

Şelit Cevherinin Fiziksel ve Manyetik Alınganlık Özelliklerinden Yararlanılarak Zenginleştirilmesine Yönelik Deneysel Çalışma

Mahmut ALTINER*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 05.01.2017

Kabul tarihi: 31.05.2017

Öz

Tungsten metali yüksek erime sıcaklığı (3.410 °C) ve yoğunluğu (19,3 g/cm³) nedeniyle birçok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır. Aydınlatma lambalarının filamenti, tungsten metalinin günlük hayatta kullanımına en güzel örnek olarak gösterilmektedir. Ancak, doğada bulunan tungsten cevherlerinin WO₃ tenörü %0,30-%1,50 arasında değişmekte ve zenginleştirme işlemleri ile cevherin içerdiği WO₃ tenörünün yükseltilmesi gereklidir. Bu sebeple Uludağ/Bursa bölgesinden alınan şelit cevherinin fiziksel ve manyetik alınganlık özelliklerinden yararlanılarak zenginleştirilmesi araştırılmıştır. Gemini masası ile cevherin WO₃ tenörü %84,37 verimle %0,32'den %5,01'e yükseltilmiştir. Manyetik ayırma testleri ile birlikte WO₃ tenörü %95 verimle %41,37 olmuştur. Son aşamada, kavurma işleminin ardından manyetik ayırma testleri tekrarlanmış, nihai konsantrenin WO₃ tenörü %49,94 ve zenginleştirme prosesinin verimi %83,51 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şelit, Gemini masası, Manyetik ayırma, Yoğunluk, Manyetik alınganlık

Experimental Study on Beneficiation of Scheelite Ore through its Physical and Magnetic Susceptibility Properties

Abstract

Tungsten metal is used in many industrial applications due to its high melting temperature (3,410 °C) and density (19.3 g/cm³). The filament of lamps can be shown as the best example for the daily use of tungsten metal. WO₃ content of tungsten ores however varies from 0.30% to 1.50% in nature. It is necessary that the WO₃ content of the ore must be increased through beneficiation methods. For this purpose, beneficiation of scheelite ore collected from Uludag/Bursa was investigated depending on its physical and magnetic susceptibility properties. The WO₃ content of scheelite ore increased to 5.01% from 0.32% with 84.37% recovery using a Gemini shaking table. Thereafter, that value was upgraded to 41.37% with 95% recovery after the magnetic separation. In the last stage, roasting followed by magnetic separation tests were performed and the WO₃ content of final concentrate was 49.94% and the recovery of the process conducted in this paper was calculated as 83.51%.

Keywords: Scheelite, Gemini table, Magnetic separation, Density, Magnetic susceptibility

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mahmut ALTINER, maltiner@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Tungsten, metaller arasında en yüksek erime sıcaklığına sahip olması (3.400 °C) ve yoğunluğu nedeniyle (19,3 g/cm³), endüstriyel alanda birçok kullanım alanına (çelik, elektrik, tekstil ve deri sektörü vb.) sahiptir [1]. Endüstriyel alandaki artan bu gibi talep üzerine dünya genelinde düşük tenörlü kompleks tungsten cevherlerinin zenginleştirilmesi ile ilgili çalışmalar artmıştır [2].

Dünya genelinde tungsten cevheri tenörü %0,3–1,5 WO₃ arasında değişmekte ve zenginleştirme işlemleriyle cevherin tenörünün yükseltilmektedir. Tungsten metalini içeren cevherler volframit (Fe,Mn(WO₄)) ve şelit (CaWO₄) cevherleridir ve yoğunlukları sırasıyla 7,1–7,9 g/cm³ ve 5,9–6,1 g/cm³ arasında değişmektedir [3].

Bu tip cevherlerin tenörlerinin istenilen seviyeye çıkartılması için üç ana aşama uygulanmaktadır. Bunlar; (i) tüvanan cevherin içerdiği minerallerin fiziksel özellik farklarından yararlanılarak gravite yöntemleri ile %5 ile %40 WO₃ içeren konsantre elde edilebilir. (ii) hidrometalurjik (özütme) ve pirometalurjik işlemler (kavurma) ile selektif şekilde WO₃ konsantrasyonunun yükseltilmesi sağlanabilir. (iii) hidrometalurjik işlemler ile çözeltiye alınan tungsten metali solvent ekstraksiyon, elektro-kazanım gibi yöntemler uygulanarak elde edilebilir [4].

