
GÜMÜŞ MADENLERİNDE PROSES MİNERALOJİSİ VE GÜMÜŞKÖY ÖRNEĞİ

H.Yurdakul YİĞİTGÜDEN (*)

ÖZET

70'li yılların ortalarından itibaren Kuzey Amerika'da büyük rezervli, düşük tenörlü gümüş yataklarının işletmeye alınmaya başlamasıyla gümüş cevherleriyle ilgili proses mineralojisi önem kazanmıştır. Bu çalışmada proses mineralojisinin gümüş madenlerindeki kullanım alanları tanıtıldıktan sonra, Kütahya-Gümüşköy gümüş cevheri ile ilgili uygulamalara yer verilmektedir.

ABSTRACT

Process mineralogy concerning silver ores has become important after the development of bulk-tonnage, lowgrade silver deposits in North America. This paper presents the applications of process mineralogy for silver ores and discusses the studies for Gümüşköy silver deposit.

* Dr. Maden Yük. Müh., Etibank Genel Müdürlüğü, Proje Tesis Dairesi Başkanlığı ANKARA

1. GİRİŞ

Dünya gümüş üretiminin büyük kısmı 70'li yılların ortalarına kadar demir dışı metal konsantrelerinden elde edilmekteydi. Bu yıllarda Kuzey Amerika'da birbiri ardından işletmeye alınmaya başlayan büyük rezervli fakat düşük tenörlü gümüş yatakları ("large low grade silver deposits") önem kazanmaya başladı (1). Açık işletme yöntemi ile üretilen bu cevherlerin çok azının flotasyonla zenginleştirilebildiği ve ince öğütme gerektirdiği, flotasyonla zenginleştirilemeyen cevherlerden bir kısmının da refrakter özellikleri nedeniyle siyanürle liç edilemediği görülerek proses mineralojisine ve proses tekniklerinin geliştirilmesine ağırlık verilmiştir (2). Aşağıda proses mineralojisinin kullanım alanları ve literatürden iki örnek tanıtıldıktan sonra Kütahya-Gümüşköy gümüş madeni ile ilgili uygulamalar incelenecektir.

2. GÜMÜŞ MADENLERİNDE PROSES MİNERALOJİSİ

Gümüş madenciliğinde proses mineralojisi arama faaliyeti, cevher zenginleştirme deneyleri ve tesis faaliyete geçtikten sonra yürütülen proses çalışmalarının ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir.

Aramanın başlangıç ve ileri safhalarında proses mineralojisi numune alımı ve kimyasal analiz çalışmalarını yönlendirerek zaman tasarrufu sağlar (3). Arama çalışmalarının başlangıcında yapılacak mineralojik araştırma ile gümüşün cevherde ne şekilde bulunduğu, tane boyu dağılımı, gang ve alterasyon mineralleri, cevherin refrakter karakterli olup olmadığı ve muhtemel kurtarma randımanı saptanarak, arama programını revize etme olanağı ve zenginleştirme deneylerinde para ve zaman tasarrufu sağlanmaktadır (3, 4).

Cevher zenginleştirme deneyleri esnasında öğütme, gravimetrik yolla zenginleştirme, flotasyon, kavurma ve siyanürleme işlemlerini etkileyen mineralojik faktörler incelenmektedir (3, 5).

İşleyen bir gümüş tesisinde proses mineralojisinin görevi ise gümüş kayıplarını sürekli olarak izlemek ve bunların ne kadarının teknik ve ekonomik açıdan yapılabilir metodlarla kazanılabileceğini saptamaktır (6). Zenginleştirme tesisi ara ürünlerinin mineralojik özelliklerinin belirlenmesi ve sürekli kontrolü ile gümüş kurtarma oranlarında meydana gelecek değişikliklerin nedenleri kolayca belirlenebilmektedir (3, 4).

Arama aşamasında proses mineralojisi ile ilgili uygulamalara ait literatürden seçilen iki örnek aşağıda görülmektedir.

