

PINARBAŞI (ADİYAMAN) APATİTLİ MANYETİT YATAĞININ JEOLJİSİ, JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE EKONOMİK POTANSİYELİ

Hüseyin ÇELEBİ*, Cahit HELVACI** ve Ali UÇURUM***

ÖZ.- Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'nın yakın çevresinde, alttan üste doğru klorit, serisit ve kalkıştillerle rekristalize kireçtaşlarından oluşan Permiyen yaşlı Malatya Metamorfitleri vardır. Eosen yaşlı Maden Karmaşığı'nın üstüne bir bindirme ile gelen bu oldukça kıvrımlanmış ve kırılmış başkalaşım kayalar, yeşil şist fasiyesinde bir bölgesel ve bunu takip eden bir retrograd başkalaşım geçirmiştir. Klorit-serisit şistlere bağlı cevherleşmeler, manyetitli apatit mercikleri şeklindedir. Kuzey-güney doğrultulu, 15 m kalınlığa ulaşan cevher düzeyleri, yaklaşık 30° eğimle batıya dalmaktadır. Sahada masif, bantlı ve saçınımlı cevher tipleri ayırt edilmektedir. En önemli cevher minerali manyetitdir. Bunu hematit, siderit, götit ve spekülurit izler. En değerli gang minerali olan flüorapatitin oranı yer yer %30'a varmaktadır. Kuvars, kalsit, klorit ve serisit diğer yaygın gang mineralleridir. Ender olarak rutil, zirkon, monazit ve ksenotim gözlenir. Fe, P₂O₅ ve derinlik arasında uyumlu ve anlamlı bir bağıntı ile araldanmadan kaynaklanan boşluk etkeni gözlenmektedir. Elementlerin sıklık dağılımları logaritmiktir. %20 üzerinde Fe içeren manyetit rezervleri yaklaşık 78 Mt'dur. Ortalama Fe tenörü %35 olan bu rezervlerin ortalama P₂O₅ derişimi %1,57'dir. Apatitte F derişimi %3,46 ile önemlidir. Ancak apatitin nadir toprak element (NTE) derişimi (900 ppm) ve manyetitin V derişimi (800 ppm) düşüktür. Klasik Kiruna tipi sedimanter apatitli manyetit yatağı olarak tanımlanan yatak, ekonomik bir işletmeye elverişli görülmemektedir.

Anahtar kelimeler: Pınarbaşı, manyetit, apatit, jeokimya, başkalaşım.

ABSTRACT.- In the near vicinity of the apatitebearing magnetite deposit of Pınarbaşı Permianaged Malatya Metamorphites consisting of, from bottom to top, chlorite schists, cericite schists, calcschists and recrystallized limestones cover large areas. These folded and faulted metamorphic rocks, which thrust over the Eoceneaged Maden Complex, underwent one regional metamorphism and one subsequent retrograde metamorphism in the greenschist facies. Mineralizations associated with chloritesericite schists are in the form of magnetitebearing apatite lenses. The ore horizons, which reach a thickness of 15 m and have a northsouth strike, dip approximately 30 degrees to the west. In the field, massive, banded and disseminated ore types are distinguished. The most important ore mineral is magnetite. It is followed by hematite, siderite, goethite and specularite. The proportion of the fluorapatite, the most valuable gangue mineral, reaches up to 30% in some places. Quartz, calcite, chlorite and sericite are other common gangue minerals. Rarely, rutile, zircon, monazite and xenotime are also observed. There is a significant positive correlation between Fe, P₂O₅ and depth. The variograms reveal holeeffects which reflect orerock alternations. Frequency distributions of the elements are logarithmic. Magnetite reserves with an iron content of over 20% Fe are approximately 78 Mt. The average P₂O₅ concentration of these reserves having an average Fe tenor of 35% is 1.57%. The F concentration of 3.46% in apatite is significant. However, rare earth element (REE) concentration of apatite (900 ppm) and V concentration of magnetite (800 ppm) are low. This deposit defined as classic Kirunatype sedimentary apatitebearing magnetite deposit, is not considered to be economically mined.

Key words: Pınarbaşı, magnetite, apatite, geochemistry and metamorphism.

GİRİŞ

Demir yatakları doğada hem köken, hem de yapı bakımından oldukça çeşitlidir. Her çeşit yatak oluşturabilen demirin önemli bir yatak tipini

de apatitli manyetit yatakları oluşturur. Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'nın da ait oluşu bu tip yataklar, ekonomik bakımdan büyük önem taşımaktadır. İsveç çelik sanayiinin en önemli kaynağı olan bu tip yataklar, literatüre "Kiruna tipi

* Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 33343 Çiftlikköy, Mersin

** Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35100 Bornova/İzmir

*** Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas

demir yatakları" olarak geçmiştir (Wright, 1986). Diğer önemli apatitli manyetit yatakları Cerro de Mercado (Meksika), El Laco (Şili) ve Bafq (İran) yataklarıdır (Mücke ve Younessi, 1994; Förster ve Jafarzadeh, 1994)). Bunların Türkiye'deki örnekleri Avnik (Bingöl) ve Ünalı (Bitlis) apatitli manyetit yataklarıdır.

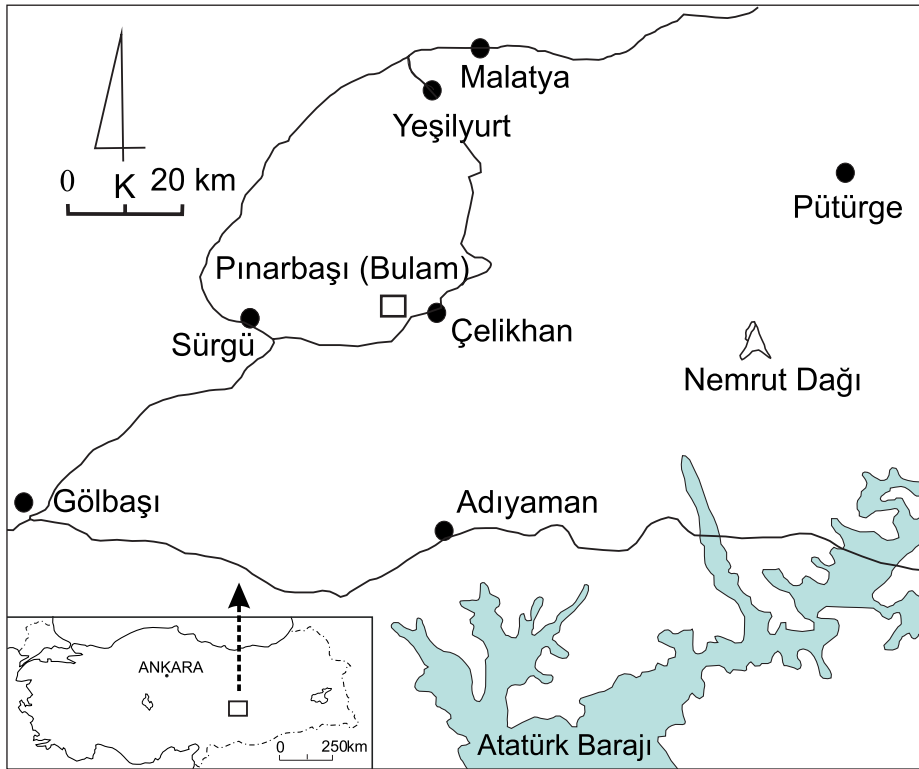
Pınarbaşı apatitli manyetit yatağı, Adıyaman'ın Çelikhhan İlçesi'nin yaklaşık 6 km batısında bulunmaktadır. Ulaşımı kolay olan çalışma sahasına, Malatya-Gaziantep Karayolu üzerindeki Sürgü Bucağı'ndan yaklaşık 30 km'lik asfaltlı bir yolla ulaşılmaktadır (Şekil 1).

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yatak alanı ve yakın çevresi hakkında jeolojinin değişik disiplinlerine ait çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bunların öncüleri Tolun

(1955) ve Koşal (1967)'dir. Bunları Perinçek (1979), Gözübol ve Önal (1986), Önal ve diğerleri (1986), Yazgan ve Chessex (1991) ile Önal ve Gözübol (1992) takip etmektedir. Demir ve fosfor içeriğinin araştırılması, rezerv ve işletilebilirliği ile ilgili olarak, Öztürk (1982), Akar (1983), Büyükkıdık ve Aras (1984) ve Güneş (1994) çalışmışlardır. Daha sonraki araştırmalar Önal ve diğerleri (2002) tarafından cevherleşmenin mineralojik yapısı ve jeokimyasal bileşimi üzerine yapılmıştır. Son olarak Çelebi ve diğerleri (2005) tarafından yatağın mineralojik ve jeokimyasal özellikleri incelenmiş, radyometrik yaş saptaması yapılmış ve ekonomik potansiyeli irdelenmiştir.

Geniş ölçüde yüzeyleyen Pınarbaşı apatitli manyetit yatağı, eskiden beri bilindiği ve incelendiği sahada gözlenen yarmalarla kanıtlamaktadır. 20. yüzyılın ortalarından itibaren sahanın



Şekil 1- Çalışma sahasının coğrafi konumu.

ilgi gördüğünü sondaj çalışmaları ve cevher yığınları gibi güncel madencilik etkinlikleri doğrulamaktadır. Bunlar 1930'lu ve 1990'lı yıllarda denenmiş, ancak cevherlerin yüksek fosfor içeriği nedeniyle sürdürülmemiştir (Çelebi ve diğerleri, 2005).

Yatakta modern inceleme çalışmaları Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından 1970 yılında başlatılmıştır. 1984'e kadar aralıklarla sürdürülen haritalama, sondaj ve zenginleştirme çalışmaları sırasında açılan 9 sondaj, 385 m³lük yarma, 347 karot ve 145 nokta örneği ile yatağın rezervi hesaplanarak cevherin yayılım alanı kısmen belirlenmiştir (Büyükkıdık ve Aras, 1984). Bu çalışmalarla % 28,56 Fe ve % 2,01 P₂O₅ tenörlü 69,2 Mt manyetit rezervi hesaplanmıştır. Güneş (1994) 66,2 Mt (% 36,04 Fe ve % 2,07 P₂O₅) ve Sınacı ve diğerleri (2003) de 78 Mt (% 35,07 Fe ve %1,57 P₂O₅) rezerv vermektedirler.

AMAÇ VE ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

Bu çalışmadan amaç, Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'nın jeolojik yapısını, mineralojik özelliklerini, cevher ile yan kayacın makro ve mikro bileşimini araştırmak ve ekonomik önemini ortaya çıkarmaktır. Bu amaçla yatak ve yakın çevresinin jeolojisi, cevherleşmelerin yapısı, bileşimi ve potansiyeli ortaya çıkarılacaktır. Buna ek olarak özellikle çelik ve pil üretiminde kullanılan vanadyum ve florikasit üretimi için büyük önem taşıyan flüorit ile ağır element içerikleri analiz edilmiş, elementler arası ilişkiler ve oranlar irdelenerek oluşum koşullarının yorumlanmasına çalışılmıştır.

JEOLJİK YAPI

Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'nın yakın çevresinde değişik yaş ve kökene ait kayaç birimleri bulunmaktadır. Bunlar Paleozoyik, Mezozoyik, Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı kaya birimleridir (Şekil 2). Bunların en önemlileri Anadolu ve Arap Levhaları'nın çarpışma zonunda geniş

yayılım gösteren Paleozoyik (Permo-Karbonifer) yaşlı Pütürge ve Malatya Metamorfileri (Tolun, 1955; Perinçek, 1979), Maden Karmaşığı (Eosen; Perinçek, 1979) ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır.

STRATİGRAFI

Yöredeki kaya birimlerin en alt birimini Pütürge Metamorfileri oluşturmaktadır. Bunların üzerinde volkano-sedimanter kayaçlardan oluşan Maden Karmaşığı açılı uyumsuzlukla yer alır. Bunun üstüne bindirmeli olarak gelen şistlerle, rekristalize kireçtaşlarından oluşan Malatya Metamorfileri gelmektedir (Şekil 2). En üstte ise Pliyosen yaşlı konglomeralar ile Kuvaterner yaşlı alüvyon örtüsü uyumsuzlukla gelmektedir.

PÜTÜRGE METAMORFİTLERİ

Pınarbaşı yatak sahasında ve yakın çevresinde gözlenmemektedir. Esas yayılım alanı adını aldığı Pütürge yöresidir. Bölgesel başkalaşım ürünü bu birim, yeşilist fasiyesinde başkalaşım geçirmiştir. Alttan üste doğru, gnays, amfibolit şist, mikaşist ve rekristalize kireç taşlarından meydana gelmektedir. Bitlis Masifi'nin bir parçası olarak görülen Pütürge Metamorfileri (Brinkmann, 1971), ancak Eosen'de bugünkü şeklini alabilmiştir. Önal ve diğerleri (1986)'ya göre alt dokanağı gözlenmeyen birimin, üst dokanağı Eosen yaşlı, andezitik, spilit tuf, kırmızı çamurtaşı ve kireçtaşlarından oluşan Maden Karmaşığı ile açılı uyumsuzdur (Şekil 2).

