

BULAM (PINARBAŞI) /ADİYAMAN APATİTLİ MANYETİT YATAĞI'NIN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ VE EKONOMİK POTANSİYELİ

Geological Properties of the Magnetite-Apatite Ore Deposit of Bulam (Pınarbaşı), Çelikhan/Adıyaman and their Economic Potential

Hamdi SINACI¹, Hüseyin ÇELEBİ¹, Musa ALPASLAN¹, Cahit HELVACI² ve Ali UÇURUM³

ÖZ

Bulam (Pınarbaşı) Apatitli Manyetit Yatağı'nın yakın çevresinde Üst Kretase-Orta Eosen'e ait Maden Karmaşığı'nın üstüne bir bindirme ile gelen, alttan üste doğru, klorit ve serisit şistlerle rekristalize kireçtaşlarından oluşan Permien yaşlı Malatya Metamorfileri yaygınlık gösterir. Yeşil şist fasiyesinde en az bir bölgesel ve bunu takiben bir retrograd başkalaşım geçirmiş olan bu seri, oldukça kıvrımlanmış ve kırılmıştır.

Klorit-serisit şistlere bağlı bulunan cevherleşmeler, manyetitli apatit mercikleri şeklinde bunlarla ardalanarak 200 m derinliğe varmaktadır. Kuzey-güney doğrultulu, 15 m kalınlığa varan cevher düzeyleri, yaklaşık 30° eğimle batıya dalar. Sahada masiv, bantlı ve saçınımlı cevher tipleri ayırdılmaktadır. En önemli cevher minerali manyettittir. Bunun yanında hematit, siderit, götit ve spekülait bulunur. En önemli gang minerali olan flüorapatitin oranı yer yer % 30'a varmaktadır. Kuvars, kalsit, klorit ve serisit diğer yaygın gang mineralleridir.

% 25 üzerinde Fe içeren ve yaklaşık 78.000.000 t olarak hesaplanan toplam manyetit rezervlerinin ancak yaklaşık 17.000.000 t'u kesin rezervlerdir. Bunların ortalama tenörü yaklaşık % 35 Fe ve % 1,57 P₂O₅'tir. Manyitte V (600 ppm) ve apatitte F (% 3) ile nadir toprak elementleri (500 ppm) önemli görülmektedir. Fe ve P₂O₅ arasında derinlikle uyumlu ve anlamlı bir bağıntı ile ardalanma-dan kaynaklanan boşluk etkeni gözlenmektedir. Element dağılımları, magmatik işlevlerin belirtisi olarak kabul edilen logaritmik dağılım sunmaktadır. Klasik Kiruna tipi apatitli manyetit yatağı olarak tanımlanan yatak, şimdiki koşullarda ekonomik bir işletmeye elverişli görülmemektedir.

Key words: Bulam, Fe, P ore deposit, magnetite-apatite ore and metamorphosis

¹ Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, 33343 Çiftlikköy, Mersin

1 GİRİŞ

1.1 Genel bakış

Demir yatakları doğada hem köken, hem de yapı bakımından oldukça çeşitlidir. Jeokimyasal yaygınlığı nedeniyle (Clarke değeri % 5) her çeşit yatak oluşturan demirin (kinyasal simgesi Fe) önemli bir yatak tipi de **apatitli manyetit** yataklarıdır. Bulam Apatitli Manyetit Yatağı'nın da ait olduğu bu tipi demir yatakları ekonomik bakımdan büyük önem taşır. Ancak yüksek fosfor içerikleri nedeniyle, çeliği kırılğan hale getirdiğinden, sorunlu olmaktadır. İsveç çelik sanayiinin en önemli kaynağı olan Kiruna Apatitli Manyetit Yatakları literatüre **Kiruna tipi** demir yatakları olarak geçmiştir. Diğer önemli apatitli manyetit yatakları **Cerro de Mercado** (Meksika), **El Laco** (Şili) ve **Bafq** (İran) yataklarıdır. Bunların Türkiye'deki örnekleri **Avnik** (Bingöl) ve **Ünaldı** (Bitlis) apatitli manyetit yataklarıdır.

1.2 Coğrafi konum

Bulam 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). Çalışma sahasının yükseklikleri 1250 m (Zerban Pınarı) ile 1670 m (Yayla) arasında değişmektedir. Genelde çıplak olan çalışma sahasının sadece Recep Çayı Vadisi'ndeki alüvyon ovası ve yatak alanı verimli ekim arazisi, bağ ve bahçe olarak kullanılmaktadır. Halkın en önemli geçim kaynağı kalitesi ile ün yapan tütündür.

1.3 Önceki çalışmalar

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 Gözübol (1992) ile Önal ve diğ. (1986) takibetmektedir. Demir ve fosfor içeriğinin araştırılması, rezerv ve işletilebilirliği ile ilgili olarak Aslan (1970), Özkaymak (1978), Öztoprak ve diğ. (1981), Cengiz ve diğ. (1982), Öztürk (1982), Akar (1983), Büyükkıdık ve

Aras (1984), Yazgan ve Chessex (1991) ve Güneş (1994) çalışmışlardır. Son olarak Önal ve diğ. (2002) cevherleşmenin mineralojik yapısını ve jeokimyasal bileşimi incelemektedirler.

Geniş ölçüde yüzeyleyen Bulam Apatitli Manyetit Yatağı, çok eskiden beri bilindiği ve işletildiği sahada bulunan cürüflarla kanıtlanmıştır. 20. yüzyılın ortalarından itibaren sahanın ilgi gördüğünü güncel madencilik çalışmaları ve köy sakinlerinin ifadeleri doğrulamaktadır. Bunlar 1930'lu ve 1990'lı yıllarda denenmiş, ancak cevherlerin yüksek fosfor içeriği nedeniyle sürdürülmemiştir.

