

- Mineraloji
- Maden Yatakları
- Doğal Jeolojik Yapılar
- Yerbilimleri
- Petrol Jeolojisi
- Çevre Jeolojisi
- Hidrojeoloji
- Doğal Gaz
- Mühendislik Jeolojisi

# TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI

## YÖNETİM KURULU

Hikmet TÜMER	Başkan
Tahir ÇEBİ	İkinci Başkan
Erçin TÜRKEL	Yazman
Aydın Bülent BAŞ	Sayman
Bahadır ŞAHİN	Mesleki Uygulamalar Üyesi
Erdem ÇÖREKÇİOĞLU	Yayın Üyesi
Oğuz DEMİRKIRAN	Sosyal İlişkiler Üyesi

## JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ YAYIN KURULU

<b>Editörler</b>	<b>Sekreter</b>	<b>Teknik Yönetmen</b>
Kemal TÜRELİ - Ferda ÖNER Tamer Yiğit DUMAN	Ercan BAYRAK	Semih GÜRSU

## MAKALELERİ İNCELEYENLER (Sayı 49)

Zeynel DEMİREL (MTA)	Orhan CERİT (C.Ü.)
Jerf ASUTAY (MTA)	Hakan SAKA (MTA)
Mehmet EMEKÇİ (H.Ü.)	Zeki ÇAMUR (ODTÜ)
Bahadır ŞAHİN (MTA)	Reşat ULUSAY (H.Ü.)
Asuman TÜRKMENOĞLU (ODTÜ)	

## SAHİBİ ve YAYIN SORUMLUSU

*Hikmet TÜMER*

**YÖNETİM YERİ** - Bayındır sok. No: 7/1 Kat :1 Kızılay - ANKARA

**YAZIŞMA ADRESİ** - P.K. 464- 06424 Kızılay - ANKARA

## REKLAM FİYATLARI

Arka Dış Kapak (Renkli).....	40.000.000 TL.
Arka Dış Kapak (S/B) .....	25.000.000 TL.
Arka İç Kapak (Renkli).....	30.000.000 TL.
Arka İç Kapak (S/B).....	25.000.000 TL.
İç Sayfa (S/B).....	10.000.000 TL.
1/2 Sayfa (S/B).....	5.000.000 TL.
1/4 Sayfa (S/B).....	2.500.000 TL.
Özel Renk.....	2.500.000 TL.
Renk Süzümü .....	2.500.000 TL.

Tescilli bürolara ve sürekli reklam yayımlanması isteminde % 10 indirim yapılır. Bu sayı 1000 adet basılmıştır.

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ TMMOB** Jeoloji Mühendisleri Odası yayınıdır. Yılda iki kez yayınlanır. Dergi Odanın amaç, ilke ve yayım koşullarına uygun bilimsel ve teknik yazılara açıktır. Yayımlanan yazılardaki fikir ve teknik sorumluluk yazarlara ait olup, Jeoloji Mühendisleri Odası ve Dergi sorumlu değildir.



# JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını

Kasım 1996 Sayı 49

ISSN 1016-9172

## İÇİNDEKİLER

- 1 **Diyajenez - Metamorfizma geçişinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler**  
*Ömer BOZKAYA, Hüseyin YALÇIN*
- 23 **Veledler Sırtı / Kurtşeyh (Sivrihisar - Eskişehir) sepiyolit cevherleşmesinin rezerv - tenör değerlendirilmesi**  
*Cem SARAÇ, Taner İRKEÇ,  
Hakan GENÇOĞLU, A.Erhan TERCAN,*
- 35 **Pamukkale (Hierapolis) de arkeologlar tarafından yanlış yorumlanan jeolojik yapılar: Kendiliğinden oluşan kanal travertenler ve sırt tipi travertenler**  
*Erhan ALTUNEL*
- 41 **Yerbilimlerinde mikroanalitik yöntemler**  
*A. Doğan PAKTUNÇ*
- 49 **Hidrokarbon aramalarında zeolitin kullanılmasına bir örnek: (İmranlı güneyi - Sivas)**  
*Orhan ÖZÇELİK*
- 55 **Dünya altın madenciliği ve Türkiye'nin altın potansiyeli**  
*Vedat OYGÜR*
- 63 **Anatas mineralinin X-ışınları difraktometresi ile nicel analizi için bir yöntem**  
*Hulusi KARGI*
- 67 **Çayırhan (Nallıhan - Ankara) termik santral baca gazı arıtma kireçtaşı**  
*Aydoğan AKBULUT*
- 76 **Başkalaşım kayalarındaki ana süreksizliklerin kaynak oluşumuna etkisi**  
*İlyas YILMAZER*
- 81 **Kuzuluk (Akyazı) termomineral kaynağı çevresinin ayrıntılı jeolojisi ve ilişkili hidrotermal anomalileri**  
*Rüstem PEHLİVAN*
- 90 **Kömür kökenli doğal gaz**  
*İlker ŞENGÜLER*
- 95 **EYS kuralı ile enjeksiyon projelendirmesi ve kontrolü**  
*G. LOMBARDI, D.U. DEERE'  
Çeviren Adil ÖKTEM*
- 107 **Jeoloji Panorama**  
*Engin SÜMER, Mine SÜMER, Sefer ÖRÇEN*

### Kapak Fotoğrafı

Karsantı- Adana krom cevherleşmesinin jeostatiksel rezerv-tenör değerlendirilmesi (cevherleşmenin yalnız bir katı gösterilmiştir).

