

## GRAVITE AYIRMA YÖNTEMIYLE BİR PB-ZN CEVHERİNDEN PB KAZANIMI

### Soner TOP

Abdullah Gül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü  
ORCID: 0000-0003-3486-4184

### Sait KURŞUNOĞLU

Batman Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü  
ORCID: 0000-0002-1680-5482

### Mahmut ALTINER

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü  
ORCID: 0000-0002-7428-5999

### Hüseyin VAPUR

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü  
ORCID: 0000-0003-4438-3982

### Özet

Kurşunun ana kullanım alanı akü imalatı olup, yeraltı haberleşme kablolarının kurşunla izolasyonu, diğer önemli tüketim alanıdır. Gri renkli olup, metalik parlaklığa sahiptir. Ergime noktası düşük ( $327\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), kaynama noktası (1 atmosferde)  $1525\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Korozyona karşı dayanıklı, kolayca şekillendirilebilen, yüksek özgül ağırlığı ( $11,4\text{ t/m}^3$ ) ile kurşun, değişik alaşımlar olarak kullanılabilme özelliklerine sahiptir. Düşük bir çekme mukavemetine ( $1\text{ t/in}^2$ ) sahip olması nedeniyle gerilmenin önemli olduğu hallerde kullanım sahası sınırlıdır. Adi metaller arasında korozyona en dayanıklı olması yanında yassılaşma ve tel çekme özelliğine de sahip bir metaldir. Kurşun korozyonu önleyen kurşun oksit boyalarda, kabloların kaplanması, kurşun tetraetil ve tetrametil formlarında benzin içinde oktan ayarlayıcı bileşikler olarak, radyasyonu en az geçiren metal olması nedeniyle x-ışınlarından korunmada, renkli televizyon tüplerinin yapımında ve mühimmat imalinde önemli kullanım alanları bulmuştur. Yeryüzünde rastlanan elementler arasında 34. sırayı alan kurşunun, atom numarası 82, atom ağırlığı 207,21 dir. Doğada özgün kristal yapısına ender rastlanan kurşun kübik sistemde kristalleşir. Minerallerin özgül ağırlık farklarından yararlanarak ta mineraller birbirlerinden ayrılabilir. Minerallerin serbestleşme tane boyutunun büyüklüğüne bağlı olarak jig, ağır ortam ayırıcıları, spiral ve sallantılı masalar, tek başına veya kombinasyon şeklinde kullanılmaktadır. Gravite yöntemleri diğer zenginleştirme yöntemlerine göre gerek işletme, gerekse yatırım maliyetleri açısından daha ucuz olmasına karşılık, metal kazanma verimlerinin düşüklüğü, kaçakların önlenememesi ve selektif ayırmaya tam olarak uyum sağlayamaması dezavantaj oluşturmaktadır. Bu yöntem daha çok ön zenginleştirme amacıyla kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında Kayseri ilinin Yahyalı Bölgesindeki bir madencilik şirketinden temin edilen Pb-Zn cevheri kullanılmıştır. Jig cihazı ile ayırma testleri daha çok iri boyuttaki malzemelere ve ön zenginleştirme amacıyla uygulanmaktadır. Cihazın gereksinimleri uyarınca her numunenin  $-2,36+1,5\text{ mm}$  boyutlarındaki fraksiyonları jig testlerine tabi tutulmuştur. Gravite farkı ile ayırma testlerinde tek kompartımanlı jig aleti kullanılmıştır. Jig cihazının pülsasyon hızı  $180\text{ dev/dk}$  olup, su besleme hızı dakikada yaklaşık  $2\text{ L}$  olarak uygulanmıştır. Deneyler sonucunda Pb içeriğinin jig yöntemiyle  $\%82,66$  verimle kazanılabileceği ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kurşun, Jig, Gravite Ayırma, Cevher Hazırlama.