Yatakta modern inceleme çalışmalarına Maden Tetkik ve Arama (MTA) tarafından 1970 yılında başlatılmıştır. 1984'e kadar aralıklarla sürdürülen haritalama, sondaj ve zenginleştirme çalışmaları sırasında açılan **9 sondaj, 385 m³'lük 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 toplam 69,2 mil t cevher rezervi hesaplanmıştır. Buna karşın Güneş (1994) % 36,04 Fe ve % 2,07 P₂O₅ tenörlü 66,2 mil t rezerv vermektedir.

1.4 Amaç ve çalışma yöntemleri

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

2 JEOLJİK YAPI

Araştırma bölgesi Bulam Apatitli Manyetit Yatağı'nın yakın çevresinde değişik yaş ve kökene ait kayaç birimleri bulunmaktadır. Bunlar Paleozoyik, Mezozoyik ve Kuaterner yaşlı jeolojik birimleridir (Şekil 2). Bunların en önemlileri Anadolu ve Arap Levhaları'nın çarpışma zonunda geniş yayılım gösteren Paleozoyik (Permo-Karbonifer) yaşlı Pötürge ve Malatya Metamorfikleri

(Tolun, 1955 ve Perinçek, 1979), Maden Karmaşığı (Eosen; Perinçek, 1979) ile Kuaterner'in alüvyonlarıdır.

2.1 Stratigrafi

Bölgenin en yaşlı kayaç birliğini oluşturan **Pötürge Metamorfitleri** (gnays ve mikaşistler) ve üzerinde diskordans bulunan **Maden Karmaşığı** (volkano-sedimanter kayaçlar) ile üzerine bir bindirme ile yerleşmiş şistlerle rekristalize kireçtaşlarından oluşan **Malatya Metamorfitleri**'dir (Şekil 2). En üst birimler diskordans yerleşmiş konglomeralar (Pliosen) ile alüvyonlardır (Kuaterner).

2.1.1 Pötürge Metamorfitleri

Bölgede gözlenen en yaşlı birliktir. Bulam yatak sahasında ve yakın çevresinde gözlenmektedir. Esas yayılım alanı adını aldığı Pötürge yöresidir. Bölgesel başkalaşım ürünü bu birim, yeşilşist fasiyesinde başkalaşım geçirmiş, alttan üste doğru, gnays, amfibolit şist, mikaşist ve rekristalize kireç taşlarından meydana gelmektedir. Bitlis Masifi'nin bir parçası olarak görülen Pötürge Metamorfitleri (Brinkmann, 1971, Yılmaz ve Yiğitbaş, 1990), ancak Eosen'de bugünkü şeklini alabilmiştir. Önal ve diğ. (1986)'ya göre alt dokanağı gözlenmiyen birimin, üst dokanağı Eosen yaşlı, andezitik split tuf, kırmızı çamurtaşı ve kireçtaşlarından oluşan **Maden Karmaşığı** ile diskordanslıdır (Şekil 2).

2.1.2 Malatya Metamorfitleri

Değişik isimler altında, örneğin, Kilkaya Kireçtaşı ve Amanos Formasyonu gibi, anılan bu birim (bak. Gözübol ve Önal, 1986), Malatya güneyindeki kendine özgü görünümünden dolayı Perinçek (1979) tarafından **Malatya Metaforfitleri** olarak adlandırılır ve Alt ve Üst Metamorfitler'e ayrılır. Yazgan (1983) bu birimi Alt ve Üst Birliklere ayırmaktadır. Buna karşın Gözübol ve Önal (1986) birimi 4 grupta incelemektedirler. Alttan üste doğru: Pınarbaşı Formasyonu, Koltik Kireçtaşı, Düzağaç Formasyonu ve Kalecik Kireçtaşları (Şekil 2).

Malatya Metamorfikleri yatak alanında en yaygın gözlenen birimdir (Şekil 3 ve 4). Kuzeyden güneye, Maden Karmaşığı ve Pötürge Metamorfikleri üzerine, Doğuanadolu Bindirme Hattı buyunca, bindirmiştir. Üstüne Üstkretase'nin Gündüzbey Grubu açılı diskordansla oturmuştur (Önal ve diğ., 1986). Bölgede ortaç ve düşük derecede bir bölgesel başkalaşım geçirmiş şist ve rekristalize kireçtaşları ile temsil edilirler. Önal ve Gözübol (1992) bunları kuzeyden gelen allokton birim olarak görmektedir.

Pınarbaşı Formasyonu, yatak sahasının kuzeyinde yaygınlık gösterir. Alttan üste doğru, kademeli olarak, kloritşist, serisitşist ve kalkşistlerden Üst Birliğe geçmektedir. Birimde şistozite iyi gelişmiştir. Bunu sıkça kesen çeşitli kalınlıktaki kuvars damarları büyük olasılıkla bir silisleşmenin kalıntısıdır. Bu damarlarda ender olarak sülfidler de gözlenmektedir. Kloritşistlerin yakın kısımlarında kalkşistler yer yer bitüminlidir. Dolomitik kesimler kalın tabakalı oluşları ve ince taneleri ile ayırdedilmektedir. Tabanı Maden Karmaşığı üzerine **Şerefhan Bindirmesi** (Gözübol ve Önal, 1986) ile itilmiş bulunan birimin kalınlığı yaklaşık 750 m kadardır. Bulam cevherleşmeleri esas olarak bu birim içinde yer almakta (bak. cevherleşmeler).