**CEM SARAÇ**

teknik hazırlık  
nitelik reklam (312) 419 35 46



## 50. Yılı Kutlarken

Türkiye'de Jeoloji Mühendisliği disiplininin gelişmesine paralel olarak JMO mesleki örgütlülüğünün 50. yılını kutlamaktadır. Odamız, mesleki yaşam kesitinde Jeoloji Mühendisliği ile ilgili konularda meslek amaçları doğrultusunda çeşitli etkinlikler göstermiştir. Bunların kuşkusuz en önemlileri Odamız öncülüğünde gerçekleştirilmiş bulunan Türkiye Jeoloji Kurultaylarıdır. Bugüne kadar da 50 Kurultay aralıksız olarak yaşama geçirilmiştir. Gelenekselleşen içeriği ile jeoloji topluluğunun özveri ve gururu olan bu kurultayların 50. yıl anısına İstanbul'da 1-5 Eylül 1997'de gerçekleştirilecek olan JEOLOJİ ve ÇEVRE Uluslararası toplantısının son hazırlıkları bitmek üzeredir.

50. yılımızdaki amacımız; kendi uğraşı alanında daha iyiye, daha güzele erişmektir. Bu amaçtan yola çıkarak yayın hayatına başlayan Jeoloji Mühendisliği Dergisi elinizdeki bu sayı ile bir kez daha sizlerle beraberdir. Bu sayı ile biraz daha güçlenen dergimizin büyümesi de sizlerin katkıları ile olmuş ve olacaktır.

Dünya ve Türkiye Ekonomilerindeki iniş ve çıkışlar bütün mühendislik uygulamalarını etkilemiş bulunmaktadır. Ancak, Jeoloji Mühendislerinin mesleklerine olan sevgi ve bağlılıkları çeşitli zorlukların aşılmasında her zaman en güçlü destek olmuştur. Bu destekle ki JMO, kısıtlı olanaklarla ve özveri ile yürütülen ağır görevleri 50 yıl boyunca üstlenen meslektaşlarımızın çabalarıyla bu günlere ulaştığını bilmıştır. Meslek örgütlenmesinde ellinci yılına dek bu çatı altında görev almış, çeşitli konularda katkılarda bulunan meslektaşlarımızı içtenlikle kutluyoruz. Elli yıldır süregelen çeşitli etkinliklerde Odamıza maddi ve manevi destek sağlayan kişi ve kuruluşlara JMO adına teşekkür ediyoruz.

Nice Elli Yıllara...

Jeoloji Mühendisleri Odası  
Yönetim Kurulu



# Diyajenez - Metamorfizma geçişinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler

Ömer Bozkaya,  
Hüseyin Yalçın,

Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas  
Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas

*Kırıntılı sedimanter kayaların diyajenez ve çok düşük dereceli metamorfizma geçişinin ve/veya evriminin belirlenmesinde çeşitli ölçütler kullanılmaktadır. Bunlar; kayacın dokusal özellikleri, mineralojik bileşimi (indeks mineraller ve/veya mineral fasiyesleri), fillosilikatların kristalografik - yapısal değişimleri ("kristalinite", kristalit büyüklüğü, politipi), organik madde (vitrit) yansıması, grafitleşme derecesi, sıvı kapanım, jeotermometre ve jeobarometredir. Bu parametrelerden özellikle "kristalinite" ölçümleri diğerlerine göre çok daha yaygın ve kullanışlıdır. Bu çalışmada, diyajenez ve çok düşük dereceli metamorfizma kullanılan terminolojilerin denestirilmesinin yanısıra, analitik yöntem ve parametreler ile özellikle "kristalinite" ölçümlerinde dikkat edilmesi gereken önemli noktaların açıklanması amaçlanmıştır.*

## Giriş

Çok düşük dereceli metamorfizma, minerallerin ve organik maddenin litostatik basıncın etkisine göre yaklaşık 150 - 200 ile 350 - 400°C arasındaki dönüşümlerini kapsamaktadır.

Diyajenez - metamorfizma geçişinin tanımlanmasında litolojik farklılıklar ve faz dönüşümlerinin başladığı evrelerinin belirsizliğinin yanısıra, araştırmacılar tarafından kullanılan farklı terminolojiler de zorluklar çıkarmaktadır. Örneğin, evaporit, amorf ve/veya cımsı malzeme ve organik maddenin dönüşümü çoğu silikat minerallerinkinden daha düşük sıcaklıklarda meydana gelebilmektedir. Diğer taraftan, çoğu sedimanter kayalardaki faz dönüşümleri sedimantasyondan kısa bir süre sonra da başlayabilmekte ve artan gömülmeye birlikte devam edebilmektedir. Daha da önemlisi değişik disip-

linlerdeki araştırmacılar dönüşümün derecesini belirtmek ve adlandırmak için farklı terminolojiler kullanmışlardır.

## Tanım ve terminoloji

Diyajenez ve çok düşük dereceli metamorfizma incelemelerinde kullanılan terimler aşağıdaki gibidir:

**Diyajenez:** Dar anlamda erken diyajenez sedimanın çökme ve bütünüyle taşlaşması veya çimentolanması sırasında meydana gelen değişimleri, geniş anlamda diyajenez ise taşlaşmanın bitiminden sonraki değişimleri de kapsamaktadır. Diyajenezin ileri evrelerinde sleyt klivajı da gözlenebilir ve metamorfizmanın düşük dereceli kesimiyle çakışabilir. Bu da geniş anlamda "geç diyajenez", "epijenetik diyajenez", "gömülme diyajenezi", "derin diyajenez" ve "katajenez" terimlerine karşılık gelmekte, bunlar da yazarlarca "gömülme metamorfizması" ile eş anlamlı olarak değerlendirilmektedir (Frey ve Kisch, 1987).

