



İbrahim Alp

Karadeniz Teknik University, ialp@ktu.edu.tr; Trabzon-Turkey

Şadiye Kantarcı

Şırnak University, sadiyekantarci26@gmail.com, Şırnak-Turkey

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.1.1A0395	
ORCID ID	0000-0002-6032-3528	0000-0002-1024-0812
CORRESPONDING AUTHOR	İbrahim Alp	

**PIRİT KÜLÜ VE BAKIR CÜRUFUNUN AĞIR ORTAM MALZEMESİ OLARAK UYGUNLUĞUNUN
ARAŞTIRILMASI**

ÖZ

Kömür yıkama tesislerinde yaygın olarak ağır ortam zenginleştirme yöntemi kullanılmaktadır. Ağır ortam malzemesi olarak ise genellikle manyetit tozları kullanılmaktadır. Bu tesislerde değişen miktarlarda manyetit kayıpları meydana gelmekte ve bu manyetit kayıpları işletme giderlerini önemli derecede arttırmaktadır. Madenlerin işletilmesi sonucunda açığa çıkan atıkların depolanması gerek doğa tahribatına gerekse de çevresel kirliliğe sebep olmaktadır. Bu nedenden dolayı, bu çalışmada kömür yıkama tesislerinde işletme giderlerini azaltmak ve maden atıklarının değerlendirilmesini sağlamak amacıyla manyetite alternatif olarak bakır cürufu ve pirit külünün ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağır Ortam, Alternatif Ağır Ortam Malzemesi, Pirit Külü, Bakır Cürufu, Maden

**INVESTIGATION OF SUITABILITY OF PIRITE ASH AND COPPER SLAG AS HEAVY
MEDIUM MATERIAL**

ABSTRACT

Heavy media enrichment method is widely used in coal washing plants. Magnetite powders are generally used as heavy media. Magnetite losses occur in varying amounts in these plants, and these magnetite losses increase operating costs significantly. As a result of the operation of the mines, the storage of the wastes that are exposed to them causes environmental damage as well as environmental pollution. For this reason, in this study, it was investigated that the use of copper slag and pyrite ash as alternative heavy media materials to magnetite in order to reduce operating costs in coal washing and to evaluate the mining waste plants.

Keywords: Heavy Media, Alternative Heavy Media Material, Pyrite Ash, Copper Slag, Mine

How to Cite:

Alp, İ. ve Kantarcı, Ş., (2018).Pirit Külü ve Bakır Cürufunun Ağır Ortam Malzemesi Olarak Uygunluğunun Araştırılması, **Engineering Sciences (NWSAENS)**, 13(1):1-12, DOI: 10.12739/NWSA.2018.13.1.1A0395.



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kömür zenginleştirmede yaygın olarak ağır ortam zenginleştirme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem etkili, ayırma kontrolü kolay ve yüksek kalitede temiz kömür üretiminde başarılı olmasından dolayı diğer yöntemlere göre tercih edilmektedir [1]. Kömür yıkama tesislerde değişen miktarlarda meydana gelen ağır ortam kayıpları işletme giderlerini önemli derecede arttırmaktadır. Ayrıca, demir cevheri üretimi sırasında elde edilen manyetite olan talebin gün geçtikçe artması nedeniyle manyetit fiyatları giderek artmaktadır. Bu da manyetite alternatif kaynakların araştırılmasına neden olmuştur. Tüm endüstriyel faaliyetlerde olduğu gibi madenlerin işletilmesi sonucunda da atıklar ortaya çıkmaktadır [2]. Madenlerin üretilmesi ve işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıkların uygun olmayan bir şekilde çevreye bırakılması sonucunda doğa tahribatı, atıkların stabilitesi ve emniyeti, hava, toprak ve su kirliliği gibi başlıca çevre sorunlarına yol açabilmektedir. Bu atıkların atmosferik koşullarda bozunması çevre sorunlarının yanı sıra insan sağlığı için de tehdit oluşturmaktadır. Bu maden atıklarının atık sahasında çok fazla yer kaplamaması ve çevre kirliliğinin azaltılması amacıyla atıklardan yararlanmak veya bu mümkün değilse atıkları uygun bir biçimde bertaraf etme yoluna gidilmelidir [3]. Bu nedenden dolayı kömür yıkama tesislerinde işletme giderlerini azaltmak ve maden atıklarının değerlendirilmesini sağlamak amacıyla manyetite alternatif olarak bakır cürufu ve pirit külünün ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışmada, Eti Bakır Samsun İzabe Tesisi flotasyon atığı olan bakır cürufu ve Bandırma Sülfürik Asit Fabrikası'nda asit üretimi sırasında oluşan pirit konsantresinin akışkan yataklarda kavrulması sonucu atık olarak elde edilen pirit külü kullanılmıştır.

- **Kömür Yıkamada Kullanılan Ağır Ortamlar ve Özellikleri:** Ağır ortam olarak kullanılan malzeme yüksek yoğunlukta, ucuz, sert veya en az kırılğan yapıya sahip, kömürle kimyasal reaksiyona girmeyen, kolay geri kazanılabilir, düşük akışkanlığa sahip ve kolay yıkanılabilir özellikte olmalıdır [4]. Ağır ortam zenginleştirmede ayırma verimi, manyetit ortamının reolojisi ve kararlılığına bağlıdır. Belirli bir manyetit kaynağının kalitesini ve uygunluğunu belirlemek için kullanılan fiziksel özellikler standart tekniklerle değerlendirilebilir olmalıdır [5]. Kömür gibi düşük yoğunluklu malzemelerin ayrımında ise bulunabilirliği ve geri kazanımının kolay oluşu nedeni ile düşük yoğunluğa sahip olan ve tane boyutu yaklaşık olarak 45 mikronun altında olan manyetit kullanılmaktadır. İnce boyutlu manyetit daha stabil olduğundan ağır ortam etkinliğini geliştirmektedir. Ancak yüksek viskozite göstermekte ve geri kazanımı zor olduğundan kaçaklara neden olmaktadır. Sonuç olarak belli standartlar çerçevesinde ağır ortamda kullanılacak manyetitin sahip olması gereken özellikler;

- Tane boyut dağılımı: 45µm'dan iri tane oranı en fazla %5,
- 10µm'dan ince tane oranı en fazla %30,
- Yoğunluğu: 4.9-5.2 gr/cm³
- Manyetit içeriği: en az %95
- Nem içeriği: en fazla %10

Olarak belirtilmiştir [6]. Ayrıca, genel olarak ağır ortam malzemesi olarak kullanılacak manyetitin özgül (kütle) manyetik alınganlığı 452-685x10⁻⁶ m³.kg⁻¹ (SI) değerinin üzerindedir [7].

