**MADEN ATIKLARININ UÇUCU KÜLLER İLE REHABİLİTASYONU**

*REHABILITATION OF MINE WASTES USING FLY ASH*

Deniz Şanlıyüksel Yücel\*, Burcu İleri\*\*

\*Doç. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye, denizsyuksel@comu.edu.tr

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6546-5624

\*\*Dr. Öğr. Üyesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lapseki Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, Çanakkale, Türkiye, burcuileri@comu.edu.tr

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6609-9048

**Özet**

Madencilik faaliyetleri neticesinde sülfür minerallerince zengin büyük hacimli atıklar oluşmaktadır. Asit maden drenajı, sülfür minerallerinin su ve hava etkisine maruz kalması sonucunda oksidasyona uğramasıyla oluşur, düşük pH değerinin yanı sıra yüksek metal ve sülfat konsantrasyonu, askıda katı madde ve çözünmüş katı madde içeriğine sahiptir. Madencilik sektörünün karşı karşıya kaldığı en önemli su kirliliği sorunu asit maden drenajı olarak kabul edilir. Her maden sahasının farklı jeolojik, fizikokimyasal ve jeokimyasal özellikleri nedeni ile çok sayıda rehabilitasyon yöntemi bulunmasına karşın, kullanılan yöntemler sahaya özgüdür. Bu çalışmada, kömür yakan termik santral atığı uçucu küllerin, kömür madeni atıklarından kaynaklanan asit maden drenajının rehabilitasyonundaki etkisi laboratuvar ortamında değerlendirilmiştir. Yüksek kalsiyum oksit içeriğine sahip uçucu küllerin maden atıkları ile farklı oranlarda karıştırılarak asit maden drenajını nötralize ettiği saptanmıştır. Gelecek çalışmalarda asit maden drenajının nötralizasyonunda uçucu küllerin etkinliğinin saha uygulamalarında uzun süreli takip edilmesi hedeflenmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Maden atıkları, çevresel etki, rehabilitasyon, uçucu kül

***Abstract***

*After mining operations, large quantities of mine waste rich in sulfur minerals is created. Acid mine drainage forms when sulfur minerals undergo oxidation as a result of exposure to the effects of water and air, and in addition to low pH, contains high metal and sulfate concentrations, suspended and dissolved solids. Acid mine drainage is accepted as the most significant water pollution problem forming due to mining activities. Due to each mine site displaying its own unique geological, physicochemical and geochemical character, though there are many rehabilitation methods, the methods used are specific to the field. In this study, the effect of fly ash, waste from a coal-fired thermal power plant, on rehabilitation of acid mine drainage due to coal mine wastes was evaluated in the laboratory conditions. The fly ash with high calcium oxide content mixed with mine waste at various ratios was identified to neutralize acid mine drainage. Future studies will target long-term monitoring of the neutralizing effect of fly ash for acid mine drainage in the field.*

***Key words:*** *Mine waste, environmental effects, rehabilitation, fly ash*

**1. GİRİŞ**

Madenler, ömrü ekonomik rezervin miktarı ile sınırlı olan ve tüketildiklerinde yenilenemeyen kaynaklardır. Madencilik faaliyetlerinde yer seçme şansı olmayıp, bulunduğu yerde işletilmesi zorunludur. Madencilik faaliyetleri ile çıkarılan malzemenin genellikle az bir kısmı ekonomik değer olarak alınmakta ve geriye kalanlar depolanarak uzun süre yönetilmesi gereken atık olarak kalmakta ve birçok olumsuz çevresel etkilere sebep olmaktadır (Karapınar, 2011). Madencilik sektöründe sürdürülebilir kalkınma yaklaşımının uygulanması; yeni rezervlerin bulunmasına ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması, daha temiz teknolojilerin kullanılması, atık hacminin azaltılması, maden yataklarının etkin biçimde işletilmesi ve çevresel etkilerin azaltılması ile ilişkilidir (Demirbugan, 2020). Sürdürülebilir kalkınma için en önemli şartlardan biri madencilik faaliyetlerinin sona ermesinden sonra yapılan maliyetli rehabilitasyon çalışmalarıdır (Şanlıyüksel Yücel ve İleri, 2020). Rehabilitasyonun temel hedefi madencilik faaliyetleri neticesinde oluşan çevresel etkilerin minimum düzeye indirilerek, rehabilitasyon yöntemlerinin sürdürülebilir kullanım biçimine dönüştürülmesidir.