MALATYA METAMORFİTLERİ

Kilkaya Kireçtaşı ve Amanos Formasyonu gibi değişik adlar altında anılan bu birim (Gözübol ve Önal, 1986), Malatya güneyindeki kendine özgü görünümünden dolayı Perinçek (1979) tarafından Malatya Metamorfileri olarak adlandırılır ve Alt ve Üst Metamorfite'ye ayrılır. Buna karşın Gözübol ve Önal (1986) birimi 4 grupta incelemektedirler. Bunlar, alttan üste doğru: Pınarbaşı Formasyonu, Koltik Kireçtaşı, Düzağaç Formasyonu ve Kalecik Kireçtaşları'dır (Şekil 2).

Üst Sistem		SENOZOYİK		PALEOZOYİK		SENOZOYİK		PALEOZOYİK		LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
Kuvaterner Sistem	Seri	Tersiyer	Pliyosen	Permo - Karbonifer	Maliatya Metamorfikleri	Tersiyer	Eosen	Silüriyen - Devoniyen	Pınarbaşı		
Grup	Formasyon	Formasyon	Formasyon	Formasyon	Formasyon	Formasyon	Formasyon	Formasyon	Formasyon	Formasyon	Formasyon
Kalınlık (m)	Kalınlık (m)	Kalınlık (m)	Kalınlık (m)	Kalınlık (m)	Kalınlık (m)	Kalınlık (m)	Kalınlık (m)	Kalınlık (m)	Kalınlık (m)	Kalınlık (m)	Kalınlık (m)
			10 - 20								Alüvyon
											Diskordans
			~ 100								Çakıltıtaşı - Kumtaşı - Çamurtaşı
											Diskordans
											Kristalize Kireçtaşı
											Apatitli Demir Cevheri Sünüme kıvrımlı şist, kloritşist, kuvarsit, serizitşist ve kalkşist
											Tektonik Dokanak (Bindirme)
											Volkano - Sedimanter Karmaşık
											Çakıltıtaşı - Kalkşist
											Diskordans
											Gnays ve Mikaşist

Şekil 2- Çelikhvan Yöresi'nin genişletilmiş stratigrafi kesiti (Gözübol ve Önal, 1986'dan değişiklikle).

Apatitli manyetit yatağında en yaygın gözlenen kaya birimi Malatya Metamorfittleridir (Şekil 3 ve 5). Malatya metamorfittleri Maden Karmaşığı ve Pütürge metamorfittleri üzerine bindirmiştir. Bunun üstüne Üst Kretase'nin Gündüzbey Grubu açılı uyumsuzlukla gelmektedir (Önal ve diğerleri, 1986). Gündüzbey Grubu ortaç ve düşük derecede bölgesel başkalaşım ürünü şist ve rekrystalize kireçtaşları ile temsil edilmektedir Önal ve Gözübol (1992).



Şekil 3- Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'nın kuzeyinde görülen Malatya Metamorfittleri. Cevherli Pınarbaşı Formasyonu şistleri (ortada, koyu), Koltik Kireçtaşları (üste, açık) ve Çelikhhan Ovası alüvyonları (önde).

Pınarbaşı Formasyonu, yatağın kuzeyinde yaygındır. Bu birim alttan üste doğru, kloritşist, serisitşist ve kalkışistlerden oluşur. Birimde şistozite iyi gelişmiştir. Bunu sıkça kesen çeşitli kalınlıktaki kuvars damarları vardır. Bu damarlarda ender olarak sülfidler de gözlenmektedir. Kloritşistlerin çevresinde bulunan kalkışistler yer yer bitümlü ve dolomitiktir. Dolomitik kesimler kalın tabakalı ve ince tanelidir. Pınarbaşı cevherleşmeleri esas olarak bu birim içinde yer almaktadır (Şekil 4).

Pınarbaşı formasyonu Koltik Kireçtaşlarına dereceli olarak geçmektedir. Kalınlığı 1000 m'ye ulaşan bu birim, tabakalanmalı olup, yatağın doğu kesiminde yaygındır. Birimin alt kısımları

tabakalanmalı olup, rengi koyu gri ve beyazdır. Rekrystalize olan birim, epidot, klorit ile kuvars içermektedir. Önal ve Gözübol (1992) tarafından buradaki çatlaklı kireçtaşlarını Düzağaç Formasyonu, dolomitik olanları da Kalecik Kireçtaşları olarak ayırmakta ve saptanan fosillerine göre Permo-Karbonifer yaşını vermektedirler. Bu birimler yatak sahasında bulunmamaktadır.

MADEN KARMAŞIĞI

Değişik renklerdeki kireçtaşı, kumtaşı, çakıltaşı ve kiltası ile andezit, diyabaz ve spilitik bazalttan oluşan Maden Karmaşığı, en iyi yörenin kuzeydoğusunda görülmektedir. Birim Elazığ'ın Maden İlçesi dolayında en iyi görüldüğü için Perinçek (1979) tarafından bu ad verilmiştir. İnceleme sahasının kuzeydoğusunda izlenen birimin, kalınlığı 350 m'ye ulaşmaktadır.

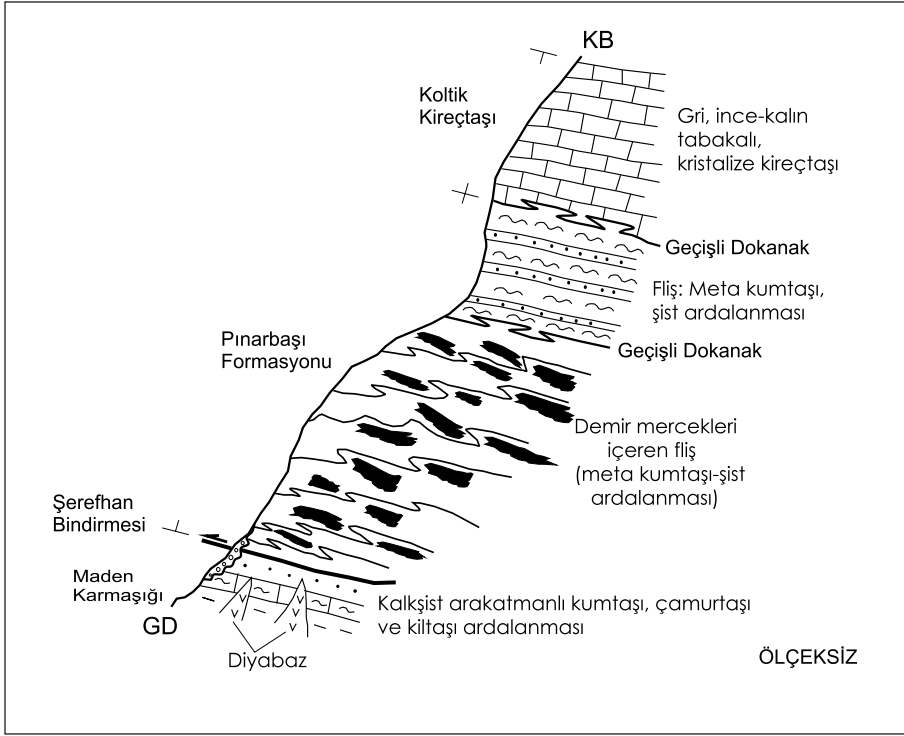
Maden Karmaşığı, tabanda Pütürge Metamorfittleri üzerine açılı uyumsuzlukla gelmektedir (Önal ve diğerleri, 1986). Üst dokanağı ise Malatya Metamorfittleri ile bindirmelidir. Gözübol ve Önal (1986)'ya göre muhtemelen Alt Eosen yaşlıdır ve kıta içi çanakta oluşmuştur.

SOKULUM KAYAÇLARI

Bölgede çeşitli yaş ve bileşimde granitik ve dasitik sokulumlar gözlenmektedir. Bunların en önemlisi Çelikhhan'ın güneyinde gözlenen ve çevresinde belirgin bir alterasyon zonu oluşturan granitik sokulumdur (Büyükkıdık ve Aras, 1984). Ayrıca bindirme hattında ve yarılımlarla ilişkili olarak oluşan, pirit, malakit, azurit ve kalkopirit gibi cevher minerallerinin görüldüğü daha küçük sokulumlar da bulunmaktadır.

KUVATERNER ÇÖKELLERİ

İnceleme alanının kuzeydoğusunda ve doğusundaki vadilerde yaygın bir şekilde taraçalar ve yamaç moluzu birikintileri gözlenmektedir. Yataktaki cevherleşmeler geniş ölçüde birkaç m'ye varan kalınlıktaki bu döküntü ve molozlar tarafından örtülmüştür (Şekil 5).



Şekil 4- Malatya Metamorfitlelerinin Çelikhan Tepesi'ndeki (harita alanının yaklaşık 5 km doğusunda, Şekil 5) enine kesiti Maden Karmaşığı ve bindirme hattı ile ilişkilerini açıklamaktadır.

TEKTONİK

İnceleme alanının en önemli yapısal öğeleri bindirme ve kıvrımlardır. Maden sahası, Toridler ile Arap Platformunun çarpışma kuşağında bulunması nedeni ile tektonik hareketlerden oldukça etkilenmiştir.

Yapılan saha gözlemlerine göre inceleme sahasının en yaygın tektonik öğesi Pınarbaşı Yatağı'nın güneyinden geçen Şerefhan bindirme hattıdır. Bu kuşak boyunca Torid Tektonik Kuşağı ile Arap Platformu'nun çarpışması sonucu batıya hareket eden Malatya Metamorfitleleri güneye doğru Maden Karmaşığı üzerine bindirmiştir. Bu bindirme sonucunda kaya birimleri içinde ikincil itilme ve dilimlenmeler meydana gelmiştir.

Maden yatağının örneğin, kuzeyinde çok sayıda kıvrım, yarılım ve atılımlar gözlenirken, güneyde bunlara rastlanmamaktadır. Kuzey-güney sıkışmasına bağlı olarak kuzey-güney ve doğu-batı doğrultulu yarılım ve kıvrımlanmalar meydana gelmiştir. Sahanın kuzeyinde güneye dalımlı bulunan antiklinale bağlı olarak şistlerde küçük kıvrımlanmalar meydana gelmiştir. Bu hareketlenme sonucu büyük rekrystalize kireçtaşı blokları şistlerin içine itilerek (Şekil 5) kıvrımlanma ve kırılmalara neden olmuşlardır Önenç ve Yılmaz, 1981. Kristalize kireçtaşları antiklinalin batı kesiminde korunurken doğu kesiminde aşınmıştır. Şistlerdeki tektonik yapılar yerel kıvrımlanma, kırılma ve düşey yarılımlardan oluşmaktadır. Cevher, şistlerle birlikte ileri derecede kıvrımlanmıştır. Bu, cevherleşmenin deformasyondan yaşlı olduğunu gösterir.

BAŞKALAŞIM

Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'nın kayaç birimleri ve yakın çevresi yeşil şist fasiyesinde en az bir bölgesel başkalaşım geçirmiştir. Mikroskopik incelemeler ve difraktometri analizleri başkalaşım derecesinin oluşturduğu belirgin mineral birlikteliği kloritler (klorit, kloritoid ve serisit), mikalar (biyotit ve muskovit) ve feldspatlar (albit) ile epidotdur (Çelebi ve diğerleri, 2005). Bu mineral birlikteliği, Winkler (1976)'ye göre bölgesel başkalaşımın yeşilşist fasiyesinin kuvars-albit-muskovit-klorit sübfasiyesine karşılık gelmektedir. Burada saptanan indeks mineraller çizelge 1'de verilmiştir (Çelebi ve diğerleri, 2005).

Ender rastlanan biyotit, epidot ve granat, Pınarbaşı'ndaki başkalaşımın en çok kuvars-albit-epidot-biyotit sübfasiyesinin başlangıcına ulaşabildiğini göstermektedir. Brownlow (1996) bu tipik mineral birlikteliğini ancak pelitik kökenli sedimanların yeşilşist fasiyesindeki başkalaşım ürünü olabileceğini belirtmektedir.

Yapılan ¹⁸O iztop analiz değerleri, yatağın oluşum sıcaklığının 282-372 °C arasında değiştiğini göstermiştir (Çelebi ve diğerleri, 2005). Bu sıcaklık, başkalaşımın yeşil şist fasiyesi sıcaklığına karşılık gelmektedir. Hidrojen izotop analizleri sedimanter kayaç değerlerini vermekte ve jeokimyasal bulguları desteklemektedir (Çelebi ve diğerleri, 2005).

Radyometrik (Ar-Ar) yaş tayini 66 ve 48 Ma vermiştir. Bunlardan eski 66 Ma ofiyolit gelişimi ile (Kampanyen) gerçekleşen başkalaşım yaşını yansıtmaktadır (Çelebi ve diğerleri, 2005). 48 Ma ise 2. başkalaşım, retrograd başkalaşım veya tektonik hareketlenmenin, yaşını (Eosen) ifade etmektedir (Yazgan ve Chessex, 1991; Aktaş ve Robertson, 1984).

Bu bulgulara göre Pınarbaşı'ndaki başkalaşım, Winkler (1976) sınıflamasına göre, basıncın etkin olduğu Barrow tipi zayıf bir bölgesel başkalaşım olarak tanımlanabilir. Böyle bir başka-

laşımın oluşum koşulları yaklaşık 400 °C sıcaklık derecesine ve 400 MPa basınca karşılık gelmektedir.

