



## KÖMÜR YIKAMA TESİSİ ŞİSTLERİNİN ASİT MADEN DRENAJİ POTANSİYELİNİN KOLON TESTİ İLE BELİRLENMESİ

Rasim BAYIR<sup>1\*</sup>, Cengiz KARAGÜZEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Kütahya, [rasim.bayir1@ogr.dpu.edu.tr](mailto:rasim.bayir1@ogr.dpu.edu.tr),  
ORCID: 0000-0002-5893-7184

<sup>2</sup>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya,  
[cengiz.karaguzel@dpu.edu.tr](mailto:cengiz.karaguzel@dpu.edu.tr), ORCID:0000-0003-1505-7678

*Geliş Tarihi(Received Date):*27.02.2022

*Kabul Tarihi(Accepted Date):*18.08.2022

### ÖZ

İnsan ihtiyaçları madencilik faaliyetleri ile doğal kaynaklardan karşılanmaktadır. Bu faaliyetler sürecinde su, hava ve toprak gibi alıcı ortamlar etkilenebilmektedir. Günümüzde bu süreçler proaktif bir yaklaşımla yönetilebilmekte ve çevre dostu madencilik yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, Kütahya-Tavşanlı bölgesinde bulunan bir kömür şirketine ait kömür yıkama tesisi şist atıklarının asit maden drenajı özelinde çevresel etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, numune hazırlama işlemlerinin ardından sahadan alınan numunelere kinetik testler uygulanmıştır. Kinetik kolon testleri standartlara göre dizayn edilmiş farklı boy ve çaplardaki kolonlar yardımıyla yapılmıştır. Kinetik kolon testlerinde partikül boyutu, kolon çapı, bakteri (*thiobacillus ferrooxidans*) miktarı gibi değişken parametreler incelenmiştir. Farklı parametrelerin araştırıldığı sistematik testler sonunda kolonlardan elde edilen süzüntülerin homojen bir karışım yapılarak zamana bağlı pH, Eh(mV), İletkenlik/Ec (mS/cm) değerleri ve numunelerin metal ve anyon içerikleri belirlenmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, kinetik sonunda yüksek nötralizasyon potansiyeline sahip yan kayaç nedeniyle çalışma süresi boyunca gözlenen yüksek pH seviyeleri nedeniyle %1 civarında S<sup>-2</sup> içeren numunelerin AMD üretmeyeceği belirlenmiştir.

**Anahtar kelime:** AMD, Kinetik test, Bakteri, pH, Eh, İletkenlik(Ec)

### DETERMINATION OF ACID MINE DRAINAGE POTENTIAL OF BY COLUMN TEST THE COAL WASHING PLANT SHISTS

#### ABSTRACT

Human needs are supplied from underground resources by mining activities. In the process of these activities, receiving environments such as water, air and soil can be affected. Today, these processes can be managed and environmentally friendly mining can be done with a proactive approach.

In this study, the environmental effects of the schists of a coal washing plant belonging to a coal company in the Kütahya-Tavşanlı region were investigated specifically for acid mine drainage. In this

context, kinetic tests were applied to the samples taken from the field, following the sample preparation procedures. In the kinetic column tests, columns designed in different lengths and diameters designed according to the standards were also carried out. Variable parameters such as particle size, column diameter, bacteria (*thiobacillus ferrooxidans*) amount were investigated in kinetic column tests. At the end of systematic tests in which different parameters were investigated, the time dependent pH, Eh(mV), Conductivity/Ec (mS/cm) values of the filtrates obtained from the columns and the metal and anion contents of the samples were determined by making a homogeneous mixture of the total filtrates.

When the results were evaluated in general, it was determined that the samples containing around 1% S<sup>2-</sup> would not produce AMD due to the high pH levels observed during the study period due to the high neutralization potential host rock at the end of the kinetic tests.