Birinci örnek Tayland'ın Kanchanaburi bölgesindeki gümüş içeren kurşun-çinko-pirit yataklarıyla ilgilidir. Detaylı mikroskopik incelemeler ve kantitatif sonucu gümüşün Galenit taneleri içinde mev-

cut Pirarjirit (Ag_3SbS_3) ve Fraybergit (Cu, Ag)₁₀ (Fe, Zn)₂ Sb_4Si_3 kapanımları şeklinde bulunduğu ayrıca Galenitin kristal yapısının da 2200 ppm'e kadar gümüş içerdiği görülmüştür (7). Yapılan değerlendirmelerde gümüş mineralleri içeren Galenit'in genellikle yeniden kristalize olmuş iri taneler halinde bulunması nedeniyle, selektif flotasyonla elde edilebilecek bir Galenit konsantresi içinde gümüşünde zenginleşeceği saptanmıştır (7).

İkinci örnek olarak A.B.D. Nevada eyaleti, Taylor bölgesi kompleks gümüş cevheri üzerine yapılan çalışmalar özetlenecektir. Gümüş minerallerinin parajenezi bakımından Kütahya-Gümüşköy madenine benzeyen ve gümüş minerallerinin tane büyüklüğü çoğunlukla 80 nm'nin altında olan bu yatakla ilgili siyanürleme deneylerinde cevher %100 -45 nm'ye öğütüldüğü halde verim %65'in üzerine çıkamamıştır (8). Yapılan araştırmalar sonucu cevherdeki gümüşün %95'inin eşit oranlarda Arjantit (Ag_2S), Andorit grubu minerallerine ($Pb-Ag-Sb-S$) ve Tetraedrit - Tenantit grubu minerallerine bağlı olduğu görülmüş ve flotasyon deneylerine karar verilmiştir. İki aşamalı olarak yürütülen deneylerde 1. aşamada %95'i -80 nm'ye öğütülen cevher flotasyona tabi tutulmuş, flotasyon artıkları %95 -32nm'ye öğütülerek 2. aşama flotasyon uygulanmıştır (8, 9). Çalışma grubunun verilerine göre deneyler sonucu elde edilen gümüş konsantrasyonunun verimi %65 ile %75 arasında değişmekte olup, cevherde 130 g/t olan gümüş tenörü yaklaşık 5 katına çıkmıştır (9). Nihai artıklar üzerinde yapılan incelemede gümüş kayıplarına, iğnemsî veya saçağımsî görünümüne ve kırılmalı bir yapıya sahip olan Andorit grubu minerallerinin öğütme sırasında birkaç um büyüklüğünde parçalara bölünmesinin sebep olduğu anlaşılmıştır (8). Yukardaki örnekte flotasyon yöntemiyle siyanür liçe oranla daha yüksek verim elde edilmekle birlikte, çok ince öğütme, yüksek reaktif giderleri ve sadece bir ön zenginleştirme sağlanması nedeniyle bu proses ekonomik olmaktan uzaktır.

3. GÜMÜŞKÖY İLE İLGİLİ UYGULAMALAR

3.1. Proses ve Gümüş Cevheri Hakkında Genel Bilgiler

İçinde bulunduğumuz günlerde işletmeye alma çalışmalarının başladığı Etibank Kütahya Gümüşköy 100. Yıl Konsantrasyon ve İzabe Tesisi yılda 1 milyon ton cevher işleyerek 122,4 t gümüş üretebilecek kapasitededir. Açık işletme metodlarıyla kazanılan cevher kırma-öğütme ünitesinde %80 -0,74 mm'ye öğütülerek liç işleminin gerçekleştirileceği tanklara gönderilir. Ortalama 48 saatlik liç süresi sonunda elde edilen gümüş siyanür çözeltisi önce tikinerlerde ardından da ince filtrasyon ünitesinde katı maddelerden arındırılır. Gaz

ayırma kulesinde oksijeni alınan çözelti çinko tozu ile karıştırılarak çöktürülür, yaklaşık %50 gümüş içeren çökelti, izabe ünitesinde eritilerek, Dorée anodu haline getirilir. Elektroliz ünitesinde ise Dorée metalinden %99,9 saflıkta gümüş elde edilir.