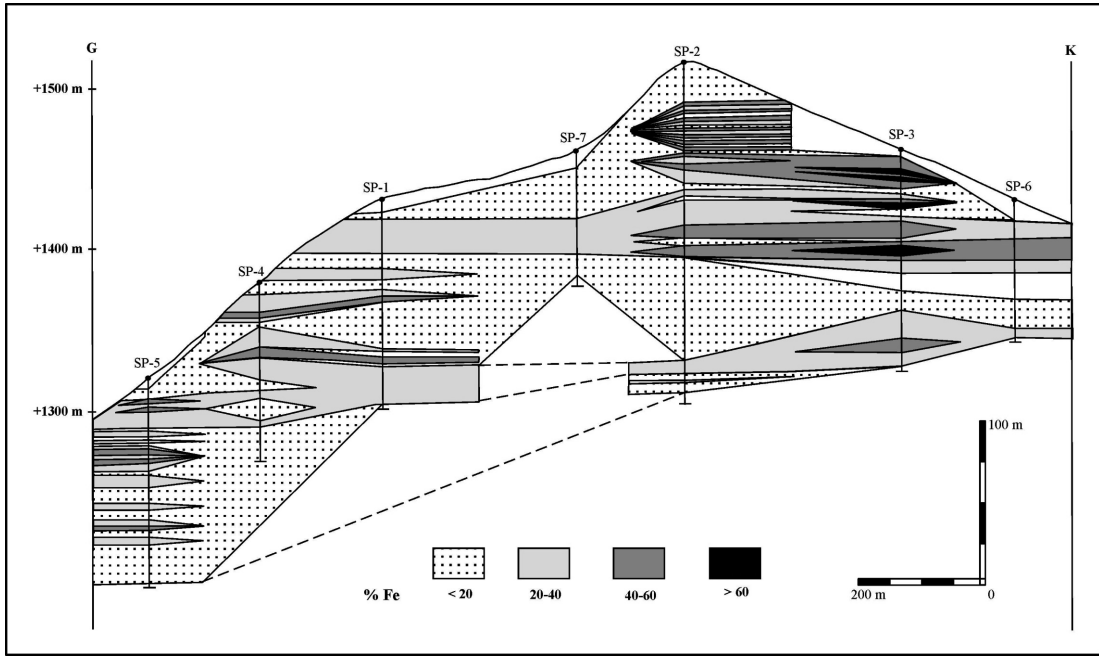
CEVHERLEŞME

Cevherleşme şekli

Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'nın ana cevher minerali manyetittir. Apatit, esasında kuvarsla birlikte, bir gang minerali olarak bulunur (Çelebi ve diğerleri, 2005). Saha gözlemleri ve sondaj verilerine göre yatay durumda bulunan, klorit-serisitşist, manyetit ve apatit araldanmasından oluşan cevher düzeyleri, güneye doğru derinleşmektedir (Şekil 6). Yatağın üst kısımlarında kloritşistlerde yoğunlaşan bu düzeyleri, çeşitli derinliklerde mercek veya tabaka şeklinde bulunur. Kuzey-güney bindirme yönüne dik konumdaki cevherleşmeler, batıya kısmen 70°'ye varan eğimle dalmakta (Şekil 5, kesit A-A') ve mermerlerle yan ve düşey geçiş göstermektedir. (Büyükkıdık ve Aras, 1984). Cevher mercleklerinin kalınlıkları 15 m'ye, yanal uzanımları ise, birkaç yüz m'ye varmaktadır (Şekil 5 ve 6). Cevherli zonun toplam kalınlığı ise 100 m'yi bulmaktadır (örneğin, SP-3 sondajında). SP-8 ve SP-9 verilerine göre cevher kristalize kireçtaşlarının altında batıya doğru devam etmekte ve derine doğru yan kayaçla araldanarak 200 m'ye kadar takip edilebilmektedir (Çelebi ve diğerleri, 2005). Yüzyeyle limonitleşme izlenmektedir.

Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'nda masif, bantlı ve saçınımlı halde bulunan manyetit, derişim oranına göre farklı yapıda ve kalitede cevher türleri sergilemektedir. En yaygın cevher minerali manyetittir. Bunu hematit, götit ve çok az miktardaki siderit izlemektedir.

Masif cevherleşme yan kayacın apatit ve manyetite oranla azalması sonucu geride saf manyetit ve apatitin kalması ile oluşmuştur. Buradaki masif kavramı Fe oranı % 50'nin üzerinde olan cevherleri kapsar. Yatağın orta (SP-2) ve kuzey kesimlerinde (SP-3 sondajlarında) yaygın-



Şekil 6- Cevher zonunun kuzey-güney yönündeki yatay konumu. Madencilikte uygulanan olasılık ilkelerine göre çizilen bu kesitte, cevher düzeyleri güneye doğru derinleşmektedir (Çelebi ve diğerleri, 2005; bak. ayrıca Şekil 5).

lık gösterir. Üst seviyelerde derinlere göre daha yoğundur. Bu da SP-2 ve SP-4'te olduğu gibi Fe'nin derinlikle azalmasına neden olmaktadır. Masif cevherin kalınlığı, örneğin, SP-3'te izlendiği gibi (Şekil 6), en çok 10 m'ye varabilmektedir. Yanal uzanımları, kalınlığın birçok katı olabilmektedir.

Masif manyetit sadece mm boyutlarında, ince tanecik ve bantlar halinde, apatit ve silikat içerir. Belirgin bir yönlenme gösterir. MTA karot ve oluk örnekleri analizlerine göre P_2O_5 oranının en yüksek olduğu cevher tipidir. Bu durum en iyi SP-2 sondajında gözlenmektedir. Bu saptama temelde apatit ile manyetit arasında bir uyumlu bağıntının varlığını ortaya koymaktadır.

Bantlı cevherleşme iyi yönlenmiş manyetit, apatit ve klorit şist ardalanmasından meydana gelir (Şekil 7). Yatağın güney kesiminde daha belirgin gözlenmekte olan bu cevher türü, çeşitli derinlik ve kalınlıklarda olabilmektedir. Büyük

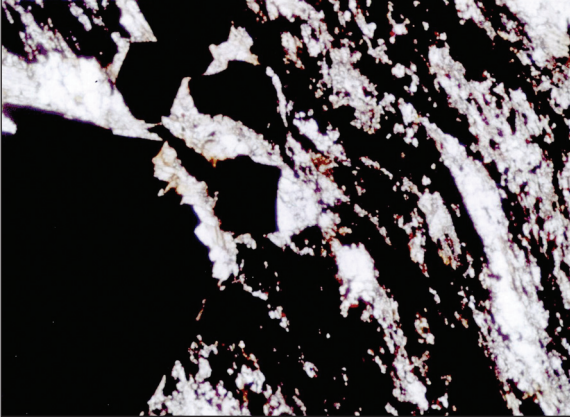
olasılıkla başkalaşım sırasında basınç sonucunda yönlenme olmuştur. Bu tüm cevher türlerinde görülür. Bantların kalınlığı cevher ve gang minerallerinin tane boyuna göre değişerek birkaç cm'ye varabilmektedir. Bantlaşma şistoziteye paraleldir. Yanal yönde saçınımlı cevherlere geçer. İri



Şekil 7- Klorit şistlerle (açık) ardalanmış bantlı manyetit (koyu).

ve genellikle özşekilli manyetit kristallerinin etkin olduğu bu cevher tipinin manyetit oranı %50 civarında olmaktadır.

Saçınımlı cevherleşme ise, en yaygın cevher tipidir. Yatağın her tarafında değişik yoğunlukta ve boyutta gözlenir. Bu tip cevherleşme her zaman bantlı ve masif cevherlere eşlik eder. Ancak bu milimetre boyutunda, çoğunlukla düzensiz ve ince taneli, yer yer özşekilli ve şistoziteye paralel yönlü manyetit ve apatit kristallerinden oluşan cevherin normatif manyetit oranı %30'u geçmemektedir (Şekil 8). Dolayısıyla, bu cevher türünün olası bir işletme sırasında kazanılması ancak kısmen masif ve bantlı cevherlerle mümkündür.



Şekil 8- Çok iyi yönlü klorit-serisitşist içinde (hamur madde) kuvars (beyaz) ve apatitle ardalanmış, özşekilsiz eski ve serpilmiş özşekilli genç manyetit nesilleri (siyah) bir arada bulunmaktadır. Özşekilli manyetitler, ancak başkalaşım sonrası ürünler olabilir. Kırmızı yerler hematittir. Fotoğrafın uzun kenarı yaklaşık 1,5 mm, çift nikol.

MİNERALOGİK İNCELEMELER

Mikroskopik incelemeler, Pınarbaşı apatitli manyetit yatağı mineralojisinin oldukça yalın olduğunu ortaya koymaktadır. Mineral grubu olarak oksitler (manyetit, hematit), silikatlar (mika ve kloritler) ile fosfatlar (apatit) oldukça yaygındır

(Çelebi ve diğerleri, 2005). Ancak, bu yatağın ana kayaçlarının tüm elementlerce, örneğin, sedimanlar gibi, zengin olmadığını veya başkalaşımın çeşitli mineral parajenezi oluşturacak dereceye ulaşmadığını göstermektedir. Cevher ve yan kayaçlarda başkalaşım sonucu olarak kuvvetli bir yönlümenin bulunduğu gözlenmiştir.

Optik ve elektron mikroskop gözlemleri ile kimyasal analiz sonuçlarına göre yan kayacı yeşilimsi-gri klorit (kmozit, Fe-klorit: $[Fe^{2+}, Mg, Fe^{3+}]_5 Al[Si_3 Al]O_{10} [OH, O]_8$) ve gri (muskovit) ile kahverengi (biotit) mika mineralleri oluşturmaktadır (Çelebi ve diğerleri, 2005). Lifli yapıları ile kolayca tanınan klorit ile pul şeklindeki mika minerallerini çeşitli tane boyundaki kuvars izler. Bu 3 mineral grubu her zaman manyetit ve apatite eşlik eder ve sıkça başkalaşımın yönlü (stres) kuvvetlerinin sonucu olarak, çok iyi yönlendikleri veya kesildikleri gözlenir. Klorit, serisit ve kuvarstan oluşan kloritşist dokusu içinde çok iyi yönlü, özşekilsiz eski bir manyetit ile özşekilli ikincil bir manyetit bir arada bulunmaktadır (Şekil 8). Yönlü eski manyetit sadece kloritşistlere bağlı bulunduğu ve yankayaçlarla arda landığı görülmektedir. Özşekilli manyetitler büyük olasılıkla başkalaşımından sonra, örneğin, retrograd başkalaşım sırasında, oluştuklarından, deformatsiyondan etkilenmemişlerdir.

Klorit-serisitşist birimi üzerine normal dokunakla gelen rekristalize kireçtaşları, orta tabakalı olup, şistlerle paralel yönlülmüştür. Mineralojik olarak kalsitten oluşan rekristalize kireçtaşları yer yer dolomitik bileşim sunarlar. Özşekilli kalsit taneleri granoblastik bir dokuya ve ikizlenme lamellerine sahiptir. Kalsit yanında ender olarak klorit, mika, epidot ve opak minerallere rastlanmaktadır.

Cevher mikroskopisi çalışmalarına göre Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'nda manyetit çeşitli şekillerde bulunmaktadır. Zengin veya masif cevher zonlarında ancak 0,5 mm altında tane boyutuna erişen manyetit taneleri, saçınımlı cevherlerde birkaç mm çapına varan tane boyutu

Çizelge 1- Başkalaşım dereceleri saptanan indeks mineralleri.

Fasiyes	Alt fasiyes	İndeks mineraller			
Yeşil şist fasiyesi	$Qu+Ab+Mu+Chl$	Kloritoid/klorit	Muskovit		
	$Qu+Ab+Ep+Bi$			Biyotit	
	$Qu+Ab+Ep+Alm$				Epidot Almandin

Qu: Kuvars, **Ab:** Albit, **Mu:** Muskovit, **Chl:** Klorit, **Ep:** Epidot, **Bi:** Biyotit ve **Alm:** Almandin

gösterebilmektedir. Özşekilli manyetit kristallerine, özellikle, iyi yönlendirilmiş saçınımlı cevherlerde rastlanmaktadır.

Mikroskopik olarak manyetit, koyu gri renkli, iri taneli, çoğunlukla öz şekillidir kristal kenarları boyunca 2 yönde gelişen bir martitleşme gösterir. Bu sayede tane kristallerinin oktaedr yüzeyleri açık bir şekilde izlenebilmektedir (Şekil 9). Çatlak ve yarıklarda martitleşmenin daha ilerlediği gözlenir. Serbest manyetit tanelerinin kısmen veya tamamen hematite dönüştüğü de görülür. Bu, aynı zamanda bir ornatma olarak da yorumlanabilir. Bunun yüzeydeki manyetit tanelerinde götite kadar ilerlediğini görmek mümkündür. Manyetit nadiren hematit, pirit gibi mineralleri, apatit veya klorit gibi gang minerallerini de kapanım olarak bulundurabilmektedir.

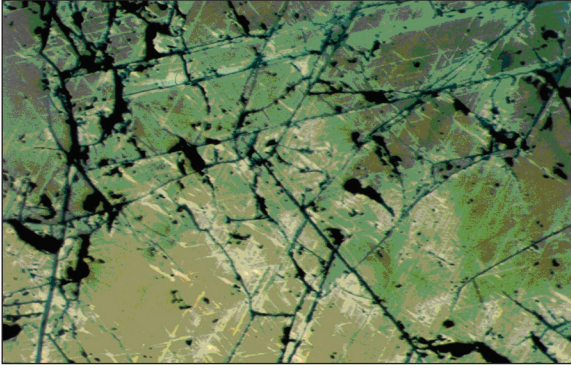
Hematit büyük olasılıkla tümüyle ikincil olarak manyetitten oluşmuştur. Mikroskop altında açık gri rengi ile tanınır. Nadiren kapanım olarak da manyetit içinde gözlenir. Özgün hematitleri, manyetit türevi olanlarından ayırmak mümkün değildir. Yüzeyde hematite dönüşen manyetit ayrışarak götite dönüştüğü de görülür. Demir oksit minerallerinin yanında, oldukça az oranda rutil ve serpiştirilmiş halde pirit ile kalkopirit gibi sülfid mineralleri de gözlenir.

Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'nda manyetit ve hematitin yanında ekonomik öneme sahip en önemli mineral fluorapatittir. Arazide çıplak gözle grimsi rengi, prizmatik kristal şekli ve kırıl-

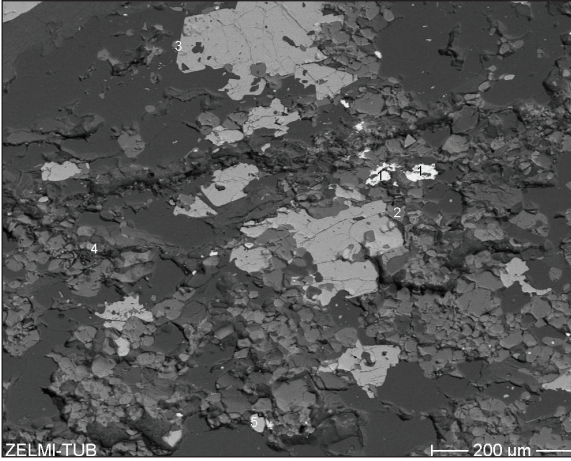
gan yapısı ile kuvarstan ayırılabilir. Apatit, genel olarak saçınımlı veya bantlı olarak bulunur. Gri, pembe renkli ve genelde ince tanelidir (<1 mm). Mikroskop altında gri, çatlaklı ve rölyefli çubuk şekli ile tanınan apatit, öncelikle klorit, kuvars ve manyetitle bulunur (Şekil 10). Cevher içindeki oranı %3-5 arasında değişir. Ancak nadiren %25'in üzerinde apatit içeren düzeyler de bulunmaktadır. Manyetit gibi tektonizmadan etkilenmediği ve yan kayaçla birlikte yönlendirme gözlenir. Elektron mikroskop incelemeleri ile flüorapatit yanında nadiren hidroksilapatit, monazit, ksenotim ve zirkon gibi mineraller de saptanmıştır. Pembe flüoresans rengi, düşük radyoaktivite (8-10 cps) ve düşük eser element içeriği (< % 1) Pınarbaşı apatitlerinin diğer önemli özellikleridir.

JEOKİMYA

Pınarbaşı Apatitli Magnetit Yatağı'ndan temsili örnek alma yoluna gidilmiştir. Bu yöntemle cevherin doğrultu ve eğimine yaklaşık dik kesitler oluşturacak şekilde temsili yaklaşık 1 kg ağırlığında 154 parça örnek alınmıştır (Şekil 5). Bu örnekler yatağın çeşitli yerlerine ait 107 cevherle 47 yan kayaç ($Fe_2O_3 < \% 20$) örneklerinden oluşmaktadır. Bu kapsamdaki bir araştırma için, inceleme alanı dikkate alındığında, yaklaşık 80 örnek yeterli görülmüştür. Mümkün olduğu kadar taze cevher veya yan kayaçtan alınan örnekler, yarılandıktan sonra krom-karbit öğütülmüştür (<100 μm) ve daha sonra analize hazırlanmıştır.



Şekil 9- Özşekilli ve çatlaklı manyetit kristalinde iki yönde gelişmiş martitleşme. Kahverengi titan içeriğine, çatlaklar tektonik etkilere işaret eder. Fotoğrafın uzun kenarı yaklaşık 0,325 mm'dir. Çapraz nikol, yağda.



Şekil 10- İri kristalli manyetit (açık gri); rölyefli ve köşeli apatit (gri) ve kuvars'tan (koyu gri) oluşan matriks içinde monazit (1; $Ce[PO_4]$); Rutil (2, 3 ve 4; TiO_2) ve Zirkon (5; $Zr [SiO_4]$).

Element analizleri Berlin Teknik Üniversitesi (BTÜ) laboratuvarlarında röntgen flüoresans analiz aygıtı (RFA) ile yapılmıştır. Analizi yapılan elementlerin oranları Çizelge 2'de verilmiştir. Analizlerde Ag, As, Bi, Br, Cl, Cu, Cs, Hg, Mo, Sb, Se, Sn, Tl ve W saptanamamıştır. Cd, Cu, Ga, Sn ve U da güvenilir derişimde bulunmamaktadır. Bunlara paralel olarak başka 30 örnekte altın, gümüş ve platin grubu elementlerle (PGE) bazı

önemli eser elementlerin analizi nötron aktivasyon yöntemi ile yapılmıştır (Çelebi ve diğerleri, 2005). Bu örneklerde Ag ve PGE elementlerine rastlanmamıştır. Ancak 1 ppm'e ulaşan Au derişimi bulunmuştur. Bunların yanında MTA'nın yaklaşık 287 sondaj karotu analiz değeri de jeostatistiksel değerlendirmeler için ayrıca incelenmiştir.

Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'nda analiz edilen apatitli manyetit örnekleri yan ve eser element bakımından fakir görülmektedir. Analiz değerlerinin en belirgin özelliği orta derecedeki Fe_2O_3 yanında yüksek oranda P_2O_5 (fosfat) içermeleridir. Buna karşın Alkali (Na ve K) ile S içerikleri düşüktür. Birçok eser elementin, örneğin, Ba, Mn, Ni, Sr, V, Zn ve Zr gibi, yüksek derişimde bulunduğu görülmektedir (Çizelge 2). Clarke değerine oranla en çok zenginleşen element P'dur (12 kat). Bunu Fe (7 kat), V ve F (3'er kat) izlemektedir. Co, Mn, Ni ve Ti gibi siderofil yan ve eser elementler Clarke düzeylerini korudukları ve Ba ile Sr gibi toprak alkali elementlerin de seyreklikleri gözlenmektedir.

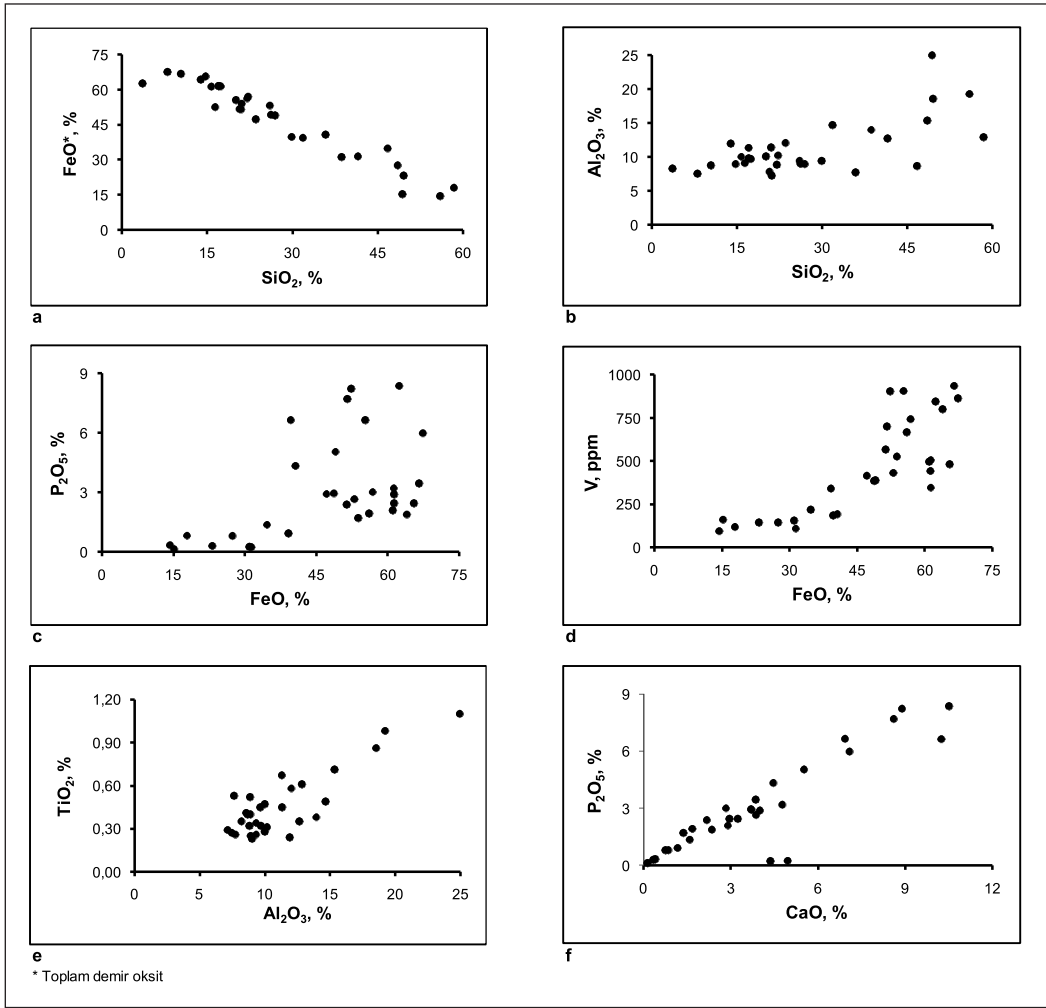
İncelenen örneklerin ana bileşenleri manyetit kaynaklanan Fe (%47,18 Fe_2O_3) ve kuvarsla silikatlardan (klorit ve mika) gelen Si'dir (%27,45 SiO_2). Değerli hammadde olarak bakılan P_2O_5 'in ortalama değeri %3,01'dir. Bu değer, demirin işletilmesini olumsuz etkileyecek derecede yüksektir (çelik üretimi için en çok 500 ppm P_2O_5 istenir). Ancak bunun ayrılmasının mümkün olduğu bilinmektedir (Pfeuffer, 1997; Ranjbar, 2002; Wellenkampf ve Souza, 2002). En düzenli dağılımı Fe_2O_3 ile Al_2O_3 göstermektedir (değişkenlik katsayısı $v = \text{standart sapma} \times 100 / \text{aritmetik ortalama} = \%34$ ve $\%35$). Diğer tüm bileşenler oldukça değişkendir ($v > 80$). Bu özellikler yatağın heterojen bir cevherleşmeye sahip olduğu ve olası bir işletme sırasında kesin bir ortalama işletme içirimine ulaşmanın zor olacağı anlamına gelmektedir.

Alınan örnek analiz değerlerine göre jeokimyasal veriler cevherleşme kökeninde sedimanter

Çizelge 2- Pınarbaşı (Bulam) Apatitli Manyetit Yatağı'nın temsili örneklerinin analiz değerleri ve önemli bazı parametreleri.