Tungsten metalini içeren cevherlerin özgül ağırlığının yüksek olması, fiziksel yöntemler uygulanarak kolaylıkla cevherin tenörünün artırılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, tungsten metalini içeren cevherin özelliğine göre flotasyon ile zenginleştirme işlemi yapılabilmektedir [5-8]. Cevherin içerdiği demirli kısmın manyetik alınanlık özelliğine bağlı olarak manyetik ayırma testleri ile cevherin tenörü yükseltilebilmektedir [9].

Lu ve arkadaşları [10] yaptıkları çalışmada ön zenginleştirme aşamasında yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma işleminin Falcon konsantratörüne göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Manyetik ayırma işlemiyle elde edilen konsantrenin WO₃ tenörü %7,01 (%80,23 kazanma

verimi) iken, Falcon konsantratörü kullanılarak elde edilen ürünün içerdiği WO₃ miktarı %0,45'den %57,25 kazanma verimiyle %3,63'e yükselmiştir. Yapılan bir başka çalışmada ise jig, sallantılı masa ve multi gravite cihazları (MGS) kullanılarak bakırlı tungsten cevherinin zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır [11]. Sonuçlar, sallantılı masanın diğer iki fiziksel ayırma yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Besleme malının WO₃ tenörü %1,5 iken; jig, sallantılı masa ve MGS testleri için bu değer sırasıyla %2,85, %8,20 ve %4,2'e yükselmiştir. Bir başka çalışmada ise [1]; tek aşamalı jig ile -12 mm tane boyutunda hazırlanan tungsten cevherinin içerdiği WO₃ miktarı %0,5'ten %4,5'e yükselmiştir. Altın içeren şelit cevherinin sallantılı masa ile zenginleştirilmesi sonucunda (1 kaba – 2 temizleme aşaması ile birlikte), nihai konsantre olarak elde edilen cevherin içerdiği WO₃ miktarı %0,17'den %19,2'e yükselmiştir [12].

Bu çalışmada, Uludağ/Bursa bölgesinden alınan %0,32 WO₃ tenörüne sahip şelit cevherinin fiziksel ve manyetik alınanlık özelliklerinden yararlanılarak zenginleştirilmesi araştırılmıştır. Bu çalışma, dört aşamadan oluşmuştur ve sırasıyla kırma – öğütme – eleme – sınıflandırma işlemini takiben Gemini masası ile tüvanan cevherin ön zenginleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise cevherin içerdiği manyetik alınanlığı yüksek minerallerin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Son aşamada ise, manyetik alınanlığı düşük minerallerin manyetik alınanlıklarının yükseltilmesi ve karbonat içerikli minerallerin içerdiği CO₂'in ortamdaki uzaklaştırılması için kavurma işlemi gerçekleştirilmiş ve son bir manyetik ayırma testi ile nihai konsantre elde edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere yaklaşık 250 kg (d₁₀₀ = 100 mm) şelit cevheri Uludağ/Bursa bölgesinden alınarak Ç.Ü. Maden Mühendisliği bölüm laboratuvarlarına getirilmiştir. Çeneli kırıcı ile boyut küçültme işlemi gerçekleştirilmiş ve

konileme-dörtleme işlemiyle cevheri temsil edecek şekilde kimyasal analiz için örnekler hazırlanmıştır. X-Işını Floresans (XRF, PANalytical) cihazı kullanılarak şelit cevherinin kimyasal bileşimi belirlenmiştir. Temsili olarak hazırlanan örneğin WO_3 miktarı ise ICP-OES (Perkin Elmer) cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Uludağ/Bursa bölgesinden getirilen tüvanan cevherinin kimyasal bileşimi

Element	(%)	Element	(%)
MgO	1,60	K ₂ O	0,81
Al ₂ O ₃	4,70	CaO	35,09
SiO ₂	32,20	Cr ₂ O ₃	0,102
SO ₃	0,31	MnO	3,97
Fe ₂ O ₃	18,41	CuO	0,075
MoO ₃	0,84	WO ₃	0,32
Kızdırma kaybı: %12,71			

2.2. Metot

İlk aşamada, Uludağ/Bursa bölgesinden getirilen şelit cevheri kırma-öğütme-eleme-sınıflandırma işlemlerine tabi tutulmuş ve hedeflenen tane boyut aralığında örnekler hazırlanmıştır. Şekil 1'de gösterilen akım seması dikkate alınarak bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Şekil 1'de temsili olarak gösterilen ve deneyler sırasında izlenen yol aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Aşama 1

