

MİNERALOJİ-PETROGRAFİ ÇALIŞMALARININ MADENCİLİKTEKİ ÖNEMİ VE MTA LABORATUVARLARININ BUGÜNÜ

Gökçe GÜRTEKİN*

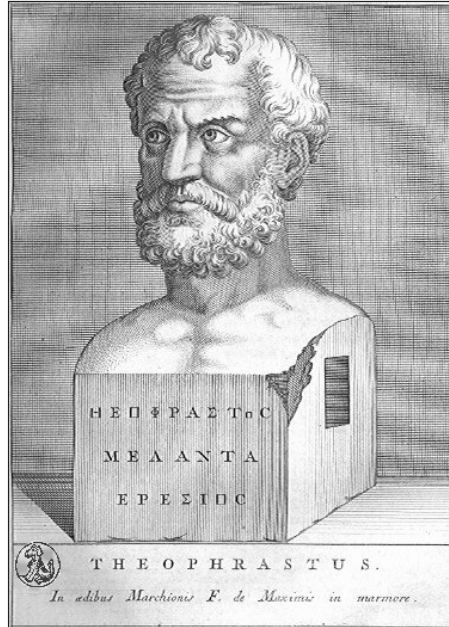
Yaşadığımız yer kabuğu farklı bileşimli kayaçlardan oluşan bir kabuk ile çevrelenmiştir. Karalarda ortalama kalınlığı 35 km, okyanuslarda ise 8-10 km olan bu kabuk, mineralojik ve kimyasal içerikleri birbirinden farklı kayaç gruplarından meydana gelmektedir.

Doğal süreçlerle oluşmuş inorganik yapıdaki mineraller yer kabuğunu oluşturan temel maddelerdir. IMA'nın (International Mineralogical Association) güncel verilerine göre, doğada farklı kristalografik, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip 4.900'un üzerinde mineral tanımlanmıştır. Yer kabuğunun iç yapısını ve hareketlerini inceleyen Levha Tektoniği Kavramına göre, yer kabuğunda farklı jeolojik

ortamlar bulunmakta, ortamların dinamiğine ve ortam şartlarına bağlı olarak, kimyasal ve kristalografik olarak farklı mineraller ve benzer özellikler gösteren mineral grupları oluşmaktadır. Aynı ortam ve şartlarda oluşmuş mineraller ise birliktelik oluşturarak farklı kayaç gruplarını oluşturmaktadır.

Dolayısıyla; mineraller, mineral birliktelikleri ve oluşturdukları kayaçlar jeolojik ortamları temsil etmeleri açısından büyük önem taşımaktadır.

Mineralleri, minerallerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile oluşumlarını inceleyen bilim dalına "mineraloji", minerallerin oluşturduğu kayaçları inceleyerek sistematik olarak sınıflandıran bilim dalına ise "petrografi" denilmektedir. Mineraller ve ilişkili olan mineraloji; yer kabuğunu öğrenmek, araştırmak ve yer altı zenginliklerini ortaya çıkarmak amacıyla eski zamanlardan beri araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Antik Yunan filozof ve yazar Aristotle (MÖ 384-322) ile Theophrastus (MÖ 370-285) minerallerin kökenleri ve özellikleri ile ilgili araştırmalar yapan ve teoriler ortaya koyan ilk kişilerdir. (Şekil 1) Yeni ve farklı ola-



Şekil 1-Yunan Filozof ve Yazar Theophrastus

*Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, Mineraloji-Petrografi Laboratuvarları.

rak kabul edilen teorileri, çoğu kişi tarafından kabul görmese de, ortaya attıkları teoriler ve görüşler, mineral ve mineraloji kavramlarının ortaya çıkması, gelişmesi ve evrimi açısından başlangıç noktası olarak kabul edilmektedir.

Aristotle ve Theophrastus'dan sonra bir çok araştırmacı konu ile ilgilenmiş olmasına rağmen, 16. Yüzyılın başlarında "mineralojinin babası olarak kabul edilen" Alman bilim adamı Georgius Agricola ile birlikte, mineraloji gerek terminoloji gerekse uygulamalar açısından bugün anladığımız haliyle kullanılan bir bilim dalı olarak şekillenmeye başlamıştır.