Sıra No	Örnek	SiO ₂ %	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ¹	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	F ²	SO ₃	Ba ppm	Co	Cr	Ni	Pb	Rb	Sr	Th	V	Zn	Zr	H ₂ O ³	CO ₂ ³	Toplam
1	SP-2	21,10	0,29	7,18	53,82	0,66	1,37	0,60	0,34	0,23	1,69		0,03	100	131	162	84			215	4	524	221	277			87,31
2	SP-3	22,05	0,32	8,82	56,06	1,84	1,67	0,46	0,24	0,26	1,91			61	2	111	136	53		165	10	664	270	316	0,16	4,04	97,83
3	SP-4	22,26	0,31	10,18	56,86	1,10	2,83	1,12	0,21	0,19	2,99		0,02	66	66	168	186	90		320	4	741	238	347			98,07
4	SP-5	35,90	0,53	7,66	40,62	0,78	4,46	0,47	0,17	0,18	4,32	0,34		125	40	27	49	24	9	241	2	189	178	299	0,13	2,99	98,55
5	SP-6	20,73	0,26	7,75	51,58	0,28	8,60	0,41	1,29	0,06	7,69	0,16	0,10	381	91	49	24	43	387	13	699	33	185				98,91
6	SP-7	20,98	0,45	11,34	51,38	0,85	2,17	0,08	0,02	0,50	2,37	0,31	0,03	76	24	46	82	76	67	564	206	153	0,35	6,57	97,40		97,40
7	SP-8	16,42	0,23	9,04	52,03	0,29	8,89	0,51	1,24	0,01	8,22	0,01		136	161	50	67	30	414	5	903	45	201				96,89
8	SP-9	20,12	0,28	10,01	55,28	0,38	6,93	0,57	1,66	0,02	6,64			169	136	56	67	47	330	5	904	43	211			0,24	102,13
9	SP-11	38,66	0,38	13,96	30,99	2,50	4,95	0,33	3,44	0,28	0,22	0,17	0,07	682	16	32	12	111	233	8	154	120	76				95,95
10	SP-12	41,55	0,35	12,66	31,38	2,74	4,36	1,82	2,03	0,21	0,79	0,15	0,05	30	13	136	34	10	20	11	117	58	404	0,18	3,78	96,26	
11	N-1	58,46	0,61	12,86	17,89	0,43	0,85	0,10	0,06	0,05	0,21	0,12	0,08	566	16	9	36	36	65	260	7	106	84	95			97,47
12	N-2	10,40	0,40	8,68	66,56	0,74	3,86	0,10	0,20	0,93	3,43	0,01	0,48	248	101	144	205	23	437	10	934	329	436	0,14	3,18	99,13	
13	N-3	56,02	0,98	19,24	14,38	0,32	0,40	0,26	2,40	0,07	0,31	0,13	0,05	337	15	160	28	40	54	26	20	92	124	713	0,06	2,57	97,19
14	N-4	26,95	0,52	8,87	48,76	0,62	3,69	0,10	0,04	0,71	2,93	0,20	0,08	81	43	125	66	26	164	21	384	158	185	0,28	4,80	98,55	
15	N-6	49,37	1,10	24,95	15,24	0,49	0,13	1,20	3,02	0,05	0,10	0,01	0,05	352	17	116	90	27	67	469	18	503	110	232	0,12	1,20	99,10
16	N-8	17,08	0,32	9,73	61,37	0,30	4,00	0,27	1,53	0,18	2,87	0,01	0,12	352	17	116	90	27	67	469	18	503	110	232	0,12	1,20	99,10
17	N-9	14,73	0,40	8,90	65,53	0,30	3,24	0,10	0,67	0,41	2,42	0,01	0,13	401	66	149	153	15	39	345	22	480	164	308	0,16	2,69	99,68
18	N-15	17,44	0,45	9,65	61,25	0,30	4,77	0,40	1,34	0,10	3,18	0,01	0,08	197	15	107	65	30	59	437	25	441	88	262	0,07	0,05	99,10
19	N-17	31,87	0,49	14,67	39,22	0,35	1,17	0,17	2,20	0,11	0,90	0,24	0,06	279	28	151	77	79	28	16	339	121	607	0,12	6,63	98,20	
20	N-21	13,89	0,24	11,92	64,00	0,30	2,35	0,77	1,38	0,15	1,86	0,08	0,24	434	10	68	36	94	166	10	799	106	176	0,06	1,44	98,68	
21	N-22	17,04	0,67	11,31	61,37	0,30	2,95	0,10	0,06	0,25	2,42	0,17	0,06	55	32	173	74		46	13	344	126	157	0,07	2,59	99,36	
22	N-24	15,75	0,47	10,00	61,03	1,60	2,90	0,10	0,07	0,32	2,07	0,20	0,08	102	29	115	95	19	69	19	495	169	164	0,16	4,21	98,96	
23	N-27	48,55	0,71	15,35	27,45	0,56	0,75	0,10	0,06	0,10	0,77	0,19	0,05	30	46	200	81		44	10	143	172	326	0,13	4,68	99,45	
24	N-32	23,56	0,58	12,04	47,16	0,30	3,71	0,10	0,48	0,34	2,89	0,35	0,06	101	25	195	70	17	59	11	413	161	285	0,13	6,91	98,62	
25	N-39	26,22	0,25	8,94	49,07	0,30	5,52	0,27	0,95	0,14	5,03	0,18	0,09	207	10	112	29	43	386	386	40	148	0,13	1,77	98,86		
26	N-40	46,77	0,41	8,59	34,70	0,33	1,59	0,10	0,15	0,06	1,34	0,22	0,05	109	24	155	54	10	105	217	60	212	0,17	4,22	98,70		
27	N-44	8,04	0,27	7,49	67,40	0,30	7,08	0,45	1,48	0,02	5,97	0,64	0,27	227	10	98	37	78	361	861	40	197	0,04	0,36	99,81		
28	N-47	49,57	0,86	18,55	23,20	1,78	0,33	0,17	0,42	0,12	0,27	0,14	0,05	79	12	189	59	11	13	18	142	184	321	0,06	3,39	98,91	
29	P-13	26,03	0,26	9,35	53,03	0,30	3,87	0,21	0,57	0,23	2,64	0,01	0,01	261	18	140	91	24	201	249	112	167	0,11	0,49	97,17		
30	P-22	3,62	0,35	8,22	64,36	0,30	10,51	0,80	1,55	0,02	8,36	0,74	0,25	298	10	230	124		72	461	843	45	227	0,05	0,06	99,19	
31	P-23	29,92	0,34	9,34	39,66	0,40	10,24	0,22	1,41	0,08	6,62	0,30	0,05	285	13	156	49	42	237	182	40	121	0,07	0,55	99,20		
		\bar{x}	= 27,45	0,45	11,20	47,15	0,71	3,88	0,40	0,99	0,21	3,01	0,19	0,10	234	25	152	72	43	50	217	14	429	116	254	0,12	2,90
		s	= ±14,61	0,22	3,95	15,94	0,67	2,87	0,40	0,94	0,21	2,46	0,10	0,10	165	21	91	41	28	32	160	6	284	67	148	0,08	2,18
		v	= 53	48	35	34	95	74	99	100	81	95	99	99	71	84	60	57	65	64	74	43	66	57	58		
		c	= 27,72	0,44	8,13	5,00	2,09	3,63	2,83	2,59	0,10	0,11	0,06	0,03	425	25	55	90	13	90	375	7	135	70	165		
		\bar{x}/c	= 0,46	0,62	0,73	6,70	0,20	0,76	0,11	0,32	1,67	12,35	3,02	1,54	0,55	1,01	2,76	0,80	3,29	0,55	0,58	1,91	3,18	1,66	1,54		

1 Toplam demir oksit
 \bar{x} : Aritmetik ortalama, s: Standart sapma, v: Değişkenlik katsayısı (= s.100/ \bar{x}), c: Clarke değeri (Mason ve Moore, 1985), \bar{x}/c : Zenginleşme ($\bar{x}/c > 1$) veya seyrelme ($\bar{x}/c < 1$) demektir.
 2 Boş hücreler bulunmayan veya saptama sınırı altındaki değerleri gösterir
 3 Tüm örneklerde analiz edilmemiştir



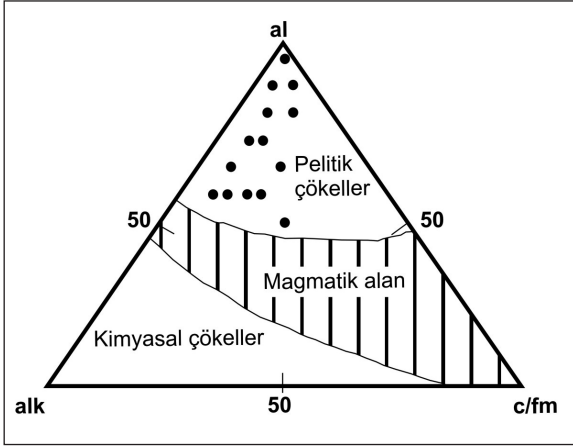
Şekil 11- Seçilmiş bazı ana ve eser elementler arasındaki bağıntı diyagramları (bağıntı katsayıları için bakınız çizelge 2).

Aynı şekilde CaO ile P₂O₅ arasındaki uyumlu bağıntı apatitten kaynaklanmakta ve bunun da doygunluk derecesine vardığı doğrusal bağıntıdan anlaşılmaktadır (Şekil 11 f). Manyetitteki FeO-V bağıntısı (r=0,785) apatitteki P₂O₅-F bağıntısından (r=0,417) daha iyidir (Çizelge 3). Burada F'un mikalara da bağlanması ve O, Cl, OH ve CO₃ iyonlarının kısmen F'un yerini almaları dağılımı olumsuz etkilemiştir. Bunlara ek olarak Çizelge 3'den yarıçap benzerliği ve ortak jeokimyasal davranışları nedeniyle, Ba'un K'la (r=0,798), Cr'un Al ile (r=0,644) mikalarda ve

Sr'un da Ca'la apatitte (r=0,662) deriştikleri görülmektedir.

Köken bakımından önemli sayılan element oranları da hiçbiri magmatik kökene işaret etmemektedir. Ca/Sr=127 ve Ba/Rb=4,7 oranları yaklaşık kıtasal kabuk ortalama değerlerine (117 ve 7) karşılık gelmektedirler (Çizelge 2). Aynı şekilde Ni/Co=2,9 ve Ti/V=6,2 ortalama değerleri ile magmatik kayaçların ortalama değerlerinden (2 ve 7) düşüktür. Bazı kayaçlarda Sr/Ba > 1'dir. Pınarbaşı'nda bu oran 0,90 ile çökel kayaçlardaki oranı yansıtmaktadır.

Niggli değerleri alk-al-c/fm değişim üçgeninde pelitik kökenli çökel kayaç bölgesine düşmektedir (Şekil 12). Bunu ACF ve mg-c derişim diyagramındaki dağılımlar da desteklemektedir (Çelebi ve diğerleri, 2005).



Şekil 12- Yankayaç değerlerinin Niggli alk-al-c/fm üçgeninde dağılımı (analiz değerleri için bak. Çelebi ve diğerleri, 2005).

b) *Karot Fe ve P₂O₅ analiz değerleri.*- Çizelge 2'de analiz değerleri verilen örnekler yatağın çeşitli yerlerinden temsili alınmış örneklerdir. Dolayısıyla, bu örneklerle yatağın 3. boyutunu, yani derinlikle değişimlerini, incelemek olası değildir. 3. boyut incelemeleri ancak sondaj karotu analiz değerleri ile mümkündür. Bunlarda da sadece Fe ve P₂O₅ değerli hammaddelerin analizleri yapıldığından (Büyükkıdık ve Aras, 1984), sadece bu iki bileşenin ilişkilerinin incelenmesi mümkündür.

Fe ve P₂O₅ karot örnekleri analiz değerleri arasında da (Çizelge 2) anlamlı ve uyumlu bir bağıntı bulunmaktadır (Çizelge 3 ve Şekil 13 a). Bu durum, Fe ve P₂O₅'in paralel deriştiklerine ve büyük olasılıkla aynı kaynaktan geldiklerine işaret etmektedir.

Yukarıda gösterildiği gibi, SP-7 dışında, tüm sondajlarda Fe ve P₂O₅ derişimleri uyumludur, ancak derinlikle uyumsuzdur (Şekil 5 ve 13 b, c).

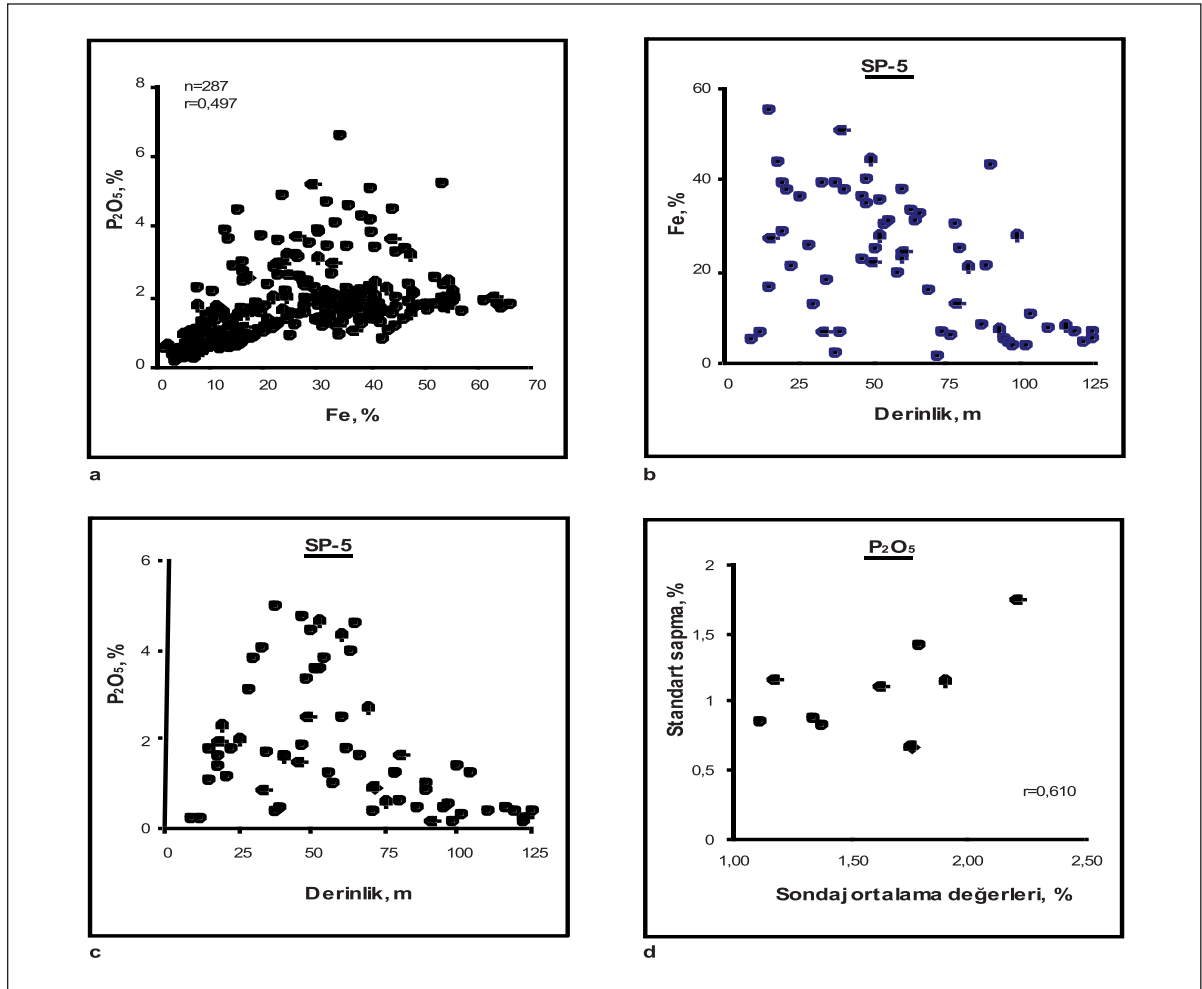
Kuzeydeki sondajlar Fe ve P₂O₅ tenörü bakımından güneydeki sondajlardan daha zengin ve saçınımlıdır. Sondajların ortalama tenörleri ile standart sapmaları arasında anlamlı bir bağıntı (proportional effect=orantı etkeni) gözlenmemektedir (Şekil 13 d). Zengin cevher mercikleri ile saçınımlı zayıf cevher kısımlarının ardalanmasından kaynaklanan bu özellik, olası bir işletme sırasında bir ortalama tenör tutturmayı zorlaştırmaya caktır.