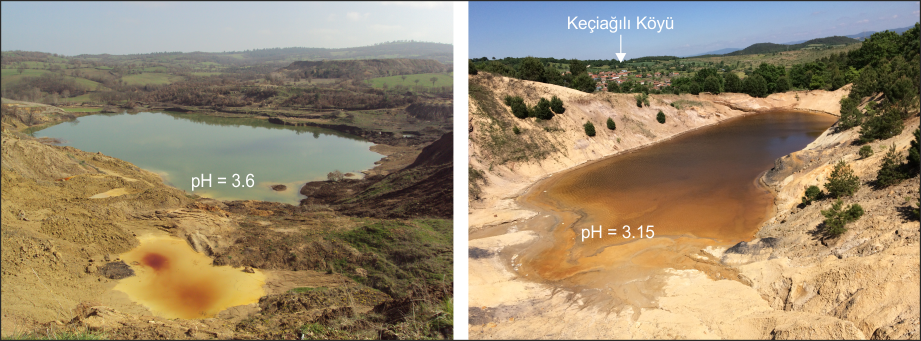
Asit maden drenajı, başta pirit olmak üzere sülfür mineralleri içeren kömür, uranyum, değerli ve baz metal madenlerinde sülfür minerallerinin nemli ortamda oksidasyona uğraması ile gelişen tepkimeler sonucu sulu ortama H+ iyonu vermesi ve çözeltinin asidik niteliğe dönüşmesi olayı olarak tanımlanır (Akçil ve Koldaş, 2006; Karadeniz, 2008). Asit maden drenajı oluşumunun kaynakları; kayaç yığınları, pirit konsantresi stokları, atık barajına terk edilen proses atıkları, açık ve kapalı maden ocaklarında yapılan kazılar ile açılan ve sürekli yenilenen yüzeylerdir (Karadeniz ve Gürsu, 2003). Asit maden gölleri, maden atıklarından sızan asidik drenajın, yüzey ve yeraltı sularının açık maden işletmesinin neden olduğu çukurluklarda birikmesi sonucu oluşmaktadır. Asit maden drenajı/gölleri, düşük pH, yüksek metal ve sülfat konsantrasyonu, yoğun bulanıklılık, yüksek miktarda çözünmüş ve askıda katı madde içeriğine sahiptir (Karadeniz, 2005). Farklı tür madenlerde görülebilmesi, uzak mesafelere kolayca taşınabilmesi ve etkinliğini yüzlerce hatta binlerce yıl boyunca devam ettirebilmesi nedeni ile asit maden drenajı madencilik faaliyetleri neticesinde oluşan en önemli su kirliliği sorunu olarak kabul edilir (Johnson ve Hallberg, 2005; Karadeniz, 2011; Şanlıyüksel Yücel ve Baba, 2013a).

Atabey (2010) tarafından Türkiye asit maden drenajı risk haritası oluşturulmuş ve 29 maden sahasının asit maden drenajı problemi ile karşı karşıya olduğu belirtilmiştir. Çan kömür havzasındaki Etili kömür madeni (Şanlıyüksel Yücel ve Baba, 2013a;b; Şanlıyüksel Yücel ve Yücel, 2017; Şanlıyüksel Yücel, 2019), Balya kurşun-çinko madeni (Aykol vd., 2003; Karadeniz, 2011; Şimşek vd., 2012; Balcı vd., 2014), Halıköy cıva madeni (Gemici, 2004), Alaşehir cıva madeni (Gemici, 2008), Murgul bakır madeni (Yolcubal vd., 2016), Küre bakır madeni (Balcı ve Demirel, 2018) ve Mutki bakır-demir-krom madeni (Gücer vd., 2020) bu sahalardan bazılarıdır.