Pınarbaşı formasyonu Üst Birlik'e ait rekristalize kireçtaşlarından oluşan **Koltik Kireçtaşlarına** dereceli geçer. Kalınlığı 1000 m'ye varmakta olan bu birim, yatak sahasının doğu kesiminde yaygın görülmektedir. Alt kısımları daha iyi tabakalanma göstermekte ve rengi üste doğu koyu griden beyaza geçmektedir. İyi kristalleşen kayaç, yer yer masivtir ve epidot, klorit ile kuvars içermektedir. Önal ve Gözübol (1992) 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.

2.1.3 Maden karmaşığı

Çeşitli renklerde kireçtaşı, kaba kırıntılı kumtaşı, çakıltaşı ve ince kırıntılı kiltası ardaalanmaları, andezit, diyabaz ve split türü litolojilerden meydana gelen Maden Karmaşığı, en iyi bölgenin kuzeydoğusunda görülmektedir. Maden (Elazığ) dolayında belirgin gözlendiği için Perinçek (1979) tarafından bu ad verilmiştir. İnceleme sahasının kuzeydoğusunda en iyi izlenen birimin, kalınlığı 350 m'ye ulaşmaktadır. Başkalaşımın etkisi ile hafif yapraklanmıştır.

Pötürge Metamorfitleri üzerine açılı uyumsuzlukla gelmektedir (Önal ve diğ., 1986). Üst dokanağı ise, Malatya Metamorfitleri ile bindirmelidir. Üst seviyelerini nümmütlü kireç-taşları oluşturur. Gözübol ve Önal (1986) 'ya göre muhtemelen Alt Eosen yaşlıdır ve kıta içi çanakta oluşmuştur. Yatak bölgesinde diyabaz olarak görülürler.

2.1.4 Sokulum kayaçları

Bölgede çeşitli yaş ve bileşimde granitik ve dasitik sokulumlar gözlenmektedir. Bunların en önemlisi Çelikhan'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, azürit ve kalkopirit gibi cevherleşmelerin görüldüğü daha küçük sokulumlar da bulunmaktadır.

2.1.5 Kuvaterner Çökelleri

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 4). İnce taneli genç çökellerden meydana gelen ve oldukça verimli bir tarım alanı olan Çelikhan Ovası, bu birimlerdendir.

2.2 Tektonik

İnceleme alanının en önemli yapısal öğeleri bindirme ve kıvrılmalarıdır. Saha, Torid'lerin Arap Platformu ile çarpışma kuşağında bulunması nedeni ile tektonik hareketlerden oldukça etkilenmiştir. Bölge, Güneydoğu Anadolu'nun evrimi süresince değişik jeolojik evrelerde çeşitli yapısal değişimler geçirerek bindirme, normal ve doğrultu atımlı faylarla şekillenmiştir.

Yapılan saha gözlemlerine göre inceleme sahasının en yaygın tektonik öğesi Bulam Yatağı'nın güneyinden geçen **Şerefhan Bindirme Hattıdır (DAF)**. Bu kuşak boyunca Torid Tektonik Kuşağı ile Arap Platformu'nun çarpışması sonucu batıya hareket eden kuzeydeki Malatya Metamorfitleri güneyde bulunan Maden Karmaşığına bindirmiştir. İkisi birden Üst Kretase'de

yatak sahasında gözlenmiyen Koçali Karmaşığının üzerine itilmiştir. Bu itilme ile kayaç birliklerinin içinde ikincil itilme ve dilimlenmeler de meydana gelmiştir.

Yatak sahasının kuzey kısmı güney kısmına oranla daha düzenlidir. Örneğin, kuzeyde 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 4) kıvrımlanma ve kırılmalara neden olmuşlardır (Önenç ve Yılmaz, 1981). Antiklinalin batı kesiminde kristalize kireçtaşları büyük kalınlıklara sahipken, doğu kesimi aşınmıştır. Şistlerdeki tektonik yapılar yerel kıvrımlanma, kırılma ve düşey yarılımlardan oluşmaktadır. Cevher, şistlerle birlikte ileri derecede kıvrımlanmıştır. Bu, cevherleşmenin deformasyondan yaşlı olduğunu gösterir. Dayanıklı cevher mercekleri deforma-yona kırılma ile uyum sağlamıştır.

2.3 Başkalaşım (metamorfizma)

Bulam Apatitli Manyetit Yatağı'nın kayaç birimleri ve yakın çevresi **yeşil şist fasiyesinde** en az **bir bölgesel başkalaşım** (rejyonel metamorfizma) geçirmiştir. Mikroskopik incelemeler ve difraktometri analizleri başkalaşım derecesinin oluşturduğu belirgin mineral birlikteliği (parajenezi) kloritler (klorit, kloritoid ve serisit), mikalar (biyotit ve muskovit) ve feldspatlar (albit) ile epidottur (son ikisi çok enderdir). Bu mineral birlikteliği, Winkler (1976) 'ye göre bölgesel başkalaşımın yeşilşist fasiyesinin **kuvars-albit-muskovit-klorit** sübfasiyesine karşılık gelmektedir. Ender rastlanan biyotit, epidot ve granat, Bulam'daki başkalaşımın en çok **kuvars-albit-epidot-biyotit** sübfasiyesinin başlangıcına ulaşabildiğini göstermektedir. Brownlow (1996) bu tipik mineral birlikteliğini ancak **pelitik sedimanların** yeşilşist fasiyesindeki başkalaşım ürünü olabileceğini belirtmektedir.