**Ankimetamorfizma veya Ankizon:** Yalnızca illit "kristalinite" verileri temel alınarak tanımlanmaktadır. Kübler (1967a, 1968) ankizon veya ankimetamorfik zon kavramını geç diyajenez ve epizon arasında değerlendirmiştir.

**Epimetamorfizma veya Epizon:** Ankizon gibi yalnızca illit "kristalinite" verileri ile belirlenmekte ve ankizondan sonraki bir üst metamorfik dereceyi temsil etmektedir.

**Katajenez, Epijenez ve Metajenez:** Katajenez ve metajenez, hidrokarbon kökenli kayalardaki evreleri tanımlamak için kullanılmıştır. Katajenez, Fersman (1922: Frey ve Kisch, 1987) tarafından örtü tabakaları etkisiyle çökme ortamı koşullarından farklı basınç ve sıcaklıklarda sedimanter kayalarda meydana gelen değişimler için kullanılmıştır. Katajenez terimi Rus jeologlarınca kullanılan epijenez ile hemen hemen eş anlamlıdır (Bates ve Jackson, 1980). Metajenez ise

epijenez ile eşanlımlı olup, geniş anlamda hem epijenez, hem de "protometamorfizma" terimlerini kapsar (Frey ve Kisch, 1987). Dar anlamda metajenez ise epijenez (veya katajenez) ve metamorfizma arasındaki evreyi temsil eden başlangıç metamorfizmasına karşılık gelmektedir (Kossovskaya ve diğerleri, 1957; Kossovskaya ve Shutov, 1963).

**Çok Düşük Dereceli Metamorfizma:** Metamorfizmanın en düşük derecesi için kullanılmaktadır. Coombs (1961) ve Turner'e (1981) göre yeşilist fasiyesinin, Winkler'e (1979) göre ise düşük dereceli metamorfizmanın başlangıcı olarak kabul edilmektedir. Çok düşük dereceli metamorfizma terimi "geç diyajenez" + "gömülme diyajenezi / metamorfizması" evrelerine karşılık gelmekte ve "katajenez", "epijenez", "metajenez" ve "epijenetik diyajenez" terimlerini de kapsamaktadır.

**Gömülme Diyajenezi / Metamorfizması ve Başlangıç Bölgesel Metamorfizma:** Bu terimler çok düşük dereceli metamorfizmanın alt bölümlerini oluşturmaktadırlar. Gömülme metamorfizması (veya gömülme diyajenezi) kalın sedimanter serilerdeki mineralojik ve eser miktardaki dokusal değişimler için kullanılmıştır. (Coombs, 1961). Winkler'e (1979) göre bölgesel gömülme metamorfizmasının çok düşük dereceleri için şistozite gelişmemektedir. Turner (1981), bölgesel gömülme metamorfizmasının dinamoermal metamorfizmadan ayırt edilmesinde foliyasyon / şistozitenin bir ölçüt olmayacağını belirtmektedir. Kish (1983) ankimetamorfizmayı karakterize eden mineral modifikasyonlarına sahip ileri evre için genel bir terim olarak "başlangıç metamorfizması" nı kullanmaktadır. Sleyt klivajının gözlenmesi ve orojenezle kökensel bir ilişkiye sahip olması durumunda ise "başlangıç bölgesel metamorfizma" daha uygun genel bir terim olabilmektedir. Başlangıç bölgesel metamorfizma genel olarak prehnit pumpellyit, pumpellyit - aktinolit ve glkofan - lavsonit gibi mineral fasiyelerinin yanı sıra, ankizon ve antrasitik kömürleşme evrelerini de kapsamaktadır. Frey ve Kisch'e (1987) göre ise şistozite / foliyasyonun tipik olarak gözlenmemesi ile bölgesel gömülme metamorfizması bölgesel dinamoermal metamorfizmasından ayrılmaktadır.

## İnceleme yöntemleri

### Örnekleme

Şeyl ve sleyt/arduvaz türü litolojiler "kristalinite" indisi ve politipi belirlemede, siltaşları ve kumtaşları ise daha ziyade dokusal incelemelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnce taneli metaklastiklerin el örneği düzeyinde tanımlanmasındaki zorluk, mineral içeriğinin an-

cak laboratuvar incelemelerinden sonra saptanabilmesidir. Diyajenetik / metamorfik dönüşümler ile ilgili çalışmalarda derin sondaj kuyularından alınan örnekler kesin veriler sunmakla birlikte, enine kesitlerden itibaren alınan yüzey örneklerinden de ayrıntılı bilgiler elde edilmektedir. Sondaj kuyuları doğrudan sıcaklık ve sıvı faz verileri sağlamakta, bununla birlikte farklı litolojilerin sık sık tekrarlanması durumunda değerlendirmeler zorlaşmaktadır. Yüzeysel örneklemelelerde aynı formasyon diyajenetik kesimlerden çok düşük dereceli metamorfik içi kesimlere kadar doğrudan izlenebilmektedir. Ancak, bu tip örneklemelelerde yüzlekler sürekli olmayaabilir ve örnekler alterasyona da uğramış olabilirler.