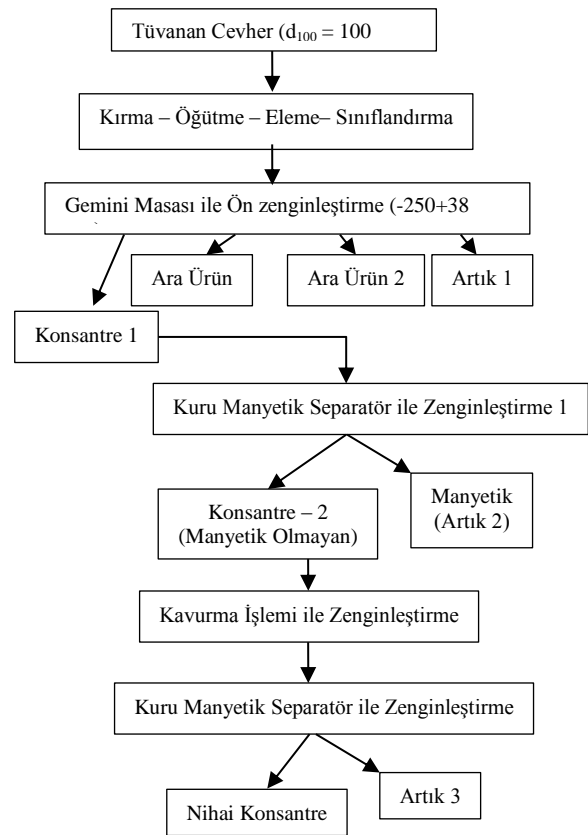
Kırma – Öğütme – Eleme – Sınıflandırma:

Bu aşamada, tüvanan cevher çeneli kırıcı ve çubuklu değirmen yardımıyla yapılan ön deneylerdeki değerler dikkate alınarak $250 \mu\text{m}$ 'nin altına indirilmiştir. Elek analizi işlemi sırasında $38 \mu\text{m}$ 'lik eleğin altına geçen taneciklerin deneyler sırasında şlam etkisi gösterebileceği düşünülmüştür. Bu nedenle, zenginleştirme işlemleri öncesinde eleme ile uzaklaştırılmıştır.

Aşama 2

Gemini Masası ile Ön Zenginleştirme

Deneylerde Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Gemini Masası kullanılmıştır. $-250+38 \mu\text{m}$ tane boyutunda hazırlanan cevher, Gemini masası ile ön zenginleştirme işlemine tabi tutulmuş ve manyetik ayırma işlemleri öncesinde içerdiği WO_3 miktarının yükselmesi hedeflenmiştir.



Şekil 1. Uludağ/Bursa bölgesinden alınan şelit cevherinin zenginleştirme akım seması

Cevher masaya beslenmeden önce %40 katı oranına sahip olacak şekilde su ile karıştırılmış ve sisteme palp şeklinde beslenmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda 6 L/dk hızında yıkama suyu masa üzerine beslenmiştir. Masanın genlik uzunluğu ise 9 mm'dir ve dakikada 130 kez vuruş hareketi gerçekleşmektedir.

Masadan konsantre, ara ürün 1, ara ürün 2 ve artık olmak üzere 4 farklı ürün elde edilmiştir. Ürünler önceden 105 °C sıcaklığa ayarlanan etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. Her bir ürünün WO₃ içeriği ICP cihazı ile belirlenmiştir. Ara ürün 1 ve Ara ürün 2 birleştirilip Gemini masasına tekrar beslenmiştir.

Aşama 3

Kuru Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme

Bir önceki aşamada elde edilen konsantre, bu aşamada besleme malı olarak kullanılmıştır. Deneysel Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Frantz Magnet marka kuru manyetik ayırma cihazı kullanılmıştır. Deneysel cihazın eğimi 20° olacak şekilde sabit tutulmuştur. 5 farklı Gauss (2.000, 4.000, 8.000, 12.000 ve 15.000) şiddetinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir ürünün WO₃ içeriği ICP cihazı ile belirlenmiştir.