**PB RECOVERY FROM A PB-ZN ORE BY GRAVITY SEPARATION METHOD****Abstract**

The main usage area of lead is battery manufacturing and the insulation of underground communication cables with lead is another important consumption area. It is gray in color and has a metallic luster. Its melting point is low (327 °C), boiling point (at 1 atmosphere) is 1525 °C. With its corrosion resistant, easily shaped, high specific gravity (11.4 t/m<sup>3</sup>), lead has the characteristics of being used as different alloys. Since it has a low tensile strength (1 t/in<sup>2</sup>), its use is limited in cases where stress is important. Among the base metals, it is the most resistant to corrosion, as well as having flattening and wire drawing properties. Lead has found important usage areas in lead oxide paints preventing corrosion, coating of cables, octane adjusting compounds in lead tetraethyl and tetramethyl forms in gasoline, protection from x-rays, production of color television tubes and ammunition because it is the metal that transmits radiation the least. Lead, which ranks 34<sup>th</sup> among the elements found on earth, has an atomic number of 82 and an atomic weight of 207.21. Lead crystallizes in the cubic system, which is rare in nature with its unique crystal structure. Minerals can be separated from each other by taking advantage of the specific gravity differences of the minerals. Depending on the size of the liberation grain size of the minerals, jigs, heavy media separators, spiral and oscillating tables are used alone or in combination. Although gravity methods are cheaper than other enrichment methods in terms of both operating and investment costs, their low metal recovery efficiency, inability to prevent leakages and inability to fully adapt to selective separation are disadvantages. This method is mostly used for pre-enrichment. Within the scope of the study, Pb-Zn ore from a mining company in Yahyalı District of Kayseri province was used. Separation tests with jig device are mostly applied to large size materials and for pre-enrichment purposes. In accordance with the requirements of the device, the -2.36 + 1.5 mm fractions of each sample were subjected to jig tests. A single-compartment jig tool was used in the separation tests with gravity difference. The pulsation speed of the jig device was 180 rpm and the water feed rate was approximately 2 L per minute. As a result of the experiments, it has been revealed that the Pb content can be recovered with the jig method with an efficiency of 82.66%.

**Keywords:** Lead, Jig, Gravity Separation, Mineral Processing.

**GİRİŞ**

Kurşun ve çinko cevherleri, madencilik endüstrisinde büyük öneme sahip olan iki farklı metali içeren cevherlerdir. Genellikle yerkabuğunda birlikte yataklanma gösterirler. Kurşun (Pb) ve çinko (Zn), tabii olarak bulunan metallerdir. Kurşun gri-siyah renkte bir metaldir, çinko ise gümüş-beyaz bir görünüme sahiptir. Kurşun, yüksek yoğunluğa sahiptir ve kolayca şekil verilebilir. Çinko, korozyona karşı oldukça dirençlidir ve birçok endüstriyel uygulama için ideal bir kaplama malzemesidir. Kurşun cevherleri genellikle galenit mineralinde bulunur. Galenit, kurşun sülfürünün bir bileşiğidir. Çinko cevherleri ise genellikle sphalerit mineralinde bulunur. Sphalerit, çinko sülfürünün bir bileşiğidir. Bu cevherler birarada bulunarak karma cevherler oluşturabilirler.

Çinko, mavimsi beyaz, parlak, düşük kaynama noktalı bir metaldir ve genellikle galvanizleme işleminde kullanılan endüstriyel olarak önemli metaldir. +2 valans değerliliğine sahip çinko amonyak ve halojenür iyonları ile kompleksler oluşturabilir [1]. Çinko esas olarak iki farklı cevher türünde, yani sülfürlü ve sülfürlü olmayan karnonatlı/oksitli cevherlerde bulunmaktadır. Sülfürlü cevherlerde sfalerit (ZnS) ana cevher mineralidir ve kolaylıkla konvansiyonel flotasyon yöntemi ile konsantr edilebilir. Dünya çinko üretiminin büyük bir kısmı sülfürlü tip cevherlerden sağlanmaktadır.