Agricola minerallerin tanımlanması ve sistematik olarak gruplandırılmalarının dışında, metalurji, metallerin eritilmesi, cevherlerin jeolojisi ve kazanımı, madencilik ve madenlerin tasarımı gibi konularda da çalışmalar yürüterek modern mineralojik araştırmalara yol göstermiştir. (Şekil 2)



Şekil 2- Alman Mineralog Georgius Agricola

Dünya genelinde jeopolitik ve sosyoekonomik koşulların değişmeye başlamasıyla gelişen sanayi ve teknolojinin ihtiyacı olan yer altı zenginliklerine duyulan ihtiyaçlar artmış, dolayısıyla yer bilimleri ve madencilikle doğrudan ilişkili

mineraloji gibi bilim dallarının önemi giderek artmıştır. (Şekil 3)



Şekil 3- 1920'li yıllarda petrografik analizlerde kullanılan polarize mikroskop

Zamanla konu ile ilgili çalışan araştırmacıların sayısı artmış, yeni cihaz ve metotların geliştirilmesiyle klasik mineraloji çalışmalarının yanında aletsel mineraloji çalışmaları hız kazanmıştır. Tüm bu gelişmelerin sonucu olarak, günümüzde yapılmakta olan mineralojik analizler, temel mineraloji kavramlarına dayalı olarak çalışan modern cihazlarda güncel metotlar ile yapılır konuma gelmiştir.

Yapılan mineralojik analizler yer bilimleri ve madencilik açısından büyük önem taşımakta, elde edilen bilgiler temel jeolojik araştırmalar ile maden aramalarından, bulunan maden yataklarının modellenmesi, maden üretim tesislerinin tasarlanması ile üretim süreçlerinin geliştirilmesi ve doğal mineral kaynaklarının endüstriyel açıdan kullanımına yönelik kalite kontrol çalışmalarında kullanılmaktadır.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi

Başkanlığı (MAT) bünyesindeki, Mineraloji Petrografi Araştırmaları Koordinatörlüğü, yaptığı mineralojik ve petrografik analizler ile, jeolojik, jeofizik araştırmalar, maden araştırmaları, enerji kaynaklarının araştırılması ve cevher zenginleştirme teknolojileri konularında çalışmalar yürüten, MTA bünyesindeki diğer birimlere hizmet veren destek birimidir. Ayrıca konu ile ilgili faaliyetler gösteren kamu kuruluşları, üniversiteler ve özel sektör ile şahıslara da ücreti karşılığında analiz hizmeti vermektedir.

Mineraloji ve Petrografi konularında araştırmalar yapan ve analiz hizmeti veren Koordinatörlük, bünyesinde laboratuvarların ekipman ve yöntem açısından modernize edilmesi, uzman personelin bilgi düzeyinin artırılması ve yürütülen hizmetlerin kalitesinin artırılarak uluslararası kriterlere uygun hale getirilmesi gibi temel amaçlara sahiptir.

Bu amaçlar doğrultusunda yerli ve yabancı emsal laboratuvarlardaki uygulamalar ve ekipman durumu sürekli olarak takip edilmekte, yer bilimleri ve madencilik sektöründeki gelişmeler ve talepler doğrultusunda yeni analiz metodları hizmete alınmakta, uzman personelin bilgi birikimini artırmaya

yönelik olarak eğitime ağırlık verilmekte ve akredite analiz parametre sayısını artırmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

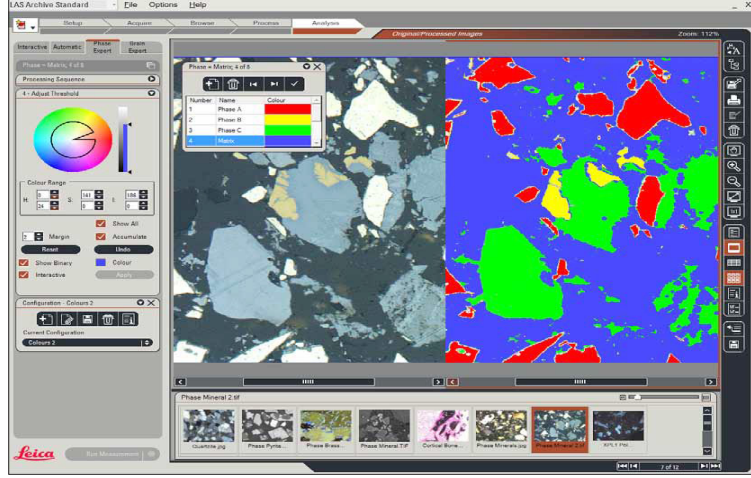
Amaç ve hedefler doğrultusunda son 10 yıl içerisinde Mineraloji ve Petrografi laboratuvarları cihaz ve ekipman açısından modernize edilmiş, gelişmekte olan sektörün talep ve ihtiyaçları doğrultusunda yeni analiz metodları hizmete alınmıştır.