Aşama 4

Kavurma ve Kuru Manyetik Ayırma İşlemi

Bu aşamada, bir önceki aşamada elde edilen konsantre 800 °C sıcaklıkta 1 saat boyunca kül fırınında kavurma işlemine tabi tutulmuştur. Belirtilen süre sonunda, numunenin ağırlık kaybı ölçülmüş ve kavurma işlemi sonunda elde edilen ürünün WO₃ içeriği daha önce belirtilmiş olan yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca numune tekrar kuru manyetik ayırma cihazı ile zenginleştirme işlemine tabi tutulmuş ve kavurma işlemi ile manyetik özelliği artırıldığı düşünülen demirli kısım ile şelit cevherinin ayrılması hedeflenmiştir.

Tüm işlemler sonucunda, Rigaku Miniflex II X-ışını difraksiyon (XRD) cihazı kullanılarak elde edilen nihai ürünün mineral kompozisyonu belirlenmiştir. Her bir aşamada zenginleştirme verimi aşağıda verilen Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V = \frac{C_1 \times c_2}{F_1 \times f_2} \times 100 \quad (1)$$

V = Zenginleştirme verimi (%)

C₁ = Konsantre miktarı (%)

c₂ = Konsantrenin içerdiği WO₃ tenörü (%)

F₁ = Besleme malı miktarı (%)

f₂ = Besleme malının içerdiği WO₃ tenörü (%) değerlerini göstermektedir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

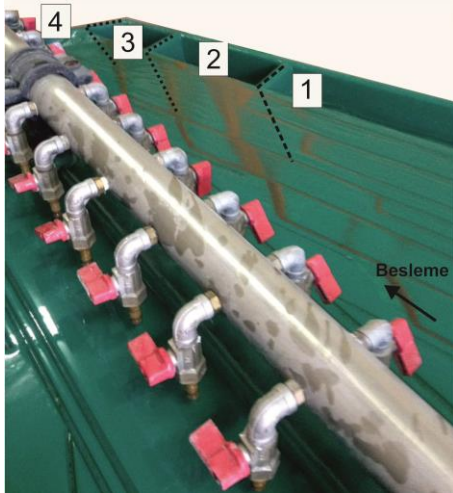
3.1. Gemini Masası ile Ön Zenginleştirme

Yoğunluk farkı prensibine göre çalışan zenginleştirme cihazlarında, iki tanecik arasındaki yoğunluk farkı 2'den fazla ise ayırım oldukça kolay olmaktadır [13]. Şelit cevherinin özgül ağırlığı 5,9 ile 6,1 g/cm³ arasında iken, gang mineral olarak adlandırılan diğer minerallerin yoğunlukları 2,6 ile 4,3 g/cm³ arasında değişmektedir. Manyetit cevherinin ise yoğunluğu 5-5,5 g/cm³ arasında olup şelit cevherinin yoğunluğuna oldukça yakındır. Bu bilgiler ışığında, Gemini masası ile yapılan zenginleştirme işleminde şelit cevherinin bünyesindeki kalsit ve kuvars gibi gang minerallerin uzaklaştırılabileceği ön görülmüştür.

Zenginleştirme işlemleri sırasında şlam etkisinin önlenmesi ve CaWO₄'ün şlam içinde kaçak olmaması için kontrollü bir şekilde çubuklu değirmen ile öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Öğütme işlemi sırasında 10 dk'da bir değirmen durdurulmuş ve elek analizi yapılarak -250+38 µm boyutuna indirilen malzeme ayrılmış ve aynı miktarda yeni besleme malı eklenmiş ve öğütme işlemine devam edilmiştir. Tüvanan cevherin d₁₀₀ değeri kırma-öğütme-eleme-sınıflandırma işlemleri ile birlikte 250 µm'nin altına indirilmiştir. Her bir deneyde kullanılan besleme malı miktarı 10 kg'dır.

Şekil 2'de görüldüğü gibi, masa üzerine beslenen cevherden dört farklı ürün elde edilmiştir. Yoğunluk farkına prensibine bağlı olarak yapılan ayırım sonucunda 1 numaralı hazne kısmından yoğunluğu düşük olan ürünler artık olarak alınmıştır. 2 ve 3 numaralı haznelere ise "ara ürün" olarak adlandırılan örnekler elde edilmiştir. Yoğunluğu fazla olan ve konsantre olarak

adlandırılan tanecikler ise 4 numaralı hazneden masayı terk etmiştir.



