullarını yansıtılabilmesi için karmaşıklık gerektirdiğini ifade etmişlerdir. Bu olayları laboratuvar ortamında gerçekleştirmenin zorluk derecesini açıkça göstermektedir.

Kinetik testlerde minerallerin çözünürlüklerini belirleyen faktörlerle oynanmaktadır. Statik test metodlarının irdelenmesinde de ifade edildiği üzere, mineral tanesinin boyutu küçüldüğünde, yüzey alanı arttığından, çözünürlüğü de artmaktadır. British Columbia Research Doğrulama Testinde malzeme boyutu -400 mesh'e indirilmektedir. Bu tane boyutunda çalışmaları, numunenin çözünürlüğü artacak, gerçek değerlerden uzaklaşacaktır.

Bir diğer nokta, testler esnasında kullanılan ıslatma ve yıkama sularıyla ilgilidir. Pirit oksidasyonuna suya doygun ortamlarda önemli ölçüde katkı yapmaktadır. Öyle ki, bu özellikten yararlanılarak asit maden drenajı sorununun giderilmesi yönünde yöntemler geliştirilmiştir. Test yapılması sırasında, doygunluğa ulaşılması durumunda hala olasılığı yüksektir. Soxhlet testinde Standard prosedürde damıtık su yerine asetik asit ile özütleme yapılmaktadır. Coastech (1989) tarafından yapılan bir çalışmada, asetik astin gerçekçi olmayan sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Nem hueresi ve kolon testleriyle ilgili en önemli sorunun /aman olduğu belirtilmiştir (EPA 1994), Nem hücreleriyle yapılan bir çalışmada, bir nem hücresinin %50 ihtimalle bir yıl sonra leu kimyasal stabilizasyona ulaşabileceği. %50 olasılıkla da bunun 3-5 yıl sürebileceği görülmüştür (Morin & Hutt 1999). Çözünme için yeterli zaman verilmediğinde, minerallerin değişken çözünme hızı nedeniyle, gerçeğinden farklı nitelikte drenaj gelişmekle, yanlış sonuç yapılması olasılığı artmaktadır. Zaman açısından en avantajlı test, diğerlerine oranla çok daha çabuk sonuç veren Soxhlet testidir.

Kolon testinde karşılaşılan bir başka sorun borulanma (piping) olayıdır. Bu problem, kolon içinde hareket eden sıvının taneleri arasında kanallar oluşturması ve malzeme içinde düzgün dağılım göstermemesidir. Homojen olmayan özütleme prosesine ol açma olasılığı vardır.

#### 4 SONUÇ

Statik testler ile kinetik testler birbirlerinin alternatifi değildir. Aksine, birimlerini tamamlamaları için nitelik taşırlar.

Statik testler kısa zamanda veri üreten, düşük maliyetli (25-100\$) eleme amaçlı testlerdir (EPA 1994). Buna karşın, uygulanacak çevre yönelimi için kinetik testler büyük önemi taşımaktadır. Ne var ki, fazla miktarda numuneyle çalışma gerektiren, uzun süreli ve yüksek maliyetli (100-1500\$) testlerdir.

Arazi testlerinde maliyet daha da artabilir (Hornberger & Brady 1998)

Kinetik testlerin temel zorluğu, doğal olarak gerçekleşen olayların laboratuvar ortamında simüle edilmesine bağlı olarak, sürece etki eden faktörlerin bu ortama taşınmasındadır.

Tüm testlerin başarısında öncelikle çok sağlıklı numune alınması ve alınan numunelerin kimyasal ve mineralojik analizlerinin hatasız yapılması gereklidir. Seçilecek test yönteminde mineraloji bilgisi birinci derecede rol oynamaktadır. Çünkü, her test kendine has değişkenleri mevcuttur, ancak mineralojik yapı başlı başına bir değişkendir. Uygun mineralojiyle, testler genellikle makul sonuçlar vermektedir. Bir numune için çok iyi sonuçlar veren bir test, mineralojisi farklı bir başka numunede başarısız olabilir.

Hem statik, hem de kinetik testler için yorumlama en zor aşamadır. Çünkü, üretilen verilere dayalı bilgi dışında, engin tecrübe gerektirmektedir.

