



Derleme / Review

MADENCİLİKTE GÖRÜNTÜLEME VE ANALİZ CİHAZLARI

IMAGING AND ANALYSIS DEVICES FOR MINING INDUSTRY

Hatice Yılmaz^{a,*}, Ceren Uygun^{a,**}, Mehmet Tanrıverdi^{a,***}

^a Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

Geliş Tarihi / Received : 11 Mayıs / May 2018
Kabul Tarihi / Accepted : 19 Ağustos / August 2018

Anahtar Sözcükler:

XRD,
XRF,
SEM,
EDS,
MLA.

ÖZ

Bu çalışmada öncelikle madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılan görüntüleme ve analiz cihazlarından optik mikroskop, X ışını kırınım cihazı (X-Ray Diffraction, XRD), X ışını Floresans Spektrometresi (X-Ray Floresans spektrometresi, XRF), Mikroprop (Scanning Electron Microscope, SEM + Energy Dispersive Spectrometre, EDS) ve Mineral Serbestleşme Analizörü (Mineral Liberation Analyzer, MLA) cihazlarının analiz yöntemleri ve kullanım amaçları kısaca tanıtılmıştır. Ardından bu cihazlar kullanılarak yapılan çalışmalardan örnekler verilerek sektördeki ARGE çalışmalarına ve problemlere ne şekilde yaklaşılması gerektiği konusunda bir perspektif ortaya konmuştur.

ABSTRACT

A brief introduction to the analysis devices such as Optical microscope, X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Floresans spectrometer (XRF), Mikroprop (Scanning Electron Microscope, SEM + Energy Dispersive Spectrometre, EDS) and Mineral Liberation Analyzer (MLA) was made in this study. By giving examples of completed studies using these devices, a perspective has also been put forward on R&D studies and how problems should be approached in them mining sector.

Keywords:

XRD,
XRF,
SEM,
EDS,
MLA.

* Sorumlu yazar: hatice.yilmaz@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-9481-8126>

** ceren.bursa@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0003-1382-1396>

*** m.mehmet@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-4465-0756>

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen 6. Uluslararası Maden Makinaları ve Teknolojileri Kongresi Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır. / This paper was published in the 6th International Mining Machinery and Technologies Congress of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

GİRİŞ

Madencilik faaliyeti teknoloji, sermaye ve emek yoğun bir sektördür (TMMOB, 2011). Dolayısı ile yapılan işlemlerde en yeni teknolojilerin kullanılması gerekir. Her madencilik faaliyeti arama, araştırma, analiz ve işletme aşamalarından oluşur. Yüksek tenörlü cevherlerin kalmaması nedeniyle günümüzde artık çok düşük tenörlü cevherlerin işletilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu bakımdan işletilecek cevherin cinsine bağlı olarak çoğu zaman yüzde, binde veya milyonda konsantrasyonlara sahip maden yatakları işletilmektedir. Bu kadar düşük konsantrasyonların belirlenebilmesi için de en ileri analiz tekniklerinin kullanılması gerekmektedir. Analizlerin ilk adımı cevheri tanımlamak için mikroskopik incelemedir. Bu amaçla klasik ışık mikroskobu kullanılır. Ancak minerallerin oranları ve tane boyutları çok küçük olduğunda bu mikroskoplar yeterli olmaz. Bu durumda XRD (X ışını kırınımı ile mineral analizi), XRF (X ışını kırınımı ile element analizi), Mikroprop (SEM+EDS) (taramalı elektron mikroskobu + element analizi) ve MLA (mineral serbestleşme analizörü) gibi daha gelişmiş analiz cihazlarını kullanmak gerekir.

Bu çalışmada ışık mikroskobundan başlayarak XRD, XRF, Mikroprop ve MLA cihazları ile yapılan çalışmalardan örnekler verilerek bu cihazların sektördeki kullanım olanakları ve önemi irdelenmiştir.

1. ANALİZ YÖNTEMLERİ

Madencilik sektöründe kullanılan analiz yöntemlerine her geçen gün yeni yöntemler eklenmekle beraber burada yaygın olarak kullanılan mikroskop, XRF, XRD, Mikroprop ve MLA ile yapılan çalışmalardan örnekler verilmiştir.

1.1. Mikroskopik Çalışmalar

Mikroskopik çalışmalar incelenecek malzemenin özelliklerine ve yapılacak çalışmanın niteliğine bağlı olarak farklı örnek hazırlama teknikleri ve farklı mikroskoplar kullanılarak yapılır.

1.1.1. Cevher Mikroskopisi

Doğadaki minerallerin her birinin kendine özgü kristal yapıları vardır. Farklı kristal yapılarına sahip olan bu minerallerin optik özellikleri de birbi-

lerinden farklıdır. Bu nedenle minerallerin bir kısmı parlak kesit bir kısmı da ince kesit hazırlanarak incelenebilirler. Önemli cevher minerallerinin pek çoğu opak (saydam olmayan) olduğundan üstten aydınlatmalı ışık mikroskobu ile parlak kesitlerde incelenirken, bazı cevher mineralleri ise geçirgen olduğundan polarize ışık altında ince kesitte incelenir (Gültekin, 2014). Şekil 1'de her iki amaç için de kullanılabilen bir ışık mikroskobu görülmektedir.



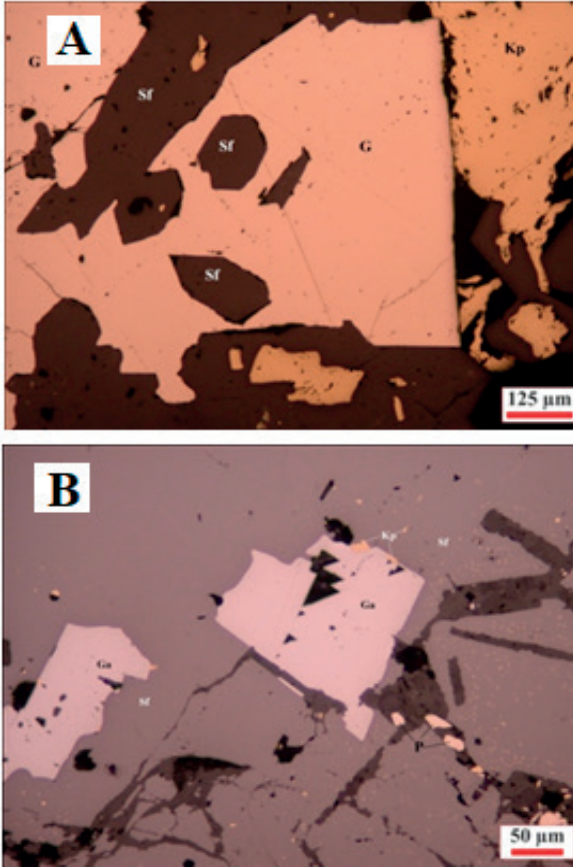
Şekil 1. Parlak ve ince kesit incelemeye uygun bir ışık mikroskobu