### İnce - kesit petrografisi

Çok düşük dereceli metamorfik kayalarda ince - kesit incelemeleri çok sık kullanılması gereken bir yöntem olmalı ve yarılgan sleytlerin bile gerekirse tutkal ile yapıştırılarak ince - kesitinin yapılmasına çalışılmalıdır. İnce tane boyuna sahip olmaları nedeniyle matriks minerallerinin mikroskopta incelenmesi mümkün olmamaktadır. Kristalinite indisi ve politipi incelemeleri için detritik mikanın tanımlanması önemlidir. Ayrıca, organik madde içeren örneklerin parlatma bloklarından itibaren gerçekleştirilen organik madde yansımaları ölçümleri de diyajenez - metamorfizma geçişinin belirlenmesinde kullanılan önemli bir optik mikroskopik yöntemdir.

### X-ışını kırınımı

Çok düşük dereceli metaklastiklerin mineralojik tanımlamaları için kullanılan en hızlı yöntemdir. Litolojiye bağlı olarak, tüm kayaç, çeşitli tane boyuna sahip non - karbonat ve kil fraksiyonları kullanılabilir. Fillosilikatların tanımlamaları genellikle X-ışınları difraktometresi ile yapılmakta, ancak buna ek olarak Guinier kamera tekniği de önerilmektedir. Kil plakletleri sedimentasyon yöntemi ile hazırlanmakta, normal, glikollü, fırınlı ve gerektiğinde hidrazinli olarak çekimi yapılmaktadır. Mineralojik bileşim, "kristalinite", kristalit büyüklüğü ve politipinin yanı sıra, organik maddenin grafitleşme derecesinin belirlenmesinde de X-ışınlarından yararlanılmaktadır.

### Elektron mikroskop

Ayrıntılı görüntüsü optik mikroskoptan daha kaliteli veya daha fazla olan taramalı elektron mikroskop (SEM) yöntemi, şeyl ve sleytlerdeki dokusal incelemelerde önemli olmaktadır. Bu çalışmaların çoğu ikincil elektron modları ile yapılmış, ancak son yıllarda geri saçınımlı görüntülerin daha yararlı olduğu bilinmektedir. Geri saçınımlı taramalı elektron mikroskop kullanımı ile parlatılmış ince - kesitlerde her bir minerali kont-



rastları ve farklı sertlik ve rölyfleri yardımıyla tanımlamak mümkündür. Ayrıca, çok bileşenli kayaçlarda her bir mineralin ayrı ayrı analizi SEM'e eklenen enerji ve/veya dalga boyu saçınımlı spektrometreler (WDS ve EDS) kullanılarak mineral kimyası ile ilgili nicel bilgiler sağlanabilmektedir.

Geçirimli elektron mikroskop (TEM) yöntemi örneklerdeki tabaka silikatlarının Å seviyesindeki karakteristiklerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntem ile her bir fillosilikat partikülünün yapısal tanımlamasının yanı sıra, ayrıntılı dokusal verileri de elde edilmektedir.

Elektron mikropetroloji metamorfik petrolojide önemli bir kullanım alanı bulmakla birlikte, çok düşük - dereceli metaklastitlerde mineral kimyasal analizleri için daha az başvurulmaktadır. Bunun nedeni özellikle 5 µm dan küçük tane boyuna sahip bileşenlerde veya klorit - mika porfiroblastları / istiflerinde çoğu kez çok fazla analizler elde edilmesidir (Bozkaya, 1995).

#### Kimyasal analiz

Çok düşük dereceli metamorfizma ve kayaç ve/veya mineral kimyası arasındaki ilişkileri incelemek için yaş kimyasal analiz yöntemlerinin (FAAS, GFAA, UV-VIS, ICP, v.b.) yanısıra, kuru yöntemler (XRF gibi) de kullanılmaktadır. Bu yöntemler doğrudan ana kayaç veya saf kil fraksiyonu içeren örneklerinde uygulanabilmektedir.

### Parametreler

#### Dokusal zonlar

Çok düşük dereceli metamorfizma ile ilişkili ilk dokusal zon tanımlamaları Rus yazarlarca (Kossovskaya, 1961; Kossovskaya ve Shutov, 1958, 1970) yapılmış ve sonra özellikle Frey (1970, 1987) ve Kisch (1983) tarafından geliştirilmiştir. Yazarlarca tanımlanan dokusal zonların mikroskopik karakteristikleri aşağıda verilmiştir:

(1) **Altere olmamış kil matriks zonu:** Bu zonda bazı duraysız detritik mineraller (piroksen, amfibol, ortaç ve kalsik plajiyoklaz) tedrici olarak yok olmakla birlikte, ilksel sedimanter doku genel olarak korunmuştur. Detritik kuvarslar ile kil matriks arasındaki kesin tane sınırları bu iki mineral arasında herhangi bir reaksiyonun olmadığına işaret etmektedir. Bu zondaki kayaçlara bilinen epiklastik kayaç adlamaları (kumtaşı, silttaşı vb.) verilmektedir.

(2) **Altere kil matriks zonu:** Bu zonda kil mineralinin hidromika (=illit) ve klorite tedrici dönüşümleri ince taneli matriksi oluşturmaktadır. Matrikste otijenik kuvars oluşumuna da neden olan basınç çözünmesi sü-

reçleri ile detritik kuvars taneleri çok ince testere dişi şeklinde görülürler.