- **Alternatif Ağır Ortam Malzemeleri:** Alternatif ağır ortam malzemeleri konusunda çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Sripriya ve arkadaşları (2003), kömür yıkamada ağır ortam olarak kullanmak için manyetite alternatif ağır ortam malzemeleri



gelişmeler üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada; Hindistan'da bulunan bir demir çelik fabrikasındaki, ağır ortam olarak kullanım için gerekli özelliklere sahip olduğu düşünülen yüksek fırın uçucu tozlarının manyetik bölümü (MFFD) incelenmiştir. Demir çelik fabrikalarında yüksek fırınlardan atık malzeme olarak atılan uçucu tozlar toz tutucular tarafından tutularak geri kazanılmaktadır çünkü bu atıklar yüksek alkali içeriklerinden (%0.8-0.9) dolayı sinter fabrikalarında yasaklıdır. Hindistan/Tata' da ki yüksek fırın uçucu tozlarının yıllık üretimi yaklaşık 40000 ton'dur. Bu kadar çok yüksek içeriklerinden dolayı bu uçucuların alkalilerinin uzaklaştırılmaları gerekmiştir. Bu bağlamda 500 ve 1000 Gauss alan şiddetine sahip yaş düşük alan şiddetli manyetik ayırıcı ile yapılan çalışma sonucunda uçucu tozların manyetik fraksiyonunun ağır ortam olarak kullanılmaya uygun olduğu bulunmuştur. Bu elde edilen ürünler manyetit ile kıyaslandığında şu sonuçlara ulaşılmıştır; manyetitin yoğunluğu 4.6gr/cm^3 iken uçucu tozun 4gr/cm^3 tür. Ayrıca uçucu tozların XRD ölçümlerinde içeriğinde ağırlıklı olarak manyetit ve yan ürün olarak hematit ihtiva ettiği belirlenmiştir [8]

Ayrıca ağır ortamın viskozitesi ve stabilitesi için tane boyutu önemli olduğundan bu çalışmada uçucu tozlar bilyeli değirmende öğütülerek iki farklı tane boyutu fraksiyonu elde edilmiştir. Manyetit, ince boyutlu uçucu toz (%90-0.045mm) ile iri boyutlu uçucu tozun (%80-0.045mm) stabilite durumları kıyaslanmıştır. Stabilite testleri sonucunda iri boyutlu uçucu tozların manyetite kıyasla ince tozlara rağmen neredeyse eşdeğer stabilitede oldukları belirlemiştir. Bu malzemelerin SEM tarafından belirlenen kimyasal içeriklerine bakıldığında ticari olarak kullanılan manyetit %88.28 Fe₂O₃, %6.10 SiO₂, %0.16 CaO₂ içermesine karşın, uçucu tozlar %86.92 Fe₂O₃, %4.42 SiO₂, %5.58 CaO₂ belirlenmiş olup ağır ortam malzemesi olarak kullanılan manyetit ile yakın özellikleri içermektedir. Bu çalışmalar neticesinde ağır ortam siklonunda ağır ortam malzemesi olarak kullanılan uçucu malzeme ile yapılan zenginleştirmede manyetitle yapılan zenginleştirmeden daha düşük verimle düşük kül içerikli temiz kömür elde edilmiştir [8].

Alternatif malzemelerin kullanımına yönelik bir diğer çalışma Zhang ve arkadaşları tarafından 2004 yılında, katı ortam olarak atık demir tozları kullanılarak iri boyutlu andaluzitin ağır ortam zenginleştirmesi üzerine yapılmıştır. Bu çalışma Çin'de bulunan andaluzit yatağından elde edilen cevher üzerine yapılmıştır. Andaluzit yatağından elde edilen cevher farklı boyut fraksiyonuna ayrılarak ağır ortamda zenginleştirme için uygun olan -1+0.5mm'lik tane boyut fraksiyonu için çalışma yapılmıştır. Alternatif ağır ortam malzemesi Çin'deki demir çelik fabrikası ilave edilen toz metalurji fabrikasından elde edilmiştir. Bu tozlar demir indirgeme prosesinden elde edilen küller ve atıkların karışımıdır. Bu malzemeden karbon tozları ve çok ince boyutlu malzemeler uzaklaştırıldığında temiz demir tozlarının %95 Fe içerikli ve $7-25\text{gr/cm}^3$ yoğunluğunda olduğu belirlenmiştir. Bu demir tozlar 0.05 T alan şiddetindeki bir tambur manyetik ayırıcı ile kolay kazanılabilmektedir. Çalışmada ağır ortamın viskozitesini düşürmek için kullanılan ağır ortam malzemesine sodyum silikat ilavesi yapılmıştır. Yüzdürme-batırma testleri için tetraklorit ve tetrabrometan kullanılmıştır. Yüzdürme-batırma tesleri 2.65, 2.75, 2.84, 2.90 ve 2.96gr/cm^3 yoğunluklarında gerçekleştirilmiştir. Yüzdürme-batırma deneyleri sonucunda 2.96gr/cm^3 ayırma yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda %94.33 enörlü andaluzit %38.7 verimle elde edilmiştir. İri boyutta andaluzit konsantrisi eldesi %92.5 tenör ve %55 verimle gerçekleştirilmiştir [9].