Ancak doğada çok fazla mineral olduğundan bunların optik özelliklerinin karışma riski oldukça fazladır. Bu nedenle sadece mikroskopik çalışma ile mineralojik karakterizasyon yapmak yeterli olmaz. Mikroskopik incelemelere ek olarak başka analiz yöntemlerini de kullanarak bulguları doğrulamak gerekir. Mikroskopik inceleme ile minerallerin tanımlanması yanı sıra minerallerin dokusal özellikleri ve serbestleşme karakteristikleri de belirlenebilir (Gültekin, 2014).

Şekil 2A ve B'de bir kalkopirit cevherinden hazırlanmış parlak kesitte belirlenen galen, kalkopirit ve sfalerit mineralleri görülmektedir. Bu kesitlerde görülen galenler kübik öz şekilli ve yarı öz şekillidir (Şekil 2A ve B). Sfaleritler içerisinde eksolüsyon halinde kalkopiritler mevcut olup bunlar sfalerit ile eş oluşlu ikinci evre kalkopiritlerdir. Sfaleritler içerisinde eksolüsyon halinde bulunan dissemine kalkopiritler son derece ince tanelidir (Şekil 2B).

Buradan sfalerit içerisinde dissemine dağılan kalkopiritin çok ince tane boyutunda (birkaç mikrometre) serbestleşeceğini söylemek mümkündür.

Mikroskobik inceleme sonucu elde edilen mineralojik sonuçları başka bir metotla da doğrulamak gerekir. Burada XRD ile mineralojik analiz yaparak mineralleri doğrulamak veya klasik kimyasal analiz yöntemini ya da X Işını Floresans (XRF) yöntemini kullanarak element analizi yaparak mineral-element ilişkisine bakmak, sonuçların doğruluğunu kontrol etmek açısından son derece faydalı olur.



Şekil 2. A ve B: Kalkopirit cevherinden hazırlanmış parlak kesitlerin üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüleri

1.1.2. Binoküler Mikroskopi

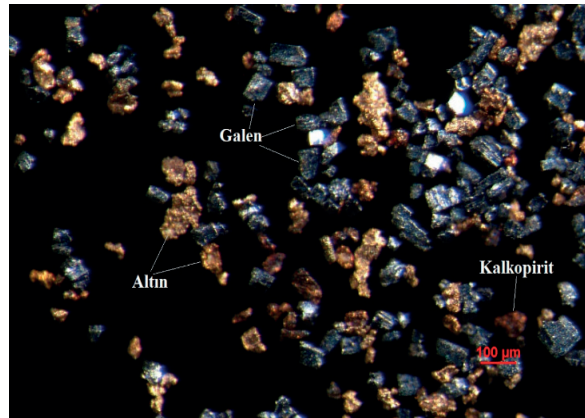
Cevher mikroskobisinde parlak kesit ve ince kesit hazırlanarak inceleme yapılırken binoküler mikroskopta kesit hazırlamaksızın doğrudan taneli malzeme incelenebilmektedir. Şekil 3'te görüntü analizi de yapabilen yeni nesil bir binoküler mikroskop görülmektedir. Bu tür mikroskoplar cevher zenginleştirme işlemlerinin sonuçlarını hızlı bir

şekilde değerlendirme olanağı da vermektedir. Bu mikroskopla zenginleştirilen serbest tanelerin fotoğrafı çekilir. Fotoğraftaki mineraller renk ve saydamlık özelliklerine göre tanımlanır. Ardından çekilen fotoğraf üzerinde dijital olarak tane sayımı yapılarak minerallerin zenginleşme oranları belirlenir. Önceleri manuel olarak yapılan bu işlem, görüntü analiz cihazlarının geliştirilmesi ile dijital olarak yapılabilir olmuştur.



Şekil 3. Görüntü analizi de yapabilen binoküler mikroskop

Altın, kalkopirit ve galen içeren bir cevher Gemini tipi masada konsantre edildikten sonra binoküler mikroskop ile incelenmiş ve elde edilen görüntü Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Galen, kalkopirit ve altın minerallerinin binoküler mikroskop görüntüleri

1.2. X-ışını Floresans (XRF) Yöntemi

X-ışını floresans yöntemi çok farklı malzemenin element kompozisyonunu belirlemek için kullanılan en basit, en kesin ve en ekonomik yöntemlerden biridir (Anon (a), 1997). Özellikle klasik kimyasal element analizine göre daha hızlı bir yöntemdir. Element analizinde kullanılan bir XRF cihazı Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Element analizinde kullanılan XRF cihazı