**Keywords:** AMD, Kinetic test, test, Bacteria, pH, Eh, Conductivity (Ec)

## 1. GİRİŞ

Madencilik faaliyetleri; başta enerji olmak üzere bir çok endüstriyel sektörün hammadde ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Madenlerin üretilmesi ve zenginleştirilmesi aşamalarında oluşabilecek çevre kirliliğine karşı tedbir alınması başta su kaynakları olmak üzere alıcı ortamların zarar görmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle madencilik faaliyetleri öncesinde proaktif bir yaklaşım güdülerek oluşabilecek çevresel problemlere karşı tedbirler alınmaktadır. Bir risk analizi çerçevesinde yürütülen bu çalışmalarda özellikle sülfür içeren sahalarla Asit Maden Drenajı (AMD) oluşumunu tahmin etmeye ve/veya belirlemeye yönelik testler yapılmaktadır.

Asit maden drenajı (AMD); pirit, pirotin ve markazit başta olmak üzere sülfür içeriğine sahip kömür sahalarında, baz metal içerikli uranyum ve kıymetli metal madenlerinde; oksijenin, suyun ve mikro organizmaların etkisiyle meydana gelmektedir [3], [7]. AMD, bir maden alanında pirit, pirotin ve markazit gibi demir minerallerinin nemli ortamda oksitlenmeye maruz kalmasıyla gelişen tepkimeler sonucu sulu ortama proton (H<sup>+</sup>) iyon vermesi ve çözeltinin asidik niteliğe dönüşmesi olayı olarak tanımlanmıştır [4].

Genel olarak sülfür içeren mineraller AMD oluşumuna sebep olabilmek ile birlikte pirit AMD'nin oluşumunda birincil etkidir. Bazı maden atık sahalarında bolca miktarda bulunan pirit oksidasyona maruz kalarak ayrışmaya neden olmaktadır (Reaksiyon1).



Reaksiyon 1'de görüldüğü üzere pirit moleküller oksijen ve suyla bir araya gelerek, ayrışır ve serbest kalan kükürt oksitlenerek sülfat oluştururken Fe<sup>+2</sup> ve H<sup>+</sup> ortama geçmektedir.



Reaksiyon 2'de Fe<sup>+3</sup> iyonu oksitlenerek reaksiyon 1'e oranla daha fazla asit üretimine neden olmaktadır. Pirit oksitlenmesiyle oluşan asidik sular, ortamdaki diğer metal sülfürlerle reaksiyona girerek daha fazla metal ve asit üretimine neden olmaktadır (Reaksiyon2-3) [2].

Maden atıklarında bulunan sülfür minerallerinin çeşidi, nem, oksijen konsantrasyonu, bakteri varlığı, alkali minerallerin özelliği ve miktarı, AMD'nin oluşumunu etkileyen başlıca faktörlerdir. Diğer taraftan atık yığımında sülfürlü ve alkali cevherlerin dağılımı, sülfürlü cevherlerin yüzey alanı dolayısı ile tane boyutu ve oksidasyon hızı da AMD oluşumunu etkileyen önemli parametrelerdendir[5]. Özellikle atıkların depolandığı pasa alanlarında ve liç işlemi sırasında oluşturulan cevher yığınlarında görülen AMD, yeraltı madenciliğinde sürülen galeriler nedeniyle suyun ve havanın etkisiyle sülfürlü cevherlerin hızla oksitlenmesiyle birlikte yeraltı işletmelerinde de görülmektedir. Maden pasa alanlarında ve yeraltında sülfür içeren kayaçların oksidasyonunu etkileyen faktörler sülfür içeriği, su miktarı, hava miktarı, bakteri içeriği ve alkali mineral içeriğidir [1]. AMD'nin oluşumunda etkili mekanizmalar ise kimyasal oluşum, jeokimyasal oluşum, fizikokimyasal oluşum, biyokimyasal oluşum mekanizmaları ile nütürleştirme mekanizmaları olarak çeşitli kaynaklarda açıklanmaktadır [5]. Bu kompleks olayları incelemek ve tespit etmek oldukça zor olup, statik ve kinetik tahmin yöntemleri ile çalışma alanlarının asit üretme ve nütürleştirme potansiyelleri çeşitli araştırmacılar tarafından irdelenmektedir [6], [8]. Madenlerde sülfürlü mineraller asit üretimine neden olurken, bunun aksine karbonatlı mineraller (kalsit, dolomit vb.) hatta bazı silikatlar nütürleşmeyi sağlamaktadır. Dolayısı ile asit üretim potansiyelinin nütürleştirme potansiyeline oranı pasa alanlarında mutlaka belirlenmelidir. Statik testler ile yapılan bu çalışmalar sadece tahmin çalışmaları olup, bu çalışmaların zamana bağlı süzüntülerin alındığı ve irdelendiği kinetik testlerle (kolon, nem hücresi vb.) desteklenmesi beklenmektedir.