Ayrıca 2010 yılında Güngör tarafından yapılan çalışmada da, manyetik ayırma tesisinin demir cevheri atıklarından ağır ortam hazırlamak için uygun bir manyetit konsantresinin üretim olasılığını araştırmıştır. Çalışma sırasında sırasıyla %5.91 Fe₃O₄, %19.06 Fe₃O₄ ve %37.06 Fe₃O₄ ile düşük dereceli, orta dereceli ve yüksek dereceli üç farklı atık kullanılmıştır. Test numunelerinin mineralojik analizleri, manyetit ve hematitin ana cevher mineralleri olduğunu, pirit ve kalkopiritin ise az miktarda bulunduğunu göstermiştir. Gang mineralleri, aktimolit, tremolit, epidot, klorit, kuvars, kalsit ve dolomittir. Besleme tane boyutunun ve uygulanan manyetik alan yoğunluğunun Fe₃O₄ derecesine etkisi ve konsantrenin geri kazanımı, manyetik konsantrasyon testleri boyunca incelenmiştir. Konsantrasyon testleri Davis tüp manyetik ayırıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, %79.98 Fe₃O₄ içeriğine sahip en yüksek dereceli manyetit konsantresi, yüksek dereceli atıklardan 1000 Gauss manyetik alan yoğunluğunda %100-75µm boyutlu beslemeden %65.42'lik düzelme ile elde edilmiştir [10].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Gelişen ülkelerde demir-çelik üretiminin artmasından dolayı manyetite olan talep dünya çapında önemli derece artmaktadır. Buda manyetitin fiyatında artışlara neden olmaktadır. Bu artışlara ilave olarak tesislerde meydana gelen ağır ortam kayıpları da işletme giderlerini gittikçe arttırmıştır. Buda hem ağır ortam kayıplarının incelenmesine hem de alternatif materyal arayışına olan ilgin artmasına neden olmuştur. Ağır ortam malzemesi olan manyetite alternatif materyal kullanımı ile ilgi çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada da hem maden atığı olan hem de ağır ortam için alternatif bir malzeme olabileceği düşünülen bakır cürufu ve pirit külü, manyetite alternatif olarak kullanılmıştır. Bu malzemelerden ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliğinin uygun olup olmadığı deneysel çalışmalarla araştırılmıştır. Böylelikle, bu çalışma birçok çalışmaya ışık tutacaktır ve buna benzer daha fazla malzemenin araştırılmasını sağlayarak hem kömür yıkama tesislerindeki işletme giderleri minimize edilmesi hem de maden atıklarının değerlendirilmesi sağlanacaktır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

Çalışmada kullanılmak üzere Eti Bakır İşletmeleri İzabe tesisinden bakır cürufu, Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletmesi Sülfürik Asit Fabrikasından pirit külü ve Sivas Divriği Manyetit zenginleştirme tesisinden Eski Çeltek Kömür Yıkama Tesisine ağır ortam malzemesi olarak kullanılmak üzere gönderilen manyetitten numuneler alınmıştır [11]. Eti Bakır İşletmeleri İzabe tesisinde konsantreden bakırın üretimi sırasında üretilen bakır cürufları kullanılmıştır. Bu tesiste yılda 150.000 ton flotasyon atığı çıkmakta ve bu atıklar Yeşilirmak deltasına bırakılmaktadır. Bu deltada yaklaşık 1.5-2 milyon ton atık birikmiştir [12 ve 13]. Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletmesi Sülfürik Asit Fabrikası atığı pirit külü kullanılmıştır. Sülfürik asit üretiminde hammadde olarak pirit kullanan tesislerde işlem ilk olarak piritin kavrulması sonucu gaz kısmından sülfürik asit üretilirken geride kalan katı kısım pirit külünü oluşturur. Teorik olarak, beslemedeki piritin yaklaşık %67'si kavurma işlemi sırasında pirit külü olarak hematite (Fe₂O₃) dönüştürülmüştür. Bu nedenle, katı atık olarak büyük miktarda pirit külü, endüstriyel sülfürik asit üretim operasyonlarının bir yan ürünü olarak üretilmektedir [14]. Sonuç olarak bu tesislerden alınan malzemelerin karakterizasyonun belirlenmesi için uygun yöntemlerle örnek azaltılarak 105°C' de kurutulmuştur ve analizler yapılmıştır. Manyetit, pirit külü ve bakır