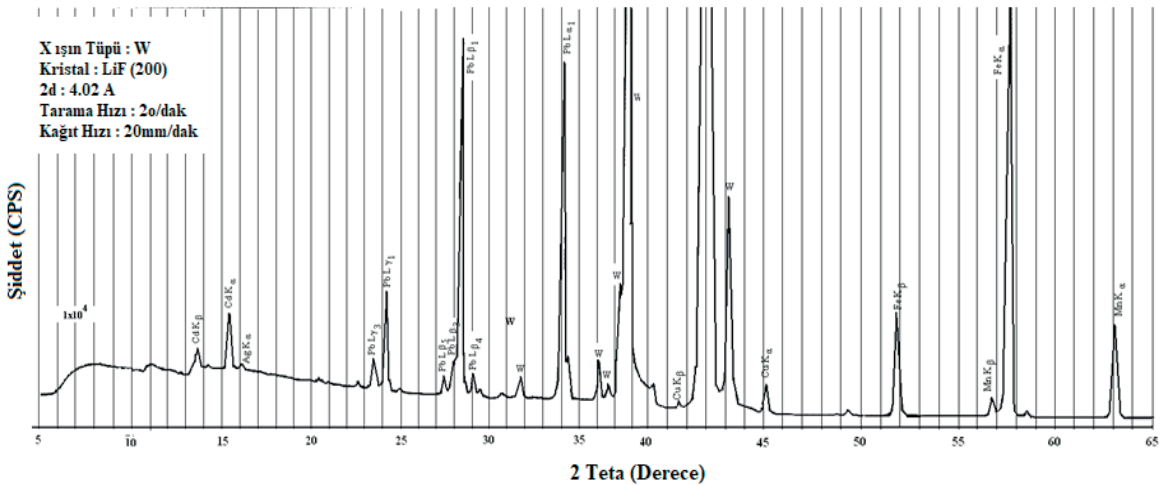
Element analizi yapılacak malzeme -100µm boyutuna öğütülerek toz haline getirilir. Daha sonra doğrudan basınç altında sıkıştırılarak veya uygun bir flaks yapıcı ile çözündürülerek numune hazırlanır. Hazırlanan numune farklı kristal-dedektör çiftleri kullanılarak kalitatif olarak analiz edilir. Şekil 6'da bu şekilde elde edilmiş bir XRF grafiği görülmektedir.

Kalitatif analizle örnek içerisinde bulunan elementler belirlendikten sonra bu elementlerin % oranları, benzer matriste hazırlanmış standart örnekler kullanılarak hazırlanan kalibrasyon doğruları yardımıyla kantitatif olarak belirlenebilir.

1.3. X-ışını Kırınım (XRD) Yöntemi

X-ışını kırınım yöntemi de x-ışını floresans yöntemi ile aynı ilkelere göre çalışır. Ancak her ikisi birbirinden oldukça farklı amaçlarla kullanılırlar (Anon(b), 1997). XRF yöntemi element analizinde kullanılırken XRD yöntemi kristalli yapıya sahip malzemelerin kristal yapıları yardımıyla mineralojik bileşimlerinin tespitinde kullanılır. Öyle ki aynı kimyasal bileşime fakat farklı kristal yapısına sahip iki malzeme ancak XRD yöntemi yardımıyla ayırt edilebilir. Ayrıca XRD, örnek içerisinde düşük oranda bulunan veya ince taneli olduğu için mikroskopik olarak belirlenemeyen minerallerin belirlenmesi ve mikroskopik inceleme sonucunda belirlenen minerallerin doğruluğunu teyit etmek için de yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Şekil 7'de mineralojik analiz amacıyla kullanılan bir XRD cihazı görülmektedir.

XRD yöntemi ile analiz edilecek malzeme -100 µm boyutuna öğütülerek toz haline getirilir ve rastgele yönlendirilmiş örnek hazırlanır. Örnekten alınan kırınım deseni ASTM tarafından hazırlanan standart PDF (Powder Diffraction File) mineral kartla-



Şekil 6. LiF(200) kristali ve ışıltama sayacı (SC) kullanılarak elde edilmiş bir XRF grafiği ve bu grafik üzerine işaretlenmiş elementler



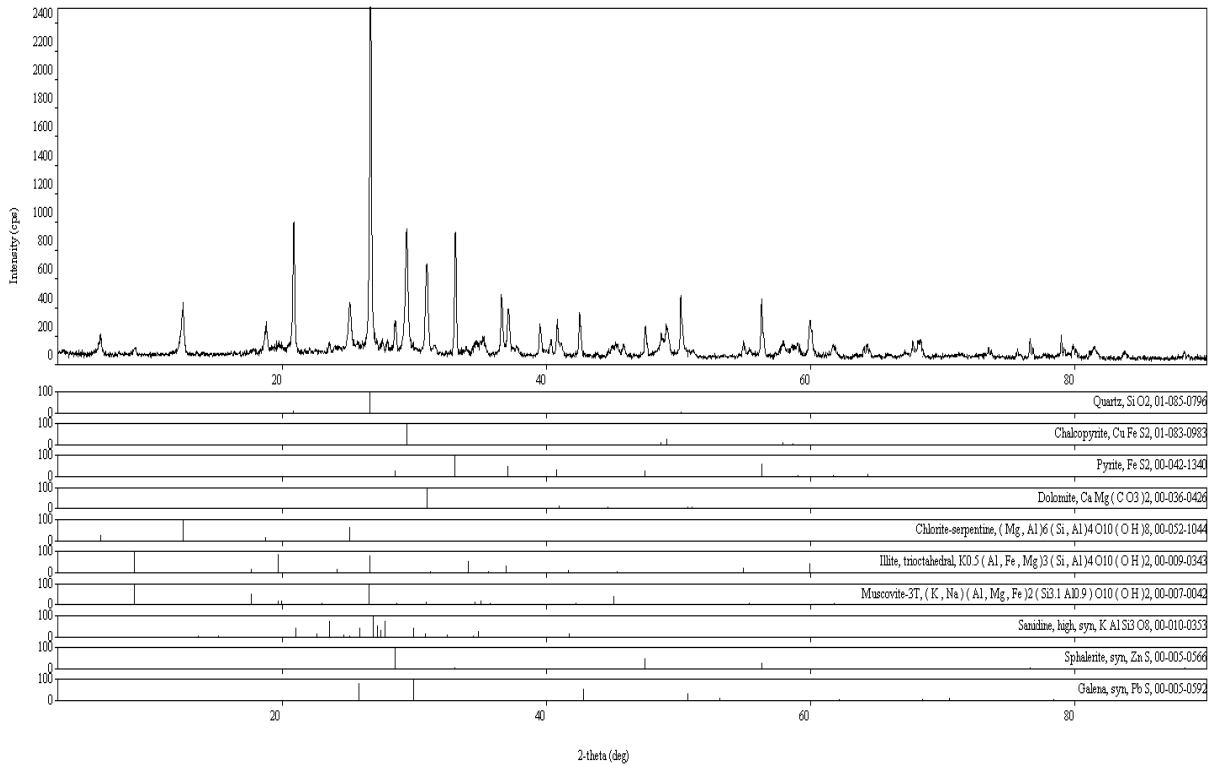
Şekil 7. Mineral analizinde kullanılan XRD cihazı

rı (minerallerin parmak izi olarak tanımlanan) ile karşılaştırılarak mineral içeriği belirlenir (Şekil 8). Ancak burada da tıpkı mikroskobik incelemede olduğu gibi minerallerin karışma olasılığı vardır. Böyle bir durumda sonuçlar ya mikroskobik inceleme ile mineralojik olarak kontrol edilir ya da örneğin kimyasal analizi yapılarak mineral-element ilişkisine bakılır.

