

TÜRKİYE APATİTLİ MANYETİT YATAKLARI: JEOLJİSİ, JEOKİMYASI VE EKONOMİK POTANSİYELİ

APATITE BEARING MAGNETITE ORE DEPOSITS IN TURKEY: GEOLOGY, GEOCHEMISTRY AND ECONOMIC POTENTIAL

Hüseyin ÇELEBİ

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 33343 Mezitli, MERSİN

Yayına Geliş (Received): 22.04.09, Yayına Kabul (Accepted): 30.12.09

ÖZ : Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bindirme Hattı boyunca yer alan Avnik/Bingöl, Ünalı/Bitlis ve Pınarbaşı/Adıyaman apatitli manyetit yatakları yeşilşist fasiyesinde bir bölgesel metamorfizma geçirecek şekilde şekillenmişlerdir. Avnik ve Ünalı'nın cevherleri Bitlis Masifi'nin alt birliğine ait amfibolitşistlerine, Pınarbaşı'nın ise, Malatya Metamorfitleri'nin alt birimi klorit-serisitşistlerine bağlı bulunmaktadır. Bu yatakların en belirgin ortak özellikleri, cevherlerinin yeşilşistlerle ilişkili, masif, bantlı ve saçınımlı martitleşmiş manyetit ile florapatit içermeleridir. Tüm yataklarda Fe ile P_2O_5 arasında uyumlu bir bağıntı bulunmaktadır. Klark değerlerine oranla en çok zenginleşen ana elementler P (8-17 kat), Fe (5-10 kat) ve V'dur (3-6 kat). Kiruna'ya göre eser element bakımından fakirleşmiş olan bu yatakların manyetitleri, 900 ppm V, 300-700 ppm Mn, 60-180 ppm Cr ve 40-150 ppm Ni içerirler. Nadir toprak elementlerinin toplam derişimi 200-500 ppm arasında değişmektedir. Kondritlere göre normalize dağılımları Avnik ve Ünalı'da iyi bir ayrışma ve belirgin bir Eu negatif anomalisi ile karakterize edilirler. F derişimleri % 3,50 olan apatitler, nadir toprak elementleri bakımından zengindir (3000-4000 ppm). Kondritlere göre normalize dağılımları manyetitlerdeki dağılımlara paraleldir. Düşük Fe (%15-48 Fe) ve yüksek P (% 1,4-3 P_2O_5) derişimleri nedeniyle işletilmeleri şimdilik ekonomik görülmiyen bu yatakların kesin+muhtemel rezervi 100 Mt'u aşmakta ve gelecek için önemli bir demir cevheri potansiyeli oluşturmaktadırlar.

Anahtar Kelimeler: Manyetit-apatit yatakları, Bitlis Masifi ve Malatya Metamorfitleri

ABSTRACT : The magnetite-apatite ore deposits Avnik/Bingöl, Ünalı/Bitlis and Pınarbaşı/Adıyaman occur along the Southeast Anatolian Thrust Belt of Turkey. They are metamorphosed in greenschist facies of a regional metamorphism and formed. The ores in Avnik and Ünalı depend on the amphibolite schists that belong to the lower unit of the Bitlis Massive. However the ores of Pınarbaşı depend on serisite-chlorite schists which form a subunit of Malatya Metamorphites. The most common properties of the ore deposits are that the ores depend on greenschists and found as lenses of massive, banded and disseminated magnetite and fluorapatite. However harmonious relation was determined between Fe and P_2O_5 in all ore deposits. The most enriched elements in relation to Clarke values are P (8-17 times), Fe (5-10 times) and V (3-6 times). The magnetites of these deposits, which are poor on trace elements in relation to Kiruna magnetites, contain 900 ppm V, 300-700 ppm Mn, 60-180 ppm Cr and 40-150 ppm Ni. Their total rare earth elements concentration varies between 200-500 ppm. Their chondrite normalized distributions show in Avnik and Ünalı a visible differentiation and is characterized by a marked negative Eu anomaly. Fluorapatites with an F content of 3.50 % have a high concentration of rare earth elements (3000-4000 ppm). Their chondrite normalized distribution likes to their distribution in magnetites. The ores are not economical due to their low Fe (%15-48 Fe) and high P (% 1,4-3 P_2O_5) content in recent condition. The measured and estimated ore reserves amount over 100 Mt which will be important mineral raw material sources in future.

Key Words: Magnetite-apatite ore deposits, Bitlis Massive and Malatya Metamorphites.

GİRİŞ

Sanayileşme ile sürekli artan Türkiye mineral hammadde gereksinimi, uzun yıllardan beri ülkeyi yeni arama, inceleme ve değerlendirme çalışmalarına yöneltmektedir. Bu çalışmalar sırasında Bitlis Masifi içerisindeki Avnik/Bingöl ve Ünalı/Bitlis yatakları ile Malatya Metamorfitleri içerisindeki Pınarbaşı (Bulam)/Adıyaman apatitli manyetit yatağı da zaman zaman gündeme gelmektedir. Bu kapsamda Ünalı apatitli manyetit yatağı ile aynı yörede bulunan Madenköy/Siirt bakır yatağı 2006 yılında işletmeye açılmıştır. Bölgede halen Ergani-Maden/Elazığ bakır, Guleman/Elazığ kromit ve Devenci/Malatya siderit yatağı işletilmektedir.

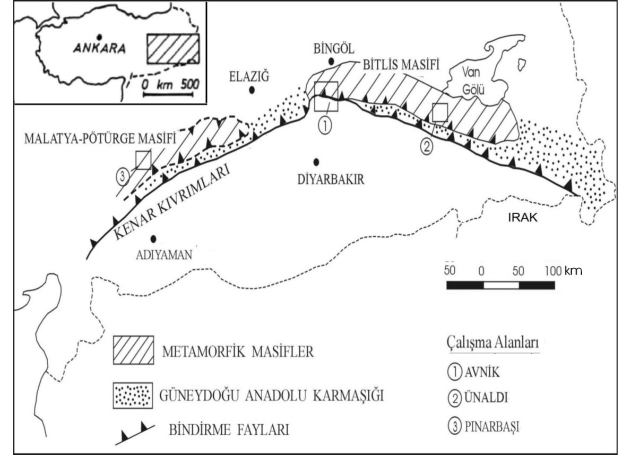
Demir, sanayinin temel hammaddesi olarak ülkelerin kalkınmasında önemli bir yere sahiptir. Apatitli manyetit yatakları demir, hem de fosfat açısından önemli bir hammadde kaynağı oluşturmaktadır. Bu tip yataklar dünyada yaygındır. Bunların en önemli örneği İsveç'in metamorfik Kiruna apatitli manyetit yatağıdır (Kurmies ve Seifert, 2001; Frietsch ve Perdahl, 1995; Nyström ve Henriquez, 1994; Frietsch, 1978). Sedimanter tipi bilinmeyen bu yatakların önemli magmatik örnekleri Cerro de Mercado/Meksika (Megaw, 1999), El Laco/Şili (Rhodes ve diğ., 1999; Frutos ve Oyurzun, 1975) ile Bafq/İran'dır (Förster ve Jafarzadeh, 1994). Magmatik-hidrotermal "Olympic Dam" yatak tipi ile de ilişkilendirilen (Hitzman ve diğ., 1992) bu yatak tipinin Türkiye'de ayrıntılı incelenmiş yukarıda sayılan 3 metamorfik örneği bulunmaktadır (Kalkan Ağcil ve Çelebi, 2004 ve 2006).

İncelenen yataklar Güneydoğu Anadolu Tektonik Kuşağı'nda yer almaktadır (Şekil 1). Bu kuşaklar, Bitlis Masifi, Pötürge Masifi ve Malatya Metamorfitleri, Güneydoğu Anadolu'nun Miyosen tektoniğine bağlı olarak gelişen bindirmeler boyunca taşınarak bugünkü konumlarını kazanmıştır. Bu kuşaklardan batıda Malatya Metamorfitleri, doğuda ise Bitlis Masifi bulunur. İncelenen apatitli manyetit yatakları bu iki kuşak içinde gelişmiştir. Kuşaklar yeşilist fasiyesinde en az bir bölgesel ve bir retrograd metamorfizma geçirecek şekilde şekillenmişlerdir. Bitlis Masifi'ndeki Avnik yatağı, Erdoğan ve Dora (1983), Helvacı (1984a, b), Çelebi (1985) ve Aral (1986) tarafından; Ünalı yatağı da Öztürk ve diğ. (1983), Yıldırım ve diğ. (1985) ile Şener ve Üner (2003) tarafından araştırılmıştır. Malatya Metamorfitlerinin Pınarbaşı yatağı ise, Büyükkıdık ve Aras (1984), Önal ve diğ. (2002), Kalkan Ağcil ve Çelebi (2004 ve 2006), Kalkan Ağcil (2005) ile Çelebi ve diğ. (2005) tarafından ayrıntılı çalışılmıştır.

Günümüzde bu yatakların düşük Fe ve yüksek P içerikleri nedeniyle işletilmeleri ekonomik görülmemektedir. Ancak V, F ve nadir toprak element (NTE) içerikleri ile önemli bir potansiyel oluşturmaktadırlar.

Bu makale ile bu yatakların güncel araştırmaların ışığında irdelenerek karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

Bu kapsamda saptanacak farklı ve benzer özellikler doğrultusunda yeni araştırma olanaklarının ortaya çıkarılmasına çalışılacaktır. Buna ek olarak yan ve eser element potansiyellerine dikkat çekilerek ekonomik önemleri vurgulanacaktır.



Şekil 1: Güneydoğu Anadolu Sütur Kuşağı ve apatitli manyetit yatakları (Erdoğan ve Dora, 1983, değiştirilmiştir)

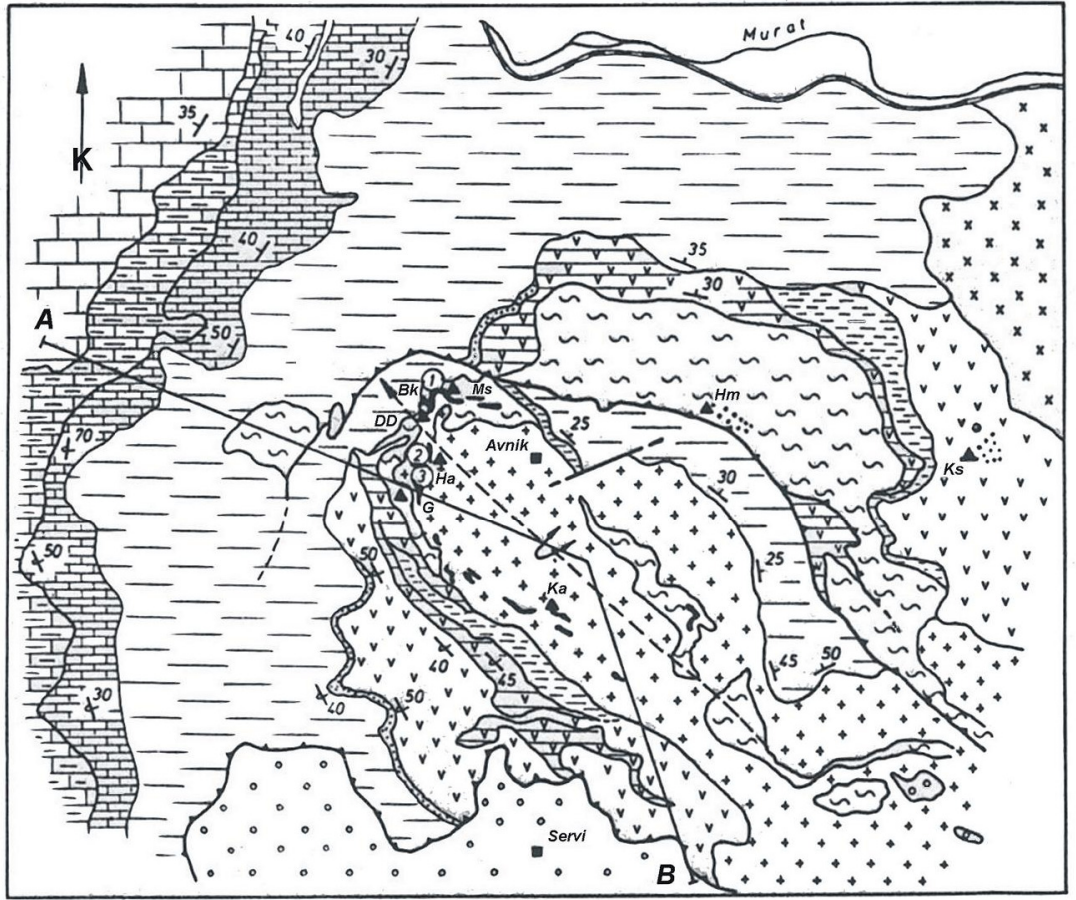
Figure 1: South-East Anatolian Suture Belt and magnetite-apatite ore deposits (modified from Erdoğan and Dora, 1983)