Kompleks bir yapıda olan Gümüşköy maden yatağında 7 tip cevherleşme görülmekte olup silisli sinter ve çörtler içinde görülen disemine BaSGvZnS-PbS-Sb₂S₃ mineralizasyonu ve tüflerde görülen emprenye PbS-ZnS mineralizasyonu gümüş madenciliği açısından önemlidir (10, 11, 12, 13). Ayrıca Gümüşköy maden sahasında zengin zonları işlemiş olan eski bir madencilik çalışmasının paşaları bulunmaktadır (11). Paşalardan alınan odun kömürü numunelerinin incelenmesi sonucu Radyokarbon yaşı olarak 3900 ± 85 yıl saptanmış ve eski Gümüşköy madenciliğinin erken bronz çağına rastladığı belirlenmiştir (14, 15). Sahada 2,5 milyon t 374 g/t Ag tenörlü pasa rezervi, 16,7 milyon t 167 g/t Ag tenörlü yerlikaya rezervi bulunmaktadır (16).

3.2. Proses Testleri

Proses ile ilgili laboratuvar çalışmalarında öncelikli olarak gümüşün kazanılması ayrıca kurşun, çinko ve bariti zenginleştirerek satılabilir yan ürünlerin elde edilmesi planlanmıştır (17). Bu amaçla yürütülen deneyler aşağıdaki ana başlıklar altında incelenebilir:

- Boyut küçültme ve boyuta göre ön zenginleştirme,
- Gravimetrik yolla ön zenginleştirme (ağır ortam),
- Flotasyon,
- Siyanürleme.

Deneyler, pasa cevherini ve yan kayaçlara göre ayrılmış 3 tip yerlikaya cevherini temsil eden toplam 4 ayrı numune üzerinde yapılmıştır.

Yukarıda sayılan bütün yöntemlerin uygulandığı 1. aşamada boyuta göre ve gravimetrik yolla doyurucu bir ön zenginleştirme sağlanamamıştır. Gümüş, kurşun-çinko ve barit flotasyonlarında gümüşü kazanmayı sağlayacak bir sonuç elde edilememiş, ancak baritin flotasyonla zenginleştirilebileceği anlaşılmıştır. Siyanürleme deneyleri başarılı olmuş ve bazı cevher tiplerinde %80'e kadar çıkan bir verimle gümüş elde edilmiştir.

2. aşama deneylerinde ise siyanür liç metodu ile gümüşün zenginleştirilmesinin ardından, artıklardan kurşun-çinko ve barit konsantrasyonunun kazanılması planlanmıştır. Kurşun çinko flotasyonu bu aşamada da başarılı olmamıştır. 2. aşamada pasa cevheriyle yapılan deney sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- a) Siyanürleme ile gümüşün %81'i kazanılmıştır.
- b) %1,6 Pb ve %2,2 Zn içeren liç artıklarıyla yapılan kurşun-çinko flotasyonunda kurşun ve çinkonun yaklaşık %12'si yüzdürülmüş-

tür. Yüzendeki Pb ve Zn tenörü %2,6 ve %3,8 olmuştur. Barit flotasyonuna giden artıklarda %1,5 Pb ve %2,1 Zn belirlenmiştir, c) Barit flotasyonunda ise kurtarma oranı %73, konsantredeki barit tenörü %93 olmuştur. Elde edilen barit .konsantresi %0,13 Pb ve %0,10 Zn içermektedir.

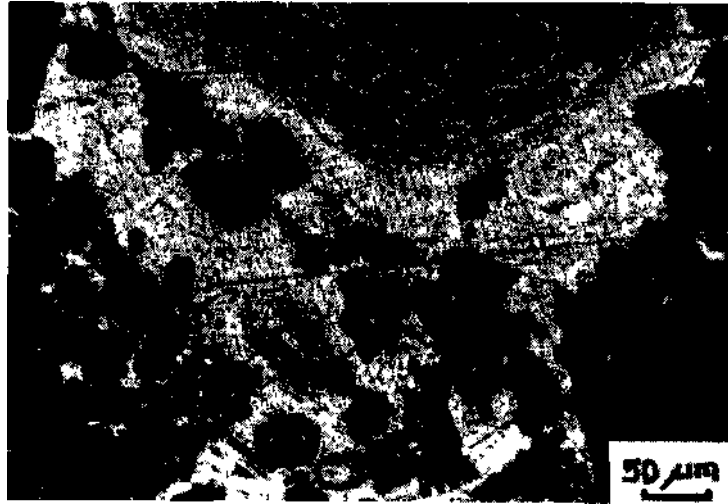
3. aşamada yukardaki sonuçlar da gözönüne alınarak öğütme, siyanürleme ve liç artıklarından barit flotasyonu deneyleri yapılarak geçici bir akım şeması saptanmış ve proses optimizasyonuna geçilmiştir.