Bu bulgulara göre Bulam'daki başkalaşım, Winkler (1976) sınıflamasına göre, basıncın etkin olduğu **Barrow tipi** zayıf bir bölgesel başkalaşım olarak tanımlanabilir. Böyle bir başkalaşımın oluşum koşulları yaklaşık **400 °C** ısı derecesine ve **400 MPa** basınca karşılık gelir.

3 CEVHERLEŐME

3.1 Cevherleşmenin yapısı

Bulam Apatitli Manyetit Yatağı'nın ilksel cevheri, adından da anlaŐıldıđı gibi, manyetittir. Apatit, esasında kuvarsla birlikte, bir gang minerali olarak bulunur. Yatağın üst kısımlarında kloritli kısımlarda yoğunlaŐan cevher dŐzeyleri, çeşitli derinliklerde mercek veya tabaka Şeklinde bulunur. Kuzey-gŐney bindirme yŐnŐne paralel olarak gelişen bu dŐzeyler, batıya kısmen 70°'ye varan eğimle dalmakta (genelde yaklaşık 30°) ve mermerlerle yanal ve dŐŐey geŐiŐlidir. **Cevher mercleklerinin kalınlıkları 15 m'**ye, yanal uzanımları ise, birkaç yŐz m'ye varmaktadır (Şekil 4 ve 5). Cevherli zonun kalınlığ 100 m'yi bulmaktadır (orneğin, SP-3 sondajında). SP-8 ve SP-9 verilerine gŐr cevher kristalize kireŐtaŐlarının altında batıya doğru devam etmekte ve **derine doğru** yankayaÇla ardalanarak **200 m'**ye kadar takibedilebil-mektedir. YŐzeyde limonitleŐme ilerlemiŐtir. Ancak aŐırı taŐınma nedeniyle bir demir Őapka oluŐmamıŐtır.

3.2 CevherleŐme tŐrleri

Bulam Apatitli Manyetit Yatağı'nda **masiv, bantlı ve saÇınımlı** halde bulunan manyetit, derişim oranına göre farklı yapıda ve kalitede cevher tŐrleri sergilemektedir. En yaygın cevher minerali **manyetittir**. Bunu **hematit, götit** ve çok az miktardaki **siderit** izlemektedir.

- 1. Masiv cevher**, yankayacın apatit ve manyetite oranla azalarak geride saf manyetit ve apatitin kalması ile oluşmuştur. Buradaki masiv kavramı Fe oranı % 50'nin üzerinde olan cevherleri kapsar. Yatağın orta (SP-2) ve kuzey kesimlerinde (SP-3 sondajlarında) yaygınlık gösterir. Őst seviyelerde derinlere göre daha yoğundur. Bu da SP-2 ve SP-4'te olduğu gibi Fe'nin derinlikle azalmasına neden olmaktadır. Masiv cevherin kalınlığı, orneğin, SP-3'te izlendiği gibi, en çok 10 m'ye varabilmektedir. Yanal uzanımları, kalınlığın birÇok katı olabilmektedir.

Masiv manyetit sadece mm boyutlarında, ince tanecik ve bantlar halinde, apatit ve silikat iŐerir. Belirgin bir yönlenme gösterir. MTA karot ve oluk ornekleri analizlerine göre

P₂O₅ oranının en yüksek olduğu cevher tipidir. Bu durum SP-2 sondajında en iyi gözlenmektedir. Bu saptama temelde apatit ile manyetit arasında bir uyumlu bağıntının varlığını ortaya koymaktadır.

2. **Bantlı cevher**, iyi yönlendirilmiş manyetit, apatit ve kloritist araldanmasından meydana gelir. Yatağın güney kesiminde daha belirgin gözlenmekte olan bu cevher türü, çeşitli derinlik ve kalınlıklarda olabilmektedir. Yönlenme, büyük olasılıkla başkalaşım sırasındaki basıncın sonucudur. Tüm cevher türlerinde görülür. Bantların kalınlığı cevher ve gang minerallerinin tane boyuna göre değişerek 1 cm'ye varabilmektedir. Bantlaşma şistoziteye paraleldir. Yanal yönde saçınımlı cevherlere geçer. İri ve genellikle özşekilli manyetit kristallerinin etkin olduğu bu cevher tipinin manyetit oranı % 50 civarında olmaktadır.
3. **Saçınımlı cevher**, en yaygın cevher tipidir. Yatağın her tarafında değişik yoğunlukta ve boyutta gözlenir ve her zaman bantlı ve masiv cevherlere eşlik eder. Ancak bu mm boyutundaki çoğunlukla düzensiz ve ince taneli, yer yer özşekilli ve şistoziteye paralel yönlendirilmiş manyetit ve apatit kristallerinden oluşan cevherin manyetit oranı % 30'u geçmemektedir. Dolayısı ile bu cevher türünün olası bir işletme sırasında kazanılması ancak kısmen masiv ve bantlı cevherlerle mümkündür.