Ancak, sürekli olarak azalan sülfür cevheri rezervleri ve artan çinko talebi, son yıllarda sülfür olmayan tipteki çinko cevherlerine yönelimi arttırarak bu tip cevherler üzerinde bilimsel çalışmaların yapılmasına olanak tanımıştır [2]. Sülfürlü olmayan cevherlerde, ekonomik açıdan önemli çinko mineralleri smitsonit ( $ZnCO_3$ ), hemimorfit ( $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$ ), hidrozsinit ( $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$ ), willemite ( $Zn_2SiO_4$ ) ve sauconite ( $Na_{0.3}Zn_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$ ) olarak sayılabilir. Ancak bu tip cevherlerin düşük tenörleri ve nispeten karmaşık yapıya sahip olmaları bu cevherlerin etkin bir şekilde zenginleştirilmesini kısıtlamaktadır [3]. Bu nedenle bu cevherlerden çinko kazanımı için liç yöntemi ön plana çıkmaktadır. Alkali liç sistemleri, smitsonit cevherleri için asidik liç sistemleri ile karşılaştırıldığında çinko dışındaki metallerin çözünümünde sınırlama görülmektedir [4]. Sodyum hidroksit çözeltilerinde elektro kazanma sırasındaki enerji tüketimi asidik çözeltilerde elektro kazanma ile karşılaştırıldığında daha düşük olabilmektedir. Türkiye'de mineraloji ve tenör bakımından farklılık gösteren çok sayıda karbonatlı/oksitli çinko cevheri yatağı bulunmaktadır ve bu kaynakların etkin kullanımı oldukça önem arz etmektedir [5].

Çinkoya olan yüksek talep, çinko cevherinin çıkarılması ve işlenmesinde büyümeye yol açmıştır. ABD Jeolojik Araştırma Merkezi (USGS) raporunda, çinko üretimi 2017 yılında 12,5 milyon tondan 2018 yılında 13 milyon tona çıkmıştır [6]. Demir dışı metal olan çinko demir, alüminyum ve bakırın ardından en çok tüketilen dördüncü metal olduğu için çinko üretimine talep oldukça artmaktadır [2]. Çinkonun işlenmesi, kırma, öğütme, yüzdürme, siklonlama ve kurutma işlemlerini kapsamakta ve bu işlemler ardından büyük miktarda çinko atığı oluşmaktadır. Bu atıklar, cevher hazırlama sahasında mevcut olan atık barajlarında bertaraf edilmektedir. Örneğin, İrlanda'daki en büyük çinko ve kurşun madenlerinden biri olan Tara madeni yaklaşık 2,7 milyon ton çinko ve kurşun konsantresi üretmektedir. Bu tür atıkların imhası sırasında karşılaşılan en büyük risklerinden biri, su yollarının atıklarda bulunan ağır metaller nedeniyle kirlenmesidir [7].

Kurşun genellikle galenit mineralinde bulunur. Galenit, kurşun sülfürünün bir bileşimidir ve kimyasal formülü  $PbS$ 'dir. Galenit, kurşun cevherlerinin en yaygın ve önemli mineralidir, ancak kurşun, bazen diğer minerallerde de (karbonatlı kurşun mineralleri) bulunabilir. Çıkarılan kurşun cevherleri, zenginleştirme işlemine tabi tutulur. Bu işlemde cevher kırılır, öğütülür ve zenginleştirme işlemleri ile kurşun minerali ayrıştırılır. Zenginleştirme işlemleri başlıca flotasyon ve gravite ayırma yöntemlerinden oluşur. Zenginleştirme işlemi, kurşun cevherinin saflaştırılmasını ve metal içeriğinin artırılmasını sağlar [8].