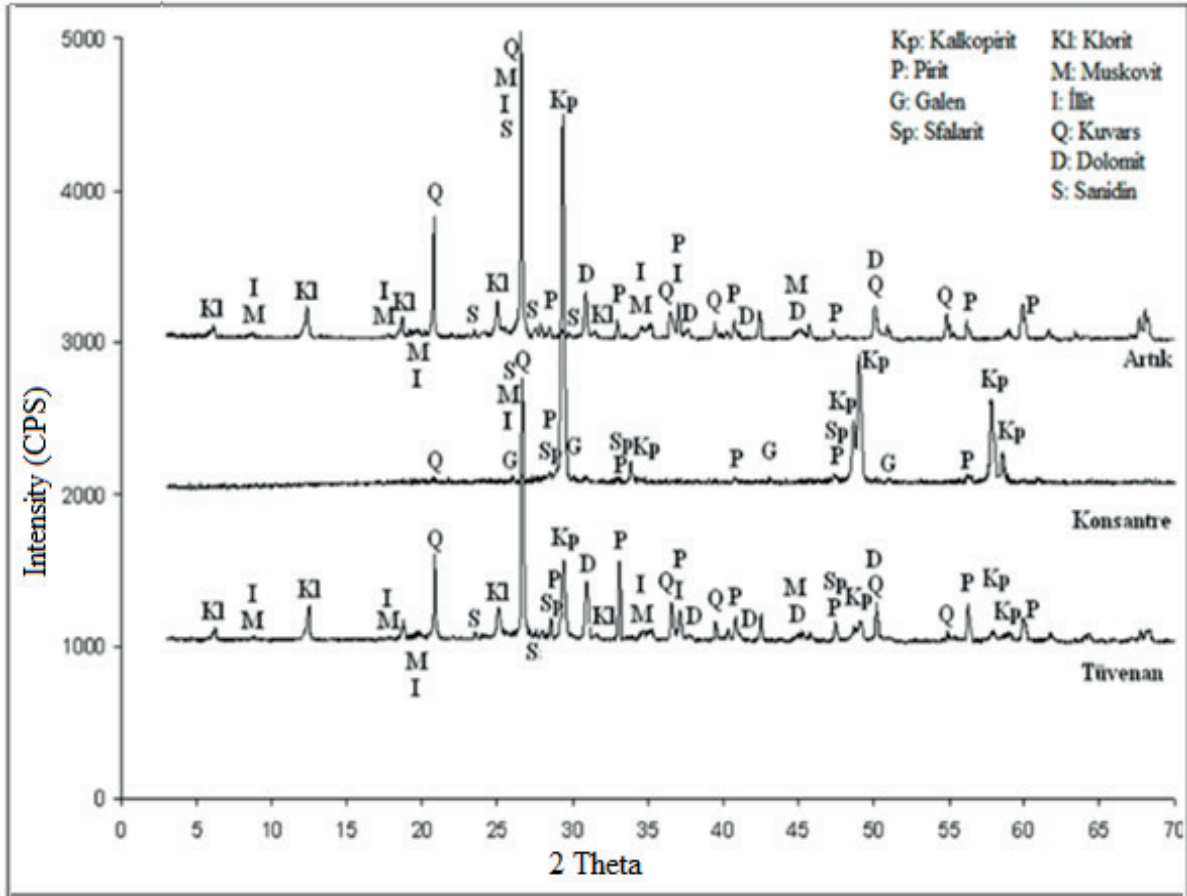
Örnek içerisindeki mineral oranlarının çok düşük olması (cihazın dedeksiyon limitinin altında) ha-

linde XRD metodu ile bu minerallerin tespiti mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda düşük oranlarda bulunan mineral için bir ön zenginleştirme işlemi uygulanarak söz konusu mineralin örnek içerisindeki oranı cihazın dedeksiyon limitleri içerisinde yükseltilir.

Şekil 8'de görülen XRD grafiğinde tüvenan örnek içerisindeki kalkopirit piklerinin şiddeti kuvars piklerinin yanında oldukça zayıftır. Bu örnekte kalkopirit oranını arttırmak için yapılan bir flotasyon işlemi sonucunda elde edilen konsantrenin XRD grafiğinde ise (Şekil 9) kalkopirit piklerinin şiddetlerinin arttığı, bazı minerallerin piklerinin tamamen yok olduğu, tüvenan içerisindeki oranı düşük olduğu için varlığı tespit edilemeyen galen piklerinin küçük de olsa ortaya çıktığı görülmektedir. Diğer taraftan, kalkopirit piklerinin artıkta tamamen yok olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, XRD düşük oranlarda bulunan mineralleri belirlemek için kullanılmakla birlikte aslında zenginleştirme işleminin başarısını tespit etmek için de kullanılan en önemli yöntemlerden biridir.



Şekil 8. Kalkopirit cevherinin XRD grafiği ve bu grafikteki piklerin ASTM kartları ile karşılaştırılması sonucu elde edilen mineral içeriği



Şekil 9. Kalkopirit cevherine ait tüvenan, konsantre ve artığın XRD grafiklerinin karşılaştırması (Günindi, 2014)

1.4. Mikroprop (SEM+EDS) Yöntemi

Mikroprop maden, jeoloji, metalürji, fizik, kimya, biyoloji, veterinerlik, tıp, ziraat gibi birçok alanda organik ve inorganik malzemelerin incelenmesinde kullanılan tahribatsız bir analiz ve görüntüleme cihazıdır (Şekil 10). 10-50 kV'luk hızlandırma potansiyeli kullanılarak malzemelerin SEI (Secondary Electron Image) ve BEI (Backscatter Electron Image) görüntüleri alınır ve bu görüntüler üzerinde EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) analizleri yapılır. Görüntü ve üzerinde yapılan EDS analizleri birlikte değerlendirilerek sonuca varılır.