3.3 Mineralojik incelemeler

3.3.1 Petrografik gözlemler

Mikroskopik incelemeler, Bulam Atatitli Manyetit Yatağı mineralojisinin oldukça yalın olduğunu ortaya koymuştur. Mineral grubu olarak oksitler (Manyetit, hematit), silikatlar (mika ve kloritler) ile fosfat (apatit) oldukça yaygındır, ancak çeşitli değildir. Bu, yatağın ana kayaçlarının tüm elementlerce, örneğin, sedimanlar gibi, zengin olmadığını veya başkalaşımın çeşitli mineral parajenezi oluşturacak dereceye ulaşmadığını göstermektedir. Cevher ve yankayaçlarda başkalaşım sonucu olarak kuvvetli bir yönlenmenin (şistozite ve folyasyon) bulunduğu gözlenmiştir

Yankayacın esas maddesini **yeşil-gri klorit** (şamozit) ve açık **kahverengi mika** (muskovit, biyotit) mineralleri oluşturmaktadır. 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 kepeğimsi kloritşist dokusu içinde çok iyi yönlenmiş, özşekilsiz eski bir manyetit nesli ile özşekilli ikinci bir manyetit nesli bir arada bulunmaktadır (Şekil 6). Yönlenmiş eski manyetit neslinin sadece kloritşistlere bağlı bulunduğu ve yankayaçlarla ardalandığı görülmektedir. Özşekilli manyetitler büyük olasılıkla başkalaşımdan sonra, örneğin, retrograd başkalaşım sırasında, oluştuklarından, deformasyondan etkilenmemişlerdir.

Klorit-serisitşist birimi üzerine bir normal dokunakla gelen rekrystalize kireçtaşları orta tabakalıdır ve şistlere paralel yönlenmiştir. Mineralojik olarak saf **kalsitten** oluşan rekrystalize kireçtaşları, yer yer **dolomitik** bileşim sunarlar. Öz şekilli kalsit taneleri granoblastik bir dokuya ve ikizlenme lamellerne sahiptir. Kalsit yanında ender olarak **klorit, mika, epidot ve opak minerallere** rastlanır.

3.3.2 Cevher mikroskopisi

Bulam Apatitli Manyetit Yatağı'nda **manyetit** çeşitli şekillerde bulunmaktadır. Makroskopik olarak masiv, bantlı ve saçınımlı manyetit cevherleşmelerinin ayırdedilebildiği yukarıda belirtilmiştir. Zengin veya masiv cevher zonlarında ancak 0,5 mm altında tane boyuna erişen manyetit taneleri, saçınımlı cevherlerde birkaç mm çapına varan tane boyutu göstere-bilmektedir. Özşekilli manyetit kristallerine, özellikle, iyi yönlenmemiş saçınımlı cevherlerde rastlanmaktadır.

Mikroskopik olarak manyetit, koyu gri renkli, iri taneli, çoğunlukla özşekillidir ve hemen her zaman kristal kenarları boyunca 2 yönde gelişen bir martitleşme gösterir. Bu sayede tane kristallerinin oktaedr yüzeyleri açık bir şekilde izlenebilmektedir (Şekil 7). 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 rahatça tanınır. Nadiren kapanım olarak da manyetit içinde gözlenir. Özgün hematitleri manyetit türevi olanlarından ayırmak mümkün değildir. Yüzeyde hematite dönüşen manyetitin ayrılarak **götite** dönüştüğü de görülür. Demir oksit minerallerinin yanında, oldukça az oranda **rutil** ve serpilmiş halde **pirit** ile **kalkopirit** gibi sülfid mineralleri de gözlenir.

Bulam Apatitli Manyetit Yatağı'nda manyetit ve hematitin yanında ekonomik öneme sahip en önemli mineral **flüorapatittir**. Arazide çıplak gözle grimsi rengi, prizmatik kristal şekli ve kırılma yapısı ile kuvarstan ayırdedilebilir. 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. Cevher içindeki oranı % 3-5 arasında değişir. Ancak nadiren % 25'in üzerinde apatit içeren düzeyler de bulunmaktadır. Manyetit gibi tektonizmadan etkilendiği ve yankayaçla çok iyi yönlendiği gözlenir. Flüorapatit yanında nadiren **hidroksilapatit, monasit, ksenotim** ve **zirkon** gibi minerallere de rastlanmaktadır. Pembe flüoresans rengi, düşük radyoaktivite (8-10 cps) ve düşük eser element içeriği (<% 1) Bulam apatitlerinin diğer önemli özelliklerindedir.

4. JEOKİMYA

4.1 Örnek alma ve analize hazırlanması

Bulam'da 1983 yılına kadar yapılmış 9 sondajın karotları bulunamadığından, **temsili rastlantısal örnek alma** yoluna gidilmiştir. Bu yöntemle cevherin doğrultu ve eğimine yaklaşık dik kesitler oluşturularak rastlantısal yaklaşık 1 kg ağırlığındaki **154 parça örneği** alınmıştır (Şekil 3). Bu örnekler yatak bölgesinin çeşitli yerlerine ait **107 cevherle 47 yankayaç** ($Fe_2O_3 < \%20$) örneklerinden oluşmaktadır. Bu kapsamdaki bir araştırma için, inceleme alanı dikkate alındığında, yaklaşık 80 örneğin yeterli görülmektedir (%95 kesinlik derecesi için). Mümkün olduğu kadar taze cevher veya yan kayaçtan alınan örnekler, yarıldıktan sonra analiz için ince öğütülerek ilk aşamada 31 örnek analiz edilmiştir.

Element analizleri Berlin Teknik Üniversitesi (BTÜ) laboratuvarlarında **x-ray** analiz aygıtı ile yapılmıştır. Analizi yapılan 40 elementin saptanabilenlerinin derişimleri Çizelge 1’de verilmiştir. 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 Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD, Reno/Texas) başka 30 örnekte altın, gümüş ve platin grubu elementlerle (PGE) bazı önemli eser elementlerin analizi **nötron aktivasyon** yöntemi ile yapılmıştır. 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 (bak. 4.3 ve 4.4). Sonuçlarının değerlendirilmesinde kişisel bilgisayar programı Excel 2000 kullanılmıştır.