Mineraloji ve petrografi araştırmalarının temelini oluşturan petrografik analizler, alınan yeni cihaz/ekipman ve modern mikroskoplar ile yapılabilmeye başlamıştır. Petrografik analiz rapor formatları uluslararası kriterlere uygun hale getirilmiş, doğal taşların CE belgesi alabilmesi için zorunlu olan ve TS EN 12407 standardına göre yapılan petrografik analizleri akredite olmuştur.

Alınımı yapılan XRD (X-ray diffraction) cihazları ile, mikroskopik yöntemlerle tanımlanamayan mineral gruplarının analizleri yüksek hassasiyette hızlı bir şekilde yapılabilmeye başlamıştır, uluslararası olarak kabul görmüş Rietveld metodu kullanılarak miktarsal XRD (kantitatif) analizleri yapılmaya başlanmıştır (Şekil 4-5).



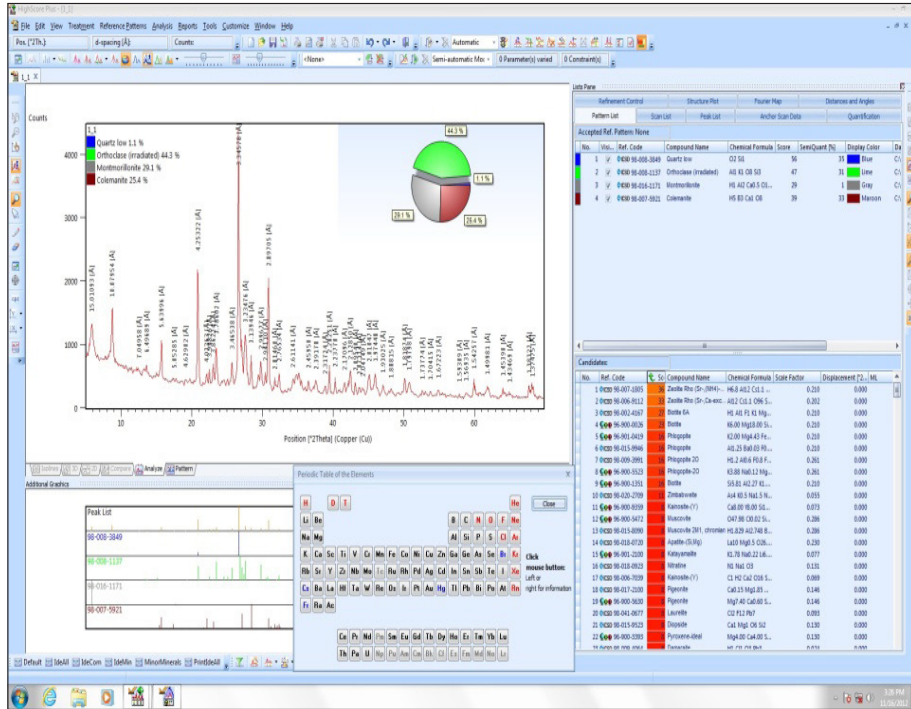
Şekil 4- Petrografik Analiz



Şekil 5- Görüntü analiz sistemi ile detay petrografik analiz

Özellikle petrografik ve XRD analizleri ile diğer analiz metotlarını, gerek duyulan durumlarda, desteklemesi amacıyla masaüstü XRF (EDXRF) cihazı alınmış, pelet şeklinde hazırlanan numunelerde ateşte kayıp (LOI) miktarları da dahil olmak üzere standartsız yarı kantitatif olarak yüzde veya ppm mertebesinde analizler gerçekleştirilir duruma gelmiştir. (Şekil 6)

İnorganik yapıların incelenmesinde tercih edilen ancak mineralojik uygulamalarda da tercih edilen FT-IR (Fourier Transform Infra-red Spectroscopy) analizleri hizmete alınmıştır. Mineralojik uygulamalarda yeni bir metot olan FT-IR ile, toz veya pelet haline getirilmiş numunelerde hızlı ve pratik bir şekilde mineral tanımlamaları yapılmakta ve faz değişimleri belirlenebilmektedir.