Böyle bir duruma örnek olmak üzere: endüstriyel olarak üretilmiş bir ürün üzerinde çok küçük noktalar halinde istenmeyen bir yapının bulunduğu örneğin nasıl incelendiğini ele alalım. İstenmeyen bu yapının kaynağının belirlenmesi problemin çözülebilmesi açısından son derece önemlidir.



Şekil 10. Görüntülü element analizi yapabilen Mikroprop cihazı

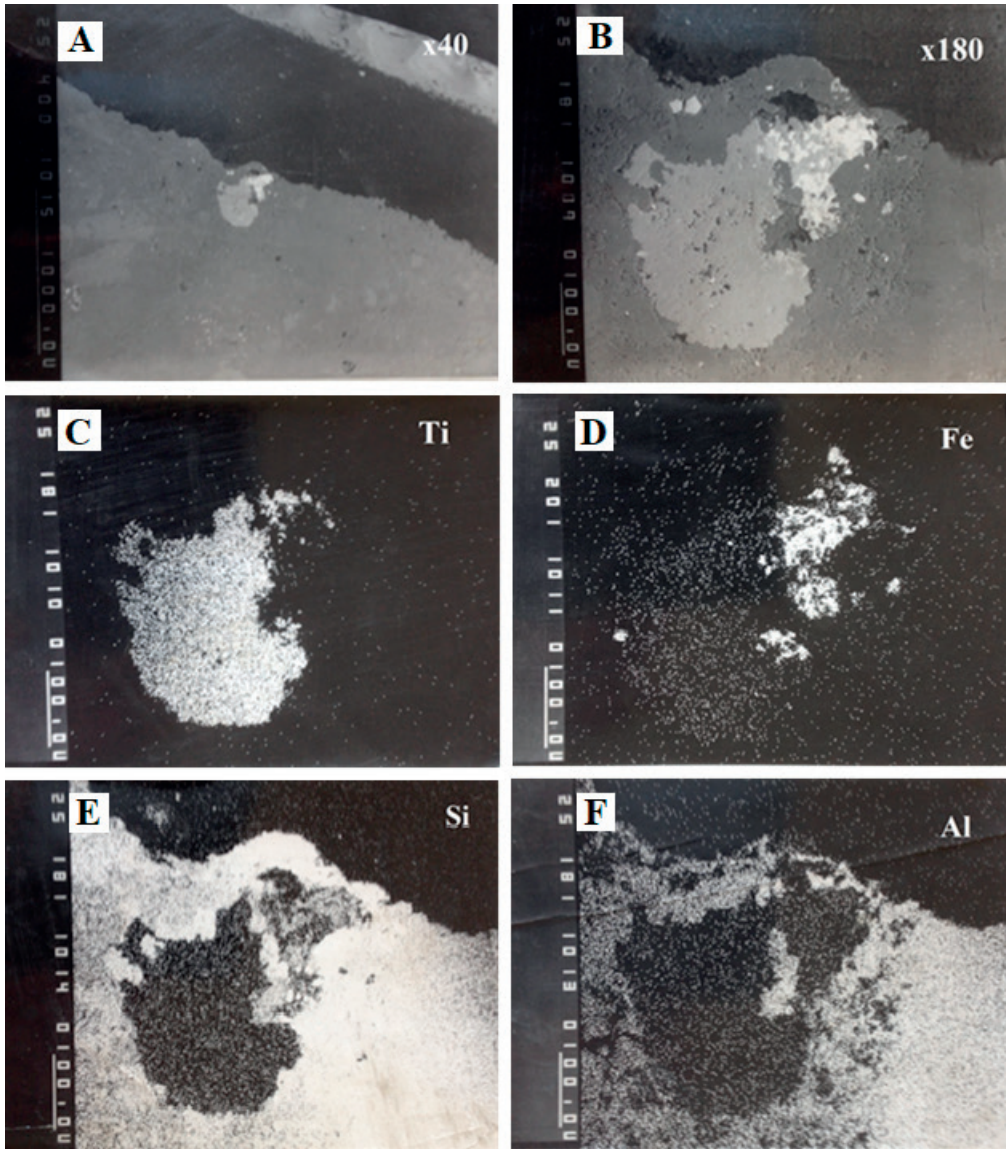
Klasik kimyasal analiz yöntemi burada işe yaramaz. Çünkü klasik kimyasal analiz yöntemi için örnek hazırlama aşamasında bu noktaların yanı sıra matristen de malzeme karışabilir. Kimyasal

analizde tüm malzeme çözülerek analiz yapıldığı için o noktanın tam kimyasal bileşimini belirlemek mümkün olamayabilir. Bu durumda söz konusu noktanın tahribatsız ve görüntülü bir şekilde analiz edilmesi gerekir. Aksi halde malzemenin neresinde analiz yapıldığı bilinemez. Bu bir seramik plakası, metal bir içecek kutusu veya çatı yalıtım malzemesi olabilir. Bu amaçla öncelikle bu noktalardan bir veya birkaç tanesini içine alacak şekilde örnek hazırlanır. Bu noktalar rahatça görülecek şekilde büyütülerek BEI ve SEI görüntüleri alınır. Alınan bu görüntüler üzerinde EDS analizi yapılarak bu noktanın element bileşimi belirlenir. Bulunan bileşim ile olması gereken bileşim arasında bir fark olup olmadığına bakılır. Fark var

ise bunun neden veya işlemin hangi aşamasından kaynaklandığı araştırılır.

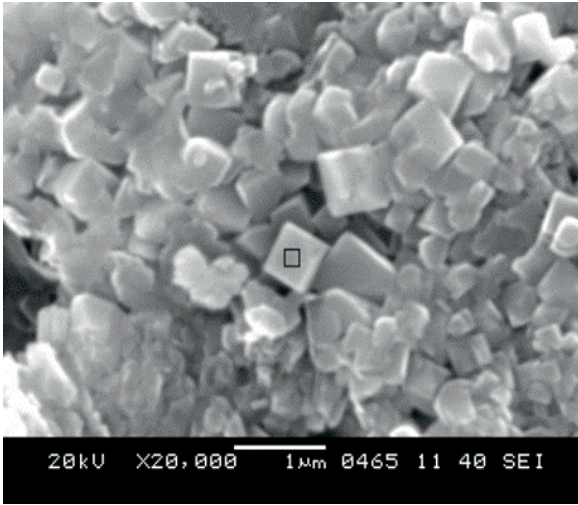
Mikopropta elde edilen BEI görüntüsü incelenen bölgedeki elementlerin atom ağırlıklarına göre ton farkı oluşturur. Böyle bir görüntüde koyu renkli olan bölgeler düşük atom ağırlığına sahip elementleri gösterirken açık renkli olan bölgeler ise yüksek atom ağırlığına sahip elementleri gösterir (Şekil 11A ve B).