JEOLOJİ

Bitlis Masifi Toros Kıvrım Kuşağı'nın doğu kesiminde, Bingöl'den Van'a kadar uzanan, Alt Birlik (metavolkanit ve granitoit) ile Üst Birlik (mikaşist ve mermer) kayaç gruplarına ayrılan Paleozoyik yaşlı metamorfik birimlerden oluşmaktadır (Erdoğan ve Dora, 1983). Pötürge Masifi de Bitlis Masifi'nin bir parçası olarak görülmektedir (Brinkmann, 1971). Malatya Metamorfitleri Alt (mikaşist, albit-hornblendist, kuvarsist, fillit) ve Üst Metamorfitlere (kalkşist, kireçtaşı, kuvars-klorit-epidotşist, fillit) ayrılmaktadır (Perinçek, 1979; Yazgan ve Chessex, 1991). Avnik ve Ünalı apatitli manyetit yatakları Bitlis Masifi'nin Alt Birlik amfibolit şistlerine; Pınarbaşı apatitli manyetit yatağı ise, Malatya Metamorfitleri'nin Alt Metamorfik klorit-serisitşistlerine bağlı bulunmaktadır. Masiflerin ayrıntılı jeolojisi için, yukarıdaki kaynaklara ek olarak, bak. Yazgan (1983), Öztürk ve diğ. (1983), Suludere ve diğ. (1984), Önal ve diğ. (1986) ile Şener ve Üner (2003).

AVNİK YATAĞI

Avnik Yöresi'nde Bitlis Masifi'nin meta-volkanit, granitoit, mikaşist ve mermerleri yüzeyleri (Şekil 2). Metamorfitlerin güneyinde Kretase yaşlı melanaj zonu ve kireçtaşlarından oluşan Lice Formasyonu, kuzeyinde ise, Tersiyer yaşlı volkanitler yer alır.



Bk: Büyükkafa DD: Derindere HM: Hamek Ka: Kavak Ks: Kasıman

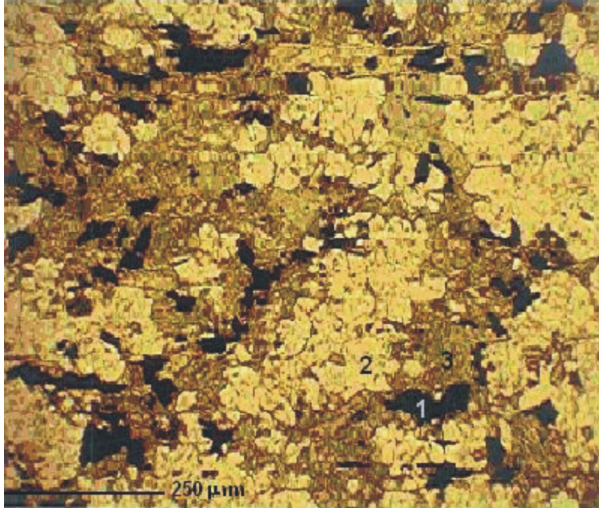
Şekil 2: Avnik ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Erdoğan, 1981; sadeleştirilmiştir)

Figure 2: Geological map of the Avnik Region (Erdoğan, 1981, simplified)

Bölgenin en yaşlı kayaç birimi 454±13 Ma ile metavolkanitlerdir (Helvacı ve Griffin, 1983a; Yılmaz ve diğ., 1981). Güneydoğu-kuzeybatı yönünde uzanan ve kuzeydoğuya dalan bu felsik metamorfik istif, 3000 m kalınlığa sahiptir. Gnays, metavolkanit-metatüf ve metavolkanit-metaaglomeralardan oluşan istif, oldukça silisleşmiş ve albitleşmiştir (Helvacı ve Griffin, 1983b).

Metavolkanit-metatüflerin mineralojik bileşimi feldspat (albit, plajiyoklas ve ortoklas), amfibol (örneğin, ferroaktinolit, tremolit ve riherit) ile kuvars, epidot, mika, ve kloritten ibarettir. Az miktarda manyetit, apatit, titanit ve ortit izlenir. İkincil mineraller martit, klorit, uralit ve karbonatlardır (Helvacı, 1984a ve Çelebi, 1985).

Maden yatakları açısından metavolkanit-metatüfler önemli görülmektedir. Bunlar, yankayaçla ardalanan mercək şekilli amfibolitışist içerirler. Bitlis Masifi'nin cevher taşıyıcı kayaç birimi bu amfibolitışistlerdir. Diğer kayaç türleri ancak az oranda cevher taşırlar. Apatitli manyetitten meydana gelen cevher, dış görünüşü itibarı ile, masif, bantlı ve saçınımlı halde bulunur (Şekil 3). Bir dördüncü cevher tipi de büyük manyetit, apatit ve aktinolit kristalleri içeren ağsı cevherdir. Bu cevher tipi özellikle bantlı cevherlerin granitlerle kesildiği yerlerde bulunur.



Şekil 3: Saçınımlı manyetit (1), Feldspat (2), ve aktinolit (3) içindeki dağılımı (Avnik). Manyetit, aktinolitlerde yoğunlaşmıştır (tek nic.)

Figure 3: Disseminated magnetite (1) in a matrix from feldspar (2) and actinolite (3, Avnik). The magnetite ore is concentrated in actinolite (par. nic.)

Avnik Bölgesi'ndeki apatitli manyetit yatakları Gonaç Antiklinali'nin (Şekil 2) yaklaşık 45° kuzeybatı yönlü kıvrım sisteminin kenarları boyunca gelişmiştir

(Erdoğan ve Dora, 1983). En önemli cevherleşmeler Mişkel, Haylandere, Gonaç ve Kavak'tır. Bunlar, gnayslarla felsik metatüf ve metavolkanitlerin geçiş zonlarında ve her iki birimin ardalandığı zon boyunca izlenmektedir. Tüm cevherleşmelerin yapısal özellikleri aynıdır ve yankayaçın iç yapısı ile uyumludur. Kıvrımlı yapı nedeni ile kalınlıkları 5-10 m arasında değişen mercəklerinin derinlikleri 300 m'ye varmaktadır (Çelebi, 1985).

Avnik Bölgesi yataklarında cevher mineralleri manyetit ve florapatittir. Nadiren martit ve hematite de rastlanır. Titanit, rutil, spinel ve katı karışım halinde ilmenit aksesuar mineral olarak bulunurlar. Gang mineralleri kuvars, aktinolit, epidot ve aynı zamanda apatittir.

Ekonomik açıdan Avnik'te Fe ve P önemli görülmektedir (MTA, 1980; Çelebi, 1989). Genelde Fe oranı, P oranından yüksektir (Fe/P₂O₅≈30). Ancak apatitin yoğun olduğu cevherleşmelerde, örneğin, Kavak'ta, P oranı daha yüksektir (Fe/P₂O₅=0,8). Avnik yatağında MTA (1980)'e göre % 42,8 Fe tenörlü 39 Mt rezerv bulunmaktadır. Çelebi (1985) ise, ortalama % 48 Fe ve % 1,4 P₂O₅ tenörlü (> % 25 Fe) 34 Mt rezerv olduğunu belirtmiştir.

Köken bakımından Avnik apatitli manyetit yatağı başkalaşmış bir intrüzif magmatik yatak olarak tanımlanmaktadır (Helvacı, 1984a, b ve Çelebi, 1985). Cevherleşmeler, yaklaşık 454±13 Ma önce (Helvacı, 1984a) aynı magmatik işlevin ürünleri olarak oluşmuştur (Çelebi, 1985). Buna karşın Erdoğan ve Dora (1983) yatağın volkano-sedimenter kökenini vurgulamaktadırlar.

Avnik, kayaç birimleri, cevher bileşimi ve eser element dağılımı bakımından bir Kiruna tipi (İsveç) apatitli manyetit yatağıdır (Helvacı, 1984b; Çelebi 1985). Benzer yataklar Bafq/İran (Toran ve Lehmann, 2007), El Laco/Şili (Rhodes ve diğ., 1999 ve Nyström ve Henriquez, 1994) ile Cerro de Mercado/Meksika'dır (Jurgeit, 2001 ve Megaw, 1999).

ÜNALDI YATAĞI

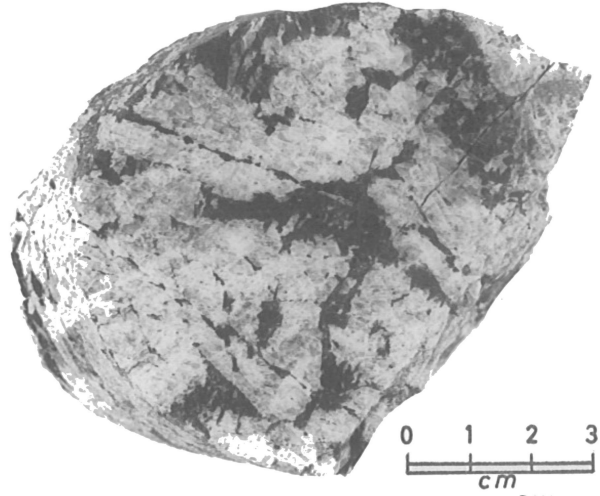
Ünalı yatağı ve çevresinde Bitlis Masifi'nin Alt Birliğine ait gnays, metavolkanit, kuvarsit birimleri ile Üst Birliğin mikaşist ve mermerleri yüzeylenir (Şener ve Üner, 2003; Yıldırım ve diğ., 1985; Erdoğan ve Dora, 1983; Suludere ve diğ., 1983). Kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan formasyonların iç yapıları düzgün ve ince laminalıdır. Kaledoniyen-Hersiniyen orojenezinden etkilenerek (Şener ve Üner, 2003) kıvrımlanan yatak bölgesinde gözlenen apatitli manyetit oluşukları, metavolkanitlerin şistozitesi ile uyumlu gelişmiştir (Öztürk ve diğ., 1983). Mineralojik olarak metavolkanitler, amfibol (aktinolit, tremolit ve riherit), feldspat (albit, plajiyoklas ve ortoklas) ile kuvars, epidot, mika ve kloritten oluşur.