Şekil 6- XRD ile yapılan Rietveld analizi

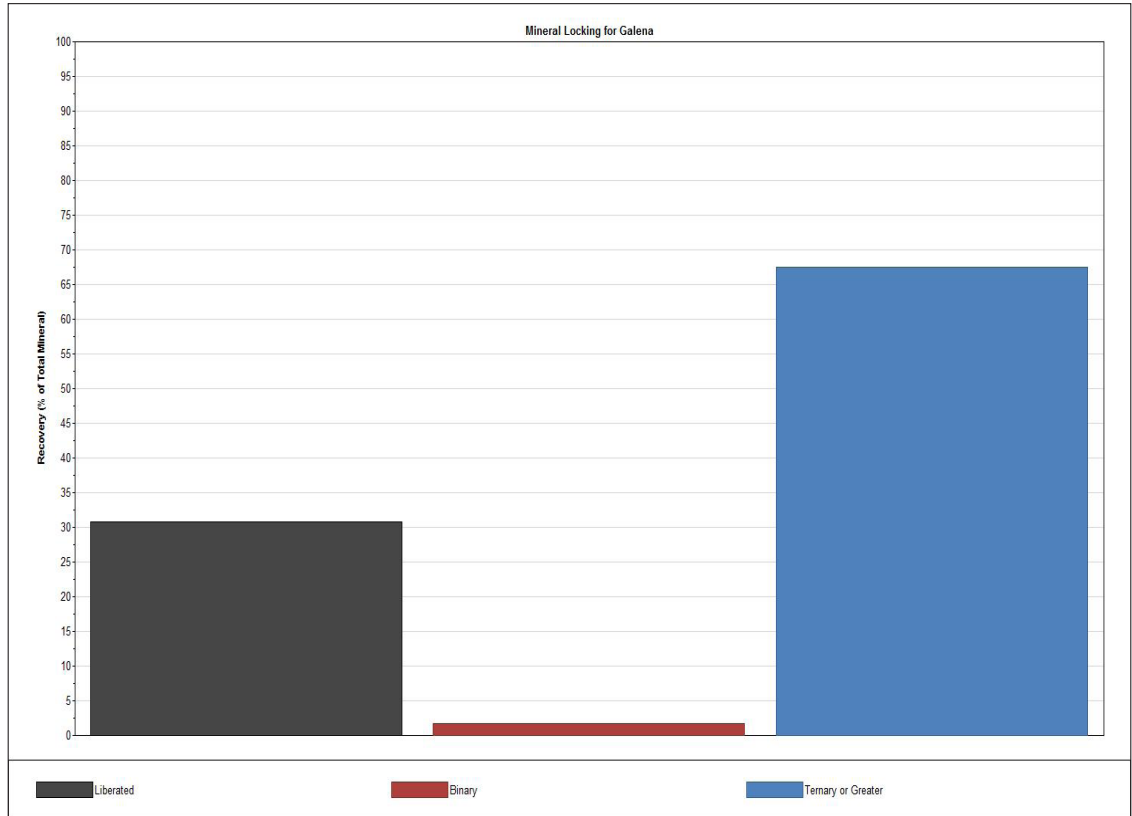
Maden yataklarının oluşumunun modellenmesi açısından büyük önem taşıyan sıvı kapanım analizleri ile minerallerin ilk kristalleşme sıcaklıkları ve mineralleri oluşturan çözeltilerin tuzluluk değerleri belirlenmektedir. Uygun kristal boyutunda ve yeterince sıvı kapanım içeren ışık geçirgen minerallerde (kuvars, florit, barit ve sölestin gibi) analog kamera ile, ışık geçirgenliği olmayan minerallerde ise (pirit, molibdenit, enarjit, kalkozin, stibnit, sinobar, sfalerit ve volframit) IR kamera ile analizler yapılmaktadır.