Örnek olarak seramik bir plaka üzerinde oluşmuş siyah noktaların kaynağının araştırıldığı bu çalışmada siyah noktaların olduğu bölgeden kesit alındıktan sonra üzeri karbon ile kaplanarak iletken hale getirilmiştir. Daha sonra örnek üze-



Şekil 11. Seramik malzeme üzerindeki siyah noktanın bulunduğu bölgede A: x40 BEI, B:x180 BEI görüntüleri C: Ti, D: Fe, E: Si, F: Al elementlerinin x180 büyütme BEI görüntüsü (B) üzerindeki EDS mapping görüntüleri

rindeki problemleri noktadan küçük büyütmede BEI görüntüsü alınmış (x40) (Şekil 11A) ardından siyah nokta net görülecek şekilde büyütülmüştür (x180) (Şekil 11B). Bu görüntü yüzeyinin tamamı üzerinde EDS analizi yapılarak bölgede Si, Al, Fe ve Ti elementlerinin varlığı belirlenmiştir (Şekil 11C-F). Bunun ardından söz konusu olan bu elementlerin siyah nokta üzerinde ne şekilde dağıldığını belirlemek amacıyla yüzey üzerinde bu elementlerin EDS mapping dağılımları (haritalama) alınmıştır. Elde edilen mapping dağılımları ile görüntü karşılaştırılarak siyah noktayı oluşturan elementler belirlenmiştir. Buradan noktanın açık gri görünen kısımlarının Ti, parlak olan kısımlarının ise Fe içerdiği sonucuna varılmıştır. Böylece seramik üzerinde siyah nokta olarak görünen lekelerin Fe ve Ti'dan meydana geldiği belirlenmiştir. Elde edilen bu bilgiler yardımıyla Fe ve Ti'lu lekenin seramik yüzeyine işlemin hangi aşamasında yerleşmiş olabileceğinin kontrol edilmesi ve ona göre önlem alınması mümkün olabilmektedir.

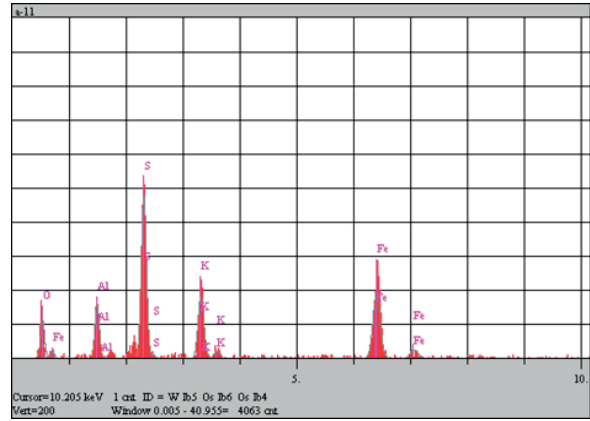


Şekil 12. Özgün şekilli mineral taneleri ve EDS analizi yapılan alan (Yılmaz ve Köktük, 2010)

Mikropropta elde edilen SEI görüntüsü ise üç boyutlu bir görüntü olup kristal yapıları, yüzey özellikleri ile ilgili bilgiler verir (Şekil 12). Kristal taneleri üzerinde yapılan EDS analizleri de mineralleri tanımlama olanağı verir (Şekil 13).

Şekil 12'de görülen özgün şekilli bir mineral tanesi üzerinde seçilen bir alanda yapılan EDS analizi (Şekil 13) bu tanenin K, Fe, Al, S ve O elementlerinden oluştuğunu göstermektedir. Bu element kompozisyonu jarosit minerali ile uyumludur. Nite-

kim bu örneğin XRD analizinde örnek içerisinde jarosit $[KFe_3(SO_4)_2(OH)_6]$ mineralinin var olduğu önceden belirlenmiştir.



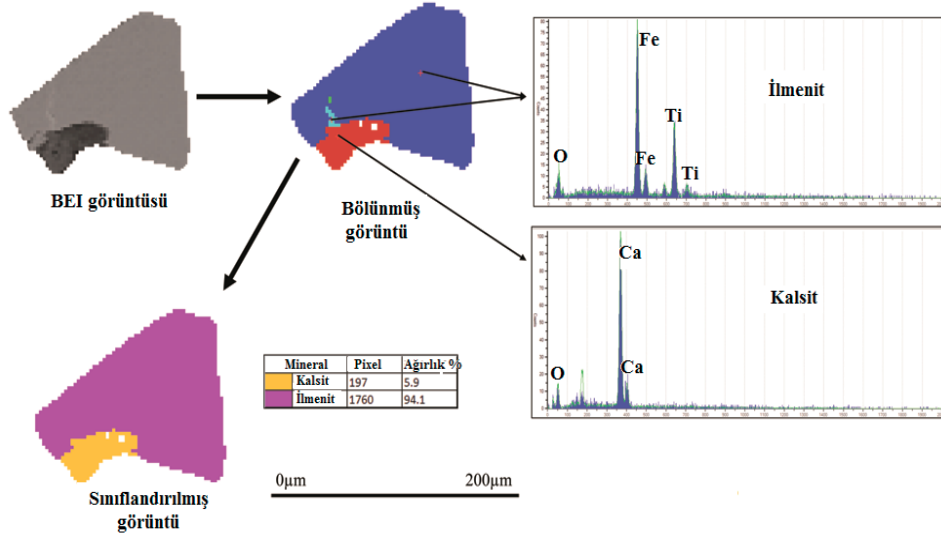
Şekil 13. Şekil 12'de görülen kübik özgün şekilli tane üzerinde işaretlenen alanda yapılan EDS analiz sonucu