cürufunun içerisindeki mineral dağılımını belirlemek için yaş kimyasal analiz ve mineralojik incelemeler (X-ışınları kırınımı (XRD) ve mikroskopik inceleme) yapılmıştır. Tane boyut dağılımı, ağır ortam malzemesinin manyetik duyarlılığı ve numuneler içerisindeki manyetit oranı belirlenmiştir. Ayrıca numunelerin $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ yoğunlukta farklı zamana (30-180sn) göre çökme yüksekliği grafiği çizilerek serbest çökme hızları hesaplanmıştır. Örnek içerisindeki mineral dağılımını belirlemek için ACME Laboratuvarlarında, yaş kimyasal analiz ICP-MS ile gerçekleştirilmiş olup bu analiz sonucunda malzemelerin içindeki elementlerin tayini yüzde olarak belirlenmiştir. XRD incelemeleri Rigaku Geigerflex cihazı ile ($2\theta=5-65^\circ$) gerçekleştirilmiştir. Mikroskopik incelemeler ise; alınan örneklerden parlak kesitlerin hazırlanması, Leitz Wetzlar Ortholux yansıtımlı cevher mikroskobu ile incelenmesi ve Nikon Coolpix 5400 (5MP, NCD lens) dijital fotoğraf makinesi ile fotoğraflanması şeklinde gerçekleşmiştir. Tane boyut dağılımı Malvern Mastersizer (Hidro MU2000) kullanılarak belirlenmiştir. Ağır ortam malzemesinin manyetik duyarlılığı Bartington MS2B cihazı ile belirlenmiştir. TSE 10450 (1992)'ye göre; yoğunluk tayini, nem ve toplam demir tayini yapılmıştır. Ağır ortam olarak kullanılacak malzemelerden işletme maliyet açısından önemli olan geri kazanılabilirliğinin incelenmesi açısından tesiste ağır ortama malzemesi olarak denenmiş olan manyetit, pirit külü ve bakır cürufu düşük alan şiddetli manyetik ayırıcıya beslenmiştir. Manyetik ayırma sonucu elde edilen atık ve konsantre malzemeleri etüvde kurutulularak tartılmıştır ve kazanım verimi değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Deneylerde kullanılan bakır cürufunun, pirit külünün ve manyetit numunelerinin kimyasal analiz, mineralojik analiz, XRD analizi, manyetik malzeme miktarı ve manyetik duyarlılık analizi, tane boyut dağılım özellikleri sonuçları aşağıda verilmiştir. 2009 yılında Yüce ve arkadaşları tarafından çalışmada Manyetit numunesine ait veriler, 2014 yılında Kantarcı ve arkadaşları tarafından yapılan bir diğer çalışmada da bakır cürufu numunesine ait veriler verilmiş olup bu çalışmada da bu numunelerin ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliği kıyaslanmıştır [15 ve 16].

Numunelerin kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında;

- Manyetit numunesi %89.64 Fe_2O_3 , %9.11 SiO_2 ve %1.32 CaO ;
- Pirit külü numunesi %84.68 Fe_2O_3 , %5.78 SiO_2 ve %1.67 Al_2O_3 ;
- Bakır cürufu numunesi ise %59.08 Fe_2O_3 , %30.6 SiO_2 ve %2.96 Al_2O_3 içermektedir (Tablo 1).

Mikroskopik inceleme yardımıyla yapılan mineralojik tayinde;

- Manyetit numunesinde çoğunlukla manyetit tanelerinin ancak az miktarda hematit tanelerinin bulunduğu ve nadir olarak da kuvars tanelerinin serbest şekilde bulunduğu,
- Pirit külü numunesinde hematit tanelerinin ağırlıklı olduğu bunun yanı sıra manyetit tanelerinin bulunduğu ve Pirit ve Kuvars tanelerinin ise nadir olarak serbest şekilde bulunduğu,
- Bakır cürufu numunesinde ise manyetit ve kuvars tanelerinin ağırlıklı olduğu bunun yanı sıra nabit bakır ve kovellin tanelerinin bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 1).

Tablo 1. Ağır ortam malzemesi olarak kullanılan malzemelerin yaş kimyasal analiz sonuçları
(Table 1. Chemical composition (wt. %) of heavy media materials)

Bileşen	Manyetit	Pirit külü	Bakır Cürufu
Fe ₂ O ₃	89.64	84.68	59.08
SiO ₂	9.11	5.78	30.6
Al ₂ O ₃	<0.25	1.67	2.96
CaO	1.32	0.95	0.66
MgO	0.02	0.66	0.92
SO ₃	<0.25	2.65	1.01
Kız. Kaybı	<0.10	2.99	



Şekil 1. Manyetit (a), pirit külü (b) bakır cürufu (c) örneklerinin cevher mikroskopunda görünümü
(Figure 1. Microscopic examination of Magnetite (a) , pyrite ash (b) and copper slag (c))

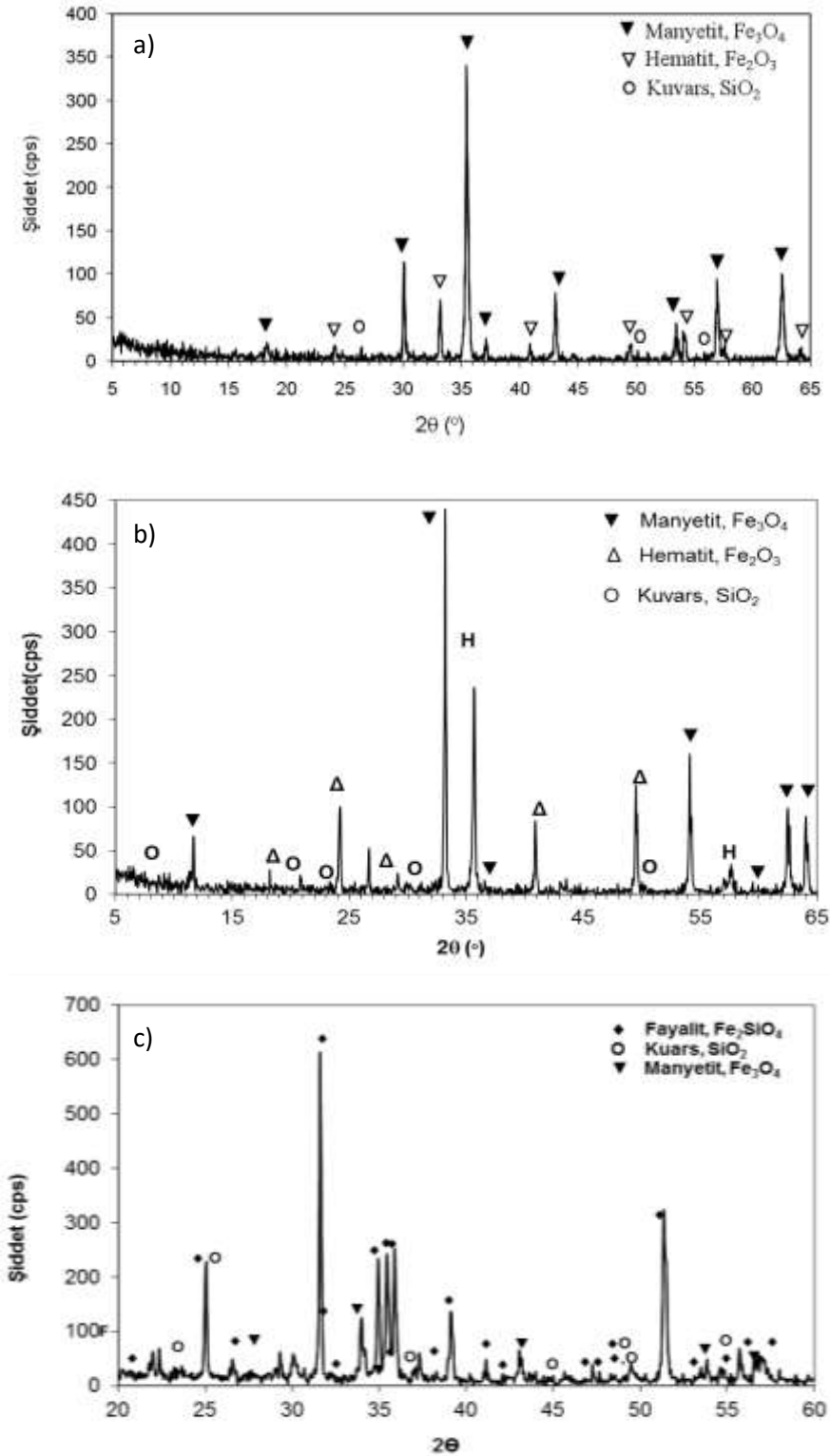
XRD sonuçları incelendiğinde;