Asit maden drenajının içerdiği yüksek metal(loid), çözünmüş ve askıda katı madde gibi parametrelerin sebep olduğu su kirliliği ve bu kirliliğin flora ve fauna üzerindeki olumsuz etkileri 1930'lu yılların başından beri çalışılmakta ve asit maden drenajından kaynaklanan çevresel sorunlar uzun yıllardır bilinmektedir (Drake, 1931; Tisdale ve Lyon, 1935; Hodge, 1937; Lackey, 1938). Birbirinden farklı oluşum koşullarının yarattığı maden yataklarının farklılığı (jeolojik, fizikokimyasal, jeokimyasal, coğrafik, meteorolojik vb. etmenler) her bir maden yatağını kendine özgü kılması sebebi ile asit maden drenajının rehabilitasyonu için yeni yöntemlerin geliştirilmesine yönelik araştırmalar halen sürmektedir.

Asit maden drenajının rehabilitasyonu genellikle uzun süreli ve yüksek maliyetli yatırımlar gerektirir. Asit maden drenajının önlenmesi için birçok aktif ve pasif arıtma yöntemi kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan aktif arıtma yöntemlerden biri alkali materyalleri (kireçtaşı, kireç, dolomit, marn, sodyum bikarbonat, baryum bikarbonat, uçucu kül vb.) maden atıkları ile karıştırarak asit üretimini engelleyerek, nötralize etmektir (Mylona vd., 2000; Ciccu vd., 2003; Yang vd., 2006; Yehesis vd., 2009). Uçucu kül, termik santrallerde kömürün yanması sonucunda ortaya çıkan endüstriyel bir atıktır. 2020 yılında Türkiye'de ortaya çıkan yıllık uçucu kül miktarının 50 milyon tona ulaşması beklenmekte olup, bu atıkların büyük bir bölümü santralin çevresindeki kül depolama sahalarında depolanmaktadır (Sönmez ve Işık, 2020; Ay ve Şanlıyüksel Yücel, 2020). Yapılan çalışmalarda uçucu küllerin maden atıkları ile farklı deneysel yöntemler kullanılarak karıştırılması sonucunda asit maden drenajının nötralizasyonunun sağlandığı tespit edilmiştir (Perez-Lopez vd., 2007; Yehesis vd., 2009; Qureshi vd., 2016; Jones ve Çetin, 2017; Şanlıyüksel Yücel ve İleri, 2020).

Çan kömür havzası 1980'li yıllardan beri asit maden drenajı/gölleri problemi ile karşı karşıyadır (Şanlıyüksel Yücel ve Baba, 2013a; b). Maden ocaklarının çevresinde geniş alana yayılmış olan maden atıkları asit maden drenajı oluşum sürecini hızlandırmaktadır. Havzadaki terk edilmiş kömür ocaklarında birçok asit maden gölü oluşmuştur (Şekil 1). Şanlıyüksel Yücel ve Yücel (2017) tarafından Çan kömür havzasındaki asit maden göllerinin pH değerlerinin 3.01 ile 4.24 arasında değiştiği ifade edilmiştir. Yerleşim alanlarına yakın olan maden atıklarının rehabilitasyonu önem taşımaktadır. Bu çalışmada Çan kömür havzasındaki maden atıklarından kaynaklanan asit maden drenajının uçucu küller kullanılarak nötralizasyonunun sağlanması amaçlanmıştır.



**Şekil 1.** Çan kömür havzasındaki asit maden göllerinden görünüm

**2. METOT**

**2.1. Arazi Çalışmaları**

Maden atıkları, Çanakkale ili Çan kömür havzasındaki terk edilmiş kömür madeni atıklarından 15 farklı lokasyondan, birer kg olarak alınmıştır. Uçucu küller, Çanakkale ilindeki akışkan yataklı bir termik santralden temin edilmiştir.