1.5. Mineral Serbestleşme Analizörü (MLA)

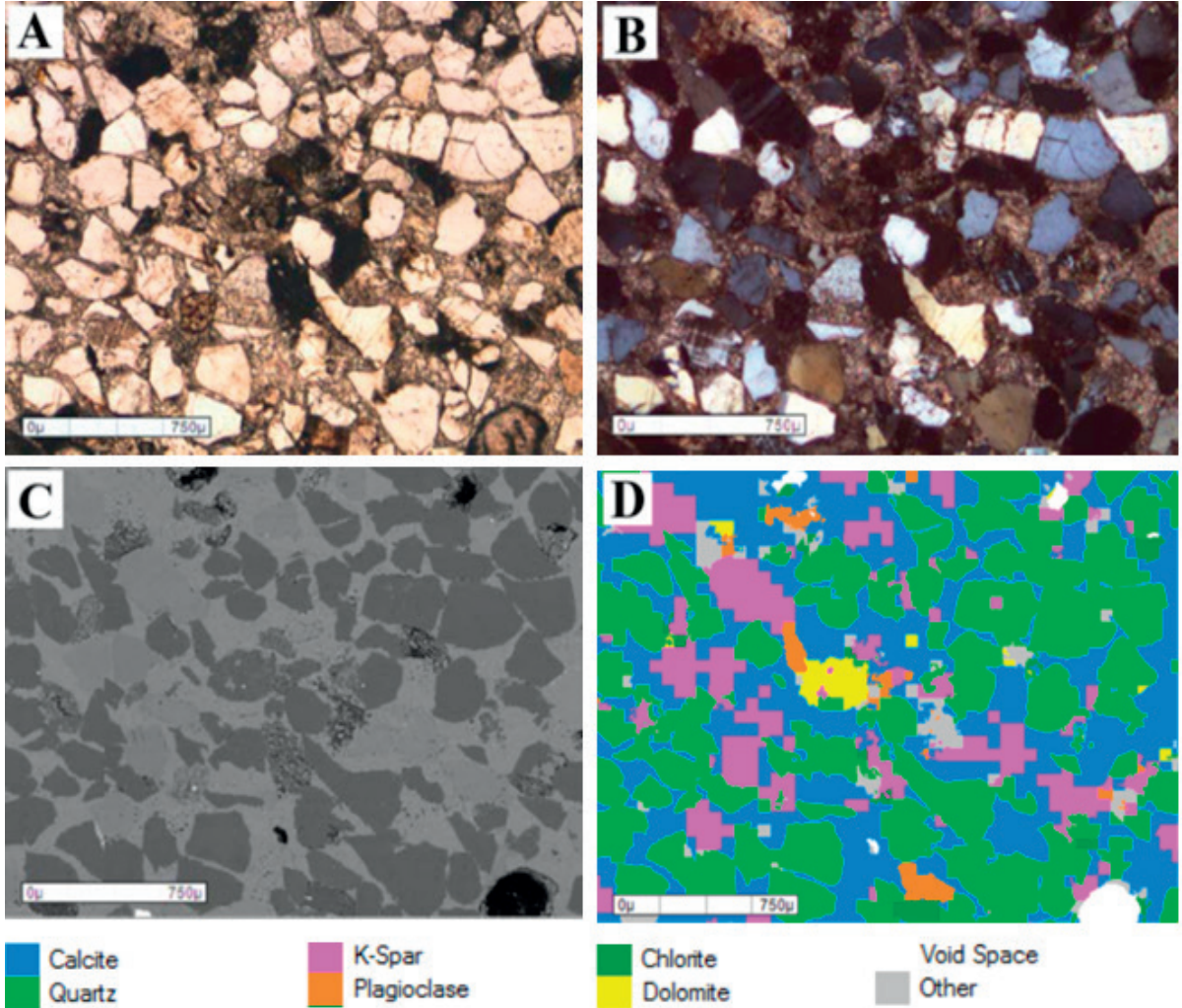
Mineral serbestleşme analizi son zamanlarda mineraloji, metalürji, cevher hazırlama ve zenginleştirme alanlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanan bir yöntemdir. Bu yöntemle elde edilen bulgular tesislerin planlaması ve optimizasyonunda kullanılan en önemli parametrelerdir.

Bu amaçla kullanılan mineral serbestleşme analizörü (MLA), EDS ve özel olarak geliştirilmiş bir yazılım ile desteklenen standart bir taramalı elektron mikroskopudur. MLA ölçümlerinde kullanılan görüntüler SEM ile elde edilir. MLA ölçümlerinde her bir örnek için 40-100 görüntü (4.000-10.000 tane içerecek şekilde) analiz edilir (Gu, 2003; Sylvester, 2012). SEM ile atom ağırlığı ile orantılı olarak gri tonlarda BEI görüntüleri elde edilir. Sonra bu gri tonlardaki taneler üzerinde EDS analizleri yapılarak serbest ve bileşik taneler ve mineraller belirlenir. Belirlenen minerallerin her biri için farklı bir renk tanımlanarak elde edilen görüntü üzerinde serbest ve bağlı tanelerin boyutları, sayıları, alanları dijital olarak belirlenerek serbestleşme oranları ve tenörleri özel yazılım ile hesaplanır.

MLA metodu kullanılarak değerli metallerin (altın, gümüş, uranyum vb.) ve minerallerin kazanılmasına yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır (Gu, 2003; Deysel, 2007; Fandrich vd., 2007; Shaffer, 2010; Sylvester, 2012; Sandmann ve Gutzmer, 2013; Xu vd., 2015). Aşağıda Sylvester (2012)'den alınmış bir MLA çalışması görülmektedir. Bu ça-



Şekil 14. MLA ile analiz edilen bir tanenin tanımlanması (Sylvester, 2012)



Şekil 15. Kalsit çimentolu kumtaşının parlatılmış ince kesitinde elde edilen görüntüler. A: Optik mikroskop polarize ışık görüntüsü, B: çapraz nikol görüntüsü, C: MLA BEI görüntüsü ve D: X-ışını (EDS) ile haritalanmış ve renklendirilmiş mineraller. Mikrofotograflar 5x(2,5x1,8mm) görüntü alanı üzerinden alınmıştır (Sylvester, 2012)

İşimada öncelikle çalışılacak malzemeden parlatılmış ince kesit hazırlanarak optik mikroskop ile incelenmiş, böylece örnek içerisindeki mineraller belirlenmiştir (Şekil 15A ve B).