Üst Birlik, Avnik Bölgesi'nde olduğu gibi (bak. Şekil 2), mikaşist ve mermerlerden oluşmaktadır. Birliğin tabanında yer alan mikaşistler, Alt Birlik üzerine ince ve devamsız, 5-10 m kalınlığında bir kuvarsit düzeyi ile açışal uyumsuz olarak oturur.

Bu birim granat ve kloritoid içeren muskovit-biyotitlişistlerden oluşmuştur. Mikaşist birimi üzerine tabanında devamsız kuvarsit seviyeleri içeren gri mermerler gelir. Üst kesimlerde bulunan *Mizzia velebitana* ve kısmen korunmuş *Gastropoda* fosilleri birimin Permiyen yaşını gösterir (Erdoğan ve Dora, 1983). Gri mermerleri geçişli dokanakla mermer-şist ardalanması takip eder. Bunun üstüne keskin dokanakla beyaz mermerler gelir.

Ünaldı apatitli manyetit yatağı Sürüm, Meşesırtı ve Öküzyatağı gibi geniş bir alana yayılan cevherleşmelerden oluşur ve jeolojik özellikleri ile Avnik yatağına büyük benzerlik gösterir. Kıvrımlı bir yapı gösteren yatakların cevherli düzeyleri koyu yeşil renkli, ince tabakalı ve belirgin şistozite gösteren kloritlemiş amfibolitlişistlere bağlıdır (Şekil 4; Öztürk ve diğ., 1983; Suludere ve diğ., 1983). Yanal yönde süreklilik gösteren amfibolitlişistler, 170 m derinliğe kadar gözlenirler. Yatak bölgesi, bölgesel metamorfizmanın yeşilşist fasiyesinde en az bir metamorfizma geçirmiştir (Erdoğan ve Dora, 1983; Şener ve Üner, 2003).

Ünaldı apatitli manyetit yatağı'nın bant veya mercekk şeklindeki apatitli manyetit cevher düzeyleri, Avnik yatağında olduğu gibi, masif, bantlı, ağsı veya saçınımlı cevher yapısı sunar. Ancak florapatit oranı Avnik yatağına oranla daha yüksektir (~ % 3 P₂O₅). Bunun yanında Fe tenörü ancak % 15 olabilmektedir (Şener ve Üner, 2003; Yıldırım ve diğ., 1985; Öztürk ve diğ., 1983). En önemli cevher minerali manyetittir. Bunun yanında, çok az oranda, martit ve hematit gözlenir. Aksesuar mineraller titanit, rutil, ilmenit ve zirkondur. Yaygın gang mineralleri kuvars, epidot, diyopsit, aktinolit ve aynı zamanda apatittir. Ünaldı sahalarında % 15 Fe tenörlü toplam 6 Mt rezerv tesbit edilmiştir (Yıldırım ve diğ., 1985).



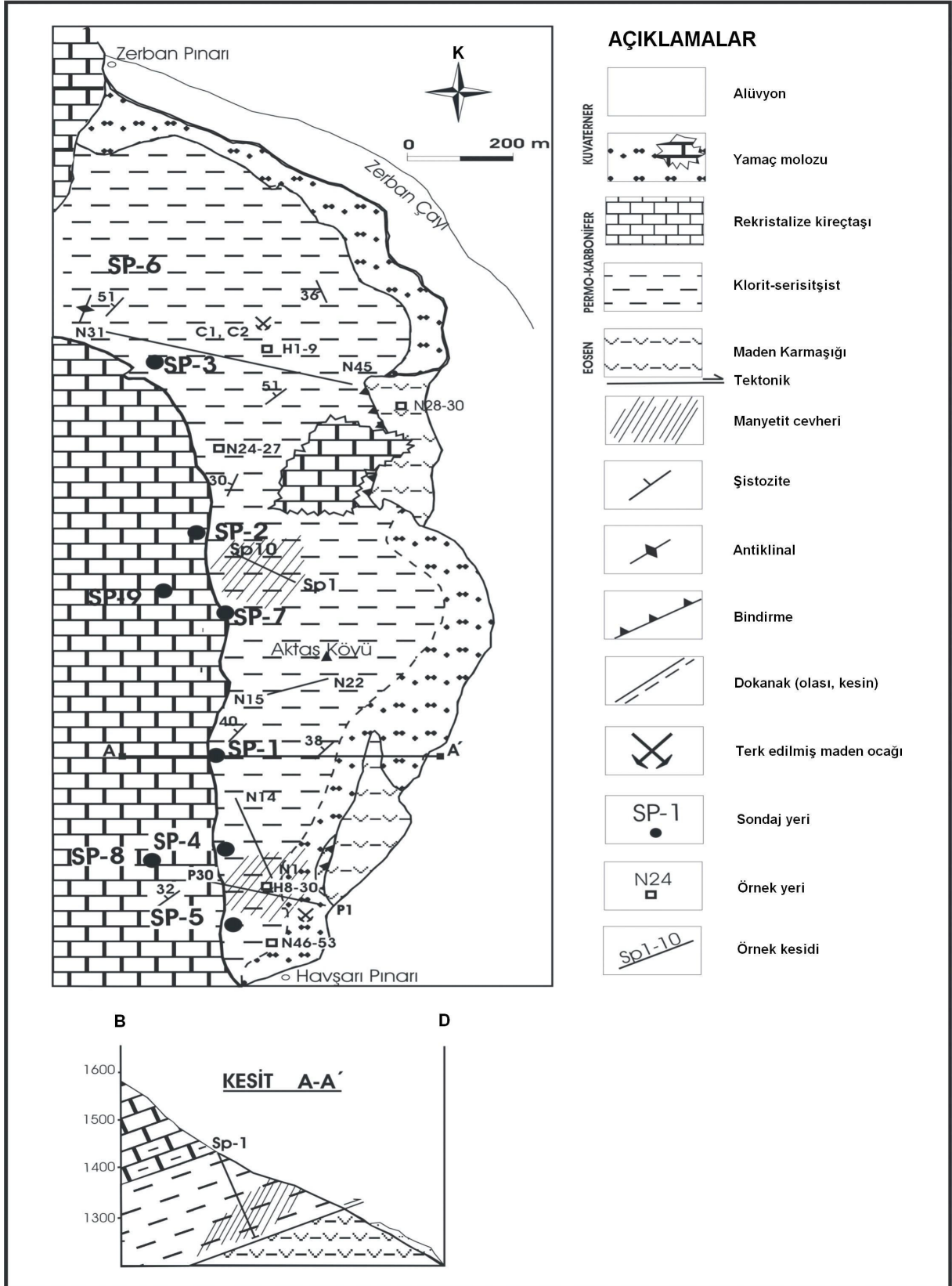
Şekil 4: Ünaldı yatağındaki sondaj karotlarında gözlenen masif apatit (açık) ve aktinolit (koyu)

Figure 4: Massive apatite (light) and actinolite (dark). Drill core sample from Ünaldı ore deposit

Ünaldı yatakları'nda yaş tayini yapılmamıştır. Ancak köken bakımından, Bitlis Masifi'nin bütünlüğü kapsamında, Avnik'e benzetilebilir. Helvacı ve Griffin (1983a) Avnik'in Alt Birlik metavolkanitleri yaşını 454±13 Ma olarak vermektedirler (bak. ayrıca Yılmaz ve diğ., 1981). Bu yaş Ünaldı için de kabul edilebilir. Şener ve Üner (2003) Ünaldı'daki amfibolitlişistlerin köken kayalarının bazik-ultrabazik kayalar, gnaysların ise, diyorit olabileceğini belirtmektedir. Erdoğan ve Dora (1983), Ünaldı'da ağırlıklı bulunan bantlı cevher tipine ve yüksek apatit oranına dayanarak bu cevherleşmelerin volkano-sedimenter kökenli olduğunu savunmaktadırlar.

PINARBAŞI (BULAM) YATAĞI

Pınarbaşı apatitli manyetit yatağında ve yakın çevresinde klorit-serisitlişistler, rekristalize kireçtaşları ile güncel çökeller bulunmaktadır (Şekil 5).

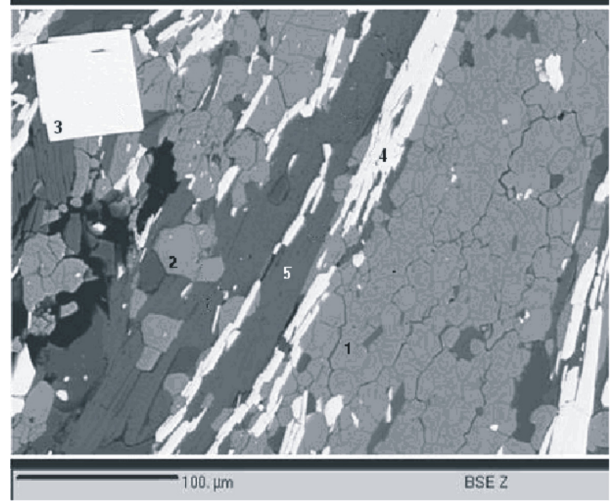


Şekil 5: Pınarbaşı apatitli manyetit yatağı'nın jeoloji haritası (Büyükkıdık ve Aras, 1984'ten, sadeleştirilmiştir)
Figure 5: Geologic map of the Pınarbaşı apatite-magnetite ore deposit (simplified from Büyükkıdık and Aras, 1984)

Metamorfik birim, Pınarbaşı Şistleri ile Koltik Kireçtaşları'ndan oluşmaktadır. Bunlar "Şerefhan Bindirmesi" ile batıdan doğuya Maden Karmaşığı ve Pötürge Masifi üzerine bindirmiştir (Şekil 5). Çalışma alanının kuzey ve batı kesiminde yer alan şistler, alttan üste doğru kloritşist, kuvars-kloritşist, serisitşist ve kalkışistten oluşmakta ve Koltik Kireçtaşlarına dereceli olarak geçmektedir. Yer yer çört içeren kireçtaşları, altta gri tonlarda, üste doğru açık renkli, kalın tabakalı ve kısmen rekristalize olmaktadır.

Çalışma alanının doğusunda yer alan Maden Karmaşığı, andezitik-spilitik tüfler, kırmızı çamurtaşları ve kireçtaşlarından oluşur. İnceleme alanında Maden Karmaşığı, Malatya Metamorfikleri tarafından tektonik dokanakla örtülmektedir (Şekil 5). Bu kesimlerde yer yer fillit ve şistlere dönüşümler gözlenir. Birimin alt dokanağı inceleme alanı dışında kalmakta ve birçok yerde Pötürge Metomorfikleri üzerine uyumsuzlukla gelmektedir (Büyükkıdık ve Aras, 1984, Gözübol ve Önal, 1986). Karmaşığın üst seviyelerinde yer alan Nummulitli kireçtaşları birimin Lütesiyen yaşını doğrulamaktadır.