Bu çalışmada, bir kömür yıkama tesisinde fiziksel işlemlerden sonra, artık olarak elde edilen şistlerin depolandığı şist harmanının statik ve kinetik testler ile asit üretme, nütürleştirme ve zamana bağlı süzüntü özellikleri irdelenmek suretiyle AMD potansiyeli araştırılmıştır.

## 2. MALZEME ve YÖNTEM

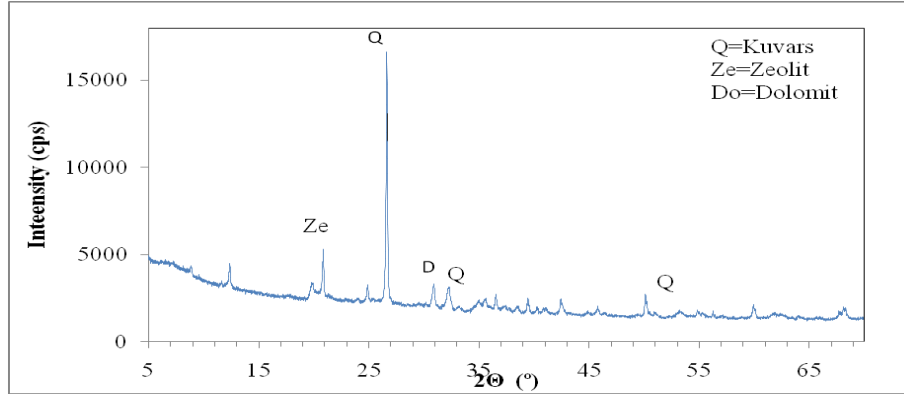
### 2.1. Malzeme

Bu çalışmada kullanılan örnekler, Kütahya Bölgesi'nde faaliyet gösteren özel bir kömür işletmesinin kömür yıkama tesisi şistlerinin depolandığı pasa sahasından temin edilmiştir. Sahadan 9 adet numune alınmış, örnekler ÖLŞ 1, ÖLŞ 2, ÖLŞ 3,.....,ÖLŞ 9 şeklinde kodlanmıştır. Sahadan temin edilen örnekler, nem uzaklaştırma işlemlerini takiben kırma, öğütme ve sınıflandırma işlemleri ile statik ve kinetik testler için Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarlarında hazırlanmıştır.

Örneklerin karakterizasyon testleri harman sahasını temsil etmesi amacıyla dokuz farklı örneğin karıştırılması ile elde edilen bir örnek üzerinden gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de örneklerin kimyasal analizi (XRF) verilirken Şekil 1'de XRD grafiği verilmiştir.

**Çizelge 1.** XRF Karakterizasyon Analizi.

Bileşik Adı	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
<b>Bileşik Oranı (Konsantre%)</b>	56,19	17,99	11,55	5,02	4,44	1,58	1,16	0,75
Bileşik Adı	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	NiO	Na <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SrO	CeO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>
<b>Bileşik Oranı (Konsantre%)</b>	0,47	0,3	0,17	0,11	0,09	0,08	0,06	0,04



Şekil 1.Şist Örneğine ait XRD Grafiği.

Tablo 1 ve Şekil 1 irdelendiğinde, şistleri oluşturan minerallerin silika, alümina ve demir içeriği yüksek örnekler olduğu kuvars, zeolit ve dolomitin ise yaygın mineraller olduğu belirlenmiştir.