#### KAYNAKLAR

- Baker, R.A. Wilshire, A.G. 1970 Microbial Factors in Acid Mine Drainage Formation. *DM 14010 DKN 11/70* US Gvnt PnminaOffice Washington D.C
- Ble.ssing, N.V. Lackey, J.A. Spry, A.H. 1975 Rehabilitation of an Abandoned Mine Site. *Minerals and the Environment*. ed. J. IONH S. M. J. *hist of Mitt & Metili* London
- Bradford, W. Caiuccio, F.T. 1991. A Comparative Study of Tailings Analysis Using Acid/Base Accounting. *Cell Columns and Soxhlets.. hi Puneethunt of the 2 luteum İtana! Confeiemc mi the Aboiement of Am/it Dtiuujiite*. Vol. 1. Montreal Quebec. MEND Program (Ed ). Quebec Mining Association. Ottawa
- Bfoilie, M.J., Broughton, L.M. & Robeilson, A. 1991. "A Conceptual Rock Classification System for Waste Management and a Laboratory Method for ARD Prediction from Rock Piles" In Proceedings of the 2 International Conference on the Abatement of Acidic Drainage. Vol. 1. Montreal Quebec. MEND Program (Ed ). Quebec Mining Association. Ottawa
- Coastech Research Inc. 1989 Investigation of Prediction Techniques for Acid Mine Drainage. MEND Project 116.1 a. Canada Centre for Mineral and Energy Technology. Energy, Mines and Resources Canada
- Environment Australia. 1997 Managing Sulphidic Mine Wastes and Acid Drainage. Best Practice Environmental Management in Mining Booklet Series
- Environmental Protection Agency (US) 1994 Technical Document - Acid Mine Drainage Prediction
- Day, N.F. 1997. Environmental Impact and Remediation of Acid Mine Drainage: A Management Problem. *Emimii-meititil Gi'ithfiw* 10 ( 1/2). Maicli. p. 62-71.
- Hartley, A.C. 1976 Tailings and Waste, Revegetation at Bougainville. Address to Papua New Guinea Scientific Society. Port Moresby. Mimeog.
- Hawley, J.R. 1977 The Problem of Acid Mine Drainage in the Province of Ontario. Ministry of the Environment. Ontario.
- Hornberger, R.I. Brady, K.B.C. Kinetic (Leaching) Tests for the Prediction of Mine Drainage Quality. *Coal Mine Drainage Prediction and Pollution Prevention in Pennsylvania* PA DEP p 71-754
- Klemmann, R.L.P., Cleary, D.A., Pacell, R.R. 1991 Biogeochemistry of Acid Mine Drainage and A Method to Control Acid Formation. *Minuit; Ln'nieei itit*, March, p. "U10-W1

- Kleinain RI P (Fd I 2000 Prediction of Water Quality at Sulfate Ctrial Mines The National Mine Land Reclamation Cuter Located at West Vngim i Univtisity
- Kontopoulos A Adam K Monhemius J C.unhiidge M Kokkoin D 1996 fc-nviroiimential Management in Polymetalhc Sulphide Mines *Pi,meeting SWCMP <J6 Cmi R led ) S Marglien di Pula Cagliari Italy 7 Il* Ottobei p 121 HO
- Kuvucak N 2000 Miciooigamsms Biotechnology and And Rock Drainage Emphasis on Passive-Biological Comiol and Ti eamn.ni Methods *Mimull&MetilUr\`ttü Pun ewnm* Vol 17 No 2 p 85 95
- Lipakko K A 1992 Chaiacterizaoon and Static Testing ol Tt.ij Gold Mme Tailings //; *Pitnti(ltiti;\ «/ tin IW2 Antumm S/nun fur Sulfate Mumm \*\*\*\*\* Re< Umuttum Miditm* Duluh MN p 170 184
- Lapakko K A 2002 Metal Mine Rock and Wasie Charac- ten/auou Tools An 0\ei\iew *Inn t minimal liiMiiuit fin Emit\`liiuiill unci De\ihpnn nt* No 67
- Mills C 2002 Acid Base Accounting (ABA) wvm inloinnu.com/teihnology/enviionnnt\`/
- Moim K A Huit N M 1999 Humidiy Cells How Long' How Many' *Pupiuil t<> "nullum 99 Mumm \*\*\*\*\* 'Ur Euumiiitiin II* p 1 9
- Pakuiuç AD [999 Claiacterization of Mine Wastes toi Prediction of Acid Mine Di.image *En\iromiuiital huptris uf Mumm Aiimic\ AZCUE i M* (ed) p 19-40
- Schmidt J W Conn K 1969 Abatement of Water Pollution limn Mine Wasie Waters *ht Annual Mttlmf> of thr Ca iiieliiliii Muu ml Pint t win \* p 52-74
- Smith FE Shumate KS 1970 Sulfide to Sulfate Reaction Mechanizin *Doittnuit 14010 rPb 02/70 US Govt Pi lining Office* Washington DC
- Uliich M 1999 Non metallic Carbonois Mineials in the Passive Treatment of Mining Wastewater in Slovenia *Clifinn til Limine ei am & Pi mi wnm* 18 p 249-258
- White W W 111 Lapakko K A & Cox R L 1999 Static Test Methods Most Commonly Used to Predict Acid-Mine Drainage Practical Guedlines for Use and Interpretation *in fid itm in EiiiiIOIIIU Genius V 6A The Environ menial Geochemistry of Mineiat Deposits Part A Processes Techniques and heahh Issues Plumlee G S And Logsdon M I* (Eds ) Society of Economic Geoloeists Inc hilleton CO p 125-118
- Zawadski E A 1968 Acid Mine Drainage Research at Bitu- minous Coal Rest.uch Inc *SME Meetnm* September Las Vegas Nevada