Minerallerin özgül ağırlık farklarından yararlanarak ta mineraller birbirlerinden ayrılabilir. Minerallerin serbestleşme tane boyutunun büyüklüğüne bağlı olarak jig, ağır ortam ayırıcıları, spiral ve sallantılı masalar, tek başına veya kombinasyon şeklinde kullanılmaktadır. Gravite yöntemleri diğer zenginleştirme yöntemlerine göre gerek işletme, gerekse yatırım maliyetleri açısından daha ucuz olmasına karşılık, metal kazanma verimlerinin düşüklüğü, kaçakların önlenememesi ve selektif ayırmaya tam olarak uyum sağlayamaması dezavantaj oluşturmaktadır. Bu yöntem daha çok ön zenginleştirme amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda gravite ayırmasında küçük taneli cevherlerin (-0,5 mm) zenginleştirilmesinde geliştirilmiş Multi Gravite Ayırıcısı da (Multi-Gravity Separator-MGS) sarsıntılı masalara bir alternatif olarak yer almaktadır [9]. Barit ( $BaSO_4$ ), galen ( $PbS$ ) ve kromit ( $Cr_2O_3$ ) gibi mineraller ağırlık farklarından ötürü gravite ayırıcılarla ayrılabilir ve ön zenginleştirme gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada bir Pb-Zn cevherinden kurşunun kazanımı araştırılmıştır. Bu amaçla gravite ayırma yöntemlerinden jig il ayırma yöntemi uygulanmıştır. Öncelikle cevherin karakterizasyonu yapılarak yonteme uygunluğu belirlenmiştir. Bu amaçla mikroskop görüntüleri, X-Işını Kırınımı (XRD), X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) analizleri ve diğer kimyasal analiz yöntemleri uygulanmıştır.

**MALZEME VE YÖNTEM**

Çalışmada kullanılan malzemeler Kayseri ili Yahyalı İlçesi'ndeki Zengan Madencilik Şirketi'nden temin edilmiştir. Şirkette yeraltı madenciliği uygulanmakta olup, çıkarılan cevherler içeriklerine göre 3 farklı şekilde depolanmaktadır. Bu nedenle şirketten 3 farklı tipte cevher numunesi (3 farklı cevherden de yaklaşık 30 kg) tedarik edilmiştir. Çıkarılan cevherler çinko ve kurşun oranına göre farklı yerlerde depolanmaktadır. 3 farklı cevher numunesi açık havada kurutulduktan sonra ağız açıklığı 1,5 cm olan çeneli kırıcıdan geçirilerek boyut küçültme işlemine tabi tutulmuştur. Sonrasında konileme-dörtleme işlemi ile numune azaltma işlemi gerçekleştirilmiş ve testlerde kullanılacak numuneler torbalara konularak hazırlanmıştır.

XRF ve XRD analizleri 100 µm boyut altına indirilen numunelere uygulanmıştır. Minipal4 Panalytical marka XRF cihazı ve Panalytical marka XRD cihazı kullanılmıştır. Tane serbestleşme derecelerini gözlemlemek amacıyla mikroskop kullanılmıştır. Gravite farkı ile ayırma testlerinde tek kompartımanlı jig aleti kullanılmıştır. Jig cihazının pülsasyon hızı 180 dev/dk olup, su besleme hızı dakikada yaklaşık 2 L olarak uygulanmıştır. Verim hesaplanırken Eşitlik 1'deki formülasyondan yararlanılmıştır.

$$\text{Verim}(\%) = (c/f) * ((f-t)/(c-t)) * 100$$

(1)

Burada; c=konsantre tenörü (%), t=artık tenörü (%) ve f=besleme malı tenörüdür (%).