**2.2. Laboratuvar Çalışmaları**

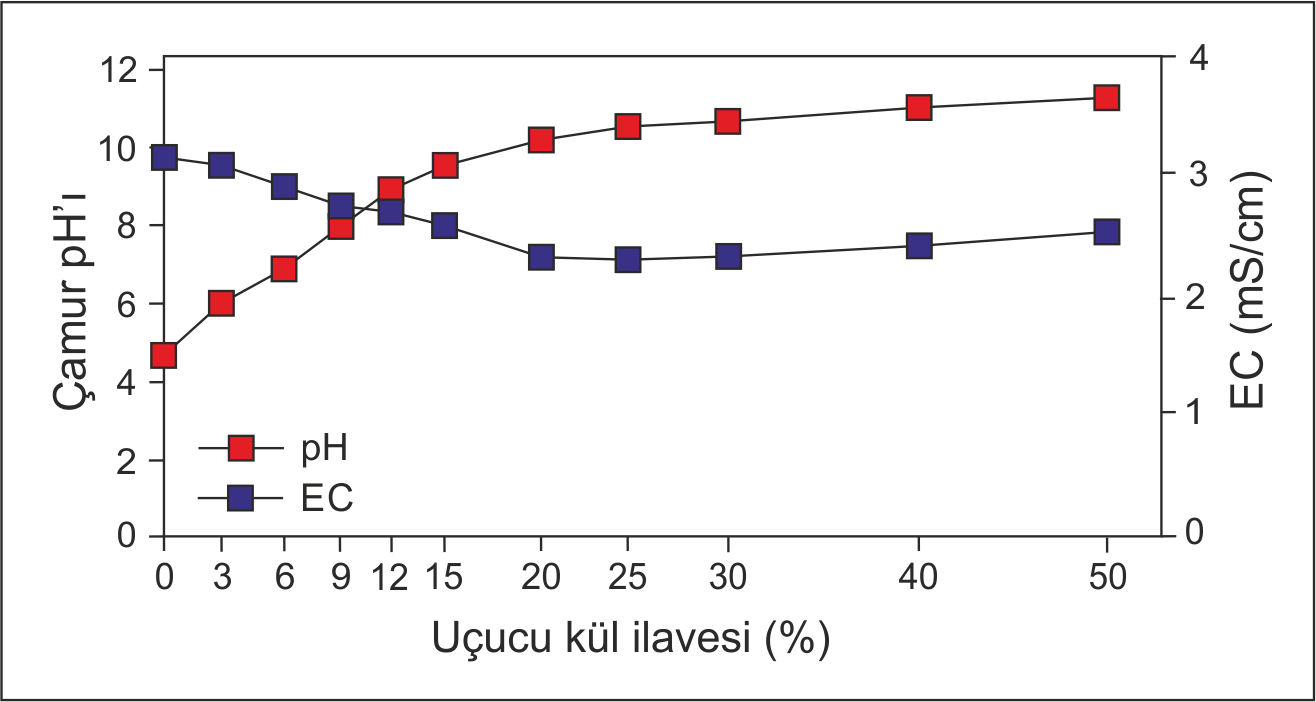
Uçucu külün tane boyut dağılımı Mastersizer 3000 PSA Hydro (Malvern Panalytical) markalı lazer difraksiyonu partikül boyut analiz cihazı ile Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Kimya Bölümü'nde belirlenmiştir. Uçucu külün spesifik yüzey alanı sıvı azot ortamında azot gazı adsorpsiyonu tekniğine dayalı olarak Brunauer-Emmett-Teller (BET) (Quadrasorb SI, Quantachrome) yöntemi ile tespit edilmiştir. BET analizi Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yaptırılmıştır. Pasa ve uçucu külün mineralojik bileşimi X-ışını kırınım (XRD) analizi ile Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Mineraloji ve Petrografi Araştırma Birimi'nde yaptırılmış, XRD analizinde Philips PW 1830 Ni filtreli Cu X-ışın tüplü cihazı kullanılmıştır. Pasa ve uçucu külün majör ve iz element bileşimi LiBO2 füzyon metodu ve STD SO-18 standart materyali kullanılarak indüktif olarak eşleştirilmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) (Elan 9000, PerkinElmer SCIEX) ile Bureau Veritas Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır.