Pınarbaşı cevherleşmeleri klorit-serisit-şistlere bağlı bulunan apatitli manyetittir. Cevherleşme, kloritli seviyelerde daha yoğun gözlenir (Şekil 5). Mermerlerle yanal ve düşey geçişli olarak kuzey-güney yönünde 2500 m uzunluğundaki klorit-serisitşistler, yaklaşık 70° eğimle batıya dalmaktadır. Bunların cevherli zonları 120 m kalınlığa ve 200 m derinliğe ulaşmaktadır (Çelebi ve diğ., 2005). Yatağın orta ve kuzey kesiminde masif, güney kesiminde ise, bantlı ve saçınımlı cevher yapıları yaygınlık gösterir. Yatağın güneyindeki cevherleşmeler düzenliyen, kuzeye doğru faylanma ve kıvrılma ile düzensizlik artar. Metamorfizma sonucu cevher ve gang mineralleri oldukça yönlendirilmiştir. Nadiren yönlene uymayan özşekilli ve düzensiz manyetitlerle manyetit porfiroblastları da gözlenir. Esas cevher minerali olan manyetit, kristal kenarları boyunca kısmen martitleşmiştir. Hematit büyük ölçüde manyetitten türemez. Ender olarak götit, limonit, siderit, zirkon ve rutile rastlanır. Apatit çoğunlukla yığılma şeklinde ve çok ince taneler (<100 µm) halinde bulunur (Şekil 6). Bunun yanında manyetitte ve apatitte küçük kapanımlar şeklinde, allanit, monazit ve ksenotim gözlenir. Yaygın gang mineralleri, kuvars, kalsit, serisit, klorit, kloritoyit, muskovit ve biyotittir.



Şekil 6: Masif (1) ve özşekilli (2) apatit içinde özşekilli manyetit (3), hematit (spekularit) (4) ve klorit (5) minerallerinin taramalı elektron mikroskop görüntüsü (Pınarbaşı)

Figure 6: In massive (1) and idiomorph apatites (2), idiomorph magnetite (3), hematite (4, specularite) and chlorite (5) SEM image (Pınarbaşı).

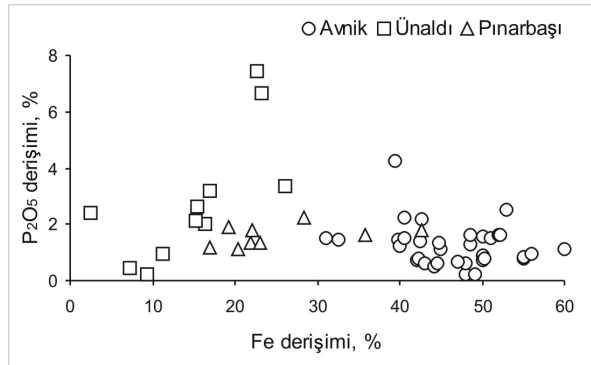
Pınarbaşı apatitli manyetit yatağı ekonomik potansiyeli yönünden birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Sınacı ve diğ. (2003) % 35,07 Fe ve % 1,57 P₂O₅ içirimli 78 Mt (toplam, > % 20 Fe için), Güneş (1994) % 36,04 Fe ve % 2,07 P₂O₅ içirimli 66,2 Mt (toplam, > % 25 Fe için), Büyükkıdık ve Aras (1984) de % 28,56 Fe ve % 2,01 P₂O₅ içirimli 69,2 Mt (toplam) manyetit rezervi vermektedirler. Çizelge 1'de Avnik, Ünal ve Pınarbaşı apatitli manyetit yatakları ile Kiruna'nın jeolojik özellikleri ve ekonomik açıdan önemli değişkenleri (rezerv ve tenör) karşılaştırılmıştır. İncelenen yatakların anahatları ile çok büyük boyutlardaki Kiruna'ya metamorfizma derecesi, mineral birlikteliği ve cevher bileşimi bakımından benzedikleri görülmektedir. Avnik ve Ünal yataklarının jeolojik özellikleri de oldukça birbirine benzemektedir. Ancak Avnik'te demir, buna karşın Ünal'da fosfat baskındır. Bu özellik sondajlara ait ortalama Fe ve P₂O₅ dağılımları ile doğrulanmaktadır (Şekil 7). Ayrıca yatakların üçünde de yüksek Fe değerleri yüksek P₂O₅ değerlerine karşılık gelmektedir. Bu, apatitin manyetitle uyumlu olduğunu gösterir ve yeni yatakların aranması ve değerlendirilmesi için önemli bir bulgudur.

Çizelge 1: İncelenen yatakların önemli jeolojik özellikleri ve mineral hammadde değişkenleri.

Table 1: Important geological properties of the studied ore deposits and their mineral raw material parameters.

Özellik	Avnik	Ünaldı	Pınarbaşı	Kiruna ¹¹
<i>Jeolojik birimler</i>	Gnays, amfibolitışist Metavolk., mikaışist Rekristalize kireçtaşları	Gnays, amfibolitışist Metavolk., mikaışist Rekristalize kireçtaşları	Serisit-kloritışist, kalkışist Rekristalize kireçtaşları	Asidik volk., syenit porfir, konglomeralar
<i>Yankayaç</i>	Amfibolitışist	Amfibolitışist	Serisit-kloritışist	Amfibolitışist
<i>Değerli hammadde mineralleri</i>	Manyetit, flüorapatit	Manyetit, flüorapatit	Manyetit, flüorapatit	Manyetit, flüorapatit
<i>Gang mineralleri</i>	Kuvars, aktinolit, Biotit, apatit, epidot	Kuvars, aktinolit, biyotit, apatit, epidot	Kuvars, apatit, klorit, serisit, apatit, alanit	Klorit, epidot, aktinolit, albit
<i>Metamorfizma</i>	Bölgesel metamorfizma, yeşilışist fasiyesi, Kuvars- albit-epidot-biy. alt fasiyesi	Bölgesel metamorfizma, yeşilışist fasiyesi, Kuvars- albit-epidot-biy. alt fasiyesi	Bölgesel metamorfizma, yeşilışist fasiyesi, Kuvars- albit-epidot-klo. alt fasiyesi	Bölg. metam., yeşilışist fas. Kuv-alb-epi- klo. alt fasiyesi
<i>Diğer özellikler</i>	Feldspatlaşma ve silisleşme yaygın	Feldspatlaşma ve silisleşme yaygın	Feldspatlar yaygın değil	Silisleşme, serisitleşme
<i>Yaş, Ma</i>	454±13 ¹	454±13 ¹	66±0,37 ²	1.900±9
<i>Rezerv, Mt</i>	34,20 ³	6,40 ⁴	66,20 ⁵	2.000
<i>kt</i>	V ⁶ 20	1	27	2.000
	P ₂ O ₅ 470	200	1.400	73.000
	F ⁷ 39	17	114	6.000
	NTE ⁷ 3	1 ¹	3	77
<i>Tenör, %</i>	Fe 48,23	15	36,40	60
<i>ppm</i>	V ⁸ 870	930	815	1.195
	% P ₂ O ₅ 1,37	3,12	2,10	3,7
	% F ⁹ 3,50	3,50	3,50	3
<i>ppm</i>	ΣNTE 2.800 ^{9,10}	440 ⁸	4.300 ⁹	3.800 ⁹

¹Helvacı ve Griffin, 1983a ³Çelebi ve diğ., 2005 ⁵Çelebi, 1989 ⁴Yıldırım ve diğ., 1985 ⁵Güneş, 1994 ⁶Manyetit metal içeriği ⁷Apatit element içeriği ⁸Manyetitte ⁹Apatitte ¹⁰Helvacı, 1984b ¹¹Nyström ve Henriquez, 1994; Frietsch ve Perdahl, 1995



Şekil 7: İncelenen yataklara ait karot örneklerinin ortalama Fe ve P₂O₅ ilişkisi (veriler: MTA, 1980; Yıldırım ve diğ., 1985; Büyükkıdık ve Aras, 1984'ten)

Figure 7: Comparison of Fe and P₂O₅ drill holes averages (data from: MTA, 1980; Yıldırım ve at al., 1985; Büyükkıdık and Aras, 1984)

Pınarbaşı yatağı element derişimi, yankayaç, yaş ve rezerv ölçütlerine göre Avnik ve Ünaldı'dan ayrılmaktadır. Bu parametrelere göre Avnik ve Ünaldı yatakları, örneğin, jeolojik yaşa göre "yaşlı", Pınarbaşı yatağı da "genç" yatak olarak sınıflandırılabilir. Rezerv ve tenör açısından Avnik ile Pınarbaşı "zengin ve

büyük", Ünaldı ise, "fakir ve küçük" yatak olarak tanımlanabilir.

Kiruna tipi bir apatitli manyetit yatağı olarak tanımlanan Pınarbaşı apatitli manyetit yatağı'nın kökeninin sedimanter olduğu savunulmaktadır (Çelebi ve diğ., 2005 ve Önal ve diğ., 2002). Buna dayanak olarak klorit-serisitışist yankayaç, bunun mineral ve kimyasal bileşimi, manyetit'in düşük eser ve nadir toprak element içeriği ile izotop verileri gösterilmektedir.

JEOKİMYA

ÖRNEK ALMA VE NALİZ YÖNTEMLERİ

Jeokimyasal analizler için Avnik, Ünaldı ve Pınarbaşı apatitli manyetit yataklarından rastlantısal alınan karot (Avnik ve Ünaldı) ve temsili yüzey cevher örnekleri (Pınarbaşı, bak. Şekil 5) yarılanarak kırıldıktan sonra krom karbit öğütücüsü ile öğütülmüştür (<200 µm). Hazırlanan örnekte önce tüm cevher analizleri yapılmıştır. Bunu takiben mineral analizleri için eleme ve yıkama işlemlerinden sonra kurutulmuş örnek malzemesi, manyetik ayıraçtan geçirilerek manyetit ve apatit yan kayaçtan ayrılmıştır. Son olarak elde edilen mineral örnek malzemesi binoküler altında saflaştırılarak analiz için agat öğütücüsünde yeniden öğütülmüştür (<100 µm).

Tüm kayaç ve cevher kimyasal analizleri Berlin Teknik Üniversitesi Maden Yatakları Laboratuvarlarında XRF analiz yöntemi ile toz tabletle yapılmıştır. Manyetit analizleri Kanada'da Acmelab Laboratuvarı'nda ICP-ES ile analiz edilmiştir. Apatit analizleri Federal Almanya Yerbilimleri ve Hammadde Kuru-

mu'nda (BGR) mikroprope'la yapılmıştır. Deneyimlere göre uygulanan analiz yöntemlerinin göreceli hata payı en çok \pm % 10'dur (Mg ve Na). İncelenen örneklerin cevher, manyetit ve apatit analiz değerleri Çizelge 2'de, NTE analiz sonuçları da Çizelge 3'te görülmektedir.