3.3. Mineralojik Fapının Test Sonuçlarına Etkisi

3.3.1. Gümüşün zenginleştirilmesi

Gümüş minerallerinin en önemlisi olan Arjantit (Ag_2S) yaygın olarak kuvars kristalleri arasındaki boşlukları dolduran 10-20 um büyüklüğünde taneler halinde görülmekte, bu taneler birleşerek iskeletimsi yapıya sahip tane grupları oluşturmakta, miktar itibarıyla az olmakla birlikte büyüklüğü 500 μ m'a kadar çıkan tane gruplarına da rastlanmaktadır (Foto 1). Ag_2S - ZnS kenetlenmelerinde daha genç mineral olan Ag_2S , ZnS 'nin yerine geçmektedir

Mikroprob analizlerine göre %14,3 ile %17,7 arasında gümüş içeren Gümüşkoy tetraedritleri, (Cu, Ag) (Zn.FeMSb, AshSn, genellikle birkaç um ile 20 um arasında değişen büyüklükteki kapanımlar halinde Galenit ve nadiren Sfalentle birlikte görülmektedir.



Fotoğraf 1 — Ksenomorf Arjantit (beyaz) - idiomorf Kuvars (siyah) kenetlenmeleri, Arjantit içindeki gri mineral Sfalent

Kesin olarak belirlenen diğer gümüş mineralleri Pirarjirit (AgSbS₂), Miarjirit (AgSbS₂), Stefanit (Ag₂SbS₃ ve Andorit'dir (AgPbSbS₂). Tane boyları genellikle -5 μ m ile 50 μ m arasında değişmekte olup, tane boyu 100 μ m'dan büyük olan tane gruplarına da rastlanmaktadır. Bu mineraller matrikste dağınık taneler halinde bulunmaktadır, Pb-Sb-Sulfotuzları ve Galenit ile veya kendi aralarında kenetlenmeler meydana getirmektedirler. Kuvars ve kalsedondan oluşan matrikste tek başına görülen ve kalitatif mikroprob analiziyle gümüş içerdiği anlaşılan birkaç mm büyüklüğündeki tanelerin hangi minerale ait olduğu optik metodlarla, ve mikroprobla belirlenememektedir.

Boşluklu bir yapıdaki Jelpirit'te %3,5'a, Pb-Sb-Sulfotuzlarında %1,2'ye, Galenit'te %0,37'ye kadar çıkan gümüş değerleri ölçülmüştür.

Bir miktar bozulmaya uğramış olan eski madencilik artıklarında nabit gümüşte bulunmaktadır. Belirlenen minerallere ek olarak tül-lerde alterasyon sonucu oluşan kil minerallerinin de adsorpsiyon sonucu gümüş içerdiği düşünülmektedir.