Cevher tenörlerinin derinlikle değişimi bir yönelimin belirtisi olarak görülür. Yönelim, tenörlerin örnek aralığı h gibi bir mesafeye bağıllığının bir ifadesidir. Bu özellik, yatakta rezerv hesaplamaları için karmaşık jeostatistiksel yöntemlerin kullanılmasını gerektirir.

NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN (NTE) DAĞILIMI

Manyetit, nadir toprak elementleri (NTE) bakımından fakir görülmektedir. Kondritlere göre normalleştirilmiş NTE derişimleri çizelge 4'te görülmektedir. Buna göre toplam NTE derişimi 200 ppm'in altında kalmaktadır. Benzer yatakların manyetitleri, örneğin, Avnik manyetitleri 500, Kiruna manyetitleri de 2000 ppm'in üzerinde NTE içermektedirler (Frietsch ve Perdahl, 1995). Bu düşük NTE içeriği, Pınarbaşı manyetitlerinde NTE'lerinin doygunluk derecesine ulaşmadığını gösterir. Bunun nedeni, örneğin, düşük başkalaşım derecesi, ana kayaçtaki ve NTE taşıyıcı sıvı malzemedeki zayıf derişimleri olabilir. Bunun yanında apatitin de NTE alımını dikkate almak gerekir. Ancak seçilen örneklerdeki NTE dağılımları düzenlidir. Değişkenlik katsayısı %40 (Tm) ile %66 (La) arasında değişmektedir. Bu, manyetitin homojen bir bileşime sahip olduğunu yansıtmaktadır.

Pınarbaşı'nda hafif NTE'lerin ağır NTE'lere oranla daha iyi deriştikleri gözlenmektedir. İlk 4 hafif NTE, La+Ce+Pr+Nd, toplam NTE derişiminin %75'ini oluşturmaktadır. Buna karşın ortalama La/Yb=3,89 oranı düşüktür. Bu, element-



Şekil 13- Fe ve P₂O₅'in derinlikle değişimi, a, b; bunların kendi aralarındaki uyumlu bağıntısı, c ve orantı etkini, d.

lerin iyi ayrılaşmadıklarını yansıtmaktadır (Ekambaram ve diğerleri, 1986). Bu oran kondritlerde 1,48), Avnik'te yaklaşık 30'dur.

Kondritlere göre normalleştirilmiş Pınarbaşı NTE dağılımında düşük bir Eu anomalisi gözlenmektedir (Şekil 14 a). Bu, yüksek O₂ hareketliliğine işaret etmektedir. Yüksek O₂ hareketliliği Eu²⁺'yi (0,121 nm; Shannon, 1976) Eu³⁺'ya (0,109 nm) yükseltiyerek erken fazlara geçmesini sağlar. Bunun sonucu olarak ortamda EU seyrelir ve kristalleşmenin oluşacak fazlarında, örne-

ğin, manyetitte, Eu zenginleşemez. Bu nedenle Eu negatif anomalisi verir. Dağılımda bunun yanında hafif bir pozitif Ce anomalisi de gözlenmektedir. Bu, Ce'un 4+ değerlikli olarak ortamda bulunduğunu ve deniz suyunun etkin olmadığını gösterir. Çünkü deniz suyu negatif Ce anomalisine neden olur (Frietsch ve Perdahl, 1995).

Şekil 14 b'de Pınarbaşı manyetitlerinin NTE dağılımı Türkiye'deki benzer yatakların manyetitlerinin NTE dağılımları ile karşılaştırılmaktadır. Burada Pınarbaşı manyetitlerinde NTE ayrılaş-

Çizelge 4- Manyetit nadir toprak element değerleri.

Element	Örnek/Pınarbaşı						Avnik*	Ünalı*	Kondrit**
	N-24	P-1	P-16	P18a	P-23	Ort.			
La [ppm]	23	58	21	22	11	26,92	55,33	126,50	0,245
Ce	70	149	58	69	49	78,68	88,00	217,00	0,638
Pr	7	17	7	7	4	8,41	6,67	19,00	0,096
Nd	30	71	30	27	17	34,80	17,00	53,50	0,474
Sm	9	19	8	7	4	9,46	2,00	7,00	0,154
Eu	2	4	2	1	1	2,07	0,15	0,40	0,058
Gd	9	19	8	6	5	9,43	1,44	5,59	0,204
Tb	2	3	2	1	1	1,75	0,24	0,84	0,037
Dy	10	18	10	5	6	9,70	1,22	4,38	0,254
Ho	2	4	2	1	1	2,08	0,25	0,87	0,057
Er	6	10	7	3	4	5,90	0,64	2,33	0,166
Tm	1	1	1	1	1	0,98	0,11	0,35	0,026
Yb	7	11	8	4	4	6,76	0,81	2,31	0,165
Lu	1	2	1	1	1	1,10	0,14	1,73	0,025
La/Ce	0,33	0,39	0,36	0,32	0,22	0,34	0,63	0,58	0,38
La/Yb	3,29	5,27	2,63	5,50	2,75	3,89	68,30	54,54	1,48

*n=3 **White, 1997

masının az, negatif Eu anomalisinin zayıf olduğu ve ağır NTE'lerin daha derişikleri görülmektedir. Bu, Pınarbaşı apatitli mayetit cevherleşmelerinin Bitlis Masifi yatakları cevherleşmelerinden farklı geliştiklerini ortaya koymaktadır.

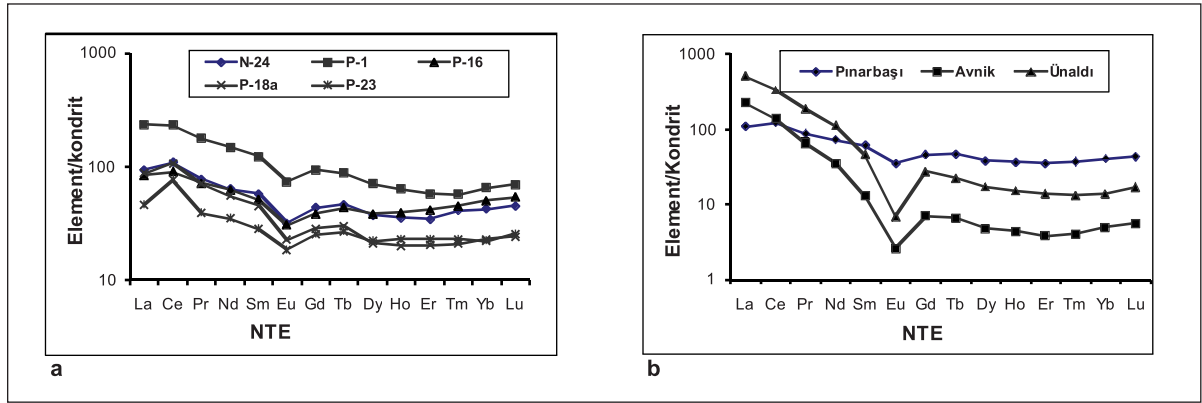
Pınarbaşı apatitlerinin ortalama 900 ppm NTE derişimi manyetitlerinkinin 4,5 katıdır. Manyetit ile NTE taşıyıcıları olarak bilinen apatit, ksenotim, monazit ve allanit fazlarının NTE dağılımlarında farklılıklar gözlenmektedir (Çelebi ve diğerleri, 2005 ve Kalkan Açıl ve Çelebi, 2004). Manyetit ile monazit ve allanitte hafif NTE'ler derişirken, apatit ve ksenotimde ağır NTE'ler derişmektedir. Burada minerallerin kristal yapısı ve iyon yarıçapları önemli rol oynamıştır. Örneğin, küçük yarıçaplı ağır NTE küçük iyon kafesine sahip apatit ve ksenotimde (Ca^{2+} [0,108 nm] ve Y^{3+} [0,098 nm]), hafif NTE de daha büyük kristal yapıya ($NTEO_9$ poliyeder) sahip monazit ve allanitte (La^{3+} [0,113 nm], Ce^{3+} [0,109 nm] ve Th^{4+} [0,108 nm]) derişimlerdir.

Sıklık dağılımı

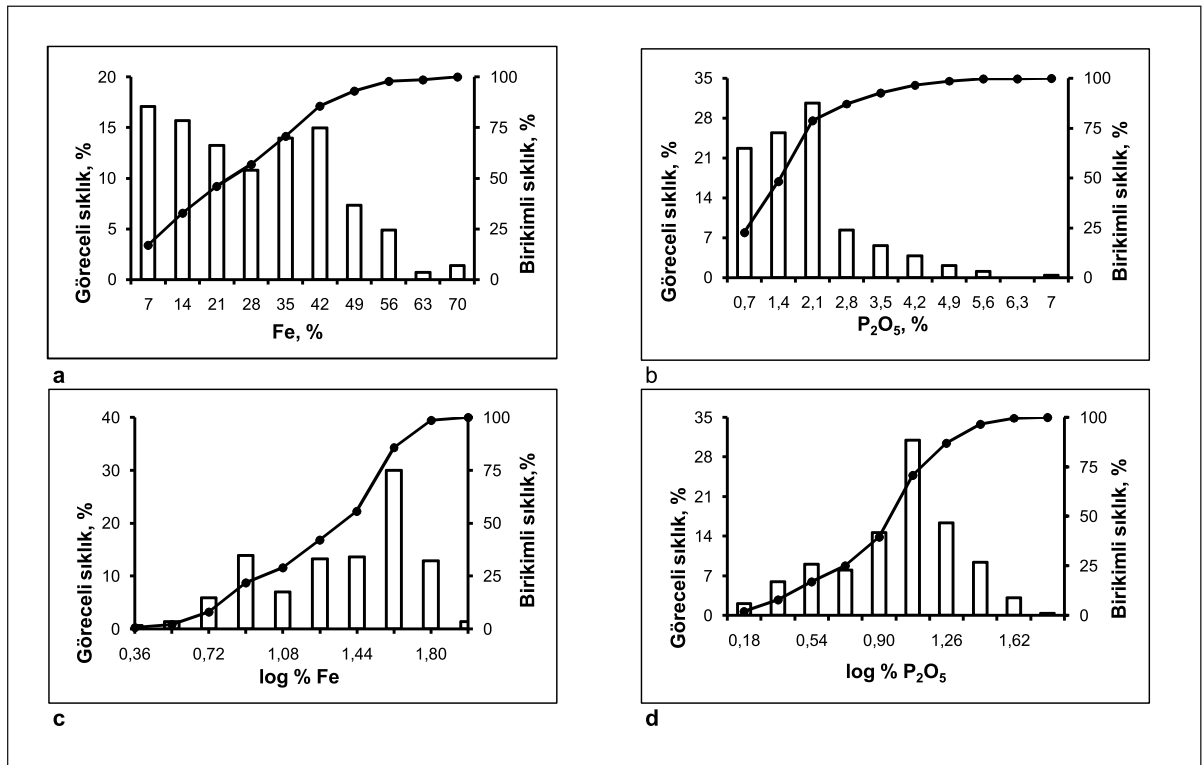
Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'nda 1983 yılına kadar MTA tarafından yapılan 9 sondajdan alınan yaklaşık 300 karot örneğinin tümünde Fe ve P_2O_5 analizleri yapılmıştır (Büyükdık ve Aras, 1984). Burada bu örneklerin 287'si değerlendirmeye alınmıştır.

Sturges Kuralına göre (Wellmer, 1989) yapılan dağılım hesapları, Pınarbaşı apatitli manyetit yatağı'nda hem Fe, hem de P_2O_5 zayıf cevher tipini vermekte (pozitif eğimli) ve 2 ana kitleden (popülasyondan) oluşmaktadır (Şekil 15 a, b). Bu özellik, hem birikimli (Şekil 15 c), hem de logaritmik sıklık (Şekil 15 d) dağılımında korunmaktadır. Bu, 2 farklı cevher tipinin mevcut olduğunu göstermektedir. Örneğin, fakir (saçınımlı) ve zengin (bantlı) cevher tipleri gibi. Bu cevherleşmeler 2 farklı işlevin ürünü de olabilirler.

Logaritmik Fe dağılımına bakıldığında dağılım simetrisinin değişmesi ile bu durum normale yak-



Şekil 14- Manyetitlerin kondritlere göre normalleştirilmiş nadir toprak element dağılımı. a, Pınarbaşı manyetitlerinde; b, Türkiye apatitli manyetit yataklarında (bak. Çizelge 3).



Şekil 15- Sondaj karotu örneklerinin Fe ve P₂O₅ sıklık dağılımları (n=287).

laşırken (Şekil 15 c), P_2O_5 dağılımı ise normal olmaktadır (Şekil 15 d). Bu, durum P_2O_5 'in Fe'e göre daha düzenli dağıldığını gösterir. Log normal dağılım, magmatik işlevlere özgü bir gelişme olarak görülür (Ahrens, 1954 a ve b). Dolayısıyla, bu sonuç bir magmatik etkinliğin yansımaları olarak yorumlanabilir.