Çizelge 2: İncelenen yatakların cevher, manyetit ve apatitlerinin kimyasal bileşimi

Table 2: Chemical compositions of ores, magnetites and apatites of the studied ore deposits

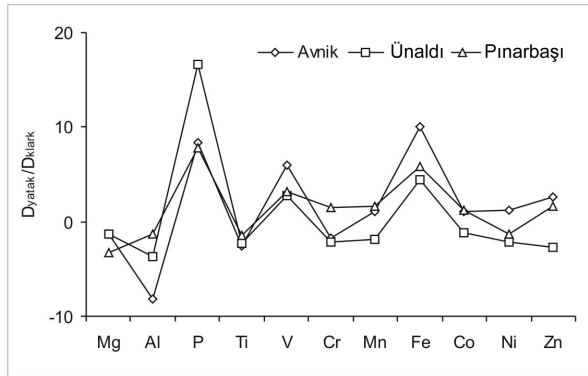
	Avnik			Ünaldı		Pınarbaşı ⁴		
	cevher ¹ n=30	manyetit ² n=45	apatit ³ n=31	cevher n=2	manyetit n=31	cevher n=5	manyetit n=4	apatit
Ana bileşenler [%]								
SiO ₂	17,96	2,93	1,40	41,35	1,57	34,87	1,25	0,05
TiO ₂	0,28	0,23	0,01	0,33	0,19	0,53	0,13	
Al ₂ O ₃	1,86	0,32	0,53	4,23	0,41	11,59	0,98	0,01
FeO ⁵	69,90	93,18	0,21	31,02	94,59	40,62	95,57	0,43
MgO	2,65	0,92	0,30	2,69	0,45	1,08	0,04	
CaO	4,08	0,79	54,07	7,49	0,40	3,29	0,48	56,07
Na ₂ O	1,04		0,16	2,72		0,39	0,02	
K ₂ O	0,07		0,15	0,07		1,01	0,06	
P ₂ O ₅	2,05	0,53	41,98	4,07	0,33	1,92	0,47	41,80
F	0,07		3,17	0,33		0,19		3,46
Cl			0,05					0,02
O=F, Cl			-1,36					-1,46
SO ₃			0,10	0,06	0,11	0,12	0,02	
CO ₂			0,13	0,26		3,26		
H ₂ O			0,06	0,28		0,12	0,66	1,47
Toplam	99,96	99,08	100,96	95,92	98,05	97,34	99,48	101,87
Eser elementler [ppm]								
Ba			25	13		174	19	533
Co	26	25		22	16	29	25	18
Cr	59	181	40	48		131	60	367
Mn	1.000	385	202	508	714	1.460	310	
Ni	88	155		36	54	59	41	91
Pb	114	131	12			30		20
Sr			440	42		160	27	1.945
Th			73	15		15	12	10
V	800	870	81	378	930	340	815	
Y			298					3050
Zn	181	272		26		116	35	59
Zr			18	230		270	11	180
Oranlar								
F/P ₂ O ₅	0,03		0,08	0,08		0,10		0,08
P ₂ O ₅ /CaO	0,50		0,78	0,54		0,58		0,74
Ti/V	2,10	1,58	0,86	5,24	1,23	9,35	0,95	
V/Zn	4,42	3,20		14,54		2,93	23,43	

¹Çelebi, 1988 ²Çelebi, 1992 ³Çelebi, 1985 ⁴Bak. ayrıca Şekil 5, N örnek dizisi ⁵Toplam demir oksit

YATAKLARIN CEVHER NİTELİĞİ

Türkiye apatitli manyetit yataklarından Avnik, Ünalı ve Pınarbaşı yataklarının jeolojik, mineralojik ve cevher özellikleri bakımından birbirine benzediği tüm araştırmacılar tarafından kabul edilmektedir (Kalkan Ağıcıl, 2005, Kalkan Ağıcıl ve Çelebi, 2004; Aral, 1986; Çelebi, 1985; Helvacı, 1984; Erdoğan ve Dora, 1983;). Ancak ayrıntılarda bu yatakların farklı özellikleri de ortaya çıkmaktadır. Örneğin, yatakların element dağılımı düzensizdir (Çelebi ve diğ., 2005 ve Çelebi, 1988). Mg ve P en düzensiz dağılımı gösterirler. Bu düzensizlikler cevher ve yankayaç araldanması ile açıklanmaktadır. Bitlis Masifi yatakları Fe bakımından daha zengin, ancak Al_2O_3 ve K_2O ana ve Cr gibi eser element bakımından fakirdirler (Çizelge 2). Pınarbaşı'ndaki alkali fakirleşmesi feldspatların azlığı ile kendini göstermektedir. Cr'nin azlığı da ultrabazik veya bazik kayaların gelişmediğine işaret eder. Eser element derişimi Ünalı'da en düşük, Pınarbaşı'nda ise, en yüksektir.

Elementlerin yoğunlaşma ve seyrelme oranlarının karşılaştırılması için Çizelge 2'deki iyon yarıçaplarına göre sıralanan Mg, Al, P ile demir grubu elementlerinin (Ti-Zn) analiz değerleri Şekil 8'de klark değerleri (Mason ve Moore, 1985) ile karşılaştırılmıştır. Burada P'un, 17 (Ünalı), Fe'nin 10 (Avnik) ve V'un da 6 kat (Avnik) zenginleştiği görülmektedir.



Şekil 8: Klark değerlerine göre normalleştirilmiş cevherlerin önemli element derişimlerinin değişimi. Pozitif değerler zenginleşmeyi gösterir. Bunun tersi, 1/(örnek değeri/Clarke değeri), fakirleşmedir, eğer örneğin element derişimi klark değerinden küçükse (bak. Çizelge 2; D: Derişim)

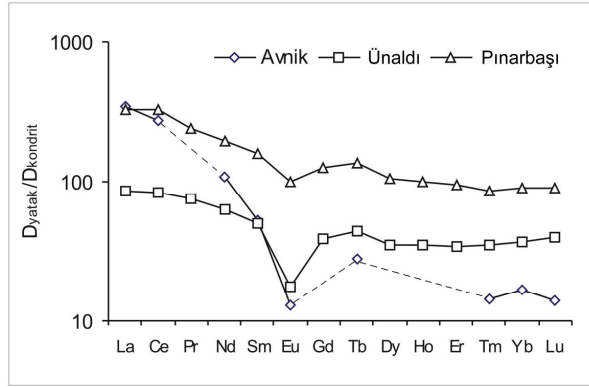
Figure 8: Distribution of the Clarke values normalized concentration of important elements in ore. The positive values show the enrichments factors. The reciproke value, 1/(sample value/Clarke value), is the impoverishment factor, if element concentration in ore is lower than Clarke value (s. Table 2; D: Concentration)

Bu özellik 3 yatakta ortaktır ve yeni yatakların aranmasında özellikle V'dan "izsürücü" element olarak yararlanılabilir. Buna karşın Avnik'te Al'un 8 kat, Pınarbaşı'nda Mg'un 3 kat, Cr ve Ti'nin Avnik ve Ünalı'da 2'şer kat seyreltikleri, ancak Co, Mn, Ni, ve Zn'nun da yaklaşık klark değerlerini korudukları gözlenmektedir.

Element derişimleri yanında oranları da bazı önemli ipuçları verebilir. Örneğin, Çizelge 2'de yatakların değişken F/P₂O₅ oranı, florün sadece apatitte derişmediğini gösteriyor. Mikalar da önemli ölçüde F içerebilirler (Rösler, 1988). Aynı şekilde P₂O₅/CaO oranının Ünalı'da 1'den büyük olması, P₂O₅'in sadece apatitte bulunmadığını, örneğin, ksenotim ve monazitte de bulunduğu işaret etmektedir. Bu, mikroskopik olarak da saptanmıştır (Çelebi ve diğ., 2005). Ti/V oranı 2,10-9,35 ile litosfer ortalamasının (29,3) çok altında, apatitli manyetit yataklarının da çok üstünde bulunmaktadır (Kiruna=0,21).

İncelenen yatakların cevher ve mineralleri arasında çok sayıda anlamlı bağıntılar bulunmaktadır.

Örneğin, Fe'nin doygunluk derecesine vardığını gösteren Fe-SiO₂ uyumsuz bağıntısı, P₂O₅'in çoğunlukla apatitte deriştiğine işaret eden CaO-P₂O₅ uyumlu bağıntısı, V'un manyetitte ve florün de apatitte öncelikle yoğunlaştıklarını kanıtlayan uyumlu bağıntılar gibi. Bağıntı analizi çok sayıda başka araştırmaların konusu olduğundan, burada üzerinde durulmuyacaktır. Ayrıca çalışmanın kapsamını aşmamak ve yatakların eşit örnek sayıları gerekir. Gerektiğinde bu konuda Çelebi ve diğ. (2005), Kalkan Ağıcıl ve Çelebi (2004) ile Çelebi (1988)'e başvurulabilir. Aynı yatakların kondritlere göre normalleştirilmiş cevher nadir toprak element (NTE) dağılımı Şekil 9'da görülmektedir. Cevherlerin tümü NTE bakımından zengindir. En yüksek değerler Pınarbaşı cevherlerinde görülmektedir. Ancak burada eğrinin düşük eğiminden hafif ve ağır NTE'lerin iyi ayrılaşmadıkları ortaya çıkmaktadır. En iyi ayrılaşma Avnik cevherlerinde görülmektedir. Ayrılaşmanın ölçütü olarak kullanılan La/Yb oranı Avnik'te 29,62 iken Ünalı'da 3,45'tir (Çizelge 3). Bu yatakların NTE dağılımı aynı zamanda daha kuvvetli bir negatif Eu anomalisi göstermektedirler. Negatif Eu anomalisi oksijen hareketliliği sonucu Eu'nun yükseltgenmesinden kaynaklanır (Stosch, 2000 ve Ekambaram ve diğ., 1986). Pınarbaşı'nda hafif bir pozitif Ce anomalisi de gözlenmektedir. Ce zenginleşmesi anlamına gelen bu anomali, deniz suyunun indirgeyici özelliği ile açıklanmaktadır (Önal ve diğ., 2002).



Şekil 9: İncelenen yatakların kondritlere göre normalleştirilmiş cevher nadir toprak elementleri (NTE) dağılımı (bak. Çizelge 3)

Figure 9: Chondrite-normalized distribution of ore rare earth elements (REEs) of the studied ore deposits (s. Table 3)

Cevherlerin NTE dağılımı, elementlerin ağırlıklı olarak tercih ettikleri mineral fazları hakkında bilgi vermezler. Ancak yapılan çalışmalar, NTE'lerin Ca^{2+} iyon yarıçapı (0,108 nm) benzerliğinden dolayı, manyetit yerine apatitte derişmeyi tercih ettikleri saptanmıştır (Çelebi ve diğ., 2005 ve Helvacı, 1984b). Bu nedenle burada manyetit ve apatitin NTE içerik ve dağılımları önemli ek bilgiler verebilir.