Gümüşü kazanmak için denenen metodlardan kurşun-çinko flotasyonu daha çok Galenitin kristal yapısında bulunan gümüşün ve tetraedritin zenginleştirilmesine imkan sağlamaktadır. Matrikste bulunan gümüş minerallerinin flotasyonla zenginleştirilebilmesi için gerekli serbestleşme ise çok ince öğütme ile sağlanabilecektir. Bunun sonucu olarak öğütme devresinden gelen slam oranının artacağı, flotasyonun yeteri kadar selektif olmayacağı ve aşırı reaktif sarfiyatına yol açacağı sanılmaktadır. Kuvars matrikste dağılmış olarak bulunan birkaç mm büyüklüğündeki taneler flotasyonla zenginleştirilemeyeceği gibi siyanür çözeltilisine de kapalı kalacaklardır. Proses optimizasyon çalışmaları sırasında tesise beslenmesi düşünülen paçal cevher ince öğütme sonunda kral suyuyla liç edilmiş ve %84,3 gümüş randımanı sağlanmıştır (18). Bu da liç çözeltilisinin gümüşün yaklaşık %15'ine ulaşmadığını göstermektedir. Liç işleminde fiziksel metodlarda gerekli olan oranda bir serbestleşmeye ihtiyaç olmaması nedeniyle iskeletimsi tane grupları oluşturan Arjantit'in tamamına yakın kısmının liç edilebileceği anlaşılmaktadır. Kral suyuyla %84,3 olan paçal cevherdeki gümüş randımanı, siyanür üçte %70'e yaklaşmaktadır. Aradaki fark siyanür çözeltilisi ile reaksiyona girmeyen Tetraedrit, Pirarjirit gibi minerallerden kaynaklanmaktadır.

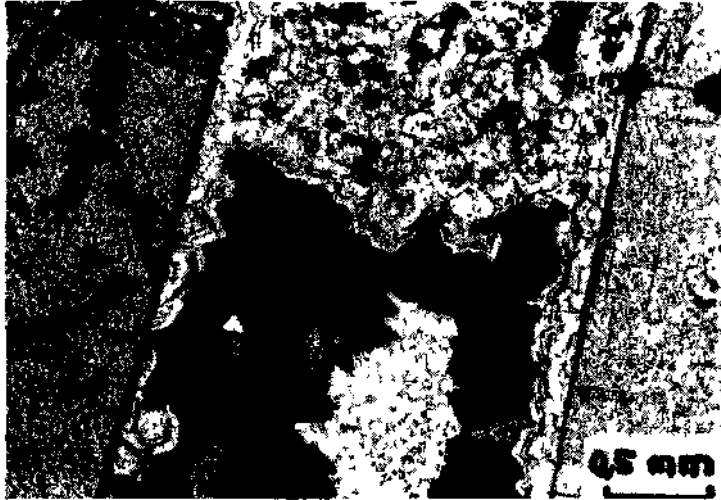
3.3.2. Kurşun-çinko-flotasyonu

Galenit ve Sfalerit; Pb-Sb-Sulfotuzlarıyla ve birbirleriyle kenetlenme göstermektedirler. Mineralojik etüdler sonucu çört analizlerinde belirlenen kurşunun önemli bir kısmının Pb-Sb-Sülfotuzlarına bağlı olduğu anlaşılmıştır. Pasa cevherinde ise zenginleştirilmesi düşünülen Galenit ve Sfalerit'in yerine sekonder Pb ve Zn mineralleri-

nın geçtiği görülmüştür Sfaloritın bir kısmı ise büyüklüğü çoğunlukla 50 nm'un altında olan hipidyomorf kristaller halinde bulunmakta ve ince öğütme gerektirmektedir (Fotoğraf 2)



Fotoğraf 2 — Malerit kristalleri (Gri, hipidyomorf) ve Pb-Sb-Sulfotuzları (beyaz), Kuvars (sijah).



Fotoğraf 3 — Silisli sinteirin boşluğunu dolduran iri kristalli Bant (kenarlarda), Kuvars (zonlu yapı) ve Siderit (ortada), Barit ve Kuvarsta cevher mineralleri görülmektedir.

3.3.3. Barit-flostasyonu

Barit mm ile cm büyüklüğünde iri kristalli bir yapıya sahiptir İdyomorf kristalleri içinde yer yer opak minerallere (PbS, ZnS, FeS₂) rastlanmaktadır (Fotoğraf 3).

Matriki oluşturan kriptokristalin, mikrokristalin kuvars ve kalsedon; kristal kenarlarından başlayarak Barit'in yerini almaktadır. Barit iri kristaller halinde bulunması ve büyük kristal grupları oluşturması nedeniyle fiziksel yöntemlerle zenginleştirmeye elverişlidir. Elde edilen barit konsantrasyonunun tenor ve içerdiği empüriteler açısından kimya ve boya endüstrisinin istediği kalitede olmaması nedeniyle son değerlendirmede bu üründen vazgeçilmiştir.