- Manyetit numunesinin büyük oranda manyetit, az miktarda hematit ve çok az miktarda kuvarstan oluştuğu,
- Pirit külü numunesinin büyük oranda hematit, az miktarda manyetit, çok az miktarda kuvars ve piritten oluştuğu,
- Bakır cürufu numunesinin ise çoğunlukla fayalit ve manyetit, serbest halde ise az oranda kuvars ve nabit bakırdan oluştuğu görülmektedir (Şekil 2).

Ağır ortam malzemelerinin manyetik özelliklerine bakıldığında (Tablo 2);

- Manyetit numunesinde manyetik malzeme miktarı %99.45 bulunmuş olup bu değer istenen (min. %95)'in üzerindedir. Ayrıca Satmagan cihazı ile numune içerisindeki manyetit oranı 70.26 olarak belirlenirken yaş kimyasal analiz sonucunda da Fe₂O₃ oranı 89.64 bulunmuştur. Bu bulgu; kimyasal ve mineralojik analizlerde belirlenen kuvarsin serbestleşmemiş taneler halinde bulunduğunu göstermektedir. Numunenin manyetik duyarlılığı $437 \times 10^{-6} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür ve manyetit için genel duyarlılık ($452-685 \times 10^6 \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) aralığından düşük çıkmıştır.
- Pirit külü numunesi içerisindeki manyetit oranı %31 olarak belirlenmiştir. Yaş kimyasal analiz sonucu Fe₂O₃ oranı 84.68 bulunmuştur ki buda malzeme içerisinde; kimyasal ve mineralojik analizlerde belirlenen hematit tanelerinin fazla bulunduğunu göstermektedir. Örneğin manyetik duyarlılığı $173-174.1 \times 10^{-6} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür ve standardın altında çıkmıştır.
- Bakır cürufu içerisindeki manyetit oranı 17.5 olarak belirlenmiştir. Yaş kimyasal analiz sonucu Fe₂O₃ oranı 59.08 bulunmuştur ki buda malzeme içerisinde; kimyasal ve mineralojik analizlerde belirlenen kuvars tanelerinin fazla bulunduğunu göstermektedir. Örneğin manyetik duyarlılığı 105.2-

$105.1 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür ve standardın altında çıkmıştır.



Şekil 2. Manyetit (a), Pirit külü (b) ve Bakır cürufu (c) örneklerinin XRD sonuçları
(Figure 2. X-ray diffraction for magnetite(a) and pyrite ash (b) and copper slag (c))



Elde edilen bu bulgulara göre, malzemelerde ki manyetik duyarlılık değerlerinin düşük çıkmasının nedeni olarak malzeme içindeki manyetit dışındaki kuvars, hematit, fayalit gibi safsızlıkların varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu safsızlıkların çok olmasından dolayı geri kazanım devresinde verimli bir kazanım gerçekleşmeyebilir. Bu durumda geri kazanım devresinde daha yüksek manyetik alan şiddetine sahip manyetik ayırıcıların kullanımını gerekli olabilir.

Tablo 2. İstenilen standartlar ve ağır ortam malzemelerinin özellikleri

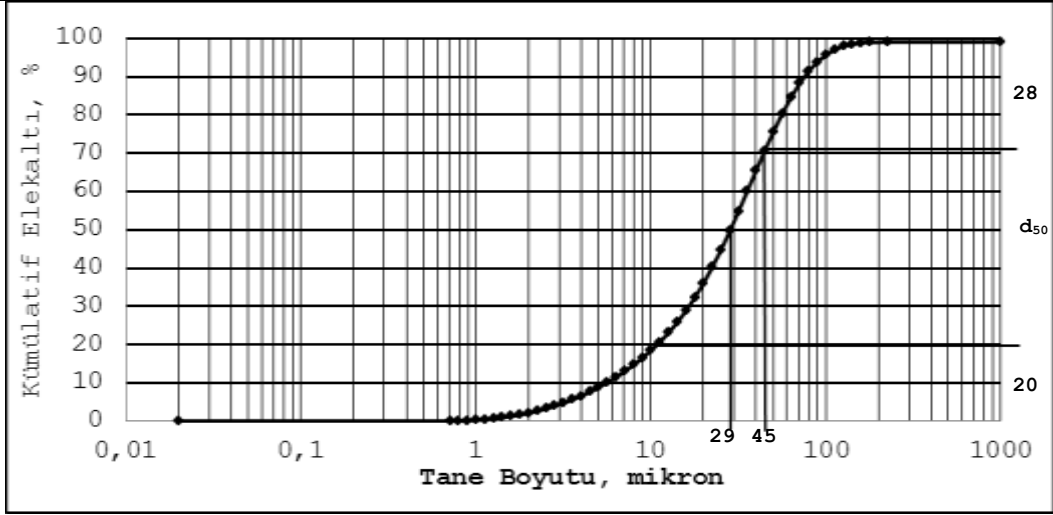
(Table 2. Desired standards and findings for heavy media material)