#### Çizelge 2. Şist Örneklerinin Sülfür İçerikleri.

Numune Kodu	Sülfür, %
ÖLŞ-1	0,8524
<b>ÖLŞ-2</b>	<b>2,1845</b>
ÖLŞ-3	0,757515
<b>ÖLŞ-4</b>	<b>1,0949</b>
ÖLŞ-5	1,64495
<b>ÖLŞ-6</b>	<b>0574105</b>
ÖLŞ-7	053969
<b>ÖLŞ-8</b>	<b>0898675</b>
ÖLŞ-9	0,21576

#### 2.2. Yöntem

Çalışmaya konu örneklerin AMD oluşturma potansiyeline yönelik olarak sırasıyla kısa süreli tahmin esasına dayalı statik testler ve sahanın simülasyonunu esas alan kinetik testler yapılmıştır. Statik testler, Sobek ve ABA standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre asit üretim potansiyeli ve nötrleştirme potansiyeli sülfüre bağlı olarak aşağıdaki Eş 4. ve Eş 5. yardımıyla belirlenmiştir

$$AÜP = 31.25 * \%S \quad (4)$$

$$NP = 50 * am * \frac{(va - \frac{am}{bm}) * vb}{nA} \quad (5)$$



**Şekil 2.** Kinetik Test Düzenegi.

Farklı çap ve boylardan oluşan 4 farklı grupta yapılan kolon testlerinde öncelikle tane boyutunun etkisi araştırılmıştır. Buna göre A, B, C ve D grupları halinde oluşturulan kolonlara sırasıyla -4;+2, -2;+1, -1;+0,5,-0,5mm boyut gruplarında numuneler beslenmiştir. Kolonlara bölgedeki beş yıllık yağış verileri ortalamaları ile günlük yağışı temsilen 31 hafta boyunca ortalama 10 ml/gün miktarında su ve belirli miktarda hava beslenmiştir. Elde edilen süzüntülerin ise her hafta pH, Eh ve 11. Ve 24. Haftalarda iletkenlik ölçümleri yapılmıştır

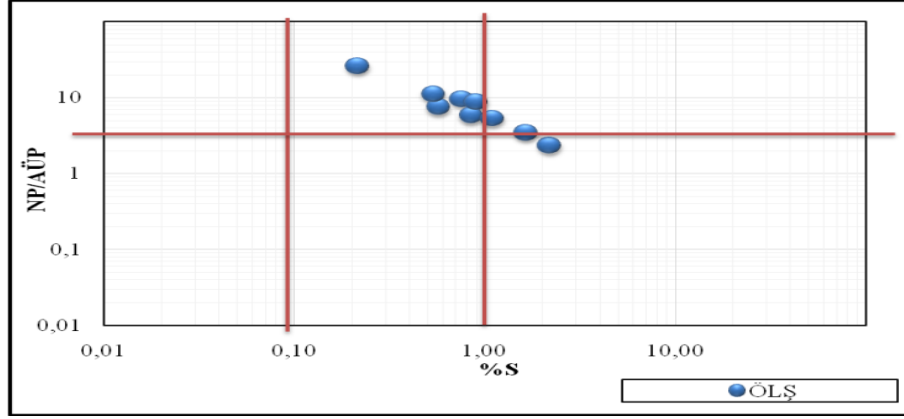
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Statik testlerin potansiyel (NP) değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Sobek ve ABA standartlarına göre yapılmış olup, örneklerin asit üretim potansiyel (AÜP) ve nötrleşme potansiyel (NP) değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.** AÜP ve NP tablosu.

Numune Kodu	AÜP	Numune Kodu	NaOH miktarı	NP
ÖLŞ-1	26,6375	ÖLŞ-1	27,6	155
<b>ÖLŞ-2</b>	<b>68,26563</b>	ÖLŞ-2	27,3	158,75
ÖLŞ-3	23,67234	ÖLŞ-3	21,8	227,5
<b>ÖLŞ-4</b>	<b>34,21563</b>	ÖLŞ-4	25,4	182,5
ÖLŞ-5	51,40569	ÖLŞ-5	25,9	176,25
<b>ÖLŞ-6</b>	<b>17,94078</b>	ÖLŞ-6	29,2	135
ÖLŞ-7	16,86531	ÖLŞ-7	25	187,5
<b>ÖLŞ-8</b>	<b>28,08359</b>	ÖLŞ-8	20,3	246,25
ÖLŞ-9	6,7425	ÖLŞ-9	26	175