Şekil 2. Zenginleştirme işleminde kullanılan Gemini masasına ait görüntü (1: artık, 2: ara ürün, 3: ara ürün 2, 4: konsantre)

Deney sonunda elde edilen dört farklı ürünün ağırlıkları %5,39 konsantre, %2,34 ara ürün 1, %5,54 ara ürün 2 ve %86,74 artık olarak belirlenmiştir. Gemini masasının zenginleştirme veriminin hesaplanabilmesi için XRF cihazı yardımıyla gerçekleştirilen deneylerde konsantre, ara ürün 1, ara ürün 2 ve artık olarak adlandırılan numunelerin içerdiği Fe_2O_3 , CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , SO_3 , MnO , MoO_3 ve WO_3 miktarları belirlenmiştir (Çizelge 2).

Görüldüğü gibi, besleme malının içeriği WO_3 miktarı %0,32 iken, Gemini masası ile yapılan ön zenginleştirme işlemiyle birlikte bu değer %5,01'e yükselmiştir. Zenginleştirme verimi %84,37 olarak belirlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar ile kıyaslandığında [1]; jig ile yapılan ön zenginleştirmeye göre Gemini masasının daha yüksek verimde çalıştığı belirlenmiştir. Bu farklılığın cevherin tane boyutu serbestleşmesi ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Daha iri boyutlarda çalışan jig cihazında yapılabilecek bir ön zenginleştirme işlemi nedeniyle yüksek WO_3 içeriğine sahip artık elde edilmesine neden olacağı tahmin edilmiştir.

Çizelge 2. Gemini masası deneylerinde elde edilen dört farklı ürünün kimyasal bileşimleri

Konsantre				
Ağırlık %5,39	Element	(%)	Element	(%)
	Al_2O_3	3,00	CaO	18,70
	SiO_2	16,40	MnO	4,12
	SO_3	6,20	MoO_3	2,70
	Fe_2O_3	42,58	WO_3	5,01
Ara Ürün - 1				
Ağırlık %2,34	Element	(%)	Element	(%)
	Al_2O_3	3,60	CaO	22
	SiO_2	18,30	MnO	4,89
	SO_3	5,40	MoO_3	1,80
	Fe_2O_3	41,01	WO_3	1,08
Ara Ürün - 2				
Ağırlık %5,54	Element	(%)	Element	(%)
	Al_2O_3	4,40	CaO	26,2
	SiO_2	20,30	MnO	5,44
	SO_3	4,22	MoO_3	0
	Fe_2O_3	34,36	WO_3	0,46
Artık				
Ağırlık %86,74	Element	(%)	Element	(%)
	Al_2O_3	5,41	CaO	40,17
	SiO_2	36,72	MnO	4,62
	SO_3	0,32	MoO_3	0,85
	Fe_2O_3	21,13	WO_3	0,20

Çizelge 2'de verilen kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde; ürünün içerdiği WO_3 miktarındaki artışa paralel olarak Fe_2O_3 oranı yükselmiş, SiO_2 ve CaO oranları düşmüştür. Bu durum, yoğunluk farkı prensibine göre çalışan zenginleştirme sisteminde beklenen bir durumdur. Bu aşamada elde edilen nihai konsantre, Şekil 1'de verilen akım şemasından da anlaşılacağı üzere manyetik ayırma deneylerinde besleme malı olarak kullanılmıştır.

3.2. Kuru Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme

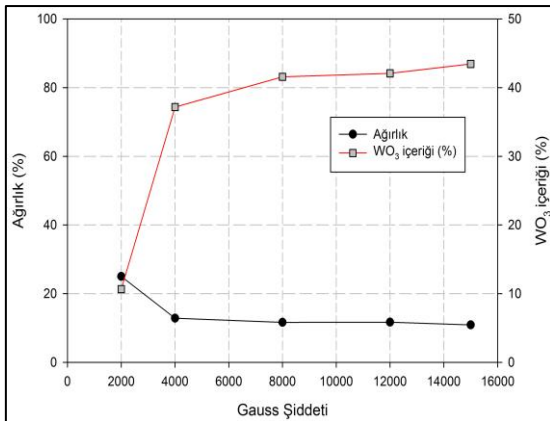
Bu aşamada, dört farklı Gauss şiddetinde kuru manyetik ayırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3'de dört farklı Gauss şiddetinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen manyetik ve manyetik olmayan ürünlerin yüzdece ağırlıkları ve WO_3 içerikleri verilmiştir.

Elde edilen değerlerin daha iyi anlaşılabilmesi için Çizelge 3'de verilen değerler kullanılarak Şekil 3'de görülen grafik çizilmiştir. Eğer 2.000

Gauss şiddetinde manyetik ayırma işlemleri gerçekleştirilirse elde edilen manyetik olmayan ürünün WO₃ değeri %15'in altında olmuştur.