Çamur pH'ı testinde Smart vd. (2002) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Pasa ve uçucu külün tane boyutu 75 μm'nun altına indirilmiştir. Pasa ve uçucu kül örneklerinin yanı sıra pasa ve uçucu kül homojen karışımları ağırlıkça % 3, 6, 9, 12, 15, 20, 25, 30, 40 ve 50 oranında uçucu kül kullanılarak hassas terazide toplam 25 g olacak şekilde tartılmıştır. Örnekler 100 ml hacimli cam beherlere yerleştirildikten sonra üzerlerine dijital büret yardımı ile 50 ml ultra saf su eklenerek, cam baget ile 1 dakika süresince karıştırılmıştır. Çözeltinin pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değeri 12 saat sonunda WTW 340i markalı multiparametre kullanılarak ölçülmüştür. Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Her numune için üç paralel deney yapılmıştır.

**3. BULGULAR**

Jeokimyasal analiz sonuçlarına göre maden atıkları % 47.95 SiO2, % 16.96 Al2O3, % 7.08 Fe2O3, % 3.01 CaO, % 2.23 K2O ve % 1.99 MgO içermektedir. Maden atıklarının toplam kükürt içeriği % 1.46'dır. Maden atıkları kuvars, jips, kaolinit, jarosit, kalsit, feldspat ve pirit minerallerden oluşmaktadır. Maden atıklarının içerdiği pirit minerallerinin oksidasyonu sahadaki asidik drenajın temel sebebidir. Maden atıklarındaki Al (89800 mg/kg), Ba (802 mg/kg) ve Pb (30.5 mg/kg) konsantrasyonu Krauskopf ve Bird (1995) tarafından belirlenen kıtasal kabuk ortalamasından yüksektir. Uçucu külün partikül boyutu 1.28 ile 163 μm arasındadır. Uçucu külün spesifik yüzey alanı ve karbon içeriği sırasıyla 4.05 m2/g ve % 8.3 olarak belirlenmiştir. Külün mineralojik bileşimi kuvars, anhidrit, kalsit, kireç, hematit, plajioklas ve aragonit minerallerinden oluşmaktadır. Uçucu külün başlıca bileşenleri SiO2 (% 49.11), Al2O3 (% 15.12), CaO (% 13.75) ve Fe2O3 (% 5.49)'tir. Ateşte zayiat değeri % 11.5'tir.

Asit maden drenajının oluşumundan kaynaklanan metallerin mobilitesini belirleyen temel parametrelerden biri pH'dır (İleri ve Şanlıyüksel Yücel, 2020). Sulardaki çözünmüş toplam iyon miktarı ile EC değerleri arasında genellikle doğrusal bir ilişki vardır (Şahinci, 1991). Maden atıklarının pH değeri 4.65 ve EC değeri 3.04 mS/cm olarak tespit edilmiştir. Uçucu külün pH ve EC değeri sırası ile 12.22 ve 4.85 mS/cm olarak ölçülmüştür. Artan uçucu kül ilavesi ile karışımın pH değeri artmış, karışımın bazik pH değeri % 9 uçucu kül ve % 91 maden atığı karışımı ile sağlanmıştır (Şekil 2). Karışımın % 50 uçucu kül ilavesi ile pH ve EC değeri sırası ile 11.38 ve 2.71 mS/cm olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre uçucu küllerin maden atıklarından kaynaklanan asit maden drenajını nötralize ettiği saptanmıştır. Ayrıca artan kül ilavesi ile EC değerinin azalması, karışım liçindeki iyon konsantrasyonun da azaldığını göstermektedir. Literatürde Jones ve Çetin (2017) ve Şanlıyüksel Yücel ve İleri (2020) tarafından benzer sonuçlar bulunmuştur. Jones ve Çetin (2017), 2002 yılında kapatılmadan önce Kuzey Amerika'daki en büyük ve en derin altın madeni olan Homestake madeni atıklarının oluşturduğu asit maden drenajının rehabilitasyonunda farklı termik santrallerden alınan uçucu küllerin etkisini araştırmıştır. Laboratuvar çalışmaları ile uçucu küllerin maden atıkları ile karışımı sonucunda asit maden drenajının pH değerini arttırdığını, Cr, Cu, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonunu azalttığını belirtmiştir. Asit maden drenajının rehabilitasyonundaki uçucu küllerin etkinliğinin artan CaO içeriği ve kızdırma kaybı ile ilişkili olduğunu ifade etmiştir. Şanlıyüksel Yücel ve İleri (2020) Çanakkale ilindeki Etili kömür madeni atıklarının nötralizasyonu ve çevresel etkilerini azaltılmasında uçucu küllerin etkinliğini statik testler ve seri liç testi ile araştırmıştır. Yüksek CaO içeriğine sahip uçucu küllerin asit maden drenajının pH değerini arttırarak, Al, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonunu % 72-97 arasında azalttığını ve metallerin Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde (2015) belirtilen sınır değerlerin altında kaldığını kanıtlanmıştır. Ayrıca uçucu küllerin maden atıklarındaki sülfür içeren tanelerin yüzeylerini kaplayarak su ve oksijen ile temas etmesini engellediğini ifade etmiştir.