Fe dağılımı teorik normal dağılımdan basık, P_2O_5 ise, sivridir. Bu sonuç, Fe'nin birkaç mine-rاله bağlı olduğunu, P_2O_5 'in ise, sadece apatitte toplandığını ifade eder. Mikroskopik bulgular da bunu doğrulamaktadır.

YAPISAL ANALİZ

Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'ndaki cevher dağılımının, örneğin, en iyi örnek aralığı, hata payı ve ardalanma gibi, önemli bazı yapısal özelliklerini ortaya çıkarmak için Fe ve P_2O_5 karot analiz değerleri için,

$$\gamma_{(h)} = \frac{1}{2n} \sum_i^n (x_i - x_{i+h})^2$$

eşitliğine göre sondajlarda dikey, yatakta da kuzey-güney yönünde yatay varyogramlar hesaplanmıştır. Burada n, örnek sayısı, x_i , analiz değeri, x_{i+h} , x_i örneğine h mesafe-deki örnek değeri, h da örnek aralığıdır (Şekil 16).

Bulunan varyogramlar, Fe ve P_2O_5 'in dağılım benzerliğini, yüksek külçe etkisini (nugget effect, ~ % 25), yaklaşık 10 m'lik en iyi etki mesafesini, eğilimi ve ardalanmayı göstermektedir.

Kütle etkisi, ortalama varyogram eğrisinin ordinat üzerindeki başlangıç noktasıdır (yaklaşık ve % olarak). En iyi etki mesafesi, değerlerin bağımsız hale geldiği nokta; eğilim de cevherin derinliğe bağlı değişimidir. Bu, varyogram değerlerinin artan derinlikle sifıra yaklaşması ile anlaşılmaktadır. Ardalanma, artan ve azalan varyogram değerleri ile kendini göstermekte ve cev-

herli düzeylerle cevhersiz zonların, yani yan kayacın, ardalanması anlamına gelir (Şekil 16 a ve b). Bir cevher yatağındaki bu özellikler Wellmer (1989), Akın ve Siemes (1988) ve David (1977) tarafından log normal dağılıma bağlanmaktadır.

Derine doğru olan ardalanma, kuzey-güney yönünde alınan sondaj ortalama değeri varyogramlarında da gözlenmektedir (Şekil 16 c ve d). Burada sondaj aralıkları için en iyi mesafe yaklaşık 150 m'dir. Bu yönde hata payları %10 dolayında tahmin edilmektedir. Sondaj eksikliği nedeniyle doğu-batı yönünde değişimi gözlemek mümkün olmamaktadır.

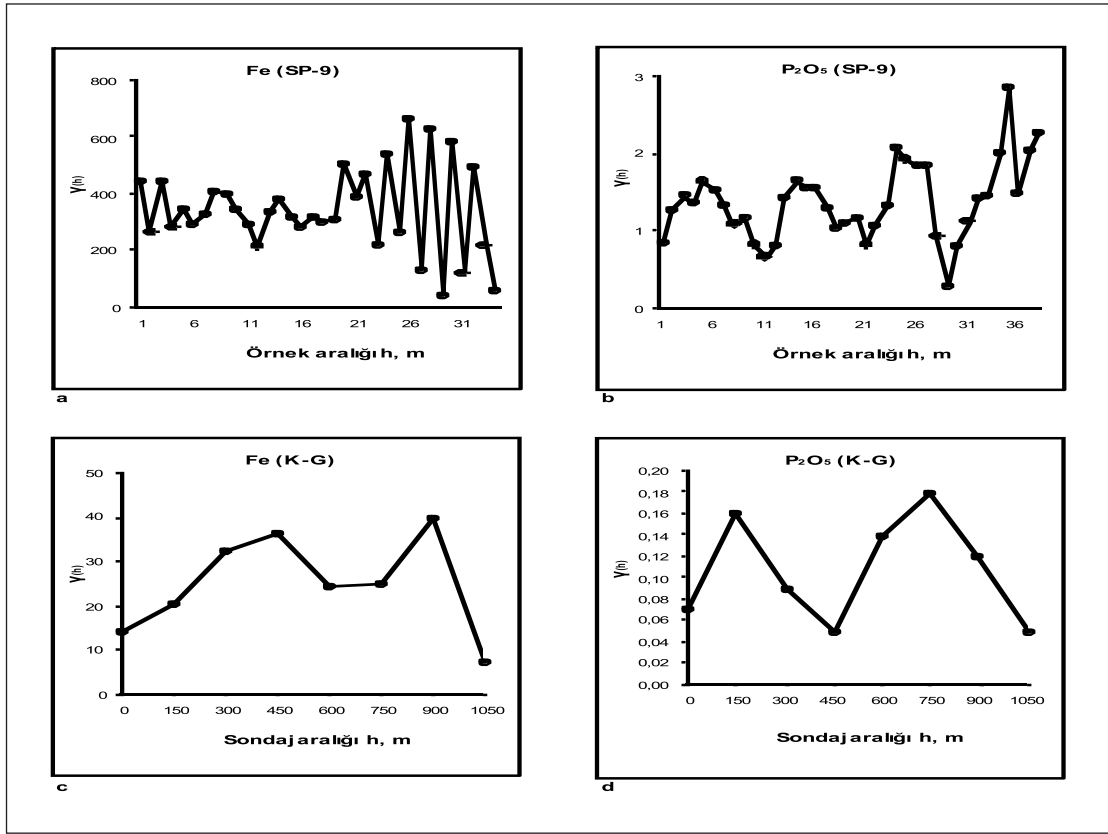
YATAĞIN EKONOMİK POTANSİYELİ

Yatağın değerlendirilmesine jeolojik, jeokimyasal ve sondajdan elde edilen veriler esas oluşturmaktadır.

Rezervler ve tenör dağılımı

MTA tarafından toplam 1517 m tutan 9 sondajla araştırılan Pınarbaşı apatitli manyetit yatağı için 9 sondaj yeterli görülmemektedir. Yapısal analizler en iyi örnek aralığının da 10 m, en iyi sondaj aralığının 150 m olduğunu göstermektedir (Şekil 16). Buna göre 300 m'ye varan mevcut sondaj aralığı çok büyüktür. Sondaj ağının ek sondajlarla sıklaştırılması ve batıya doğru geliştirilmesi ile yeni rezervler kazanılabilir. Ayrıca bulunan rezerv miktarları düşük karot verimi ($v = \text{karot boyu} \times 100 / \text{sondaj ilerlemesi}$) nedeniyle kesin rezerv sınıfına girmemektedir. Kesin rezervler için en az % 80 karot verimi istenirken (Wellmer, 1989), Pınarbaşı'nda bu oran ortalama % 45,61'dir.

Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı ekonomik potansiyel yönünden birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Sınacı ve diğerleri, 2003; Güneş 1994; Büyükkıdık ve Aras, 1984). Bu araştırma kapsamında Şekil 5'teki ilkeler esas alınarak paralel kesit yöntemi ile Sınacı ve diğerleri, (2003) tarafından % 35,07 Fe ve % 1,57 P_2O_5 te-



Şekil 16- Seçilmiş bazı sondajlarda (a, b) ve K-G yönünde (c, d) hesaplanan Fe ve P₂O₅ varyogramları en iyi örnek aralığını yaklaşık 10 m, sondaj aralığını da yaklaşık 150 m vermektedir.

nörlü 78 Mt manyetit rezervi hesaplanmıştır (% 20 Fe üzeri cevher için). Üçgen prizma yöntemi ile kontrol edilen bu sonuçlar, daha önceki araştırmacıların bulguları ile uyumludur. Güneş (1994) % 36,04 Fe ve % 2,07 P₂O₅ tenörlü 66,2 Mt (toplam), Büyükkıdık ve Aras (1984) de %28,56 Fe ve %2,01 P₂O₅ tenörlü 69,2 Mt (toplam) manyetit rezervi vermektedirler. Buna göre Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'nda çizelge 5'te verilen yaklaşık miktarlarda metal (Fe, V) ve değerli mineral hammaddeler (F, P₂O₅, NTE) bulunmaktadır.

Bu verilerle yatağın rezervleri işletmeye yeterli, ancak tenörleri düşük görülmektedir. Çeşitli apatitli manyetit cevherlerinin flotasyonla zenginleştirilebileceği ve manyetit konsantrasyonu yanında

apatit konsantrasyonunun da elde edilebileceği Çelebi (1989), Pfeuffer (1997) ve Ranjbar (2002) tarafından deneysel olarak gösterilmiştir. Akar (1983) Pınarbaşı cevherlerinin de zenginleştirilebileceğini ve manyetitteki P derişiminin %0,05'in altına düşürülebileceğini kanıtlamıştır. Pınarbaşı manyetitleri peletlenebilir özelliktedir. Buna göre günün koşullarında satılabilecek özelliklere sahip manyetit ve fosfat konsantrasyonları elde edilebilir.

Bu çalışma ile yatağın mevcut Fe ve P₂O₅ hammadde değerlerinin kazandırılması olanakları araştırılmıştır. Bunlar manyetit vanadyum (V), apatitin de flüor (F) ve nadir toprak elementleri (NTE) içeriğidir. Elde edilen araştırma sonuçları, apatitin F tenörünün %3,46 ile normal derişimde olduğunu, ancak manyetit %0,08 V

ve apatitin %0,09 NTE derişimi ile fakir olduklarını ortaya koymuştur. Bunun yanında itriyum (Y) %0,10 ile önemli bir derişim göstermektedir. Nadir toprak elementlerinin öncelikle deriştikleri monazit (La-Ce-Th[PO₄]), ksenotim (Y[PO₄]) ve allanit/ortit (Ce-epidot) gibi minerallerin konsantre üretimi denenebilir. Bunlara ek olarak apatitte bulunan uranyumun (100 ppm) parçalanması sırasında ortaya çıkan radon (Rn) gazından, yeni yatakların aranmasında yararlanılabilir.

Olası işletme parametreleri

Yatak, olası bir işletme sırasında önemli ölçüde düşük örtü tabakası/cevher oranı < 1/1 ile açık işletilebilir. Ancak derindeki cevherin alınması muhakkak bir kapalı işletme gerektirecektir. Cevherin derinlikle değişimi ve örtü tabakası durumu şekil 5, kesit AA' ve şekil 6'da verilmiştir.

Çıkarılan cevherin zenginleştirilmesi şarttır. Bununla hem manyetit konsantrasyonunun fosfat oranı düşürülmüş ve kalitesi artırılmış olacak, hem de fakir cevher değerlendirilmiş olacaktır.

Jeolojik gözlemlere göre verilen kesin ve muhtemel rezervler yanında, yatak çevresinde ve daha derinlerde (Şekil 6), düşük tenörlü (< %20 Fe) mümkün rezervler de bulunmaktadır. Manyetik ayıraçla kolay zenginleşebilecek olan manyetit cevherleri için temel sorun, yüksek fırında istenmeyen fosfordur (P < %0,05 olmalı). Bu da, yukarıda belirtildiği gibi ayrılabilir. Ancak apatitin ince taneli oluşu maliyeti artırır. P, çelik üretimi için zararlı olmakla beraber, fosforik asit ve süperfosfatın hammaddesidir. Türkiye fosfat gereksiniminin tümünü dışarıyla gidermektedir (Çelebi, 2007). Bu bakımdan P Türkiye için oldukça önemli bir hammaddedir. Dolayısı ile dikkate alınması yararlı olacaktır.

Vanadyum çelik üretimi için değer artırıcı bileşen olabilecek derişimde bulunmamaktadır. Buna karşın enerji depolamak (pil) için kazanma olanakları araştırılabilir (Çelebi, 2001). Bunun yanında apatitte flüor içeriği F üretimine elverişli görülmektedir. Kurulacak bir hidroflorik asit fabri-

kasında işlenebilir ve giderlerin bir kısmı bundan sağlanacak gelirle karşılanabilir.

Pınarbaşı apatitli manyetit yatağı orta büyüklükte bir demir yatağı olarak tanımlanabilir. Yatak, Türkiye gibi demir cevheri, fosfat ve flüor gereksinimini dışarıyla karşılayan bir ülke için büyük bir potansiyel ve önemli bir öz kaynaktır. Yaklaşık 3,7 Mt/a en iyi kapasite ile yatak, yaklaşık 18 yıllık bir en iyi ömre sahip olacaktır (Çelebi ve diğerleri, 2005).

İşletmeden önce alt yapı için önemli yatırımlar gereklidir. Mevcut taşıma yollarının güçlendirilmesi, yenilerinin, özellikle demiryolunun yapılması, su ve enerjinin temin edilmesi en öncelikli yatırımlardır. Su için en yakın kaynak Çat Barajı, elektrik enerjisi için de Karakaya Barajı düşünülebilir. Cevher en iyi koşullarda İsdemir'de (İskenderun) işlenebilir. Sürgü veya Doğanşehir'de kurulacak bir yükleme istasyonuna cevher taşımak için teleferik de kurulabilir.