4. SONUÇ

Yukarıdaki uygulamada da görüldüğü gibi gümüş madenlerinde proses mineralojisi para ve zaman tasarrufu sağlamak amacıyla arama, zenginleştirme testleri ve üretim sırasında hem faaliyetleri yönlendirmede, hem de alınan sonuçları değerlendirmede kullanılan bir araçtır.

KAYNAKLAR

1. WATSON, B.N., Large Low Grade Silver Deposits in N. America, World Mining, 1977, pp. 44-49
2. GUAY, W.J., What is Refractory Ore? Forum 85 - Gold and Silver Recovery, Santa Fe - New York Mexico, 1985
3. BAUM, W., Process Mineralogy of Gold-Silver Ores During Exploration, Metallurgical Testwork and Plant Operation, DMG-GDMB-SGA Joint Meeting, Aachen, 1985
4. BAUM, W., Kişisel yazışma, St. Joe Minerals Corporation Technical Center, Monaca-PA, 1986
5. WESTENBERGER, H., Process Mineralogy, GDMB-Hauptversammlung, Aachen, 1984
6. LEHNE, R.W., WESTENBERGER, H., Aufgaben der Mineralogie bei der Nutzung von edelmetallhaltigem Bergematerial, Jahrestagung der GDMB Fachsektion Lagerstättenforschung, Geisenheim, 1984
7. HERMS, P., KERN, H., Mikroskopie und Mikrochemie der Sulfosalze in PbS-ZnS-FeS₂-Erzen schichtgebundener Lagerstätten der Provinz Kanchanaburi (West-Thailand), Erzmetall 35, Nr. 9, 1982, pp. 436-441
8. BAHR, A., GRALHER, M., HOFFMANN, T.M., Untersuchungen zur Aufbereitung von feinverwachsenen Silber-Golderzen, Erzmetall 34, Nr. 6, 1981, pp. 343-349
9. HOFFMANN, T.M., Kişisel yazışma, Essen, 1986
10. YİĞİTGÜDEN, H.Y., FRIEDRICH, G., Die Silbererzlagerstätte Gümüşköy, Türkei, Poster-Präsentation bei der GDMB-Hauptversammlung, Aachen, 1984

11. YIĞITGÜDEN, H.Y., Die Silbererzlagerstaette Gümüşköy bei Kütahya, Westanatolien-Türkei. Dissertation RWTH Aachen, 1984, 183 p.
12. YIĞITGÜDEN, H.Y., FRIEDRICH, G., Die Silbererzlagerstaette Gümüşköy, Westanatolien/Türkei, Fortschr. Mineral., 63, Beiheft 1, 1985, 261 p.
13. YIĞITGÜDEN, H.Y., FRIEDRICH, G., The Gümüşköy Silver Deposit, West-Anatolia, Turkey - Ore Mineral Paragenesis and Geochemistry of Silver Minerals. Erzmetall 39, Nr. 1, 1986, pp. 14-20
14. YIĞITGÜDEN, H.Y., FRIEDRICH, G., GEYH, M.A., Zur Altersstellung der Bergbautaetigkeit bei Gümüşköy, West-Türkei - Bericht zur "C-Altersbestimmung an Holzkohle aus den Haldenschichten, Aachen, 1979, Yayınlanmamış
15. YIĞITGÜDEN, H.Y., FRIEDRICH, G., Gümüşköy Madeninini Tarihiçesi, Etibank Bülteni, No. 31, 1981
16. ÖZYURT, A., APUL, R., DEMİROK, H., Master arama programı 1983-1987, Etibank 100. Yıl Gümüş Madeni Tesis Mdl., Kütahya, p. 17 s., Yayınlanmamış
- 17....., Assesment and Preliminary Desing of Gümüşköy, Silver Project for Etibank, Fried. Krupp GmbH, 1980
- 18.....Etibank Kütahya Gümüşköy Silver Project Feasibility Study, Etibank Project-Implementation Dept., Ankara, 137 p., 1982, Yayınlanmamış