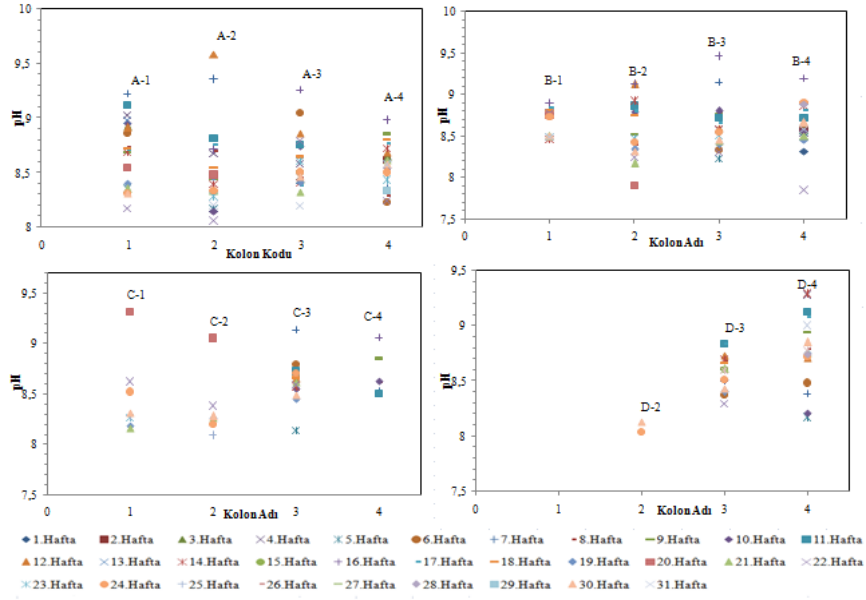
Sahanın ortalama AÜP içeriği 30,42544 kgCaCO<sub>3</sub>/t iken ortalama NP içeriği 182,6389 kgCaCO<sub>3</sub>/t olarak bulunmuştur. Ortalama NP/AÜP ise 8,88 kgCaCO<sub>3</sub>/t olarak bulunmuştur. Diğer taraftan Tablo 2'de elde edilen sonuçlar Karagüzel vd [6] tarafından modifiye edilmiş bir model yardımıyla değerlendirilmiştir. Şekil 3'te çalışmaya konu örneklerin sülfür içeriğine bağlı NP/AÜP ilişkisi görülmektedir



**Şekil 3.** Şist Örneklerinin NP/AUP ve %S Değerlerinin Model Üzerinde Gösterimi.

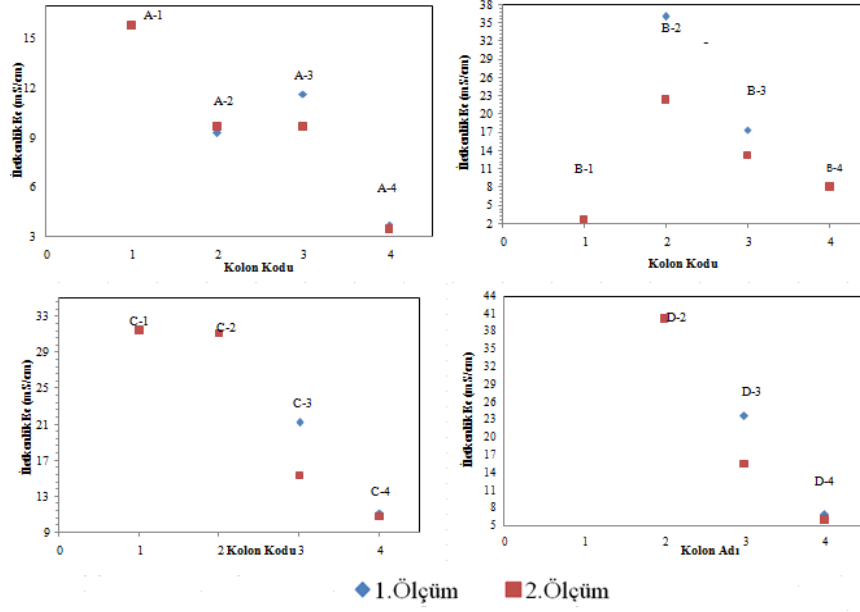
Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde örneklerin 0,1-1 %S içeriğine sahip olduğu görülürken örneklerin NP/AÜP içeriğinin 3 sınır değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Maden atıkları Yönetmeliğine göre, asit üretiminin düşük olduğu anlaşılmasına rağmen bu çalışmada örneklerin sülfür içeriğinin %1 civarında olması her ne kadar nötrleşme potansiyeli yüksek olsa da kinetik testler ile sonuçların doğrulanması gerekliliğini ortaya koymuştur.