**Şekil 2.** Artan uçucu kül ilavesi ile pH ve EC değişimi

**4. SONUÇLAR**

Madencilik, sanayileşme sürecine paralel olarak ekonominin diğer sektörlerinin temel hammadde gereksinimlerini sağlamakta ve ülkelerin ekonomik gelişimlerine ve sürdürülebilir kalkınmalarına destek olmaktadır. Sahip olduğumuz yeraltı zenginliklerini uygun bir şekilde kullanmamak ülkelerin fakirleşmesine ve gelecek nesillerin kaynak açısından yokluk çekmesine sebep olmaktadır. Madencilik faaliyetlerinin çevre üzerinde olumsuz etkileri bulunmasına karşın çevre dostu teknoloji ve yöntemlerin kullanılması, işletme aşamasında ve sonrasında çevrenin korunmasına yönelik önlemlerin alınması bir zorunluluktur. Bu konuda Yeni Zelanda'daki Waihi Marta Hill altın madeni, Kanada'daki Gregg River kömür madeni ve Butchart Gardens kireçtaşı ocağı, Almanya'daki Lusatia kömür madeni, Muğla ilindeki Güney Ege kömür madeni gibi farklı maden sahalarında olumlu örnekler mevcuttur. Bu çalışmada maden atıklarından kaynaklanan asit maden drenajının nötralizasyonunda uçucu küllerin etkisi araştırılmıştır. Uçucu küllerin % 9 ilavesi ile karışım liçi pH değerinin 7'nin üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Yüksek CaO içeriği ile akışkan yataklı termik santral atığı uçucu küllerin maden sahalarının rehabilitasyonunda kullanılabileceği saptanmıştır. Literatürde uçucu küllerin asit maden drenajının nötralizasyonun yanı sıra Al, Fe, Ni, Zn gibi metal konsantrasyonunu da azalttığı ifade edilmiştir. Laboratuvar ölçeğindeki çalışmanın saha uygulamaları ile uzun süreli takip edilmesi önerilir.

**Açıklamalar:** Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FHD-2017-1284 numaralı "Kömür Maden Sahasındaki Pasaların Akışkan Yataklı Termik Santral Atığı Uçucu Küller ile Rehabilitasyonu" başlıklı proje kapsamında desteklenmiştir.

**KAYNAKÇA**

AKÇİL, A. and KOLDAŞ, S., 2006, Acid Mine Drainage (AMD): Causes, Treatment and Case Studies, Journal of Cleaner Production, 14, 1139-1145.

ATABEY, E., 2010, Türkiye'de İnsan Kaynaklı Unsurlar ve Çevresel Etkileri, MTA Yerbilimleri ve Kültür Serisi, 7, 286 s.

AY, D. ve ŞANLIYÜKSEL YÜCEL, D., 2020, Uçucu Küllerin Karakterizasyonu ve Çevresel Etkileri, Uluslararası Farklı Boyutları ile Sağlık Konferansı, Çanakkale, Türkiye, 346-348.