4.2 Analiz sonuçlarının irdelenmesi

Bulam Apatitli Manyetit Yatağı’nın analiz edilen apatitli manyetit örnekleri **yan ve eser element** bakımından fakir görülmektedir. Bu analiz değerlerinin en belirgin özelliği orta derecedeki Fe₂O₃ tenörü yanında yüksek oranda P₂O₅ (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 1). 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 seyredikleri gözlenmektedir.

İncelenen örneklerin ana bileşenleri manyetitten kaynaklanan Fe (% 47,18 Fe₂O₃) ve kuvarsla silikatlardan (klorit ve mika) gelen Si’dır (% 27,45 SiO₂). Değerli hammadde olarak bakılan P₂O₅’in ortalama değeri % 3,01’dir. Bu değer, demirin işletilmesini olumsuz etkiliyecek derecede yüksektir (Çelik üretimi için: max. 300 ppm P istenir). Ancak bunun ayrılmasının müm-kün olduğu bilinmektedir (Pfeuffer, 1997; Ranjbar, 2002 ve Wellenkampf, F.-J. ve de Souza Barroso, 2002). En düzenli dağılımı Fe₂O₃ ile Al₂O₃ göstermektedir (v = % 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 tenörüne ulaşmanın zor olacağı anlamına gelir.

4.3. Bağmtı analizi

a) Tüm kayaç analiz değerleri

Analizi yapılan örneklerin çok sayıdaki bileşeni veya element derişimleri arasında anlamlı uyumlu ve uyumsuz bağıntılar bulunmaktadır. Bunların önemli olanları Şekil 8’de görülmektedir. En belirgin uyumsuz bağıntı değerli hammadde oluşturan Fe_2O_3 ve P_2O_5 ile silikatları oluşturan SiO_2 , Al_2O_3 , alkali ana bileşenleri ve bunların eser elementleri arasında görülmektedir. Bu, Fe ve P’un derişmesi ile silikatlarla alkalilerin seyrelmesi demektir. Örneğin, Fe_2O_3 ile SiO_2 uyumsuz bağıntı gösterirken, SiO_2 ile Al_2O_3 derişim derişimleri uyumludur (Şekil 8 a, b). Bunun yanında Fe ile P arasında da uyumlu ve anlamlı ($r=0,52$) bir bağıntı bulunmaktadır (Şekil 8 c). Bu, bu iki bileşenin aynı ortamda paralel deriştiklerine işaret etmektedir.

V’un manyetitte derişmesine karşın, Ti’in Al bileşenlerini, örneğin, muskovit ve kloritleri, tercih ettiği gözlenmektedir (Şekil 8 d). Burada V^{5+} ’nın (74 nm) Fe^{3+} (72 nm) ile, Ti^{4+} ’nın (65 nm) da Al^{3+} (63 nm) ile olan iyon yarıçapı benzerliği rol oynamıştır. V’un Fe ile uyumlu bağıntısı aynı zamanda V’un doyunluk derecesine vardığını ifade etmektedir.

Aynı şekilde CaO ile P_2O_5 arasındaki uyumlu bağıntı apatiten kaynaklanmakta ve bunun da doyunluk derecesine vardığı doğrusal bağıntıdan anlaşılmaktadır (Şekil 8 e). Manyetitteki V-Fe bağıntısı apatitteki F- P_2O_5 ’ten daha iyi bir bağıntı sunmaktadır (Şekil 8 f). Burada F’ün mikalara da bağlanması ve O, Cl, OH ve CO_3 iyonlarının kısmen F’ün yerini almaları F dağılımını etkilemiştir. Aynı şekilde K’a paralel olarak Rb’un da, yarıçap benzerliği ve ortak jeokimyasal davranışları nedeniyle, mikalarda deriştikleri görülmektedir (Şekil 8 g). Şekil h’da görülen MnO-Co uyumlu bağıntısı, Co’ın Fe yerine Mn’ı tercih ettiğini göstermektedir.

b) Karot Fe ve P_2O_5 analiz değerleri

Çizelge 1’de incelenen örnekler yatak yüzeyini çeşitli yerlerinden alınmış örneklerdir. Dolayısı ile bu örneklerle yatağın 3. boyutunu, yani derinlikle derişimleri incelemek mümkün değildir. 3. boyut incelemeleri için sadece sondaj karotu analiz değerleri sözkonusu olacaktır. Sondaj karot örneklerinde sadece değerli hammaddeler Fe ve P_2O_5 analizleri yapıldığından, ancak bu iki bileşenin derişimi ve ilişkisinin incelenmesi mümkündür (Büyükkıdık ve Aras, 1984).

Fe ve P_2O_5 karot örnekleri analiz değerleri arasında da Çizelge 1'deki gibi anlamlı ve uyumlu bir bağıntı bulunmaktadır (Şekil 9). Bu durum, Fe ve P_2O_5 'in paralel deriştiklerini ve büyük olasılıkla aynı kaynaktan geldiklerine işaret etmektedir.

Yukarıda gösterildiği gibi sondajlarda da, Sp-7 dışında, tüm sondajlarda Fe ve P_2O_5 derişimleri uyumludur, ancak derinlikle uyumsuzdur (Şekil 5). Kuzeydeki sondajlar Fe ve P_2O_5 tenörü bakımından güneydeki sondajlardan daha zengin ve saçınımlıdır. Sondajların ortalama tenörleri ile standart sapmaları arasında anlamlı bir bağıntı (proportional effect=oranlı etkeni) gözlenmemektedir (gösterilmemiştir). Zengin cevher mercekleri ile saçınımlı zayıf cevher kısımlarının ardalanmasından kaynaklanan bu özellik, olası bir işletme sırasında ortalama tenör için oldukça önemlidir. Bulam'da böyle bir sorun görülmemektedir.