Alımı yapılan kömür petrografisi spektral analiz sistemi sayesinde, doğal organik katı yakıt ve türevlerinin analizleri ile yansıtma (reflectance) ölçümleri dünya standartlarında yapılabilecek hale gelmiştir. Kömür numunelerini hazırlama ve vitrinit yansıtma analizlerinde TS 6807 ve TS ISO 7404-5 standartlarına göre akredite olunmuştur.

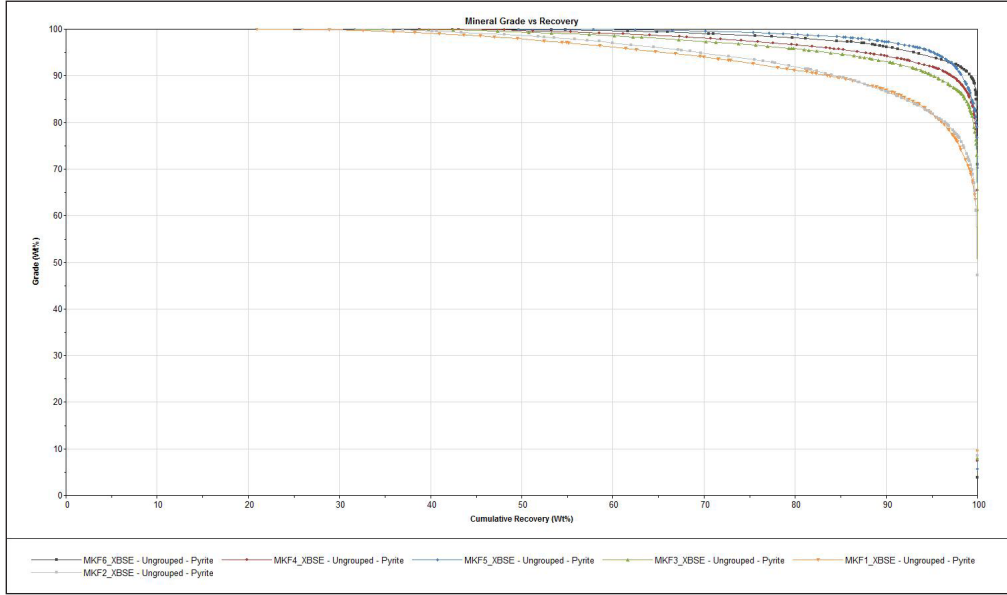
Taramalı elektron mikroskop (SEM) uygulamaları ile; yeni alınmış olan FEG-SEM (Field Emission Gun) sayesinde yüksek büyütme oranlarında yüksek çözünürlüklü görüntü alma, CL (cathodoluminescence) ve standartsız yarı kantitatif mikrokimyasal EDS analizleri yapılmaya başlanmıştır.

Ülkemizde sadece MTA Genel Müdürlüğü bünyesinde bulunan, yeni alınan cihazlar ile birlikte; ekonomik değere sahip cevher minerallerinin zenginleştirilmesi, zenginleştirme süreçlerinin belirlenmesi ve geliştirilmesi açısından önem arz eden "proses mineralojisi" uygulamalarına ağırlık verilmiştir.