Çizelge 3: İncelenen yatakların cevher, manyetit ve apatitlere ait nadir toprak element (NTE) değerleri

Table 3: Concentration of rare earth elements (REEs) in ores, magnetites and apatites of the studied ore deposits

Element	Avnik			Ünalı		Pınarbaşı			Kiruna ²	Kondrit ³
	cevher ¹ n=15	manyetit n=3	apatit ¹ n=8	cevher n=1	manyetit n=2	cevher n=4	manyetit n=5	apatit n=2		
La [ppm]	82,06	55,10	371,38	21,00	126,80	78,50	26,92	562	252	0,245
Ce	174,63	88,13	824,75	54,00	217,15	204,50	78,68	1444	782	0,638
Pr		6,26		7,30	18,19	23,00	8,41	158	101	0,096
Nd	50,81	16,70	568,25	30,10	53,85	93,25	34,80	673	524	0,474
Sm	8,06	2,00	196,71	7,80	7,15	24,25	9,46	194	122	0,154
Eu	0,74	0,15	8,50	1,03	0,40	5,75	2,07	52	15	0,058
Gd		1,44	311,99	7,91	5,59	26,00	9,43	262	157	0,204
Tb	1,03	0,24	35,70	1,63	0,83	5,00	1,75	54	23	0,037
Dy		1,22	196,11	8,84	4,38	26,75	9,70	335	130	0,254
Ho		0,25	47,65	1,98	0,87	5,75	2,08	76	25	0,057
Er		0,63	158,34	5,68	2,33	15,75	5,90	216	75	0,166
Tm	0,37	0,11		0,90	0,35	2,25	0,98	33	9	0,026
Yb	2,77	0,81	92,61	6,09	2,31	14,75	6,76	210	65	0,165
Lu	0,35	0,14	14,19	1,00	0,43	2,25	1,10	31	8	0,025
La/Yb	29,62	68,02	4,01	3,45	54,89	5,32	3,98	2,68	3,88	1,48
La/Ce	0,47	0,63	0,45	0,39	0,58	0,38	0,34	0,39	0,32	0,38
Ce/Yb	63,04	108,80	8,91	8,87	94,00	13,86	11,64	6,88	12,03	3,87

¹Helvacı, 1984b

²Apatitte, Frietsch ve Perdahl, 1995

³White, 2002

MANYETİT JEOKİMYASI

Jeokimyasal araştırmalarda kayaç ve cevher bileşimi yanında minerallerin bileşimi de büyük önem taşır. Burada yatakların hepsinde yaygın bulunmaları nedeniyle öncelikle manyetit ve apatit jeokimyası incelenecektir. Çeşitli kökensel ortamlarda meydana

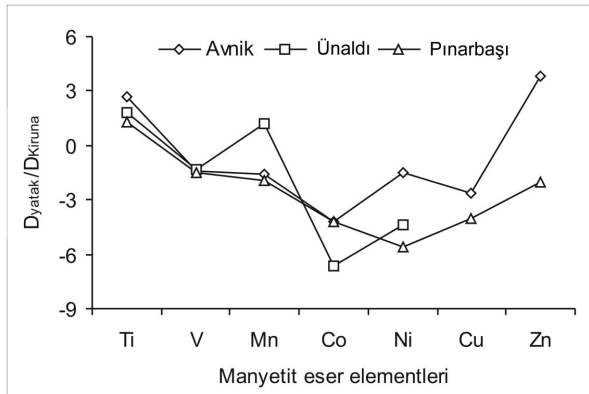
gelen manyetit, oluşumuna göre farklı yabancı ve eser element içerebilir.

Manyetit, manyetik özelliğinden dolayı diğer kayaçlardan kolay ayrılabilir ve elde edilebilir. Buna rağmen silikat ve apatit gibi bazı yabancı bileşenlerin, kapanım ve yüzey sıvımaları nedeniyle, tam ayrılması

mümkün olmaz. Manyetit içindeki Fe'nin kuramsal oranı % 72,4'tür. Burada incelenen manyetitlerde bu oran yaklaşık % 67,45-69,20 arasında değişmektedir (Çizelge 2). Bu, yaklaşık % 5-3 arasında bir yabancı madde karışımı demektir. Manyetitte Fe^{2+} ve Fe^{3+} değerlikli demirin yerini alan eser elementlerin ve ana bileşenlerin analiz eğerleri Çizelge 2'de görülmektedir. Yatakların yüksek TiO_2 ve V_2O_3 derişimleri yanında MnO ve eser element derişimleri düşüktür, ancak dağılımları düzenlidir. Bu, manyetitlerin ideal bileşime yakın olduğunu ve yukarıda anılan masiv, bantlı ve saçınımlı cevher türlerinin ortak özellikte olduklarını gösterir.

Co, Cr ve Ni gibi demir grubu eser elementler çelik üretimi için değer arttıracak düzeyde görülmemektedir. As ve S gibi istenmeyen zararlı elementlerin derişimi düşük olmasına karşın, P derişimi, çelik üretimi için üst limit olan % 0,05 P'un çok üstündedir. Bu, manyetitin ileri aşamadaki işlenmesini zorlaştıracaktır.

Ortalama 815 ile 930 ppm arasındaki V derişimi, manyetit için düşüktür. Kiruna manyetitlerinde yaklaşık 1200 ppm V bulunmaktadır (Nyström ve Henríquez, 1994). Tip yatak olarak seçilen Kiruna'ya göre normalleştirilmiş ve iyon yarıçapına göre sıralanmış demir grubu elementlerin (Ti-Zn, Kiruna'da bulunmayan Cr hariç) dağılımı Şekil 10'da görülmektedir. İncelenen manyetitlerin eser element bakımından fakir olduğu ve göreceli derişimlerinin hafiften (Ti) ağıra (Cu) doğru, seyrelme eğiliminde oldukları gözlenmektedir. Ti dışında tüm elementler Kiruna'ya göre fakirleşmiştir. Bunun yanında Zn Avnik'te, Mn ise Ünal'da göreceli derişmiştir.



Şekil 10: İncelenen yatakların Kiruna manyetitlerine göre normalleştirilmiş manyetit eser elementleri dağılımı (Cr hariç, bak. Çizelge 2)

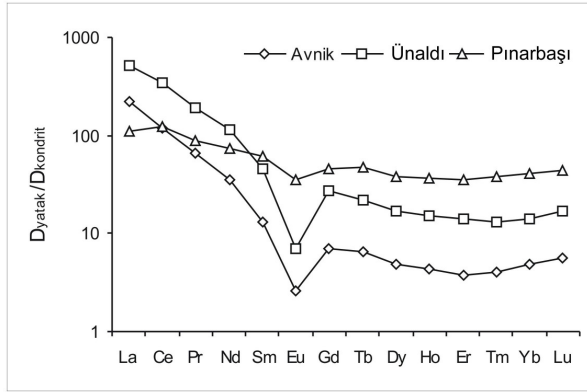
Figure 10: Distribution of Kiruna magnetite-normalized trace elements in magnetites of the studied ore deposits (except Cr, s. Table 2)

Cevher, manyetit ve apatitin NTE analiz değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Ortalama NTE derişimi 173 (Avnik) ile 440 (Ünal'dı) ppm arasında değişen manyetitin cevher ve apatite göre fakirdir. Bu, NTE'lerin fosfat minerallerinde ve mikalarda deriştiğini yansıtır. Benzer yatakların manyetitleri, örneğin, Kiruna manyetitleri, 2000 ppm'in üzerinde NTE içermektedirler (bak. örneğin, Frietsch ve Perdahl, 1995). Düşük element içeriği, element derişiminin ortamda doygunluk derecesine ulaşmadığını gösterir. Bunun nedeni, örneğin, düşük metamorfizma derecesi ve elementlerin sedimanter ana kayadaki düşük derişimleri olabilir.

Manyetitlerin kondritlere göre normalleştirilmiş NTE dağılımı Şekil 11'de sunulmuştur. Burada Avnik ve Ünal'dı'nın NTE dağılımları birbiriyle örtüşmekte ve her iki yatağın benzer cevherleşme sürecini yansıtmaktadır. Dağılım, yukarıdaki ağır elementlerin paralel dağılımına karşın önemli farklılıklar da göstermektedir. Örneğin, Bitlis Masifi yataklarında Pınarbaşı Yatağı'na oranla ayrılaşma ve negatif Eu anomalisi daha belirgindir. Başka bir deyişle, Pınarbaşı'nda Avnik ve Ünal'dı'nın aksine ağır NTE yoğunlaşmıştır. Bunu yataklardaki La/Yb oranı da doğrulamaktadır. Bu oran Avnik'te yaklaşık 68 ve Ünal'dı'da 55 iken, Pınarbaşı'nda 4'tür. Bununla Pınarbaşı yatağı Kiruna'ya oldukça benzemektedir (La/Yb=3,88). Ağır NTE'nin yoğunlaşması, düşük metamorfizma derecesi nedeniyle, enerji bakımından daha uygun ağır NTE'nin küçük iyon yarıçaplarından da kaynaklanabilir.

Kuvvetli ayrılaşma, cevherleşmelerin başkalaşım ve hidrotermal süreçlerden etkilenmesinin bir belirtisi de olabilmektedir. Hidrotermal süreçlerin NTE içeriğini değiştirdiği ve hafif NTE'nin Cl bakımından zengin çözeltilerde, buna karşın ağır NTE'nin de F ve CO_3^{2-} li sıvılarda deriştikleri Taylor ve Fryer (1983) tarafından açıklanmıştır. Bu durumda Pınarbaşı'nda apatitte derişen F, büyük olasılıkla ağır NTE'nin göreceli derişimine de neden olmuştur.

Pınarbaşı yatağının NTE dağılımındaki düşük Eu anomalisi yüksek O_2 hareketliliğine işaret etmektedir. Yüksek O_2 hareketliliği Eu^{2+} 'yı (0,121 nm; Shannon, 1976) Eu^{3+} 'ya (0,109 nm) yükseltgeyerek erken fazlara geçmesini sağlar. Böylece erken faz olan hematitte/manyetitte derişen Eu^{3+} ile muhtemelen belirgin Eu negatif anomalisi önlenmiştir. En belirgin Eu negatif anomalisi Ünal'dı'da gözlenmektedir (Şekil 11).



Şekil 11: Manyetitlerin kondritlere göre normalleştirilmiş NTE dağılımı (bak. Çizelge 3)

Figure 11: Distribution of chondrite-normalized REE in magnetites (s. Table 3)

Bunlara ek olarak Pınarbaşı'nda hafif bir pozitif Ce anomalisi gözlenmektedir. Ce zenginleşmesi anlamına gelen pozitif Ce anomalisi, deniz suyunun olası indirgeyici etkisi ile açıklanmaktadır (Önal ve diğ., 2002).

APATİT JEOKİMYASI

Burada incelenen apatitler yaklaşık bileşimi % 55 CaO, % 41 P₂O₅ ve % 3,5 F içeren flor apatitlerdir (Çizelge 2). Apatitin kristal kafesine Ca yerine NTE, Mg, Mn ve Ti; P yerine Si, S, V ve As; F yerine de O, Cl ve OH gibi çok sayıda iyon geçebilmektedir. İncelenen örneklerde sadece Sr (SrO: % 0,20-0,30), Fe (FeO: % 0,1-0,6) ve Y (Y₂O₃: 0,01-0,2) önemli derişimde saptanmıştır. Karbonatın bulunmadığı apatitlerde, Cl derişimi % 0,02 ve SO₃'ün de % 0,05'in altında ölçülmüştür. İncelenen apatitli manyetit yataklarının apatit NTE analiz değerleri Çizelge 3'te görülmektedir. Ünalı için ayrıntılı apatit analiz değerleri bulunmamaktadır.

Bu çalışma kapsamında incelenen Avnik ve Pınarbaşı apatitleri NTE bakımından manyetitlere oranla oldukça zengindir. Avnik apatitleri ortalama yaklaşık 2800, Pınarbaşı apatitleri de 4300 ppm toplam NTE içermektedirler (Çizelge 3). Durango'da bu sayı yaklaşık 8800 ppm'dir (Young et al, 1969).

Kondritlere göre normalleştirilmiş apatit NTE dağılımı Şekil 12'de görülmektedir. Dağılım, NTE'nin Pınarbaşı apatitlerinde Avnik apatitlerine göre daha zenginleştiğini göstermektedir. Ayrımlaşma oldukça zayıftır (La/Yb_{Avnik}=4,01 ve La/Yb_{Pınarbaşı}= 2,68) ve Avnik'te çok belirgin bir negatif Eu anomalisi görülmektedir. Zayıf ayrımlaşma, ağır NTE'nin öncelikle apatitte deriştikleri anlamına gelir. Bu özellik, yukarıda belirtildiği gibi, düşük metamorfizma derecesinden dolayı, enerji bakımından daha uygun ağır NTE'nin küçük iyon yarıçaplarından kaynaklanır. Bu durum

kxenotim (Y[PO₄], Y³⁺=98 pm) ve monazitte (La-Ce-Th[PO₄], La³⁺=113 pm) görülmüştür (Çelebi ve diğ., 2005). Örneğin, kxenotim, % 5,0 Dy₂O₃ ve % 4,2 Yb₂O₃'e karşın % 0,10'un altında La, Ce ve Th içermektedir. Buna karşın hafif NTE'nin, örneğin, La₂O₃'ün % 11,9 ve Ce₂O₃'ün de %28,8 oranlarında monazitte deriştikleri saptanmıştır (Çelebi ve diğ., 2005).