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

4.4 Sıklık dağılımı

Bulam 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.

Sturge Kuralına göre yapılan dağılım hesapları, Bulam Apatitli Manyetit Yatağı'nda hem Fe, hem de P_2O_5 zayıf cevher tipini vermekte (pozitif eğimli). Dağılımlar 2 popülasyondan oluşmaktadır (Şekil 10 a, b). Bu özellik, birikimlik sıklık, logaritmik (Şekil 10 c, d) ve olasılık kağıdında da (gösterilmemiştir) 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 dağılımda P_2O_5 yaklaşık normal dağılım gösterirken Fe dağılımında durum değişmemektedir. Sadece dağılım simetrisi değişmiştir (Şekil 10 c). Bu, P_2O_5 'in Fe'den daha düzenli dağıldığını gösterir. Log normal dağılım, magmatik işlevlere özgü bir gelişme olarak

görülür (Ahrens, 1954 a ve b). Fe dağılımı teorik normal dağılımdan basık, P₂O₅ ise, sivridir. Bu sonuç, Fe'nin birkaç minerale bağlı olduğunu, P₂O₅ ise, sadece apatitte toplandığını ifade eder. Mikroskopik bulgular da bunu doğrulamaktadır (bak. 4. konu).

5. YAPISAL ANALİZ (Varyogramlar)

Bulam Apatitli Manyetit Yatağı'ndaki cevher dağılımının, örneğin, en iyi örnek aralığını, hata payını ve ardalanma gibi, önemli bazı yapısal özelliklerini ortaya çıkarmak için Fe ve P₂O₅ karot analiz değerleri için,

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

eşitliğine göre dikey ve yatay varyogramlar hesaplanmıştır. Burada n, örnek sayısı, x_i, analiz değeri, h da örnek aralığıdır (m). x_{i+h} örnek değeri, x_i örneğine h mesafedeki örnek değeridir (Şekil 11).

Bulanan varyogramlar, Fe ve P₂O₅'in dağılım benzerliğini, yüksek hata payını (nugget effect, ~ % 25), yaklaşık 10 m'lik en iyi örnek aralığını (range), eğilim (trend) ve ardalanma (hole effect) göstermektedir.

Hata payı, ortalama varyogram eğrisinin ordinat üzerindeki başlangıç noktasıdır (yaklaşık ve % olarak). En iyi örnek aralığı, 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 cevherli düzeylerle cevhersiz zonların, yani yankayacın, ardalanması anlamına gelir (Şekil 13 a ve b). Bir cevher yatağındaki bu özellikler Wellmer (1989), Akın ve Siemes (1988) ve David (1977) tarafından log normal dağılıma bağlanmaktadır.

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Elde edilen jeolojik, mineralojik ve jeomatematiksel araştırmaların sonuçlarına göre Bulam Apatitli Manyetit Yatağı bir “klasik Kiruna tipi apatitli manyetit yatağı” olarak tanımlanabilir. Benzer yataklar bafq/İran, Cerro de Mercado/Mexico ve El Laco/Şili yataklarıdır. Türkiye’deki rnekleri Avnik/Bingöl ve nalđı/Bitlis apatitli manyetit yataklarıdır.

Yatak, yeşil Şist fasiyesinde bir bölgesel metamorfizma geçirmiştir. Bunun sonucu olarak kayaa birimleri ve cevher kıvrılmış veya kırılmıştır. İyi yönlenmiş saçınımlı, bantlı ve masiv manyetit cevherleri ayırt edilmektedir. Yatağın değerli mineral hammaddesi hafif martitlemiş olan manyetittir. En önemli gang minerali florapatit ve kuvarstır. Analiz değerleri ortalama ~ % 35 Fe ve % 3 P₂O₅ vermektedir. Demirle fosfat arasında belirgin bir uyumlu, derinlikle de bir uyumsuz bağıntı saptanmıştır. Manyetit cevherleri yüksek oranda Al ve çok sayıda V, Zn ve Ni gibi eser element içermektedir.

Bulam’daki apatitli manyetit cevherlerinin **oluşumuna** ilişkin görüşler **volkano-sedmanter** tezleri ne çıkarmaktadır (Büyükkıdık ve Aras, 1984, Önenç ve Yılmaz, 1981). Buna karşın nal ve diğ. (2002) sedimanter kökenli olduğunu savunmaktadır. Bu tip yataklara ilişkin oluşum tezleri eskiden beri çok çeşitlidir (Frietsche ve Perdahl, 1995; Mücke ve Younessi, 1994, Förster ve Jafarzadeh, 1994 ve Wright, 1986). Sıvı kapanım ve nadir toprak elementleri araştırmaları bu konuya ışık tutabilir.