Çalışmanın sonraki aşamasında doğal ortamın simüle edilebildiği daha kolonlar yardımıyla kinetik testler gerçekleştirilmiştir. Altı ay süre ile gerçekleştirilen kolon testlerinde bölgenin iklim durumu da dikkate alınarak kolonlara beslenen hava ve su miktarları belirlenmiştir. Doğal ortamın tam olarak simüle edilmeye çalışıldığı kolon çap, boy, tane boyutu, bakteri varlığı gibi parametrelerin AMD'ye etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Sonuçlar haftalık bazda kolonlardan alınan süzöntü suların pH, Eh ve iletkenlik ölçümleri ile değerlendirilmiştir. Şekil 4'te dört farklı kolon grubundan elde edilen süzöntülerin haftalık bazda pH değerleri görülmektedir.



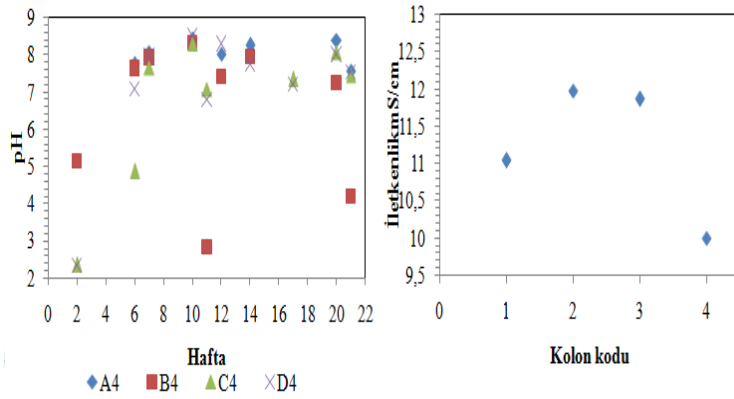
Şekil 4. Kolonların pH grafikleri.

Şekil 4'te görüldüğü üzere 31 haftalık izlenimler sonucunda kolonlarda pH seviyesi 7,5-9,5 arasında değiştiğini ve tüm şartlarda asit maden drenajının oluşmadığını göstermektedir. Diğer taraftan tane gruplarına ve kolon ebatlarına göre elde edilen sonuçlar irdelendiğinde taneler ile çözeltinin temas süresinin arttığı dar kolonlarda ve ince tanelerin beslendiği kolonlarda göreceli olarak pH'nın arttığı görülmektedir. Bu duruma şistler içindeki nötrleştirici potansiyeli yüksek minerallerin neden olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 5. Kolonların İletkenlik(mS/cm) grafiği.

İletkenlik taneler ile çözelti arasındaki iyon alışverişini dolayısı ile çözeltiye iyon geçişinin yorumlanması amacıyla kullanılan bir teknik olup, asit maden drenajı kaynaklı olabilecek kirlilik artışının takibinde kullanılmaktadır. Şekil 5'te görüldüğü üzere 31 haftalık izlenimler sonucunda kolonlarda iletkenlik 2-44 mS/cm aralığında kalmıştır. Bu sonuç tüm kolonlarda iletkenliğin oldukça düşük olduğu göstermekte olup, bu durum ortamda asidik koşulların oluşmaması nedeniyle kirlilik oluşturacak iyon geçişinin de olmadığını göstermektedir. Aynı zamanda ortam pH sınırın bir miktar arttığı kolonlarda oluşabilecek alkali drenajında herhangi bir çözünmeye neden olmadığını göstermektedir.



Şekil 6. Bakteri Kolonlarının pH ve İletkenlik(mS/cm) grafiği.



Şekil 6’da görüldüğü üzere bakteri (thiobacillus ferrooxidans) kullanılan kolonlarda pH ve iletkenlik değerlerinin bakteri kullanılmayan kolonlara (Şekil 4 ve Şekil 5) göre çok fazla değişmediği takip edilmektedir. Asidik ortamda çoğaltılan bu bakteriler kolonlarda ilk iki hafta da göreceli pH düşüşüne neden olsa da nötrleştirici minerallerin yoğun olduğu ortamda pH ve iletkenliğin bakteri kullanılmayan ortamlarda ölçülen değerlere ulaştığı görülmektedir.