(3) **Kuvarsitik yapı ve hidromika - klorit matriks zonu:** Artan basınç çözünmesi kumtaşlarında kuvarsitik bir doku geliştirir. İlksel kil matriks hidromika, klorit ve kuvarsa dönüşmüş ve fillosilikatlar stress boyunca yönlendirilmiştir. İkinci ve üçüncü zondaki kayaçlar klastik dokularını halen korumalarından dolayı epiklastik sedimanter kayacın adının önüne "meta-" takısı getirilerek adlandırılabilir (meta-kumtaşı, meta-silttaşı gibi). Ancak, meta-sedimanter kayaçlar hem ankizonu hem de epizonu temsil ettiklerinden, illit kristalinite verileri kullanıldığında oluştukları zonasyonlar da belirtilmelidir (ankimetamorfik kumtaşı, epimetamorfik silttaşı gibi). Benzer yaklaşımlar kimyasal - biyokimyasal sedimanter kayaçlar için de uygulanabilir (metakireçtaşı, ankimetamorfik dolomit gibi).

(4) **İğnemsî yapı ve muskovit - klorit matriks zonu:** Bu zonun tipik özelliği yaygın basınç çözünmesinin bir sonucu olarak silttaşlarında iğnemsî veya dikensi yapıların gözlenmesidir. Fillosilikatlar üçüncü zondan daha iri tanelidir ve ilksel klastik dokusunu bütünüyle kaybetmiş, dolayısıyla metamorfik bir doku kazanmış olduğundan pelitik kayaçlar sleyt ve fillitler ile temsil edilir.

Yukarıdaki dört dokusal zon bölgesel epijenez ve metajenez evrelerine (Kossovskaya ve Shutov, 1958, 1963, 1970); birinci (erken epijenez), ikinci ve üçüncü dokusal zonun (geç epijenez) zeolit fasiyesine, dördüncü dokusal zonun (erken metajenez) ise prehnit - pumpellyit zonuna karşılık gelmektedir (Kisch, 1983; Frey, 1987).

Kullanılan analitik yöntemin kolaylığına rağmen, çok düşük dereceli metaklastitlerde dokusal zonların belirlenmesi zonlardaki tedrici değişimler ve litolojik farklılık nedeniyle zor olabilmektedir.

#### İndeks mineral birlikleri

Çok düşük dereceli metaklastitler bazaltik bileşimli meta - volkanik veya meta - volkanoklastik kayaçlardaki gibi tipik mineral fasiyesleri (zeolit - höylandit ve lömontit, prehnit - pumpellyit, prehnit - aktinolit, pumpellyit - aktinolit, yeşilşist) ve indeks mineral birlikleri oluşturmakla birlikte, özellikle pelitik kayaçların çok düşük dereceli metamorfizması sonucu rektorit (düzenli karışık katmanlı I - S), paragonit / muskovit, paragonit, pirofillit, lavsonit, stilpnomelan ve Mg - Fe - karpolit gibi indeks sayılabilecek bazı mineraller veya mineral birlikleri içerebilirler (Frey, 1987; Liou ve diğerleri, 1987).

## Kil mineralleri

Kırıntılı sedimanter kayaçların önemli bir bileşeni olan kil mineralleri diyajenezden metamorfizma evresine kadar önemli mineralojik dönüşümlere uğrarlar.

Temel yapı ve bileşim bakımından kil minerallerinden sadece iki grup metamorfik eşdeğerlerine benzerdir (Velde, 1992). Bunlardan birincisi illitin egemen olduğu potasik mika benzeri minerallerdir. İkincisi kloritler olup, metamorfik kayaçlardaki yüksek sıcaklık fazları ile sınır oluştururlar. Diğer kil minerallerinin ise metamorfik mineral gruplarında eşdeğeri bulunmamaktadır.

Smektit miktarı gömülmeyle birlikte azalır ve K, Na ve Mg gibi egemen katyonlara göre sırasıyla Smektit → I-S → Paragonit, Smektit → Klorit/smektit (C-S) → Klorit, Smektit → Vermikülit → Klorit / vermikülit (C-V) → Klorit biçiminde evrim gösterirler.

Kaolinit mineralleri smektitlerde olduğu gibi, anki metamorfizma zonunda tümüyle yok olmakta veya dikit polimorfuna dönüşmektedir (Yalçın ve Bozkaya, 1996).

Di- ve trioktahedral vermikülitler (DV ve TV), yüzeysel bozunma ve/veya diyajenetik koşulların ürünleri olup, gömülme diyajenezinde TV → Hidrobiyotit (B-V) → Biyotit, TV → C-V → Klorit, DV → I-DV → İllit (beyaz mika) veya başlangıç fazının di- ve trioktahedral smektit (DS ve TS) olması durumunda DS → V-D → Vermikülit → I-V → İllit (beyaz mika), DS → TV → C-V → Klorit, TS → TS-TV → V → B-V → Biyotit, biçiminde bir evrim gösterirler (Millot, 1970).

Lifi / iğnemi sepiyolit - paligorskitler / atapuljitler ise sadece diyajenez ortamlarında gözlenirler (Yalçın ve Bozkaya, 1995 ve bu çalışmadaki ilgili referanslar). Diğer fillosilikatlardan talk ve serpantin grubu mineralleri yüzeysel bozunma ve diyajenez ortamında oluşabildiği gibi, yeterli magnezyumun bulunduğu ultrabazik kayaçların retrograd hidrotermal alterasyonu gibi daha yüksek sıcaklıklarda, ayrıca talk silisli dolomitlerin kontakt ve bölgesel metamorfizması ile de oluşabilmektedir (Deer ve diğ., 1992).