AYKOL, A., BUDAKOĞLU, M., KUMRAL, M., GÜLTEKİN, A.H., TURHAN, M., ESENLİ, V., YAVUZ, F. and ORGUN, Y., 2003, Heavy Metal Pollution and Acid Drainage From Abandoned Balya Pb-Zn Sulfite Mine, NW Anatolia, Turkey, Environmental Geology, 45, 198-208.

BALCI, N., GÜL, S., KILIÇ, M.M., KARAGÜLER, N.M., SARI, E. ve SÖNMEZ, M.Ş., 2014, Balya (Balıkesir) Pb-Zn Madeni Atık Sahasının Biyojeokimyası ve Asidik Maden Drenajı Oluşumuna Etkileri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 57(3), 1-24.

BALCI, N. and DEMİREL, C., 2018, Prediction of Acid Mine Drainage (AMD) and Metal Release Sources at the Küre Copper Mine Site, Kastamonu, NW Turkey. Mine Water Environment, 37, 56-74.

CICCU, R., GHIANI, M., SERCI, A., FADDA, S., PERETTI, R. and ZUCCA, A., 2003, Heavy Metal Immobilization in the Mining-Contaminated Soils Using Various Industrial Wastes, Minerals Engineering, 16, 187-192.

DEMİRBUGAN, A., 2020, Madencilikte Sürdürülebilir Rehabilitasyon Yaklaşımı: Lusatia Linyit Havzası Deneyimi, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 3(2), 68-73.

DRAKE, C.F., 1931, Effect of Acid Mine Drainage on River Water Supply, American Water Works Association, 23(10), 1474-1494.

GEMİCİ, Ü., 2004, Impact of Acid Mine Drainage from the Abandoned Halikoy Mercury Mine (Western Turkey) on Surface and Groundwaters, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 72, 482-489.

GEMİCİ, Ü., 2008, Evaluation of the Water Quality Related to the Acid Mine Drainage of an Abandoned Mercury Mine (Alaşehir, Turkey), Environmental Monitoring and Assessment, 147, 93-106.

GÜCER, M.A., ALEMDAĞ, S. and AKARYALI, E., 2020, Assessment of Acid Mine Drainage Formation Using Geochemical and Static Tests in Mutki (Bitlis, SE Turkey) Mineralization Area, Turkish Journal of Earth Sciences, 29, 1189-1210.

HODGE, W.W., 1937, Pollution of Streams by Coal Mine Drainage, Industrial and Engineering Chemistry, 1048-1055.

İLERİ, B. and ŞANLIYÜKSEL YÜCEL, D., 2020, Metal Removal from Acid Mine Lake Using Ultrasound-Assisted Modified Fly Ash at Different Frequencies, Environmental Monitoring and Assessment, 192, 185.

JOHNSON, D.B. and HALLBERG, K.B. 2005, Acid Mine Drainage Remediation Options: A Review, Science of the Total Environment, 338(1-2), 3-14.

JONES, S.E. and ÇETİN, B., 2017, Evaluation of Waste Materials for Acid Mine Drainage Remediation, Fuel, 188, 294-309.

KARADENİZ, M. ve GÜRSU, S., 2003, Çevresel Bir Madencilik Sorunu Asit Maden Drenajı ve Bir Örnek: Matsuo Nötürleştirme Tesisi, Mavi Gezegen Dergisi, 33-39.

KARADENİZ, M., 2005, Asit Maden (Kaya) Drenajında Aktif ve Pasif Çözüm Yöntemleri, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 91-97.

KARADENİZ, M., 2008, Asit Maden Drenajı ve Çözümü, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 146, 231.

KARADENİZ, M., 2011, Balıkesir-Balya-Kurşun-Çinko Madeni Flotasyon Artıklarının Asit Maden Drenajı Oluşum Potansiyelinin Derinlikle Değişiminin Araştırılması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

KARAPINAR, N., 2011, Maden Atık Alanlarının Kapatılması-Örtü Kaplamalar, Madencilik, 50(1), 3-21.

KRAUSKOPF, K.B. and BIRD, D.K., 1995, Introduction to Geochemistry, McGraw-Hill, New York, 647.