Parametre	Standart	Manyetit	Pirit Külü	Bakır Cürufu
Manyetik içeriği, %	≥95	99.45		
Satmagan % Manyetit		70.26	31	17.5
Manyetik duyarlılık 10-6m ³ .kg-1	452-685	437	173-174.1	105.2-105.1
45 µm büyük, %	≤5	28	32	42
10 µm küçük, %	≤30	20	12	18
Ortalama Tane Boyutu, Mikron		29	35	38
Nem içeriği, %	≤10	4.94		
Yoğunluk, gr/cm ³	4.9-5.2	4.95	4.47	3.90
Çökme hızı, cm/dk	1-2	2.5	0.8	1.5

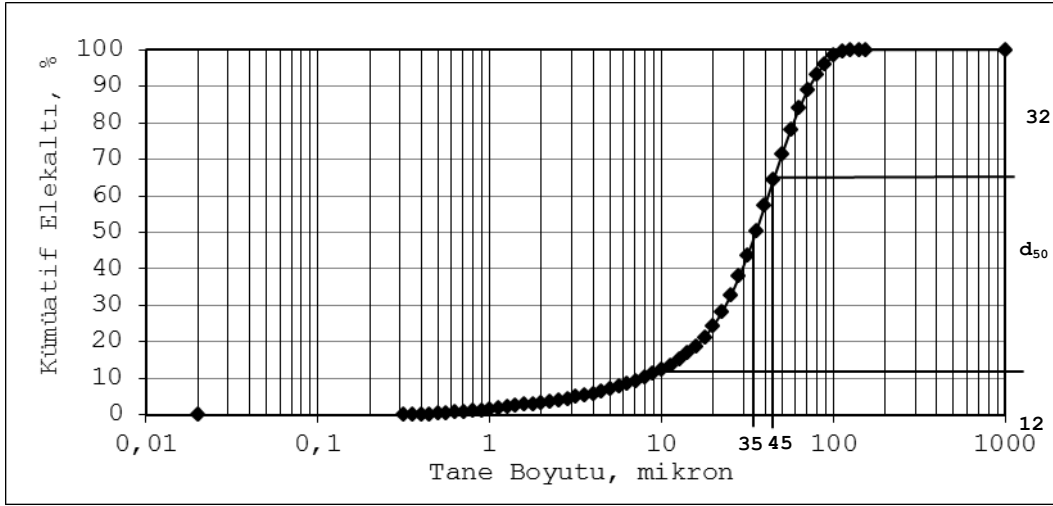
Ağır ortam olarak kullanılan malzemelerin tane boyut dağılımları incelendiğinde (Şekil 3 ve Tablo 2);

- Manyetit numunesinin ortalama tane boyutu 29 mikron, 45µm'den iri malzeme oranı %28 olup istenen özellikler göre (maksimum %5) daha yüksek, 10µm'den daha ince malzeme miktarı ise %20 olup istenen özelliklere göre (maksimum %30) uygun olduğu,
- Pirit külü numunesinin ortalama tane boyutu 35 mikron, 45 mikrondan iri malzeme oranı %32 olup bu değer istenen özellikten (maksimum %5) daha yüksek olduğu, 10 mikrondan daha ince malzeme miktarı ise %12 olup istenen özelliklere (maksimum %30) uygun olduğu,
- Bakır cürufu numunesinin ise ortalama tane boyutu 38 mikron, 45 mikrondan iri malzeme oranı %42 olup bu değer istenen özelliklere göre (maksimum %5) çok yüksek, 10 mikrondan daha ince malzeme miktarı ise %18 olup istenen özelliklere (maksimum %30) uygun olduğu bulunmuştur.

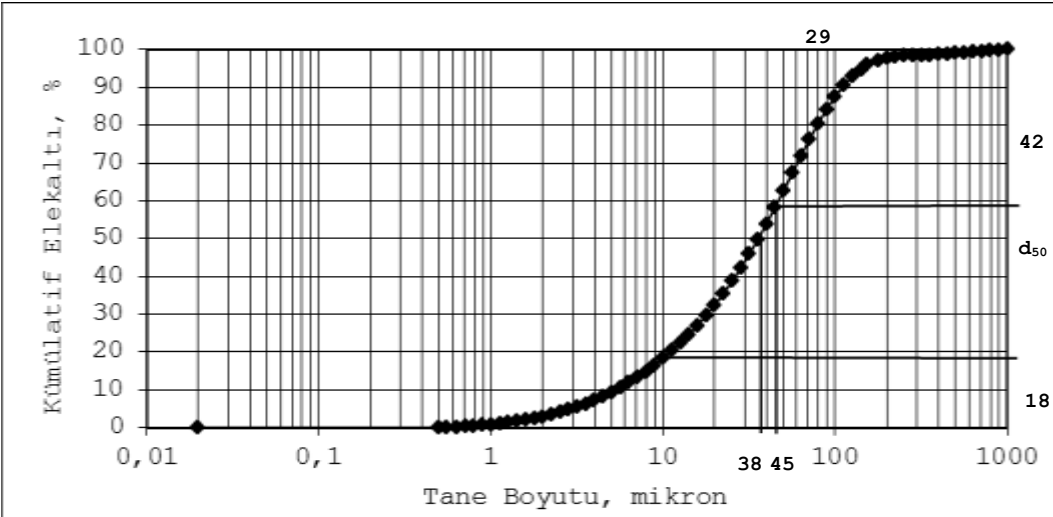
Kömür hazırlamada kullanılan manyetit için geliştirilen standartta (TSE 10450, 1992) ağır ortam olarak kullanılan malzemenin nem yüzdesinin %10'nun altında olması gerektiğini belirlemektedir [17]. Tesiste kullanılan manyetitin serbest nem (havada kurutma) içeriği %4.87 ve bağlı nem içeriği %0.07 olarak bulunmuş olup toplam nemi %4.94 ile standart değere uygun olarak bulunmuştur.