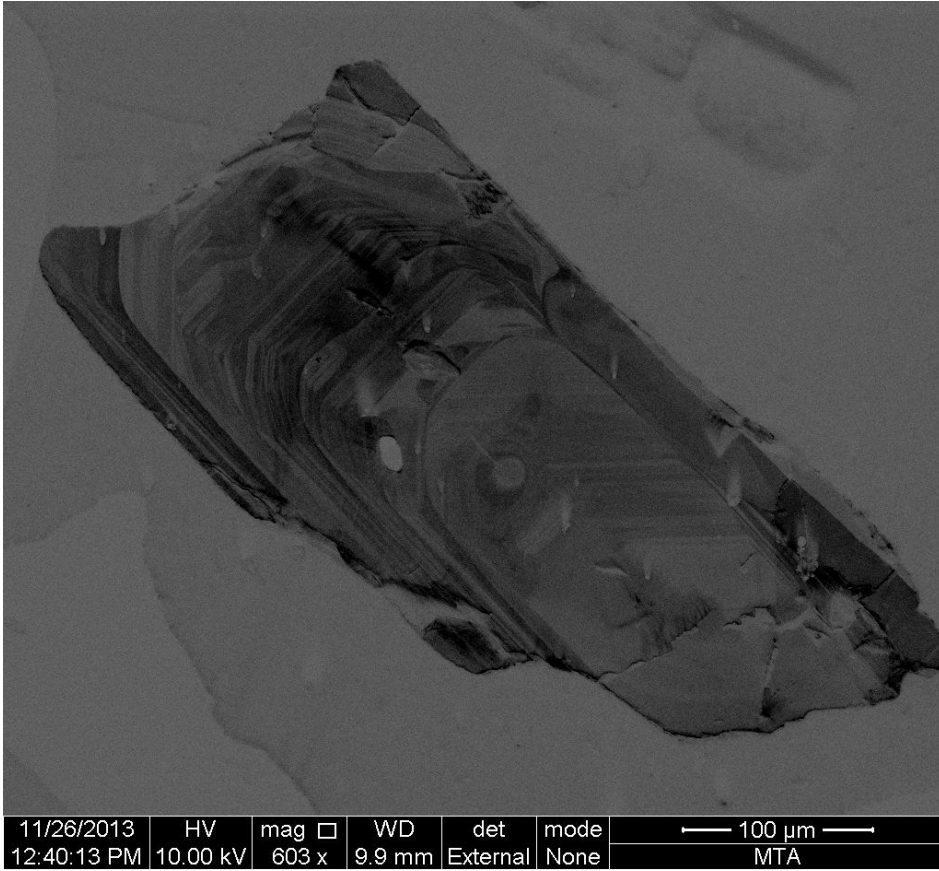
Bu uygulamalarda cevher karakterizasyonu yapılarak cevher minerallerinde yapı doku ilişkileri, alterasyon türü ve dereceleri belirlenmekte, zenginleştirme işlemine tabi tutulmuş numunelerde serbestleşme tane boyu, kenetlilik ve serbestleşme derecesi analizleri (MLA) gerçekleştirilmektedir. (Şekil 7-8-9)



Şekil 7- MLA Analizi.



Şekil 8- MLA Analizi.



Şekil 9- Zirkon mineralinin taramalı elektron mikroskobunda CL dedektör ile alınan görüntüsü.

MADEN ARAMACILIĞINDA JEOKİMYA VE MTA JEOKİMYA LABORATUVARLARI

Yurdaer BABUÇCUOĞLU*

İlk defa, Ozonun kaşifi İsviçreli kimyacı Christian Friedrich Schönbein¹ tarafından kullanılan Jeokimya ifadesi Jeoloji ve Kimya bilimlerinin disiplinler arası ilişki kurduğu bir bilim olarak anlam bulmuştur. En basit tanımıyla yer kürenin kimyasal açıdan incelendiği bilim dalıdır.

Jeokimyanın maden aramacılığındaki amacı ise yer küredeki elementlerin miktarlarının ve dağılımlarının tespit edilmesidir. Kendi içinde genel jeokimya ve uygulamalı jeokimya olarak iki dala ayrılan jeokimyanın maden aramacılığı ile ilgili olarak kimyacıları ilgilendiren tarafının daha çok uygulama tarafı olduğunu söyleyebiliriz. Kimyacılar için amaç, maden yataklarının bulunabilmesi için yer kürenin elementel dağılımının tespit edilmesine yönelik yöntemlerin araştırılarak bulunması ve kullanılmasıdır. Yer kürenin elementel dağılımına yardımcı olan en önemli çalışma, Goldschmidt² tarafından yapılan sınıflandırmadır (Goldschmidt Classification).

Yer kürenin elementel dağılımının tespit edilmesine yönelik analiz yöntemlerini ise jeokimyasal analizler olarak tanımlayabiliriz. Jeokimyasal analizlerde hedef noktası majör (birincil), minör (ikincil) ve iz elementlerdir.

Majör elementler, yer kürede % 1'den fazla oranda bulunurlar ve genellikle kayaçların % 95' inden fazlasını oluştururlar. Bunlar; Al, Si, Fe, Mg, Ca, K, Na elementleridir ve yapısal olarak oksijenle bileşik oluşturduklarından oksit yapısıyla tayin edilirler (Çizelge 1). Miktarları yüzde seviyelerinde ifade edilir.¹ Kimyasal analiz için tercih edilen yöntemler daha çok XRF (X-ray fluorescence)'dir.