TEŐEKKÜR

Arazi alışmaları sırasında büyük yardımlarını gördüğümüz Doç. Dr. M. nal’a (İnönü ), örnek hazırlanması sırasındaki ilgileri için Yük. Müh. Ebru Ebru Kılınç’a (Kromsan A. Ő./Mersin) ve Laboratuar alışmaları sırasındaki desteği için Doç. Dr. G. Matheis’a (Berlin Teknik .) iten teŐekrlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

- Ahrens, L. H., 1954a: The lognormal distribution of the elements (1). **Gechim.et Cosmochim. Acta, 5**, 49-79
- 1954b: The lognormal distribution of the elements (2). **Gechim.et Cosmochim. Acta, 6**, 121-131.
- Akar, A., 1983: Adıyaman-Çelikhan-Bulam mevkiindeki apatitli manyetit-hematit cevherinin zenginleştirme etüdü. **MTA raporu no. 4915** (yayınlanmamış), Ankara
- Akın, H. ve Siemes, H., 1988: Praktische geostatistik. **Springer Verl.**, Berlin, 304 s.
- Aslan, V., 1970: Adıyaman İli, Çelikhan İlçesi, Bulam güneyi demir prospeksiyonu ön raporu. **MTA raporu** (yayınlanmamış), Ankara
- Brinkmann, R., 1971: Das kristalline Grundgebirge von Anatolien. **Geol. Rudsch. 60**, 886-889.
- Brownlow, A. H., 1996: Geochemistry. 2. basım, **Prentice Hall, Inc.**, New Jersey, 580 s.
- Büyükkıdık, H. ve Aras, A., 1984: Adıyaman-Çelikhan-Pınarbaşı apatitli demir madeni jeoloji raporu. **MTA raporu, no. 1803** (yayınlanmamış), Ankara, 24 s.
- Cengiz, R, Kadioğlu, H. Ve Tüfekçi, M. Ş., 1982: Adıyaman-Çelikhan-Bulam (Pınarbaşı) demir aramaları raporu. **MTA raporu** (yayınlanmamış), Ankara
- David, M., 1977: Geostatistical ore rezeve estimation II. **Elsev.**, Amsterdam, 364 s.
- Förster, H. ve Jafarzadeh, A., 1994: The Bafq Mining District in Central Iran – a Highly Mineralized Infracambrian Vocanic Field. *Econ. Jeol.* 89, 1697-1721
- Frietsch, R. And 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 Fenbilimleri Enstitüsü** (yayınlanmamış), Elazığ, 59 s.
- Gözübol, A. L. ve Önal, M. 1986: Malatya-Çelikhan alanının jeolojisi. **Tübitak projesi No TBAG-647** (yayınlanmamış), Ankara
- Koşal, C., 1967: Elbistan-Doğanşehir arası demir prospeksiyonu ve jeolojisi. **MTA raporu, no. 498** (yayınlanmamış), Ankara
- Mücke, A. and 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. ve Gözübol, M. A. 1992: Malatya Metamofitleri üstündeki örtü birimlerinin stratig-rafisi, yaşı, sedimanter fasiyesleri, depolanma ortamı ve tektonik evrimi. **TPJD Bil. CA-I**, 119-127.
- Önal, M., Şahinci, A. ve Gözübol, M. A., 1986: Yeşilşyurt-Çelikhan (Malatya –Adıyaman) dolayının hidrojeolojik incelenmesi. **Jeoloji Müh. 29**, 5-12.
- Önal, A., Şaşamaz, A. ve Önal, A., 2002: Pınarbaşı (Çalikhan-Adıyaman) apatitli manyetit cevherinin mineralojisi, jeokimyası ve kökeni. **Yerbilimleri Dergisi** **40/41**, 207-226.
- Önenç, D. ve Yılmaz, H., 1981: Adıyaman İli, Bulam (Pınarbaşı) dolayının apatit prospeksiyonu. **MTA raporu** (yayınlanmamış), Ankara.
- Özkaymak, 1978: Adıyaman-Çelikhan-Bulam zuhurunun manyetik prospeksiyonu. **MTA raporu** (yayınlanmamış), Ankara
- Öztoprak, M., Ünal, S. ve Bektimuroğlu, O., 1981: Adıyaman Çelikhan Bulam demir cevherinin ön teknolojik değerlendirilmesi. MTA raporu (yayınlanmamış), Ankara, 13 s.
- Öztürk, M., 1982: Adıyaman-Çalikhan-Bulam demir aramaları manyetik etüt raporu. **MTA raporu** (yayınlanmamış), Ankara

- Perinçek, D., 1979: Çelikhan-Sincik-Koçali (Adıyaman İli) alanının jeoloji araştırması. **İÜ Fen Fak. Mec.**, **B 44**, 127-147
- Pfeufer, J., 1997: Phosphat im Eisenerz der Lagerstätte Leonie im Auerbach (Oberpfalz). Spurenelemente in Lagerstätten, **GDMB yayını 80**, Clausthal-Zellerfeld, s. 41-52
- Ranjbar, M., 2002: Dephosphatisation of Iranian Iron Oxide Fines by Flotation. **Erzmetall 55**, 11, 613-616.
- Tolun, N., 1955: Besni-Adıyaman-Samsat arası bölgelerinin jeoloji etüdü. **MTA raporu** (yayınlanmamış), Ankara
- Wellenkampf, F.-J. ve Souza Barroso, M. A. de, 2002: Column Flotation of Apatite. **Erzmetall 55**, 10, 553-558
- Wellmer, F.-W., 1989: Rechnen für Lagerstättenkundler 2. Clausthaler tekt. Hefte, Clausthal-Zellerfeld, 460 s.
- Winkler, H. G. F., 1976: Petrogenesis of metamorphic rocks. Fifth edition, **Springer Verl.**, New York, 348 s.
- Wright, S. F., 1986: On the origin of iron ores of the Kiruna Type – An additional discussion. **Econ Geol. 81**, 192-206.
- Yılmaz, Y. ve Yiğitbaş, E., 1990: Türkiye 8. Petrol Kongresi bildirileri, **TPJD**, 16-18 Nisan 1990, s. 128-140.
- Yazgan, E., 1983: Munzur napları ve Arap Platformu arasında bir jeo-travers. **MTA raporu** (yayınlanmamış), 13 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