#### **4. SONUÇLAR**

Kömür yıkama tesisi şist harmanından alınan örneklerin asit maden drenajı özelinde çevresel etkilerinin irdelendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Örneklerin toplam S değeri ortalama % 0,2-2,1 aralığındadır.
- Statik test sonuçlarına göre örneklerin ortalama AÜP değeri 30,42544 kg CaCO<sub>3</sub>/t iken ortalama, NP değeri 182,6389 kg CaCO<sub>3</sub>/t olarak bulunmuştur. Ortalama NP/AÜP ise 8,88 kg CaCO<sub>3</sub>/t dur.
- Kinetik testlerde değişen tane boyutu ve kolon ebatlarına göre küçük değişiklikler olsa da genel olarak tüm kolonlarda pH’nın 7,3 - 7,9 değerleri aralığında, iletkenliğinde 3 mS/cm - 45mS/cm aralığında kaldığı görülmüştür. Kinetik test parametreleri kolon boy, çap ve tane boyutunun ise sınırlı düzeyde etkin olduğu genel sonucu değiştirmedeği belirlenmiştir.
- Nötürleştirici minerali yüksek olan şistlerin bakteri varlığında da asit maden drenajı üretmediği belirlenmiştir.

Elde sonuçlara göre kömür yıkama tesisi şist artıklarının depolandıkları ortamda asit maden drenajı üretmediği ortaya konulmuştur.

#### **TEŞEKKÜR**

Laboratuvar testlerindeki yardımlarında dolayı Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Araştırma Görevlisi Dr. Ömer CANIEREN ve Maden Mühendisliği Laboratuvar sorumlu tekniker Murat ÖZKAN teşekkür ederim.

#### **KAYNAKÇA**

- [1] Anıl, M., Özdemir, A. C., Altınçelep, Z., & Demirel, E. (2014), Sülfürlü Mineraller İçeren Maden Yataklarında İşletme Sırasında ve Sonrasında Asit Kaya (Maden) Drenajlarının Oluşup Oluşmayacağına Yönelik Kestirimler: Akdağ, Karıncadağ ve Bolcardağ Örneği. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi , 29(1), 127-144.
- [2] Gül, S. (2014), Bakteriyel Faaliyetlerin Etkisi. Balıkesir/Balya Pb-Zn Maden Atık Sahasının Biyojeokimyası Ve Asidik Maden Drenajı Oluşumuna Etkilerinin Araştırılması (S. 10-11). İçinde İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi-Fen Bilimleri Entitüsü/Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi.

- [3] Karadeniz, M. (Mayıs 2005). Asit Maden(Kaya) Drenajında Aktif ve Pasif Çözüm Yöntemleri. Madencilik ve Çevre Sempozyumu (s. 91). Ankara: MTA Gene Müdürlüğü.
- [4] Karadeniz, M. (2008), Sülfürlü Madenlerin Sorunu Asit Maden Drenajı ve Çözümü. Ankara: TMMOB Maden Mühendisleri Odası yayını.
- [5] Karadeniz, M. (2011), Biyokimyasal mekanizma. Balıkesir-Balya- Kurşun-Çinko Madeni Flotasyon Artıklarının Asit Maden Drenajı Oluşum Potansiyelinin Derinlik Değişiminin Araştırılması (S. 42-43). İçinde Ankara: Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmış Doktora Tezi.
- [6] Karagüzel, C., Ören, Ö., Şahbaz, M., Canıeren, Ö., Demir, U., & Şahbaz, O. (2020, Mayıs 5), Prediction of acid mine drainage potential of dump sites by using. Arabian Journal of Geosciences , s. 1-4.
- [7] Kuyucak, N. (2000), Microorganisms, biotechnology and acid rock drainage—emphasis on passive-biological control and treatment methods. Mining, Metallurgy & Exploration, 17(2), 85-95.
- [8] Yücel, D. Ş., & Baba, A. (2016), Prediction of acid mine drainage generation potential of various lithologies using static tests: Etili coal mine (NW Turkey) as a case study. (s. 1-16). Environ Monit Asses.