Çizelge 1- Yer kürenin Kimyasal Kompozisyonu (Earth Science)

Element (sembol)	Kitlece Oran (%)	Hacimce Oran (%)
Oksijen (O)	46,10	94,04
Silisyum(Si)	28,20	0,88
Alüminyum(Al)	8,23	0,48
Demir (Fe)	5,63	0,49
Magnezyum (Mg)	2,33	0,33
Kalsiyum (Ca)	4,15	1,18
Sodyum (Na)	2,36	1,11
Potasyum (K)	2,09	1,42
Diğer	0,91	0,07

Minör elementler ise majör elementlere göre miktarca daha az bulunan (% 0,01 – 0,1) elementlerdir. Bunlar, Ti, Mn, P, Cl, Rb, Sr, Ba, Zr, V, Cr, F, S, H ve C elementleridir. Miktarları daha çok % ve ppm seviyelerinde ifade edilir. Kimyasal analiz için tercih edilen yöntemler daha çok XRF, ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry), ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)

İz elementler ise yer kürenin miktarca (< % 0,1) çok azını oluşturan elementlerdir. En önemlileri maden yatağı olma niteliğine sahip Cu, Zn, Pb, Mo vb., gibi elementlerdir. Miktarları daha çok ppm ve ppb seviyelerinde ifade edilir. Kimyasal analiz için tercih edilen yöntemler daha çok XRF, ICP-OES, ICP-MS ve AAS (Atomic Absorption Spectroscopy)'dir.

Yer küreyi oluşturan elementlerin miktarları oranında majör, minör ve iz elementler olarak sınıflandırıldığını biliyoruz ve maden yataklarının bulunması aşamasında elementlerin birbirleri ile olan etkileşimlerini dikkate almamız gerekmektedir. Ana hedef olan elementi (gösterge element) ve bununla birlikte iz sürücü diğer elementlerin araştırılması jeokimyasal analizlerde temeldir.

Jeokimyasal aramalarda önemli bir unsur ise, jeokimyasal prospeksiyonda, cevher

*Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, Analiz Laboratuvarları.

yatağının yerini bulmaya yarayan nindikatör elementlerdir. Bu elementler Cu, Fe, Si gibi ekonomik değeri olan elementlerdir. Diğer taraftan ekonomik değeri olmamakla birlikte cevher yatağının bulunmasına yardım eden iz sürücü/kaşif (pathfinder) elementler bulunmaktadır. Dolayısıyla tek element yerine çoklu element tayinine dönük kimyasal analiz yöntemlerinin tercih edilmesi gerekmektedir.

Jeokimyasal aramalarda elementlerin beraberlikleri söz konusudur. Aynı yapı içinde olması beklenen muhtemel çiftler ve/veya gruplar, araştırma aşamasında birlikte takip

edilirler. Dolayısıyla element tayini için seçilen kimyasal analiz yöntemleri bu beraberlikleri aynı anda tayin etmeye yönelik olmalıdır. Bazı gruplar şu şekildedir (Çizelge 2).

Jeokimyasal analizlerdeki önemli parametrelerin başında örnek alım yöntemleri gelir. Aynı çalışmaya bağlı olarak alınan örneklerin aynı koşullarda alınması gerekir. Kirlilikten kaçınmak, dolayısıyla jeokimyasal örneklerin alındığı sahanın geçmişinin araştırılması gerekmektedir.

Maden aramacılığına yönelik yapılan jeo-

Çizelge 2- Genel Mineral Tipleri ve Element Grupları (ALS Geochemistry Schedule of Services)

Genel Mineral Tipleri	Element Grupları
Kil Tipi Altın (Carlin-type Gold)	Ag, As, Au, Ba, Bi, Tl
Porfiri Bakır-Altın-Molibden (Porphyry Copper-Gold-Molybdenum)	As, Au, Cu, Mo, Pb, Re, Sb, Te, Zn
Epitermal Altın ve Gümüş-Bakır (Epithermal Gold and Silver-Copper)	Au, Ag, Cu, As, Zn, Pb, Sb, Mo, Bi, Sn, Te, W
Polimetallik Gümüş-Altın-Kurşun-Çinko (Polymetallic Silver-Gold-Lead-Zinc)	Ag, Au, Zn, Pb, Mn, Cu, Ba, As
Nikel-Bakır-PGE Sülfid (Nickel-Copper-PGE Sulfide)	Ni, Cu, PGEs, Co, Cr, Zn, Si, Ti
Nadir Dünya Elementleri ve Az Bulunur Metallerle birlikte Pegmatit (Pegmatites with Rare Earth Elements and Uncommon Metals)	REEs, U, Th, Be, Nb, Ta
Nadir Toprak Elementleri (Rare earth elements (REEs))	Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu
Platin Grubu Elementleri (Platinum Group Elements (PGEs))	As, Ag, Au, Cu, Ni, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt