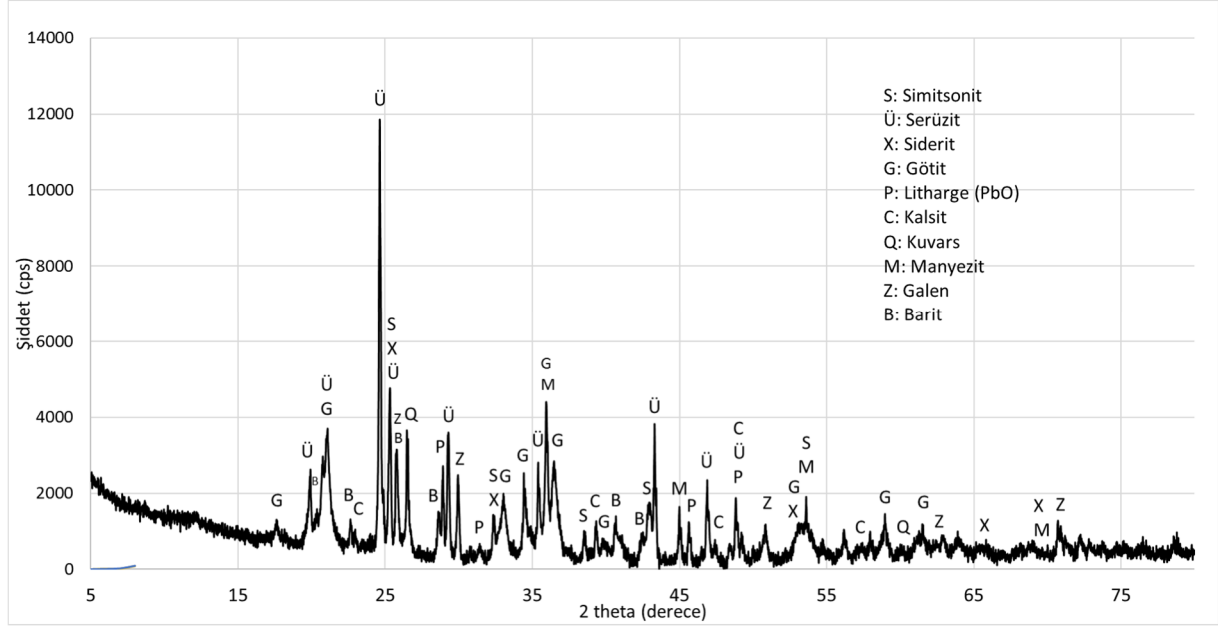
**SONUÇLAR**

XRF analizi sonucunda 2 numaralı numunenin içerikleri Çizelge 1'de görülmektedir. XRF analiz sonuçları incelendiğinde çinkonun yoğun olduğu numunelerin 1 ve 3 numaralı numuneler olduğu görülmüştür. En fazla Zn içeriği %38,20 ZnO oranıyla Numune 3'tedir. Numune 1'in Zn içeriği %14,30'dur. Numune 1 ve Numune 3'te Pb içerikleri %1,20'den az bulunmuştur. Numune 2'nin kurşun (Pb) içeriği en fazladır. Numune 2'de Zn içeriğinin de az olduğu görülmüştür. Demir (Fe) içerikleri bakımından Numune 1 ve 2 birbirlerine yakın içeriklere sahipken numune 3'ün Fe oranı diğerlerine kıyasla daha azdır. Ayrıca, Numune 2'de az miktarda baryum (Ba) saptanmıştır.

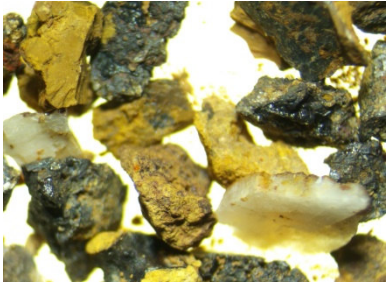
**Çizelge 1. Numune 2'nin XRF analizi.**

| Bileşen    | ZnO             | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | PbO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CeO <sub>2</sub> | BaO  | CuO  | K <sub>2</sub> O |
|------------|-----------------|--------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|------------------|
| İçerik (%) | 4,69            | 45,65                          | 15,60            | 15,80 | 7,80                           | 0,20                           | 0,10             | 3,40 | 0,06 | 1,15             |
| Bileşen    | SO <sub>3</sub> | MnO                            | SrO              | Br    | CaO                            | MgO                            |                  |      |      |                  |
| İçerik (%) | 0,80            | 0,02                           | 0,085            | 0,01  | 3,24                           | 0,55                           |                  |      |      |                  |