## "Kristalinite"

İleri diyajenez ve çok düşük dereceli metamorfizmada önemli bir kavram olan "kristalinite", genellikle herhangi bir maddedeki kristalin metaryalin miktarını belirtir (Frey, 1987). Kübler (1967a) kristaliniteyi, kristal kafesdeki düzenlenme derecesi olarak tanımlamış, ancak düzenin ne anlama geldiğini kesin olarak belirtilmemektedir. "Kristalinite" terimi genellikle illit için uygulansa da, klorit, kaolinit veya pirofillit gibi diğer fillosilikatlarda da belirlenebilmektedir.

Kübler (1984) "illit kristalinite" terimi yerine Scherrer eşitliği (Scherrer, 1918; Klug ve Alexander, 1974; Brindley, 1980; Arkai ve Toth, 1983) ile tanımlanan "Scherrer genişliği" terimini önermiştir. Scherrer eşitliği,  $B = \Delta^2 \theta = (K \cdot \lambda) / N \cdot d \cdot \cos \theta$  biçiminde olup, burada B = 2θ radyanında maksimum şiddetin yarı yüksekliğindeki açılal genişlik farkı, K= yaklaşık 1'e eşit (0.89 v 0.94) sabit değer (Klug ve Alexander, 1974), λ= dalga boyu, d= atom düzlemleri arasındaki mesafe, N= düzlem sayısı, N.d= egemen kırınımların büyüklüğü, θ= yansımanın Bragg açısını ifade etmektedir. Kübler tarafından "illit kristalinite" yerine "Scherrer genişliği" teriminin önerilmesi illitin kristalografik açıdan sıkı bir yapıda olmaması ve kristalinitenin ölçülen B değeri için uygun bir terim olmamasından kaynaklanmaktadır. Günümüz yazarları illit kristalinite tanımının biraz problemlili olduğu konusunda görüş birliğinde olmakla birlikte, literatürde yerleşmiş bir terim olması nedeniyle aynı şekilde kullanılması tercih edilmiş, ancak Kisch'in (1983) önerisiyle tınak içinde yazılması uygun bulunmuştur (Frey, 1987).

## İllit "kristalinite" indeksleri

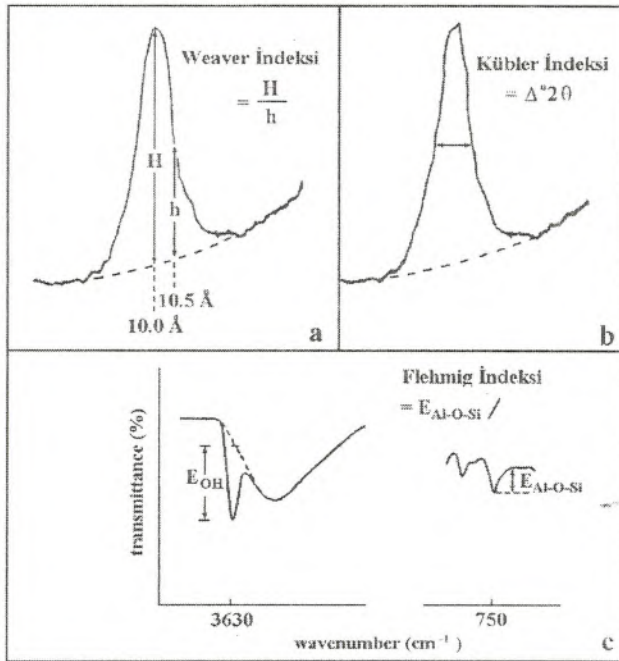
Literatürde birçok illit "kristalinite" ölçümü bulunmakta olup, bunlar aşağıda açıklanmış ve tartışılmıştır:

**1. Weaver indeksi:** Weaver (1960) ilk olarak illitin 10Å pikinin keskinliği ile şeyllerin metamorfizma derecesi arasındaki ilişkiyi araştırmış ve keskinlik oranı ile ifade edilen Weaver indeksini  $(WI=H(10.0\text{Å}) / h(10.5\text{Å}))$  önermiştir (Şekil 1). Keskinlik oranının sayısal değeri "kristalinite" nin artmasıyla birlikte artmakta, diğer bir ifade ile 2.3 den küçük değerler diyajenetik zonu, 2.3 den 12.1 e kadar ki değerler ankizonu ve 12.1 den büyük değerler ise epizonu işaret etmektedir.

**2. Kübler İndeksi:** Bu indeks birinci illit yansımasının yarı yüksekliğindeki genişliği olarak tanımlanır (Şekil 1). Bu ölçüm yöntemi ilk önce Kübler (1964) tarafından önerilmiş ve Kübler (1967a; 1968) ve Dunoyer de Segonzac ve diğerleri (1968) tarafından geliştirilmiştir.

Kübler indeksinin sayısal değeri "kristalinite" nin artmasıyla azalmaktadır. Önceki çalışmalarda yarı yükseklikteki pik genişliği değeri mm şeklinde ifade edilmiş, ancak şimdi genellikle  $\Delta 2^\circ \theta$  olarak verilmektedir (Kisch, 1983 ve 1990; Kübler, 1984). Kübler'e (1984) göre ankizonun düşük ve yüksek derece limit. değerleri 0.42 ve  $0.25^\circ \Delta 2^\circ \theta$  Cu Kα'dır.

Kübler (1968), Weaver ve Kübler indekleriyle tanımlanan illit "kristalinite" değerleri için doğrusal olma-



Şekil 1. İllit "kristalinite" indeksleri.

yan bir korelasyon elde etmiştir. Weaver tarafından önerilen yöntemin metamorfizmaya uğramamış sedimanlarda daha iyi uygulanabileceği vurgulanmıştır. Weaver indeksinde hata oranı daha düşük "kristalinite" değerlerine (diyajenetik), Kübler indeksinde ise daha yüksek "kristalinite" değerlerine (epizon) doğru azalmaktadır.