Daha sonra aynı kesit MLA ile inceleyebilmek için karbon ile kaplanmış ve bu kesitten BEI görüntüsü alınmıştır (Şekil 15C). Ardından bu görüntü

üzerinde EDS yapılarak her bir tanenin hangi mineral veya minerallerden oluştuğu belirlenmiştir. Son olarak da belirlenen her bir mineral için bir renk atanmıştır (Şekil 15D). Mineraller için renk atandıktan sonra yazılım ile hesaplanan tane sayıları, yüzey üzerinde kapladıkları alanlar ve yüzde ağırlıkları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Parlatılmış ince kesitte MLA (Method: GXMAP) ile belirlenen minerallerin tane sayıları, yüzey üzerinde kapladıkları alanlar ve yüzde ağırlıkları (Sylvester, 2012)

Mineral	Ağırlık (%)	Alan (%)	Alan (μm^2)	Tane Sayısı
Allanit	0,13	0,09	777175	626
Apatit	0,12	0,10	869175	472
Biyotit	0,73	0,66	5472725	2955
Kalsit	39,11	38,96	322555850	15972
Klorit	2,44	2,20	18212150	7447
Kromit	0,06	0,03	262825	79
Kordiyerit	0,20	0,21	1708625	1073
Dolomit	1,17	1,10	9101725	3304
Epidot	0,19	0,15	1266325	860
Garnet	0,49	0,33	2746275	1678
Hornblend	0,47	0,37	3065150	1930
İllit	0,44	0,43	3554000	2018
İlmenit	0,32	0,18	1500100	603
Kaolinit	0,48	0,50	4160500	1502
K-spar	13,34	13,55	112157700	19443
Manyetit	0,29	0,15	1270075	1009
Monazit	0,00	0,00	225	1
Muskovit	0,55	0,53	4358225	2415
Plajjoklas	3,16	3,25	26902925	8616
Piroksen	0,14	0,11	875200	595
Kuvars	35,78	36,50	302151625	12498
Rutil	0,17	0,14	1143250	951
Zirkon	0,02	0,01	79125	72
Diğer İz Mineraller	0,06	0,05	420400	331
Mineral Olmayanlar	0,00	0,00	12650	40
Bilinmeyenler	0,00	0,03	258175	176
CamsıYapılar	0,13	0,36	3000750	1478
Toplam	100,00	100,00	827882925	88144

SONUÇLAR

Madencilik sektöründe arama aşamasından başlayarak, cevherleşme tipi, cevherin içerdiği minerallerin belirlenmesi, cevher tenörü, serbestleşme tane boyutu, bağlı tanelerin bağlılık derecesi ve şekli, tanelerin birbirleriyle ilişkileri, cevher içerisinde bulunan elementler ve oranlarının belirlenmesinde cevher mikroskopisi, binoküler mikroskopi, XRF, XRD mikroprop ve MLA analiz yöntemleri önemli rol oynar.

Bu analiz cihazları ve yöntemler cevherin zenginleştirme yönteminin belirlenmesinde yol gösterici olmakla birlikte kurulu tesislerde işletme şartlarının kontrolü ve oluşabilecek problemlerin çözümünde de etkin olarak kullanılan cihaz ve analiz yöntemleridir. Araştırma aşamasında veya tesislerin işleyişi ve kontrolünde bu cihazların kullanımı ve sonuçların değerlendirilmesi konusunda kalifiye elemanların yetişmesi madencilik sektörünün önemli konularından biridir.

KAYNAKLAR

- Anon (a). Elementel Analysis Products, X-Ray Flouresans. <https://www.rigaku.com/en/products/xrf>.
- Anon (b), 1997. Product Information, Desktop X-Ray Diffractometer, Miniflex+. <https://www.rigaku.com/downloads/journal/Vol14.1.1997/miniflex.pdf>.
- Deysen, K., 2007. Leucoxene Study: a Mineral Liberation Analysis (MLA) Investigation. https://saimm.co.za/Conferences/HMC2007/167-172_Deysel.pdf.
- Fandrich, R., Gu, Y., Burrows, D., Moeller, K, 2007. Modern SEM-Based Mineral Liberation Analysis. International Journal of Mineral Processing, 84, 310-320.

Gu, Y., 2003. Automated Scanning Electron Microscope Based Mineral Liberation Analysis: an Introduction to JKMR/FEI Mineral Liberation Analyser. Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, 2(1), 33-41.

Gültekin, A.H., 2014. Cevher Mikroskopisi, Cevher Hazırlama El Kitabı (Eds: Prof. Dr. Güven Önal, Prof. Dr. Gündüz Ateşok, Dr. Kudret Tahsin Perek). Yurt Madencilik Geliştirme Vakfı Yayını, İstanbul, s. 13-34.

Günindi, T., 2014. Kalkopirit Cevherinin Flotasyon ile Zenginleştirme Koşullarının Belirlenmesi. DEÜ Maden Mühendisliği Bitirme Tezi, İzmir, 62 sayfa.

Sandmann, D., Gutzmer, J., 2013. Use of Mineral Liberation Analysis (MLA) in the Characterization of Lithium-Bearing Micas. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 1, 285-292.

Sylvester, P.J., 2012. Chapter 1: Use of the Mineral Liberation Analyzer (MLA) for Mineralogical Studies of Sediments and Sedimentary Rocks. Mineralogical Association of Canada Short Course 42, St. John's NL, s. 1-16.

TMMOB, 2011. Madencilik Sektörü ve Politikaları Raporu, Mart 2011. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/6b4f48fe09a313b_ek.pdf?tipi=5ç.

Xu, Z., Li, Y., Liu, S., Cai, L., Yang, L., 2015. The Characteristics Study of Sphalerite Tailings by Using MLA. Procedia Engineering, 102, 278-286.

Yılmaz, H., Köktürk, U., 2010. Mineralogical and Micromorphological Characterization of Iron Impurity in Gedikler Bentonite Mine (Esme/Usak, Turkey). Asian Journal of Chemistry, 22(4), 3235-3245.