Numune 2'nin XRD analizi sonrası elde edilen diyagram Şekil 1'de görülmektedir. Bu numune kompleks bir yapıya sahip olup, yoğunlukla karbonatlı kurşun minerali olan serüzit içermektedir. Götite, galen, litharge, siderit, kalsit, manyezit mineralleri rastlanan diğer mineral içerikleridir. Ayrıca, 2 numaralı numunede baryum sülfat minerali olan barit piklerine de rastlanmıştır. Tüm numunelerde hakim olmasa da kuvars pikleri de bulunmaktadır. Numune 1 ve Numune 3'te karbonatlı mineraller olan simitsonit, siderit, manyezit ve kalsit hakim pikler olarak gözlenmiştir.



3 adet numune de 3 farklı boyutta (0-1 mm, 1,5-1 mm ve 2,36-1,5 mm) fraksiyonlara ayrılarak mikroskop altında incelenmiştir. Mikroskop görüntüleri Şekil 2'de görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde simitsonite karakterize açık kahverengi renklerin özellikle Numune 1 ve Numune 3'te ağırlıkta olduğu görülmektedir. Numune 2'de koyu renkli götit ve galen gibi minerallerin daha yoğun olduğu görülmektedir. Ayrıca Numune 2'de kırmızının değişik tonlarını taşıyan Litharge (PbO) mineralinin de bulunduğu saptanmıştır. Numunelerin tümünde beyaz renk tonlarında kalsit, kuvars ve manyezit mineralleri görülmektedir. Numune 2'de nadir de olsa mat beyaz renkte barit minerallerine rastlandığı görülmektedir. Mikroskop görüntülerinde açık kahverengi tonlarındaki simitsonit minerallerinin tane boyut aralıklarında boyut küçültmenin etkisiyle diğer minerallerden ayrıştığı görülmektedir. İlginç bir şekilde, iri tane boyutlarında dahi simitsonit minerallerinin serbestleşmeye yakın görünümde olduğu gözlenmiştir. Boyut küçültmenin, minerallerin sertlik, gevreklik ve ufalanma gibi özelliklerindeki farklılıklardan dolayı doğal bir serbestleşmeye neden olduğu söylenebilir.

| Numune 1                                                                            |                                                                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 0-1 mm                                                                              | 1,5-1 mm                                                                            | 2,36-1,5 mm                                                                           |
|    |    |    |
| Numune 2                                                                            |                                                                                     |                                                                                       |
| 0-1 mm                                                                              | 1,5-1 mm                                                                            | 2,36-1,5 mm                                                                           |
|   |   |   |
| Numune 3                                                                            |                                                                                     |                                                                                       |
| 0-1 mm                                                                              | 1,5-1 mm                                                                            | 2,36-1,5 mm                                                                           |
|  |  |  |