Çizelge 3. Farklı Gauss şiddetlerinde yapılan manyetik ayırma testlerinden elde edilen manyetik olmayan ürünlerin yüzdece ağırlıkları ve WO₃ içerikleri

Gauss Şiddeti	Manyetik Olmayan Ürün		Manyetik Ürün	
	Ağırlık (%)	WO ₃ (%)	Ağırlık (%)	WO ₃ (%)
2.000	25,01	10,66	74,99	0,80
4.000	12,85	37,17	87,15	0,27
8.000	11,63	41,57	88,37	0,20
12.000	11,70	42,08	88,30	0,10
15.000	10,92	43,44	89,08	0,30

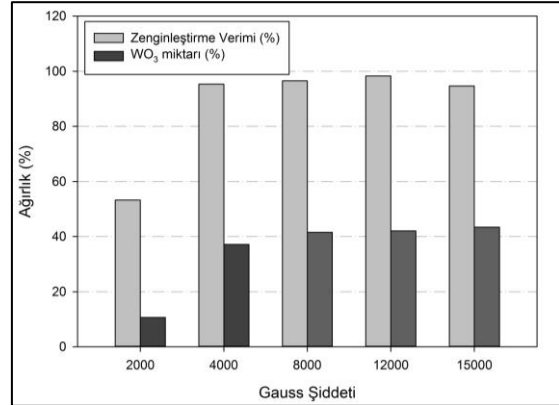


Şekil 3. Manyetik ayırma şiddetine bağlı olarak elde edilen manyetik olmayan numune miktarı ve WO₃ değerleri

Uygulanan 8.000 Gauss şiddetinde elde edilen ürün miktarı ağırlıkça %11,63 ve içerdiği WO₃ miktarı %41,57 olarak belirlenmiştir. Daha yüksek Gauss şiddetlerinde gerçekleştirilen manyetik ayırma deneylerinde elde edilen ürünlerin WO₃ değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

Gauss şiddeti ve zenginleştirme verimleri arasındaki ilişki Şekil 4'de verilmiştir. Gauss şiddeti 2.000 iken, zenginleştirme verimi %50'in altında kalmıştır. Gauss şiddeti 2.000'den 4.000'e yükseldiğinde ise zenginleştirme verim değeri %90'ın üzerine çıkmıştır.

Sonuç olarak; gerçekleştirilen manyetik ayırma deneylerinde zenginleştirme verimleri dikkate alındığında en iyi Gauss şiddeti 8.000 olarak belirlenmiştir. Elde edilen nihai ürünün kimyasal içeriği Çizelge 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Gauss şiddetine bağlı olarak şelit cevherinin zenginleştirme verimi

Çizelge 4. Manyetik ayırma işlemler sonucunda en iyi zenginleştirme verimine sahip ürünün içeriği

Element	Miktar (%)	Element	Miktar (%)
Bi ₂ O ₃	2,72	CaO	19,18
SiO ₂	16,27	MnO	0,498
SO ₃	6,30	MoO ₃	7,70
Fe ₂ O ₃	5,86	WO ₃	41,57

3.3. Kavrurma ve Kuru Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme

Bir önceki aşamada 8.000 Gauss şiddetinde yapılan manyetik ayırma işlemi sonucunda elde edilen ve WO₃ miktarı %41,57 olan nihai ürün, 800 °C sıcaklıkta 1 saat boyunca kavrurma işlemine tabi tutulmuştur. Belirtilen süre sonunda ürünün WO₃ miktarı %41,57'den %47,24'e yükselmiştir (Çizelge 5).

Ayrıca, kavrurma işlemi ile birlikte nihai ürünün içerdiği demirli kısmın manyetik alınanlık özelliği artırılması hedeflenmiştir. Bu sebeple, ürün bir önceki aşamada uygun değer olarak belirlenen Gauss şiddetinde manyetik ayırma

testine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar (Çizelge 4 ve 6) kavurma sonrası demirli kısmın manyetik alınganlık özelliğinin arttığını göstermektedir. Elde edilen bu bulgu literatürde yapılmış olan önceki çalışmaları destekler niteliktedir [14-16]. Nihai ürün olarak adlandırılan ürünün WO_3 içeriği böylece %49,94'e yükselmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 5. Kavurma işlemi sonunda elde edilen ürünün içeriği