Bu özelliklere sahip bir proje, öncelikle öz kaynakların kullanılması ile demir cevheri ithal eden Türkiye için büyük ölçüde döviz tasarrufu sağlayacaktır. Madencilğe bağlı olarak yöreye gelecek fosfor ve flüor işleme tesisleri gibi yan sanayi yatırımları yörenin kalkınmasına katkıda bulunacaktır. Son olarak Hasançelebi demir yatakları cevherlerinin de işlenebileceği ve Malatya'da kurulacak bir demir-çelik işletmesi düşünülebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Pınarbaşı Apatitli Manyetit Yatağı'nın değerli mineral hammaddeleri klorit-serisit-şistlere bağlı, hafif martitleşmiş manyetit ve flüorapatittir. En önemli gang mineralleri flüorapatit ve kuvarstır. Analiz değerleri ortalama ~ %35 Fe ve %3 P₂O₅ vermektedir. Manyetit cevherleri yüksek oranda Al ve çok sayıda V, Zn ve Ni gibi eser element içermektedir.

Elde edilen jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal araştırmaların sonuçlarına göre Pınarbaşı

Çizelge 5- Değişik araştırmacılara göre yatağın değerli hammadde içeriği.

	Fe [Mt]	P ₂ O ₅ [Mt]	V* [kt]	F** [kt]	NTE** [kt]
1	27,30	1,22	30	114	3
2.	23,90	1,37	27	100	3
3.	19,80	1,39	22	120	3,10

1 Sınacı ve diğerleri, 2003 2 Güneş, 1994 3 Büyükkıdık ve Aras, 1984 *manyetit, **apatit

apatitli manyetit yatağı orta büyüklükte klasik Kiruna tipi bir apatitli manyetit yatağıdır. Bu tip yatakların oluşumu tartışmalıdır. 100 yılı aşkın bir süreden beri yapılan çok sayıdaki jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal incelemelere rağmen "apatitli manyetit yatakları"nın veya tip adı ile "Kiruna tipi" yatakların oluşumu açıklanamamış ve genel kabul gören bir "oluşum modeli" geliştirilememiştir. Güncel tartışmalar magmatik soku- lum ve sedimanter modeller üzerinde yoğunlaş- maktadır.

Başkalaşım, eski jeolojik gelişmelerin izini si- lerek kökensel gelişmenin sentezini zorlaştı- rmıştır. Ancak klorit-serisitserisit yankayacı, cevher alanının yatay konumu, tabakalı yapısı ve özelli- le apatitin ince taneli oluşu gibi saha ve mik- roskopik gözlemlerle yan kayacın yüksek Al deri- şimi ve manyetitin düşük eser element içeriği gibi jeokimyasal bulgular sedimanter kökeni çağırıştır- maktadır. Hidrojen izotop analizleri sedimanter kayaç değerlerini yansıtmakta ve jeokimyasal bulguları desteklemektedir. Bu bulgular bugünkü başkalaşım kayaçları klorit-serisitseristlerin ana ka- yaçlarının (edüktlerinin) pelitik kökenli sediman- lar veya tuf olduğuna işaret etmektedir.

Bugün manyetit ve apatitin ilksel zenginleş- mesi için gerekli Fe ve P ortama büyük olasılıkla iyon halinde taşınarak yan kayaçla eş zamanlı çökelmişlerdir. Yataktaki uyumlu Fe ve P dağılımı bu savı desteklemektedir. Her iki bileşen de derinlikle azalır. Bantlı yapı veya yan kayaç- cevher ardalanması bir ritmik değişimi yansı- tmakta ve çökmenin sakin bir ortamda gerçek- leştiği olasılığını güçlendirmektedir. İlk oluşan demir cevheri büyük olasılıkla hematit, apatitin ilk- sel mineralleri de fosfatlardır.

En son Kretase'de ofiyolit gelişimi ile artan sıcaklık, pH ve Eh değerlerinin indirgeyici etkisi, en az 0,4 GPa basınç ve 370 °C'deki başkalaşım koşulları, hematiti manyetite, fosfatları da apatite dönüştürmüştür. Başkalaşımın yönlü kuvvetleri, yankayacı şistozite ve foliyasyonla düzenlerken cevher, masif, bantlı ve saçınımlı olarak yönlene- meye uyum sağlamıştır. Böylece manyetitin yo- ğun olduğu düzeyler yan kayaçla ardalanmış mer- cek şeklini almıştır. Daha sonraki D-B sıkışma hareketleri, aşınma ve taşınmayla yatak bugünkü şeklini almıştır.

Mineralojik incelemeler yatak birimlerinin ön- celikle demir oksit ve silikatlardan oluştuğunu göstermektedir. Jeokimyasal bakımdan saf bir bileşime sahip olan cevherler, manyetit, hematit (martit ve spekülarit) ile götitten meydana gelir. Manyetitin en önemli gang minerali olan flüora- patitin oranı yer yer %30'a varmaktadır. Bunu kuvars, klorit, serisit ve mikalar takip eder. Ender olarak rutil, zirkon, monazit ile ksenotim gözlenir.

Jeokimyasal analizler Fe ve P'u Al, Mg ve Ca'un takip ettiğini göstermektedir. Alkali oranı %1,5 civarında bulunmaktadır. Yatakta P, Clarke değerlerine göre, 17 katla en çok zenginleşmiştir. Fe 9, F 8 ve V da 4 kat zenginleşmişlerdir. Buna karşın Na 7, K ile Mg da 3'er kat fakirleşmişlerdir. Oldukça saf olan manyetitin en önemli eser ele- menti ortalama 800 ppm ile V'dur. Apatitte F % 3,46'lık bir derişimle yan element olarak bulunur. Bunların yanında apatitte nadir toprak elementleri ortalama 900 ppm'lik bir derişimle önemli sayılabilir.

Elementler bir logaritmik dağılım sunmaktadır. Bağın- tı analizi çok sayıda element çifti arasında

uyumlu ve anlamlı bağıntının varlığını göstermektedir. En iyi uyumsuz bağıntı Fe ile SiO₂ arasında bulunmaktadır. Buna karşın Fe ile P arasında uyumlu ve anlamlı bir bağıntı bulunmaktadır. Bu, Fe ile P'un paralel geliştiğini göstermektedir. Fe-V bağıntısı F-P bağıntısından daha iyidir ve F'ün apatit yanında mikalarda da deriştiğine işaret eder.

Radyometrik (Ar-Ar) yaş tayını 66 ve 48 Ma vermiştir. Bunlardan eski 66 Ma ofiyolit gelişimi ile (Kampanyen) gerçekleşen başkalaşımın açıklanmaktadır. 48 Ma ise bir 2. başkalaşım, retrograd başkalaşım veya tektonik hareketlenmenin yaşı (Eosen) olarak kabul edilmektedir.

Yapısal analizler bir boşluk etkenini yansıtan küresel varyogram tipini vermektedir. Bunlar, en iyi örnek aralığının yaklaşık 10 m, en iyi sondaj aralığının da 150 m olduğunu, bir orantı etkeni ile yönelim mevcut olduğunu göstermektedir.

Pınarbaşı apatitli manyetit yatağı, sedimanter kökenli klasik Kiruna tipi bir yatak olarak tanımlanabilir. Benzer yataklar Kiruna, Cerro des Mercado, El Laco ve Bafq yataklarıdır. Türkiye'deki benzerleri, Avnik ve Ünalı oluşuklarıdır. Yatak şimdiki koşullarda, düşük Fe ve yüksek P oranı nedeniyle, ekonomik bir işletmeye elverişli görülmemektedir. Ancak Fe'nin yanında kazanılabilecek P, F, V ve nadir toprak elementleri gibi yan ürünler yatağın önemini arttırmakta ve geleceğin önemli bir mineral hammadde kaynağı niteliğini kazandırmaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Tübitak'ın YDABÇAG-101Y119 projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle Tübitak Bşk. V. Sayın Prof. Dr. N. Yetiş'e müteşekkirimiz. Arazi çalışmaları sırasında büyük yardımlarını gördüğümüz Prof. Dr. Mehmet Önal' a (İnönü Ü.), örnek hazırlanması sırasındaki ilgileri için Yük. Müh. E. Kılınç'a (Kromsan A. Ş. / Mersin) ve Laboratuvar çalışmaları sırasındaki desteği için Doç. Dr. G. Matheis'a (Berlin Teknik Ü.) içten teşekkürlerimizi sunarız.

Yayına verildiği tarih, 22 Nisan 2008

DEĞİNİLEN BELGELER

- Ahrens, L. H., 1954a. The lognormal distribution of the elements (1). *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 5, 49-79.
- , 1954b. The lognormal distribution of the elements (2). *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 6, 121-131.
- Akar, A., 1973. Adıyaman-Çelikhan-Pınarbaşı mevkiindeki apatitli manyetit-hematit cevherinin zenginleştirme etüdü. MTA raporu no. 4915, Ankara (yayımlanmamış).
- Akın, H. ve Siemes, H., 1988. *Praktische geostatistik*. Springer Verl., Berlin, 304 s.
- Aktaş, G. ve Robertson, A. H. F., 1984: The Maden Complex, SE Turkey: Evolution of a neotethyan active margin. Dixon, J. E. ve Robertson (eds.). *The geological evolution of the Eastern Mediterranean Spec. Publ. Geol. Soc. London* 17, 375-402.
- Brinkmann, R., 1971. *Das kristalline Grundgebirge von Anatolien*. *Geol. Rudsch.* 60, 886-889.
- Brownlow, A. H., 1996. *Geochemistry*. 2nd Ed, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 580 p.
- Büyükkıdık, H. ve Aras, A., 1984. Adıyaman-Çelikhan-Pınarbaşı apatitli demir madeni jeoloji raporu. MTA Raporu, No: 1803, 7843 s (yayımlanmamış) Ankara.
- Çelebi, H., 1989. *Ansätze zur Rohstoffwirtschaftlichen Bewertung der Magnetit-Apatit-Lagerstätte Avnik, Ost-Türkei*, *Erzmetall* 42/2, 78-85.
- , 2001. Vanadyum: Doğada bulunuşu, üretimi, kullanımı ve Türkiye'deki potansiyeli. *MMO Adana Şubesi Bülteni* 4, 9-13.
- , 2007. *Mineralische Rohstoffsituation in der Türkei*. *TU-International* 52, 12-14.
- , Helvacı, C. ve Uçurum, A., 2005. Bulam (Pınarbaşı) Apatitli Manyetit Yatağının Vanadyum, Nadir Toprak Elementleri ve Flüor Açısın-

- dan İncelenmesi ve Ekonomikliğinin Araştırılması. Tübitak projesi, YDABAG - 101Y119, Ankara (yayımlanmamış), 82 s.
- David, M., 1977. Geostatistical ore reserve estimation II. Elsevier, Amsterdam, 364 p.
- 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.
- Fernandez, A. ve Moro, M. C., (1998). Origin and depositional environment of Ordovician stratiform iron mineralization from Zamora (NW Iberian Peninsula). Min. Deposita 33, 606-619.
- 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. 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.
- Güneş, Ö., 1994. Bulam (Adıyaman) apatitli manyetit yatağının jeolojisi ve rezerv hesaplanması. Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ (yayımlanmamış), 59 s.
- Gözübol, A. L. ve Önal, M., 1986. Malatya-Çelikhan alanının jeolojisi. Tübitak projesi no TBAG-647, Ankara (yayımlanmamış).
- Kalkan A. H. ve Çelebi, H., 2004. Türkiye'deki apatitli manyetit yatakları ve jeokimyasal özellikleri. 1. Ulusal Jeokimya Sempozyumu, Bildiri Özleri, 49.
- Koşal, C., 1967. Elbistan-Doğanşehir arası demir prospeksiyonu ve jeolojisi. MTA raporu, no. 498, (yayımlanmamış) Ankara.
- Mücke, A. ve Younessi, R., 1994. Magnetite-apatite deposits (kiruna-type) along the Sanandaj-Sirjan zone and in the Bafq area, Iran, associated with ultramafic and calcalkaline rocks and carbonatites. Mineralogy and Petrology 50, 219-244.
- Önal, M., Şahinci, A. ve Gözübol, M. A., 1986. Yeşilyurt-Çelikhan (Malatya - Adıyaman) dolayının hidrojeolojik incelenmesi. Jeoloji Müh. 29, 5-12.
- _____ ve Gözübol, M. A., 1992. Malatya Metamorfikleri üstündeki örtü birimlerinin stratigrafisi, yaşı, sedimanter fasiyesleri, depolanma ortamı ve tektonik evrimi. TPJD Bül. 1/2, 119-127.
- Önal, A., Şaşmaz, A. ve Önal, A., 2002. Pınarbaşı (Çalikhan-Adıyaman) apatitli manyetit cevherinin mineralojisi, jeokimyası ve kökeni. Yerbilimleri Dergisi 40/41, 207-226.
- Öztürk, M., 1982. Adıyaman-Çelikhan-Bulam Pınarbaşı demir aramaları manyetik etüt raporu. MTA raporu no: 7367 (yayımlanmamış) Ankara.
- Perinçek, D., 1979. Çelikhan-Sincik-Koçali (Adıyaman İli) alanının jeoloji araştırması. İÜ Fen. Fak. Mec. B 44, 127-147.
- Pfeuffer, J., 1997. Phosphat im Eisenerz der Lagerstätte Leonie im Auerbach (Ober-pfalz). Spurenelemente in Lagerstätten, GDMB 80, Clausthal-Zellerfeld, 41-52.
- Ranjbar, M., 2002. Dephosphatisation of Iranian Iron Oxide Fines by Flotation. Erz-metall 55, 11, 613-616.
- 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 Sempozyumu Bildiri Özleri, 68.
- Tolun, N., 1955. Besni-Adıyaman-Samsat arası bölgelerinin jeoloji etüdü. MTA raporu no: 2251 (yayımlanmamış) Ankara.