Elementlerin deriştikleri mineral fazlarının bilinmesi, ileride olası ayırma işlevleri için önemlidir. Kurulacak bir zenginleştirme ve ayırma tesisinin planlanmasında bu bulguların dikkate alınması büyük ekonomik yarar sağlayacaktır.

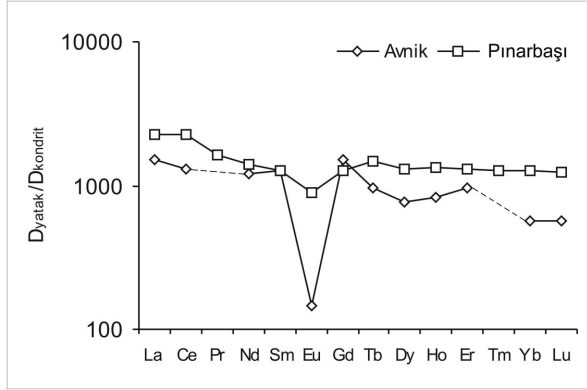
SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya maden yatakları literatürüne "Kiruna tipi" yataklar olarak geçen apatitli manyetit yatak tipinin yukarıda tanımlanan Türkiye'deki 3 örneği, en az yeşilist fasiyesinde birer bölgesel, kontakt ve retrograd metamorfizma geçirerek şekillenmişlerdir. Bunlardan Avnik ve Ünalı yatakları Paleozoyik (454 Ma, Ordovisiyen), Pınarbaşı Yatağı ise, Mesozoyik (66 Ma, Üst Kretase) yaşlıdır. Avnik ve Ünalı'nın değerli hammaddeleri amfibolitizistlere, Pınarbaşı'nın ise, Klorit-serisitizistlere bağlı, florapatit içeren manyetittir.

Yataklarının önemli ortak özellikleri ve ayrıcalıkları Çizelge 1'de verilmiştir. Görüldüğü gibi yatakların bölgesel metamorfizma gibi jeolojik ve apatitli manyetit gibi mineralojik değerli hammadde özellikleri ortaktır. Ancak yaş bakımından Avnik ve Ünalı (454 Ma) yatakları, Pınarbaşı yatağından (66 Ma) çok yaşlıdır.

Jeokimyasal incelemeler yatakların ayrıntılı ortak yönlerini ve ayrıcalıklarını ortaya çıkarmaktadır. Örneğin, yatakların P₂O₅-Fe derişimi önemli bir parametre olmaktadır. Ünalı'nın yüksek P₂O₅ ve düşük Fe derişimi Avnik'teki durumla uyumsuzdur (Çizelge 2 ve Şekil 7). Pınarbaşı bunların arasında yer almaktadır. klark değerlerine göre belirgin oranda zenginleşen elementler P (17 kat), Fe (10 kat) ve V'dur (6 kat) (Şekil 8). Bunlardan V yeni yatakların aranmasında "izsürücü element" olarak kullanılabilir. Manyetit ve apatit Mn ve Ti gibi yan ve Co, Cr ve Ni gibi eser elementler bakımından fakirdir. Bunlar öncelikle yankayaçta derişmiştir. Kiruna manyetitlerine göre normalize ağır element dağılımı, Ti dışında tüm elementlerin seyrediklerini göstermekte ve NTE'in aksine ağır eser elementler (Cu ve Ni) hafiflere (Ti ve V) göre seyrelmiştir (Şekil 10). NTE bakımından Pınarbaşı manyetitleri en çok zenginleşmişlerdir (Çizelge 3 ve Şekil 11). Kondrit normalize NTE dağılımı Avnik ve Ünalı'da kuvvetli bir ayrımlaşma ve negatif Eu anomalisi göstermektedir. Pınarbaşı'nda bu iki özellik de zayıftır. Ayrımlaşma O₂ hareketliliği ile ilişkilendirilirken, negatif Eu anomalisi düşük metamorfizma derecesine bağlanmaktadır.

Apatitler F (% 3,50) ve NTE bakımından zengindir (>4000 ppm/Pınarbaşı). Kondritlere göre normalize NTE dağılımı manyetitlerdeki dağılımla paralellik sunmaktadır. Avnik'te kuvvetli bir Eu negatif anomalisi gözlenmektedir (bak. manyetit kimyası). Hafif (La-Gd) ve ağır (Tb-Lu) NTE derişimleri dikkate alındığında, her iki yatakta da ayırılma zayıftır (Şekil 12).



Şekil 12: Apatitlerin kondritlere göre normalleştirilmiş NTE dağılımı (bak. Çizelge 3)

Figure 12: Distribution of chondrite-normalized REEs in apatites (s. Table 3)

Güncel araştırma sonuçlarına göre Kiruna tipi yataklar olarak tanımlanan Avnik, Ünalı ve Pınarbaşı yataklarında metamorfizma, önceki jeolojik gelişmelerin izini sildiğinden, kökensel gelişmenin sentezi zorlaşmıştır (Çelebi ve diğ., 2005, Önal, ve diğ., 2002, Helvacı, 1984a ve b, Erdoğan ve Dora, 1983). Dolayısı ile yataklar hakkındaki oluşum savları tartışmalıdır. Avnik ve Ünalı yataklarının Çelebi (1985) ve Helvacı (1984a, b) tarafından savunulan intrüziv magmatik kökeni, metavolkanitlerin bir parçası sayılan bazik yankayaç (amfibolitist), yaygın feldspatlaşma ve silisleşme gibi jeolojik ve cevherin bileşimi ve elementler arası bağıntılar gibi jeokimsal sonuçlarla açıklanmaktadır. Buna karşın Erdoğan ve Dora (1983) ekzalatif sedimanter köken üzerinde durmakta ve buna cevherin yaklaşık yatay konumu ile tabakalı yapısı gibi saha gözlemlerini kanıt olarak göstermektedir.

Pınarbaşı apatitli manyetit yatağı'nın sedimanter kökeni tüm araştırmacılar tarafından paylaşılmaktadır (Çelebi ve diğ., 2005; Önal ve diğ., 2001; Büyükkıdık ve Aras, 1984). Kanıt olarak yatay ve yanal süreklilik gösteren klorit-serisitist yankayaçları ile ince taneli apatit gibi saha gözlemleri ve mikroskopik apatit yığılımları gösterilmektedir. Bu sav, yankayaçın yüksek Al, manyetit düşük eser element içeriği gibi jeokimyasal veriler ve H izotop değerleri ile desteklenmektedir (Çelebi ve diğ., 2005).

Dünyada değişik bölgelerde yayılım gösteren apatitli manyetit yatakları bulunmaktadır. Avrupa'daki en önemli örnekleri Kuzey İsveç'in Kiruna demir yataklarıdır. Diğer önemli magmatik kökenli örnekleri, El Laco/Şili, Cerro de Mercado/Meksika ve Bafq/İran'dır.

Dünyadaki geniş yayılımları dikkate alındığında demir yatakları arasında önemli bir yere sahip olan apatitli manyetit yataklarının burada incelenen Türkiye'deki örnekleri orta büyüklükte ve düşük tenörlü metamorfik yataklarıdır. Bunlardan Avnik/Bingöl 34 mil t (% 48 Fe ve % 1,4 P₂O₅) ve Ünalı/Bitlis, yaklaşık 6 mil t manyetit rezerve (% 15 Fe ve % 3,1 P₂O₅) sahiptir. Bunun yanında Pınarbaşı/Adıyaman, 66 mil t rezervi (% 36 Fe ve % 2,1 P₂O₅) ile önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Ancak düşük Fe ve yüksek P içeriği nedeni ile şimdilik işletmeleri ekonomik görülmeyen bu yataklar, yüksek V, F ve NTE içerikleri ile de dikkat çekmektedir. Bir olası işletme sırasında manyetit konsantresi yanında fosforik asit ve gübre üretimi için P₂O₅ konsantresi üretilebilir. Bunlara paralel olarak manyetit V ve apatitin de F ile NTE içeriği değerlendirilebilir. Cevherlerin hepsi bir ortak demir-çelik işletmesinde, örneğin, Malatya'da, zenginleştirilerek işlenebilir özelliktedir.

SUMMARY

The magnetite-apatite ore deposits which have a wide distribution in the world are also found in Bitlis Massive and Malatya Metamorphites in Eastern Turkey. These ore deposits are, from western to eastern, Pınarbaşı/Adıyaman, Avnik/Bingöl and Ünalı/Bitlis which present important source of Iron and Phosphate for Turkey. They occur along the Southeast Anatolian Trust Belt and are metamorphosed in greenschist facies of a regional metamorphism. As a result of this, ore deposits were highly folded, faulted and oriented.

The ores of Avnik and Ünalı depend on the amphibolite schists that belong to the lower unit of the Bitlis Massive. However the ores of Pınarbaşı depend on serisite-chlorite schists of the subunit of Malatya Metamorphites. The ores found as lenses of massive, banded and disseminated of magnetite and fluorapatite. The most important gangue minerals are quartz, apatite, chlorite, biotite and muscovite. The accessory minerals are allanite, zircon, xenotime, and monazite.

The geochemical and geostatistical evaluations indicate that the examined deposits are not resemble to each other based on their Fe and P₂O₅ contents. However harmonious relation was determined between Fe and P₂O₅ in all ore deposits. The highest Fe content has Avnik (48 % Fe) and the highest P₂O₅ content occurs in Ünalı (3,12 % P₂O₅). There is a positive and significant correlation between Fe and P₂O₅ with depth.

P, Fe and V are the most enriched elements in relation to Clarke values. The magnetites are poor on trace elements in relation to Kiruna magnetites. Their total rare earth elements concentration varies between 200-500 ppm. The chondrite-normalized distributions show in Avnik and Ünal'da a visible differentiation and is characterized by a marked negative Eu anomaly. Fluorapatites with an F content of 3.50 % have a relative highly concentration of rare earth elements and their chondrite normalized distribution likes to the their distribution in magnetites.

The ore deposits are described as classic Kiruna type. The ore is not seems to be economical in recent condition due to low Fe and high P percentage. However P, F, V and REE that can gain besides the Fe, increased the importance of ore and gives an important mineral raw material source in future.

KATKI BELİRTME

Verdikleri mali destekle çalışmaların gerçekleşmesini sağlayan TÜBİTAK Başkanı Sayın Prof. Dr. N. YETİŞ'e ve arşivlerinden yararlandığımız MTA Genel Müdürü Sayın Yük. Müh. M. Üzer'e şükranlarımı sunarım. Arazi çalışmaları sırasındaki katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. M. ÖNAL'a (İNÖNÜ), mikroskopik çalışmalar ve kimyasal analizler için Sayın K. Prof. Dr. GERMAN'a (TUB/F. Almanya) teşekkür borçluyum. NTE ve mikroprop analizleri için yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. F. MELCHER'e (BGR/F. Almanya) burada içten teşekkürlerimi sunarım. Örnek temini, cevher mikroskopisindeki destekleri, gözlem ve yorumları ile katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. C. HELVACI ve Prof. Dr. B. ERDOĞAN'a (ikisi de DEÜ) çok teşekkür ederim.