Element	(%)	Element	(%)
Bi_2O_3	3,09	CaO	21,80
SiO_2	19,49	MnO	0,57
SO_3	6,16	MoO_3	8,75
Fe_2O_3	6,66	WO_3	47,24

Çizelge 6. İkinci manyetik ayırma işlemi sonucunda elde edilen nihai ürünün içeriği

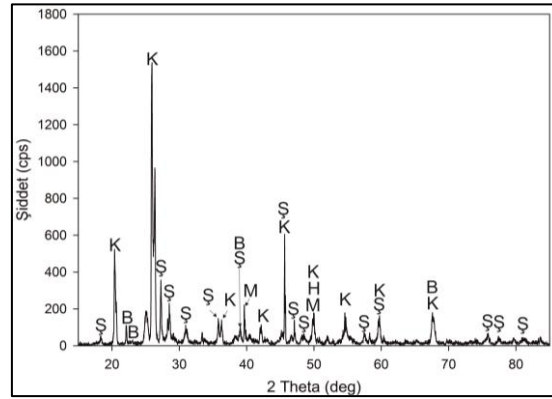
Element	(%)	Element	(%)
Bi_2O_3	3,27	CaO	23,04
SiO_2	20,55	MnO	0,60
SO_3	6,57	MoO_3	9,25
Fe_2O_3	0,60	WO_3	49,94

Nihai konsantreye ait XRD grafiği Şekil 5'de verilmiştir. Görüldüğü gibi; şelit cevherinin yanı sıra, kuvars, hematit, molibdenit ve bizmut mineralleri tespit edilmiştir. Elde edilen nihai şelit konsantresi, hidrometalurjik yöntemlerle tungsten metalinin üretimi için uygun değerdedir [17-19].

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Uludağ/Bursa bölgesinden getirilen şelit cevherinin fiziksel ve manyetik özellik farklılıklarından yararlanılarak zenginleştirilmesi araştırılmıştır. Tüvanan cevherin WO_3 içeriği %0,32 iken, dört farklı aşamada zenginleştirme işlemine tabi tutulan cevherin WO_3 içeriği %49,94'e yükseltilmiştir. Önerilen akım şemasında, sisteme 1 ton tüvanan cevher beslenirse 5,35 kg konsantre ürün elde edilecek ve şelit cevherinin genel zenginleştirme verimi %83,51 olacaktır. Ancak, XRD grafiğinden de anlaşılacağı gibi; nihai konsantrenin içinde istenmeyen kuvars ve hematit gibi mineraller tespit edilmiştir.

Yoğunluk farkı ve manyetik alınganlık özelliklerine göre bu minerallerin ayrılması beklenmekteydi. Bu problemin tane boyut dağılımı ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Daha ince boyutlarda yapılabilecek çalışmada bu gang minerallerinde uzaklaştırılmasının sağlanacağı düşünülmektedir. Buna karşın, boyut küçültme işlemine bağlı olarak Gemini masasının çalışma verimi düşebilecektir. Bu sebeple, daha ince boyutlarda flotasyon işlemi gerçekleştirilebilir ve daha yüksek verimlerde zenginleştirme sağlanabilecektir. Şelit konsantresi amonyum paratungstat (APT) üretimi için hammadde olarak kullanılmaktadır. Literatürde %5 ile %20 WO_3 tenörlü cevherlerin APT üretiminde kullanılabildiği belirtilmiştir [20]. Bu sebeple, bu çalışmada üretilen şelit konsantresi, seçimli özütleme işlemine tabi tutulacak ve ilerleyen zamanlarda APT üretimi için yapılacak çalışmada hammadde olarak kullanılacaktır. Ayrıca, nihai olarak elde edilen ürünün Fe_2O_3 değeri oldukça yüksek (%59,17) ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek niteliktedir.



Şekil 5. Nihai konsantreye ait X-ışını difraksiyon (XRD) grafiği (Ş: Şelit, K: Kuvars, B: Bizmut, M: Molibdenit, H: Hematit)

5. TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmada laboratuvar imkanlarının kullanılmasına izin veren Öğr. Gör. Dr. Fatih KARAOĞLAN'a, deneyler sırasında yardımları için Arş. Gör. Emrah ŞİMŞEK'e ve katkıları için Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM'a teşekkürü bir borç bilir.