kimyasal analizlerde artık çoklu element tayini ve düşük dedeksiyon limitleri gerekmektedir. Bu gerekliliği yerine getirmek adına uygun laboratuvar şartlarının sağlanması ve yetkin personelin yetiştirilmesi gerekmektedir. Jeokimyasal analizi yapacak uzman için önemli nokta yukarıda bahsedilen uygun yöntemleri kullanmaktır.

Ülkemizde ve dünyada maden aramacılığına hizmet eden ulusal ve uluslararası analiz laboratuvarlarının hemen hemen hepsi benzer analiz yöntemlerini kullanmaktadır. Bu laboratuvarların öne çıkanları; ACME (<http://acmelab.com>), ALS (<http://acmelab.com>), ACTLabs (<http://www.actlabs.com>), ve SGS (<http://www.sgs.com>) dir. Bu laboratuvarların ülkemizde de şubeleri bulunmaktadır. Ülkemizde benzer hizmet veren en büyük ve etkin laboratuvar ise Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, Analiz Laboratuvarları Koordinatörlüğü bünyesinde faaliyet gösteren laboratuvarlarıdır (<http://www.mta.gov.tr>). Bu laboratuvarların birbirlerinden farkı, sundukları hizmetin ücreti ve analizlerde ulaştıkları dedeksiyon limitleridir.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, Analiz Laboratuvarları Koordinatörlüğü bünyesinde faaliyet gösteren laboratuvarlar son yıllarda yapılan yeniliklerle ve personel eğitimleri ile jeokimyasal analiz konusunda uluslararası platformda boy gösterebilecek duruma gelmiştir. Analiz kataloğunda dünyadaki benzer laboratuvarların kullandığı tüm yöntemleri görebiliriz. Analiz Laboratuvarları Koordinatörlüğü bünyesinde faaliyet gösteren laboratuvarlarda en klasik kimyasal tekniklerden, en son entsrümantel (ICP-MS, ICP-OES, AA, XRF vb.) yöntemlere kadar geniş bir yelpaze-

de hizmet verilmektedir ve yaklaşık olarak 70 elementin tayini amaca yönelik olarak farklı dedeksiyon limitlerinde yapılabilmektedir.

Jeokimyasal Analizleri yapan teknik personelin kimya eğitimi almış olmaları, analizler sırasında uygulanan yöntemler açısından avantaj sağlamaktadır ancak diğer taraftan analiz sırasında elde edilen verilerin yorumlanması ve muhtemel sorunların bulunabilmesi açısından jeoloji bilimi alanında temel maden jeokimyası eğitimi almaları gerekmektedir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- 1) Christian Friedrich Schönbein, Available at http://en.wikipedia.org/wiki/Christian_Friedrich_Sch%C3%B6nbein (Erişim tarihi 13 Mart 2014)
- 2) Victor_Goldschmidt, Available at, http://en.wikipedia.org/wiki/Victor_Goldschmidt (Erişim tarihi 13 Mart 2014)

Reference tables for Physical Setting/EARTH SCIENCE (2011), Available at <http://www.p12.nysed.gov/assessment/ref-table/earthscience-rt/esrt2011-engr.pdf> (Erişim tarihi 13 Mart 2014)

ALS Geochemistry Schedule of Services (2013), Available at <http://www.alsglobal.com/en/Our-Services/Minerals/Geochemistry/~media/01454C35E9B746B-49424C130656F22E7.pdf> (Erişim tarihi 25 Nisan 2013)

<http://acmelab.com>

<http://www.alsglobal.com>

<http://www.actlabs.com>

<http://www.sgs.com>

<http://www.mta.gov.tr/v2.0/index.php>