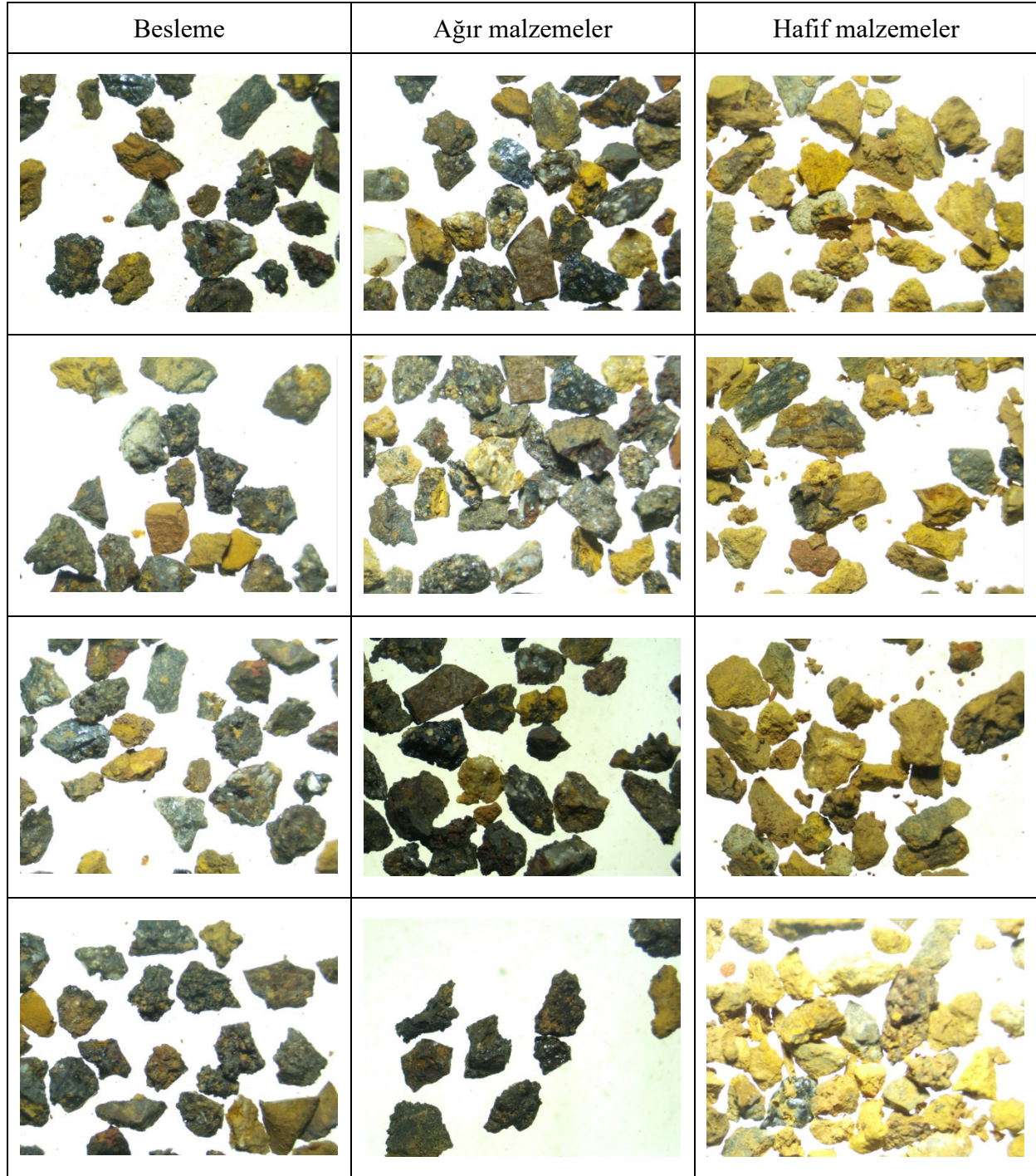
**Şekil 2. Farklı fraksiyonlarda numunelerin mikroskop görüntüleri.**

Şekil 3’te testlerde kullanılan laboratuvar ölçekli jig cihazı görülmektedir. Jig cihazı ile ayırma testleri daha çok iri boyuttaki malzemelere ve ön zenginleştirme amacıyla uygulanmaktadır. Cihazın gereksinimleri uyarınca her numunenin -2,36+1,5 mm boyutlarındaki fraksiyonları jig testlerine tabi tutulmuştur.



**Şekil 3. Testlerde kullanılan laboratuvar ölçekli Jig cihazı.**

Numune 1 ve Numune 3 ile yapılan testlerde herhangi bir ayırım gözlenmemiştir. Ancak Numune 2 ile gerçekleştirilen test sonucunda koyu renkli ağır minerallerin hafif minerallerden ayrıldığı gözlenmiştir.



**Şekil 4. Jig testleri sonucunda elde edilen malzemelerin mikroskop görüntüleri.**

Besleme malının PbO ve ZnO tenörleri sırasıyla %14,2 ve %6,82'dir. Hafif malzemenin (artık) PbO ve ZnO tenörleri sırasıyla %4,85 ve %5,74'tür. Elde edilen konsantrenin (ağır malzemeler) XRF analizi ise Çizelge 2'de verilmiştir. Eşitlik 1 uyarınca konsantrede PbO kazanımı %82,66 olarak bulunmuştur.