LACKEY, J.B., 1938, The Flora and Fauna of Surface Waters Polluted by Acid Mine Drainage, Public Health Reports, 53(34), 1499-1507.

MYLONA, E., XENIDIS, A. and PASPALIARIS, A., 2000, Inhibition of Acid Generation From Sulphidic Wastes by the Addition of Small Amounts of Limestone, Minerals Engineering, 13, 1161-1175.

PEREZ-LOPEZ, R., NIETO, J.M. and ALMODOVAR, G.R., 2007, Utilization of Fly Ash to Improve the Quality of the Acid Mine Drainage Generated by Oxidation of a Sulphide-Rich Mining Waste: Column Experiments, Chemosphere, 67, 1637-1646.

QURESHI, A., JIA, Y., MAURICE, C. and ÖHLANDER, B., 2016, Potential of Fly Ash for Neutralisation of Acid Mine Drainage, Environmental Science Pollution Research, 23(17), 17083-17094.

SMART, R., SKINNER, W.M., LEVAY, G., GERSON, A.R., THOMAS, J.E., SOBIERAJ, H., SCHUMANN, R., WEISENER, C.G., WEBER, P.A., MILLER, S.D. and STEWART, W.A., 2002, ARD Test Handbook: Project P387A Prediction and Kinetic Control of Acid Mine Drainage, AMIRA International Ltd, Ian Wark Research Institute, Melbourne, 43.

SÖNMEZ, G. ve IŞIK, M., 2020, Kömür Yanma Atıklarının Çevresel Etkileri ve Kullanım Alanları, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(1), 72-83.

ŞAHİNCİ A. , 1991, Doğal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası. İzmir, Türkiye.

ŞANLIYÜKSEL YÜCEL, D. and BABA, A., 2013a, Geochemical Characterization of Acid Mine Lakes in Northwest Turkey and Their Effect on the Environment, Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 64 (3), 357-376.

ŞANLIYÜKSEL YÜCEL, D. ve BABA, A., 2013b, Türkiye'de Asit Maden Göllerine Çan (Çanakkale) Havzası'ndan Güncel Birkaç Örnek, Mavi Gezegen Dergisi, 18, 1-6.

ŞANLIYÜKSEL YÜCEL, D. ve YÜCEL, M.A., 2017, Terk Edilmiş Kömür Ocaklarında Oluşan Maden Göllerinin Hidrokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi ve İnsansız Hava Aracı ile Üç Boyutlu Modellenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(6), 780-791.

ŞANLIYÜKSEL YÜCEL, D., 2019, Characterization and Comparison of Mine Wastes in Can Coal Basin, Northwest Turkey: a Case Study, Environmental Earth Sciences, 78, 154.

ŞANLIYÜKSEL YÜCEL, D. ve İLERİ, B., 2020, Antropojenik Kaynaklı Metal Kirliliğinin Çevresel Etkilerinin Azaltılmasında Uçucu Kül Kullanımı, Türkiye Jeoloji Bülteni, 63(1), 43-56.

ŞİMŞEK, C., GÜNDÜZ, O. ve ELÇİ, A., 2012, Terk edilmiş Balya (Balıkesir) Pb-Zn Maden Atıklarının Ağır Metal ve Doğal Radyoaktivite İçeriği ve Çevre Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 2(1), 43-55.

TISDALE, E.S. and LYON, E.W., 1935, Acid Mine Drainage Control on Upper Ohio River Tributaries. American Water Works Association, 27(9), 1186-1198.

YANG, J.E., SKOUSEN, J.G., OK, Y., YOO, K. and KIM, H., 2006, Reclamation of Abandoned Coal Mine Waste in Korea Using Lime Cake By-Products, Mine Water and the Environment, 25, 227-232.

YEHESIS, M.B., SHANG, J.Q. and YANFUL, E.K., 2009, Long-term Evaluation of Coal Fly Ash and Mine Tailings Co-Placement: A Site-specific Study, Journal of Environmental Management, 91(1), 237-244.

YERÜSTÜ SU KALİTESİ YÖNETMELİĞİ, 2015, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150415-18.htm.