6. KAYNAKLAR

1. Srivastava, J.P., Pathak, P.N., 2000. Pre-concentration: A Necessary Step for Upgrading Tungsten ore, *Int. J. Miner. Process.*, vol. 60, pp. 1-8.
2. Dongfang, L., Yuhua, W., Tao, J., Wei S., HU, Y., 2016. Study on Pre-concentration Efficiency of Wolframite from Tungsten ore Using Gravity and Magnetic Separations, *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, vol. 52, p. 719-729.
3. Blackburn, W. H., Denner, W. H., 1988. *Principles of Mineralogy*, 413 pp. 1st edition, W.C. Browns Publishers, Dubuque, Iowa, USA.
4. Srinivas, K., Sreenivas, T., Natarajan, R., Padmanabhan N.P.H., 2000. Studies on the Recovery of Tungsten from a Composite Wolframite-scheelite Concentrate, *Hydrometallurgy*, vol. 58, pp. 43-50.
5. Gao, Y., Gao, Z., Sun, W., Hu, Y., 2016. Selective Flotation of Scheelite from Calcite: A Novel Reagent Scheme. *International Journal of Mineral Processing*, vol. 154, pp. 10-15.
6. Feng, B., Guo, W., Xu, H., Peng, J., Luo, X., Zhu, X., 2017. The Combined Effect of lead Ion and Sodium Silicate in the Flotation Separation of Scheelite from Calcite. *Separation Science and Technology*, vol. 52(3), pp. 567-573.
7. Bhatti, M.A., Kazmi K. R., Mehmood, R., akram, A., 2014. Flotation Study on Scheelite ore of Chitral, Khyber Pakhtoonkhwa, Pakistan. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research. Series A. Physical Sciences*, vol. 145 (3), pp. 145-153.
8. Hui, S., 2015. Flotation Experiments of a Low-grade Scheelite. *Metal Mine*, 1, 015.
9. Weiss, N. L., 1985. *SME Mineral Processing Hand book*, vol. 2, Section 27, 18 pp, Society of Mining Engineers (SME) of AIME, New York, USA.
10. Lu, D., Wang, Y., Jiang, T., Sun, W., Hu, Y., 2016. Study on Pre-concentration Efficiency of Wolframite from Tungsten ore using Gravity and Magnetic Separations. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, vol. 52(2), pp. 718-728.
11. Hedayati H. S., Noaparast, M., Tonkaboni, S. Z. S. M., Hosseini, S. M., 2016. Application of Gravity Separators for Enrichment of South Chah-Palang Tungsten Ore. *Int. Journal of Mining & Geo-Engineering*, vol. 50(1), pp. 1-12.
12. Greaves, J. N., 1989. Tungsten and Gold Recovery from Alaskan Scheelite-bearing Ores. Report of Investigations 9251, Bureau of Mines and United States Department of the Interior.
13. Wills, B. A., 1992. *Mineral Processing Technology*, 464 pp. 5th Edition, Pergamon Press, New York, USA.
14. Cui, Z., Liu, Q., Etsell, T. H. 2002. Magnetic Properties of Ilmenite, Hematite and Oilsand Minerals After Roasting. *Minerals Engineering*, vol. 15(12), pp. 1121-1129.
15. Hrouda, F., 2003. Indices for Numerical Characterization of the Alteration Processes of Magnetic Minerals Taking Place During Investigation of Temperature Variation of Magnetic Susceptibility. *Studia Geophysica et Geodaetica*, vol. 47(4), pp. 847-861.
16. Merritt, R. R., Cranswick, L. M. D., 1994. The Origin of Magnetic Susceptibility in Roasted Ilmenite. In 6th AusIMM Extractive Metallurgy Conference. Melbourne: The Australian Institute of Mining and Metallurgy (pp. 171-180).
17. Kazmi, K. R., Bhatti, M.A., Bhatti, A., Mehmood, A., Anwar, M.S., Sheikh, S.T., 2012. Beneficiation Studies on Low-grade Tungsten Ore of Chitral, Khyber Pukhtoonkhwa, Pakistan, *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research*, vol. 55, pp.8-13.
18. Guar, R.P. S., 2006. Modern Hydrometallurgical Production Methods for Tungsten, *Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, vol 58, pp. 45 – 49.
19. Razavizadeh, H., Langroudi, A.E., 2006. Production of Tungsten Via Leaching of Scheelite With Sulfuric Acid, *Minerals and Metallurgical Processing*, vol. 23, pp.67-72.
20. Zhao, Z., Li H., Liu, M., Sun, P., Li Y., 1996. Soda Decomposition of Low-grade Tungsten ore Through Mechanical Activation, *Journal of Central South University of Technology*, vol. 3 pp. 181-184.