Çizelge 2. Konsantrenin XRF analizi.

| Bileşen    | ZnO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | PbO   | K <sub>2</sub> O | CaO  | BaO  | CuO   |
|------------|------|--------------------------------|------------------|-------|------------------|------|------|-------|
| İçerik (%) | 5,74 | 58,45                          | 2,30             | 23,40 | 0,14             | 3,40 | 5,40 | 0,084 |

**ÇIKARIMLAR**

Çalışma kapsamında Kayseri ilinin Yahyalı ilçesindeki bir kurşun-çinko madeninden numuneler toplanmış ve bu numunelerdeki Pb içeriğinin ön zenginleştirme yöntemlerinden biri olan gravite ayırma ile laboratuvar ölçekli jig aleti kullanılarak zenginleştirilmesi araştırılmıştır.

3 farklı tipte numune kullanılmıştır. Numunelerin karakterizasyon işlemlerinde XRD, XRF analizleri ve mikroskop görüntüleri kullanılmıştır. Jig cihazının pülsasyon hızı 180 dev/dk olup, su besleme hızı dakikada yaklaşık 2 L olarak uygulanmıştır. Cihazın gereksinimleri uyarınca her numunenin -2,36+1,5 mm boyutlarındaki fraksiyonları jig testlerine tabi tutulmuştur. 1 ve 3 numaralı numunelere uygulanan gravite ayırma işlemleri başarılı olmamıştır. Gravite farkı yaratacak Pb içeriğinin oldukça düşük olması nedeniyle bu numunelerle gerçekleştirilen deneylerde başarı sağlanamamıştır. Ancak, 2 numaralı numunelere uygulanan deneyler sonucunda Pb içeriğinin jig yöntemiyle %82,66 verimle kazanılabileceği ortaya konmuştur. Konsantrenin PbO içeriği %23,4 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma gravite ayırma yönteminin Yahyalı ilçesindeki Pb içerikli cevherlerin ön zenginleştirmesinde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

**KATKILAR**

Bu çalışma AGÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje numarası: FAB-2022-172).

**REFERANSLAR**

- [1] Graf, G.G., 2005. Zinc. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, pp. 1-23.
- [2] Abkhoshk, E., Jorjani, E., Al-Harashsheh, M.S., Rashchi, F., Naazeri, M., 2014. Review of the hydrometallurgical processing of non-sulfide zinc ores. Hydrometallurgy 149, 153-167
- [3] Hosseini, S.H., Forssberg, E., 2009. Smithsonite flotation using mixed anionic/cationic collector. T. I. Min. Metall. C 118, 186-190.
- [4] Ebtedaei, A., Farzanegan, A., 2020. A Detailed study of Applying Gravity Separation to Lead and Zinc Carbonate Ore for Smithsonite Concentration Using DMC, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 41:6, 381-395
- [5] Hanilci, N., Ozturk, H., 2011. Geochemical/isotopic evolution of Pb-Zn deposits in the Central and Eastern Taurides, Turkey. Int. Geol. Rev. 53, 1478-1507.
- [6] Zinc statistics and information, <https://www.usgs.gov/centers/nmic/zinc-statistics-and-information>.
- [7] M. E. Quille, B. C. O'Kelly, in Geoenvironmental Engineering and Geotechnics, American Society of Civil Engineers, Reston, VA 2010.
- [8] Hajati, A., Soltani, F., 2023. Concentrating challenges of the Zarigan complex Pb-Zn-Fe non-sulfide ore. Canadian Metallurgical Quarterly 62:2, pages 301-310.
- [9] DPT. (2001). Metal Madenler (Kurşun, Çinko, Kadmiyum). 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Metal Madenler Alt Komisyonu Kurşun-Çinko-Kadmiyum Çalışma Grubu Raporu, DPT: 2628- ÖİK 639, Ankara.