**3. Weber indeksi:** Weber'in (1972a) tekniği illitin yarı yükseklikteki piki genişliği (Hb  $I_{001}$  = Kübler indeksi) ile kuvarsın (100) pikinin yarı yükseklikteki genişliğine (Hb  $Q_{100}$ ) oranını (Hbrel = (Hb  $I_{001}$  / Hb  $Q_{100}$  · 100) ifade etmektedir.

Weber'e (1972a) göre, bu ölçüm yalnızca Hb (100) kuvars piki standart olarak kullanıldığında geçerlidir. Weber indeksi genellikle Alman araştırmacılar tarafından kullanılmıştır.

**4. Flehmig indeksi:** Flehmig (1973), illit "kristalinite" tayini için infrared yöntemi önermiştir. 750 cm⁻¹ (E<sub>Al-O-Si</sub>) ve 3630 cm⁻¹ (E<sub>OH</sub>) olmak üzere seçilen iki absorpsiyon bandının başlangıç - bitim oranlarının hesaplanmasıyla ilgilidir (Şekil 1). İyi kristalin muskovitin oranı (E<sub>Al-O-Si</sub> / E<sub>OH</sub>) = 10 olarak elde edilir. Flehmig indeksi 0 - 10 arasında değişmektedir. İnfrared yönteminin avantajı X-ışınları yönteminde sadece c- yönündeki, bu yöntemde ise tüm kristalografik yönlerdeki düzensizlikler kullanılabilir.

Hunziker ve diğerleri (1986) Kübler ve Flehmig indisleri arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğunu be-

lirtmektedir. Pahalı olması nedeniyle bu yöntem fazla tercih edilmemektedir.

**5. Weber - Dunoyer de Segonzac - Economou indeksi:** Scherrer eşitliğinde kullanıldığı gibi, bu indeks illitin 10 Å pikinin yarı yüksekliğindeki genişliğinin ölçülmesinden elde edilen egemen kırınımın büyüklüğü ile hesaplanmaktadır. Bu yöntemin ayrıntıları Weber ve diğerleri (1976) tarafından verilmiş olup, az sayıdaki makalede görülmüştür.

#### İllit "kristalinite" değerlerinin kalibrasyonu

Gerek aletsel koşullar ve gerekse örnek hazırlama yöntemlerinden ileri gelen faktörlere bağlı olarak illit "kristalinite" değerlerinin her araştırmacıya göre farklılık sunması kaçınılmazdır. Bu açmazın önüne geçebilmek için standart örnekler kullanılmaktadır.

C.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji - Petrografi ve Jeokimya Araştırma Laboratuvarları (MİP-JAL) X-ışınları difraktometresinde gerçekleştirilen "kristalinite indeksi standartları (CIS)" kullanılmaktadır. Şimdiye kadar tanımlanan en son standartlar özelliğin taşıyan örnekler (SW - 1, SW - 2, SW - 4, SW-6) İngiltere'nin güneybatısındaki Variscan çok düşük dereceli metamorfik kuşağından alınmıştır. Yazarlarca petrografik ve mineralojik özellikleri ayrıntılı olarak tanımlanan standart örneklerden diyajenetik bölgeye düşen SW-1 ve SW-2'nin normal çekimdeki (N) illit "kristalinite" (IC) değerleri (yarı yükseklikteki maksimum genişlik = FWHM) sırasıyla 0.63 ve 0.47°Δ2θ; glikollü çekimde (G) ise 0.57 ve 0.44°Δ2θ dir. SW-2 diyajenez - ankizon sınırına (42°Δ2θ; Kübler, 1984) yakın değerdedir. SW-4 (IC= 0.38°Δ2θ) ankizon'da, SW-6 (IC= 0.25°Δ2θ) ise ankizon - epizon sınırında, kristalit büyüklüğü ölçümleri için standart olarak kullanılan muskovit kristalinin (MFC) IC değeri ise 0.11°Δ2θ olup, epizon bölgesinde yer almaktadır. Yukarıda belirtilen CIS örneklerinin FWHM değerleri ile MİP-JAL da ölçüleni FWHM değerleri Çizelge 1 de verilmiştir. Çizelge de verilen değerler x-y diyagramlarına yerleştirilmiş olup (Şekil 2 ve 3), y=ax+b regresyon doğrusu ve korelasyon katsayıları hesaplanmıştır.

#### İllit "kristaliniteyi" etkileyen faktörler

İllit "kristalinite" gerek kayacın oluşumuyla ilgili jeolojik (sıcaklık, sıvı basıncı, stress, zaman, litoloji, illit kimyası ve bazal yansımaların karışımı) ve gerekse deneysel ve örnek hazırlama koşullarına (kil ayırma, asitleme, plaket hazırlama, tane boyu, katyon doygunluğu ve etilen glikol) bağlıdır (Kisch ve Frey, 1987).