(a)



(b)

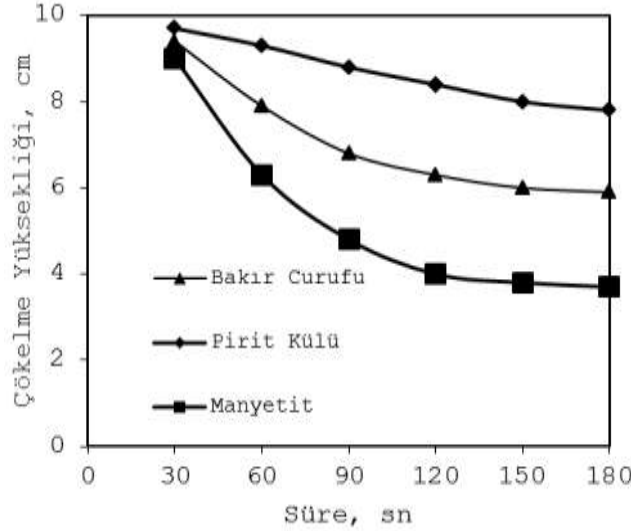


(c)

Şekil 3. Manyetit (a), Pirit külü (b) ve Bakır cürufu (c) örneklerinin tane boyut dağılımları

(Figure 3. Cumulative size distribution of Magnetite (a), Pyrite ash (b) and Copper Slag (c))

Standarda göre yoğunluk $4.9-5.2\text{gr/cm}^3$ arasında olmalıdır [17]. Manyetit için bağıl yoğunluk 4.95gr/cm^3 bulunmuş olup standarda uygun olmasına rağmen alt limite yakın değer olarak dikkat çekmektedir. Pirit külü numunesinin 4.47gr/cm^3 ve bakır cürufu numunesi için ise bağıl yoğunluk 3.90gr/cm^3 bulunmuş olup standardın altında olduğu bulunmuştur. Yoğunluk değerlerindeki düşüklüğünün malzemeler içindeki hematit içeriğinin sonucu olduğu düşünülmektedir (Tablo 2).



Şekil 4. Manyetit, Bakır cürufu ve pirit külü numunelerinin çökme hızının değişimi (1.7gr/cm^3)

(Figure. 4. Change in sedimentation rate of magnetite, copper slag and pyrite ash samples (1.7gr/cm^3))

Çökme hızı deneylerinde belirleyici en önemli faktör serbest çökme hızıdır. Standart serbest çökme hızının $1-2\text{cm/dk}$ arasında olması gerektiğini belirtmektedir [17]. Yapılan incelemelerde malzemelerin çökme hızları incelendiğinde; Manyetit için 2.5cm/dk , pirit külü için 0.8cm/dk ve bakır cürufu için ise 1.5cm/dk (Şekil 4) olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, bakır cürufu ve pirit külü numunelerinin uygun olduğunu, manyetit numunesinin de standarttan biraz yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 2). Bu durumun malzeme içerisindeki iri boyutlu malzeme oranının istenenden yüksek olarak bulunmasından kaynaklanabilir [18].

Tablo 3. Manyetik ayırmasonucunda ağır ortam malzemelerinin kazanma verimi

(Table 3. Gaining yield of heavy media materials as a result of magnetic separation)

Malzeme	Konsantre (gr)	Atık (gr)	Toplam (gr)	Kazanma Verimi (%)
Manyetit	760	128.9	888.9	85.5
Pirit Külü Kahverengi	635.1	206	841.1	75.51
Bakır Cürufu	266.84	205.2	472.04	56.53

Bir ağır ortam olarak kullanılacak malzemenin ağır ortam zenginleştirmede kullanılabilmesi için en önemli faktörlerden de birisi ağır ortamın geri kazanılabilirliğidir. Çünkü ağır ortama malzemesi geri kazanılmadığı durumda işletme maliyeti artmaktadır. Bu çalışmada manyetit, pirit külü ve bakır cürufu düşük alan şiddetli manyetik ayırıcıda zenginleştirilmiş olup elde edilen konsantreler ve



atıklar etüvde kurutulularak tartımları alınmıştır. Tablo 3'te manyetik ayırma sonucunda ağır ortam malzemelerinin kazanma verimleri görülmektedir. Sonuç olarak Tablo 3'ten de görüleceği üzere ağır ortam olarak kullanılabilirliği değerlendirilen manyetit, pirit külü ve bakır cürufuna ait düşük alan şiddetli manyetik ayırıcıda gerçekleştirilen zenginleştirme sonucunda kazanma verimlerine bakıldığında manyetitin kazanma veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise malzeme içerisindeki manyetit oranının daha yüksek olmasıdır. Verimin %95'in altında gerçekleşmesinin nedeni olarakta malzeme içerisindeki kuvars, hematit gibi safsızlıkların olması denilebilir. Alternatif malzeme olarak kullanımı düşünülen bakır cürufu ve pirit külü ise kıyaslandığında pirit külünün kazanma verimi bakır cürufundan daha yüksektir çünkü pirit külünün manyetik duyarlılığı ve manyetit içeriği bakır cürufundan daha yüksektir.