Sonuç olarak karşılaştırılan yatakların cevher kimyası ana hatlarıyla aynı özelliktedir. Dolayısı ile olası bir işletme durumunda birlikte işlenebilirler.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Aral, H., 1986,** The geology, geochemistry and magnetite-apatite mineralization of the Avnik area, Genc-Bingol, SE Turkey. Geol. Ultraiectina, Meded Inst. Aardwetenschappen Rijkuniversiteit Utrecht 44, Utrecht, 254 s.
- Brinkmann, R., 1971,** Das kristalline Grundgebirge von Anatolien. Geol. Rudsch. 60, 886-889.
- Büyükkıdık, H. ve Aras, A., 1984,** Adıyaman-Çelikhan-Pınarbaşı apatitli demir madeni jeoloji raporu. Yayınlanmamış MTA raporu 1803, Ankara, 24 s.
- Çelebi, H. 1985,** Die Genese der Magnetit-Apatit-Lagerstätte Avnik, Provinz Bingöl/Türkei und ihre wirtschaftsgeologische Bewertung. doktora tezi (yayınlanmamış), Berlin, 214 s.

- Çelebi, H., 1988,** Die Magnetit-Apatit-Lagerstätte Avnik/Ost-Türkei. Fortschr. der Miner. 66, 197-236.
- Çelebi, H., 1989,** Ansätze zur Rohstoffwirtschaftlichen Bewertung der Magnetit-Apatit-Lagerstätte Avnik, Ost-Türkei, Erzmetall 42/2, 78-85.
- Çelebi, H., 1992,** Avnik (Bingöl) metamorfik manyetit oluşuklarının jeokimyası, jeostatistiksel incelenmesi ve kökenlerinin irdelenmesi. TJK Bül. 35, 115-126.
- Çelebi, H., Helvacı, C. ve Uçurum, A., 2005,** Pınarbaşı (Bulam) apatitli manyetit yatağının vanadyum, nadir toprak elementleri ve flor açısından incelenmesi ve ekonomikliğinin araştırılması. Tübitak projesi, YDABAG – 101Y119 (yayınlanmamış), Ankara, 82 s.
- Ekambaram, V., Brookins, D. G., Rosenberg, P. E. ve Emanuel, K. M., 1986,** Rare-earth elements geochemistry of fluorite-carbonate deposits in Western Montana, USA. Chem. Geol. 54, 319-331.
- Erdoğan, B., 1981,** Avnik (Bingöl) Yöresi'nin jeoloji haritası. Erdoğan, B., Dora, O. Ö. ve Helvacı, C., 1981'den: Avnik (Bingöl) Yöresi apatitli demir yataklarının jeolojisi ve oluşumu. Yayınlanmamış rapor, EÜ, İzmir.
- Erdoğan, B. ve Dora, O. Ö., 1983,** Geology and genesis of the apatite-bearing iron deposits of the Bitlis Masif. International Symp. On the geology of Taurus Belt, Ankara, 96-97.
- Förster, H. ve Jafarzadeh, A., 1994,** The Bafq Mining District in Central Iran – a Highly Mineralized Infracambrian Volcanic Field. Econ. Geol. 89, 1697-1721.
- Frietsch, R., 1978,** On the Magmatic Origin of the Iron Ores of the Kiruna Type. Econ. Geol. 73, 478-485.
- Frietsch, R. ve Perdahl, J.-A., 1995,** Rare Earth Elements in Apatite and Magnetite in Kiruna-type Iron Ores and Some Other Iron Ore Types. Ore Geology Review 9, 489-510.
- Frutos, J. ve Oyurzun, J. 1975.** Tectonic and Geochemical Evidence Concerning the Genesis of El Laco Magnetite Lava Flow Deposit, Chile. Econ. Geol. 70, 988-980.
- Gözübol, A. L. ve Önal, M. 1986,** Malatya-Çelikhan alanının jeolojisi. Yayınlanmamış Tübitak projesi TBAG-647, Ankara.
- Güneş, Ö., 1994,** Pınarbaşı (Adıyaman) apatitli manyetit yatağının jeolojisi ve rezerv hesaplanması. Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü (yayınlanmamış), Elazığ, 59 s.
- Helvacı, C. ve Griffin, W. L., 1983a,** Rb-Sr Geochronology of the Bitlis Masif, Avnik

- (Bingöl) Area, SE Turkey. Geol. Soc. London Spec. Publ. 13, 225-265.
- Helvacı, C. ve Griffin, W. L., 1983b**, Metamorphic Feldspatization of Metavocanics and Granitoids, Avnik Area, Turkey. Contr. to Miner. and Petrol. 83, 309-319.
- Helvacı, C., 1984a**, Apatite-Rich Iron Deposits of the Avnik (Bingöl) Region, Southeastern Turkey. Econ. Geol. 79/2, 354-371.
- Helvacı, C., 1984b**, Bitlis Masifi Avnik (Bingöl) yöresi apatitli demir yataklarının oluşumu. Jeol. Müh. 19, 33-51.
- Hitzman, M. W., Oreskes, N. ve Einudi, M. T., 1992**, Geological Characteristics and Tectonic Setting of Proterozoic Iron Oxide (Cu-U-Au-REE) Deposits. Precambrian Res. 58, 241-287.
- Jurgeit, M., 2001**, Fluorapatit und seine Begleitmineralien von Cerro del Mercado in Durango, Mexiko. Mineralienwelt 4, 56-61.
- Kalkan Ağcil, H. ve Çelebi, H., 2004**, Türkiye apatitli manyetit yatakları ve jeokimyasal özellikleri. 1. Ulusal Jeokimya Sempozyumu bildirileri, Bursa.
- Kalkan Ağcil, H., 2005**, Türkiye apatitli manyetit yataklarının jeokimyasal özellikleri ve jeostatistiksel yöntemlerle karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (yayınlanmamış), Mersin, 81 s.
- Kalkan Ağcil, H. ve Çelebi, H., 2006**, Türkiye apatitli manyetit yatakları. 60. TJK Kurultayı bildiri özleri, Ankara, s. 179
- Kurmies, I. ve Seifert, Th., 2001**, The Magnetite-apatite Ore of the Kiruna District, Northern Sweden. www.geo.tu. freiberg/oberseminar/os03-04/ines-kurmies, 9 S., erişim: 21.01.2009.
- Mason, B. ve Moore, C. B., 1985**, Grundzüge der Geochemie. Enkeverlag, Stuttgart, 340 s.
- Megaw, P., 1999**, The Geology and Minerals of Cerro de Mercado, Durango, Mexico: Rocks and Minerals 74/1, 20-29.
- MTA (Maden Tetkik ve Arama, yayınhyan), 1980**, Bingöl-Genç-Avnik demir yatakları rezerv raporu. MTA raporu (yayınlanmamış), 26778, Ankara.
- Nyström, J. O. ve Henríquez, F., 1994**, Magmatic Features of Iron Ores of the Kiruna Type in Chile and Sweden: Ore textures and Magnetite Geochemistry, Econ. Geol. 89, 820-839.
- Önal, A., Şaşmaz, A. ve Önal, A., 2002**, Pınarbaşı (Çelikhan-Adıyaman) apatitli manyetit cevherinin mineralojisi, jeokimyası ve kökeni. Yerbilimleri Dergisi 40/41, 207-226.
- Önal, M., Şahinci, A. ve Gözübol, M. A., 1986**, Yeşilyurt-Çelikhan (Malatya-Adıyaman) dolayının hidrojeolojik incelenmesi. Jeoloji Müh. 29, 5-12.
- Öztürk, M., Kurt, M., Yurt, Z. ve Aygün, M., 1983**, Bitlis Ünalı Meşe Sırtı Öküz Yatağı apatitli manyetit cevherleşmelerinin jeolojik etüd değerlendirme raporu. MTA raporu 1402 (yayınlanmamış), Ankara, 117 s.
- Perinçek D., 1979**, Çelikhan-Sincik-Koçali (Adıyaman İli) alanının jeoloji araştırması. İÜ Fen. Fak. Mec. B 44, 127-147.
- Rhodes, A. L., Oreskes, N. ve Sheets, S., 1999**, Geology and Rare-earth-element Geochemistry of Magnetite Deposits at El Laco, Chile. Geology and Ore Deposits of the Central Andes, ed. B. Skinner. Society of Economic Geologists Special Publication, 7299-332.
- Rösler, H. J., 1988**, Lehrbuch der Mineralogie. VEB Verlag, Leipzig, 832 s.
- Shannon, R. D., 1976**, Revised Effective Ionic Radii and Systematic Studies of Interatomic Distances in Halid and Chalcogenides. Acta Crystallogr. A 32, 751-767.
- Sınacı, H. Çelebi, H., Alpaslan, M., Helvacı, C. ve Uçurum A., 2003**, Bulam (Pınarbaşı) Çelikhan/Adıyaman apatitli manyetit yatağı'nın jeolojik özellikleri ve ekonomik potansiyeli. Mersin Üniversitesi 10. Yıl Semp. bildirileri, Mersin.
- Stosch, H.-G., 2000**, Geochemie der Seltenen Erden. ders notları, Karlsruhe Üniversitesi, Karlsruhe, 192 s.
- Suludere, Y., Aydoğan, N. ve Kayan, T., 1983**, Bitlis-Sürüm Köyü apatit-manyetit cevherleşmelerinin jeolojisi ve değerlendirme raporu. MTA raporu 7482 (yayınlanmamış), Ankara, 38 s.
- Şener, S. ve Üner, T., 2003**, Bitlis-Ünalı Bölgesinin jeolojisi ve apatitli manyetit cevherleşmeleri. Mersin Üniversitesi 10. Yıl Semp. bildirileri, Mersin.
- Taylor, R. P. ve Fryer, B. J., 1983**, Rare earth Element Geochemistry as an Aid to Interpreting Hydrothermal Ore Deposits. Evans (ed.): Metallization Associated with Acid Magmatism. Wiley, Chichester, 357-365.
- Toran, F. M. Ve Lehmann, B., 2007**, Magnetite-apatite Deposits of the Bafq District, Central Iran: Apatite Geochemistry and Monazite Geochronology. Mineralogical Magazine 71, 347-363.
- White, W. M., 2002**, Geochemistry. www.imwa.info/geochemie/chapters.html, erişim: 18.01.2002, 700 s.
- Yazgan, E. ve Chessex, R., 1991**, Geology and Tectonic Evolution of the Southeastern Taurides in the Region of Malatya. TPPG Bülteni C3/1, 1-42.
- Yıldırım, B., Koç, S. ve Altınay, N., 1985**, Bitlis Yöresi apatitli manyetit sahalarının ara değeren-

- dirme raporu. MTA raporu 7713 (yayınlanmamış), Ankara, 18 s.
- Yılmaz, O., Michel, R., Vialette, Y. ve Bonhomme, M., 1981,** Réinterprétation des Données Isotopiques Rb-Sr Obtenues Sur les Métamorphites de la Partie Méridionale du Masif de Bitlis (Turquie). Bull. Sci. Géol. Strasbourg 34, 59-73.
- Young, E. J., Myers A. T. ve Munson, E. L., 1969,** Mineralogy and Geochemistry of Fluorapatite From Cerro de Mercado, Durango/Mexico. US Geol. Surv. Prof. Paper 650 D, 84-93.