Sonuçta pirit külünün tesiste geri kazanım birimindeki değişiklikler yapılarak ve/veya malzeme kalitesinin arttırılması için yapılabilecek düzenlemeler sonucunda tesiste ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliğinin mümkün olabileceği düşünülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, manyetite alternatif olarak bakır cürufu ve pirit külünün ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Malzemelerin karakteristik özellikleri incelendiğinde, alternatif ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenen pirit külü numunesi manyetitin yanı sıra ağırlıklı olarak hematit içerirken bakır cürufu numunesi az oranda manyetit ve bunun yanında kuvars içermektedir. Bu safsızlıklarından dolayı malzemelerin yoğunlukları ve manyetik duyarlılıkları standartlara uymadığı gibi Satmagan manyetit içerikleri de manyetite kıyasla oldukça düşük çıkmıştır. Geri kazanım verimliliği açısından da incelendiğinde, pirit külünün geri kazanım verimi, manyetite kıyaslandığında kazanımın çok düşük olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak; malzemelerin gerek karakteristik özellikleri açısından olsun gerekse geri kazanılabilirleri açısından standartlara uymamasından dolayı, bu malzemelerin özellikler bakır cürufuna kıyasla pirit külünün kömür yıkama tesislerinde kullanılabilmesi için öncelikle manyetik ayırıcı ile ön zenginleştirmeye tabi tutulup sonrasında ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliğinin daha doğru olacağı ön görülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Yazarlar, Eski Çeltek Kömür Yıkama Tesisi, Eti Bakır Samsun İzabe Tesisi ve Etimaden Bandırma Sülfürik Asit Fabrikası yöneticilerine yardım ve desteklerinden dolayı teşekkürlerini belirtmek isterler.

NOT (NOTICE)

Bu çalışma, 5-8 Eylül 2017 tarihleri arasında Tiflis (Gürcistan)'da düzenlenen 2nd International Science Symposium'da sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Çelik, H., (2006). İnce Kömürlerin Temizlenmesinde Köpük Flotasyonu ve Ağır Ortam Siklonlarının Entegrasyonu. DEÜ, Fen ve Mühendislik Dergisi. Cilt:8, Sayı:2, ss:93-106.
2. Çetiner, E.G., Üner, B. ve Hindistan, M.A., (2006). Maden Atıkları ile Mevzuat: Avrupa Birliği ve Türkiye. Ankara. Madencilik Dergisi. Cilt:45, Sayı:1, ss:23-24.



3. Demirci, S., (2007). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon: Staj Notları (Emet Bor İşletmesi).
4. Önal, G. ve Ateşok, G., (1994). Cevher Hazırlama El Kitabı, İTÜ, İstanbul.
5. Güngör, K., Atalay, M.Ü. ve Sivrikaya, O., (2010). Production of Heavy Media Quality Magnetite Concentrate from Kesikköprü Iron Ore Tailings, Proceedings Of The XIIth International Mineral Processing Symposium. Nevşehir, Bildiriler Kitabı, ss:217-223.
6. Mikhail, M.W. and Osborne, D.G., (1990). Magnetite Heavy Media: Standards and Testing Procedures. Coal Preparation, Cilt:8, Sayı:3-4, ss: 111-121.
7. Svoboda, J., (2004). Magnetic Techniques for Treatment of Materials. Developments of Processing. London: Kluwer Academic Pub.,
8. Sriprya, R., Rao, P.V.T., Bapat, J.P., Singh, N.P., and Das, P., (2003). Development of an Alternative to Magnetite for use as Heavy Media in Coal Washeries. International Journal of Mineral Processing. Cilt:71, Sayı:1-4, ss:55-71.
9. Zang, Y., Sang, S., Yang, D., and Yang, S., (2004). Dense Medium Separation of Course Andalusite Using Waste Iron Powder as Solid Medium. Mineral Processing and Extractive Metallurgy. Cilt:113, ss:60-64.
10. Güngör, K., (2010). Kesikköprü Demir Cevheri Artıklarından Ağır Ortam kalitesinde Manyetit Konsantresi Üretimi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: ODTÜ. Maden Mühendisliği Bölümü.
11. Yüce, S., (2009). Pirit Külü ve Bakır Cürufu Atıklarının Ağır Ortam Malzemesi Olarak Kömür Yıkamada Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Trabzon: KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
12. Tuğrul, N., Derun, E.M., and Pişkin, M., (2007). Utilization of Pyrite Ash Wastes by Pelletization Process. Power Technology, Cilt:176, Sayı:2-3, ss:72-76.
13. Alp, İ., Deveci, H., and Sungün, H., (2008). Utilization of Flotation Waste of Copper Slag as Row Material in Cement Production. Journal of Hazardous Materials. Cilt:159, Sayı:2-3, ss:390-395.
14. Alp, İ., Deveci, H., Yazıcı, E.Y., Türk, T., and Sungün, Y.H., (2009). Potantiool Use of Pyrite Cinders as Raw Meterial in Cement Production: Results of Industrial Scale Trial Operation. Journal of Hazordous Materials. Cilt:166, Sayı:1, ss:144-149.
15. Yüce, S., Alp, İ., Sarı, S., Arabacı, R. ve Karagöz, H., (2009). Kömür Yıkama Tesislerinde Ağır Ortam Kayıplarının Nedenleri - Eski Çeltek Kömür Yıkama Tesisinin Analizi. Türkiye 21. Uluslararası Madencilik Kongresi. Antalya. Bildiriler Kitabı, ss:423-433.
16. Kantarcı, S. ve Alp, İ., (2014). Utilization of Copper Slag As Heavy Media in Coal Washing. Proceedings of 14th International Mineral Processing Symposium. İzmir. Bildiri Kitabı, ss:215-222.
17. TS 10450, (1992). Manyetit-Kömür Hazırlamada Kullanılan Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
18. Yang, X. and Aldrich, C., (2008). Sedimentation Of Magnetic Suspensions Of Magnetite, The Open Mineral Processing Journal 1:18-25.