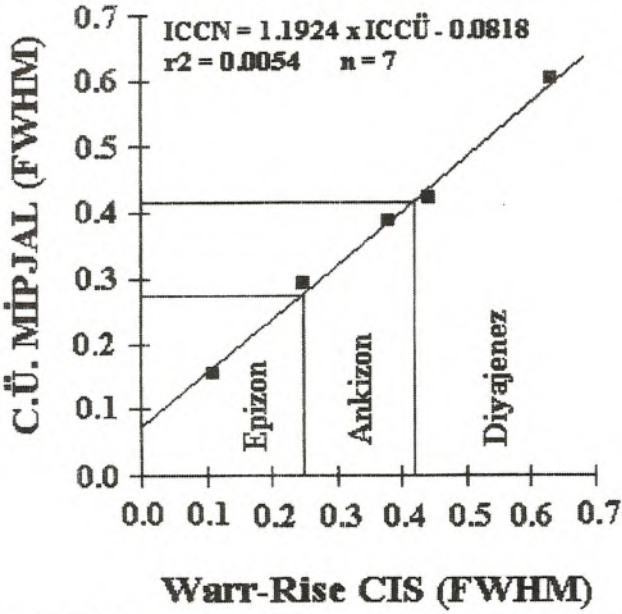
**1. Jeolojik koşullar:** Sıcaklığın illit "kristalinitesi-ne" etki eden en önemli faktör olduğuna inanılmaktadır

**Çizelge 1.** (CIS) illit "kristalinite" standartlarının C.Ü. MIPJAL değerleri ile regresyon ilişkileri

Standart	İLLİT						KLORİT		
	NORMAL ÇEKİM (N)			GLİKOLLÜ ÇEKİM (G)			NORMAL ÇEKİM (N)		
	CIS	CÜ	St.Sp.	CIS	CÜ	St.Sp.	CIS	CÜ	St.Sp.
SW-1	0.63	0.601	(0.049)	0.57	0.552	(0.018)	0.34	0.342	(0.027)
SW-2	0.44	0.423	(0.025)	0.44	0.454	(0.007)			
SW-4	0.38	0.387	(0.023)	0.38	0.397	(0.001)	0.32	0.318	(0.022)
SW-6	0.25	0.294	(0.037)	0.25	0.298	(0.025)	0.25	0.277	(0.032)
MFc	0.11	0.156							

Doğrusal regresyon eşitlikleri ve  $r^2$  değerleri:

Regresyon türü	Regresyon eşitliği	$r^2$
Doğrusal	$IC_{CN} = 1.1924 \times IC_{CU} - 0.0818$	$r^2 = 0.9954$
Doğrusal	$IC_{CG} = 1.2499 \times IC_{CU} - 0.1215$	$r^2 = 0.9987$
Doğrusal	$Ch_{CN} = 1.4193 \times Ch_{CU} - 0.1400$	$r^2 = 0.9744$

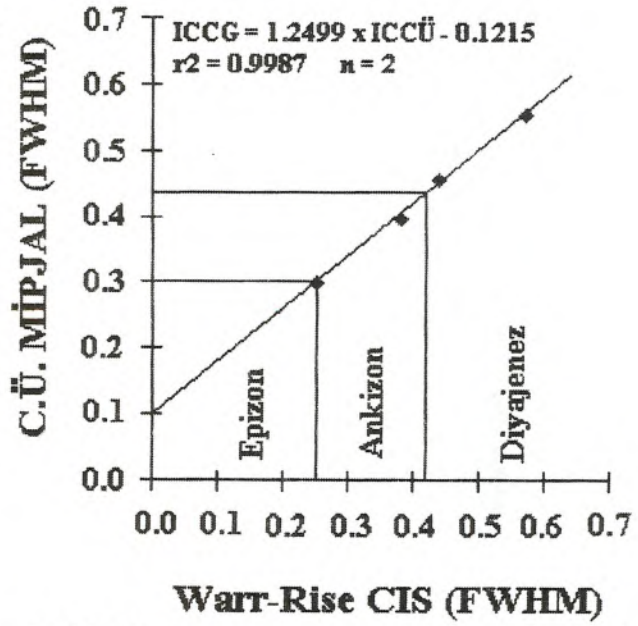


**Şekil 2.** CIS standartlarının yönlendirilmiş normal plakette- rinden itibaren hesaplanan düzeltilmiş ve düzeltilmemiş 10Å "kristalinite" değerleri (Kübler indisi;  $\Delta 2\theta$ )

(Kübler, 1967a,b, 1968). Bu etki kontakt metamorfik halelerde çok iyi gözlenmektedir (Schaer ve Persoz, 1976). Ayrıca az sayıdaki hidrotermal deneyler ile de desteklenmiştir (Smykatz - Kloss ve Althaus, 1974; Krumm, 1984).

Sıvı basıncı genellikle önemsiz sayılabilecek bir etkiye sahip olmakla birlikte, doğrudan etkisi bilinmemektedir (Frey, 1987).

Stressin etkisi tartışmalı olup, (Kübler, 1967b) bunun farkedilir bir etkisi olmadığını belirtmiş, buna karşın Kübler (1967a), Frey ve diğerleri (1973) ile Aldahan ve Morad (1986) ise bazı tektonik makaslama zonlarında artış gösteren illit "kristalinite" değerleri ölçülmüştür. Birçok yazar (Flehmig ve Langheinrich, 1974; Teichmüller ve diğ., 1979; Nyk, 1985), Kübler indeksi kullanıldığında mostro ölçeğindeki bir kıvrımda



**Şekil 3.** CIS standartlarının yönlendirilmiş glükollü plakette- rinden itibaren ölçülen düzeltilmiş ve düzeltilmemiş 10Å "kristalinite" değerleri (Kübler indisi;  $\Delta 2\theta$ )

deformasyon ve illit kristalinite arasında pozitif bir ilişki bulamazken, Flehmig indeksi kullanıldığında ise tektonik gerilmenin artmasıyla illit "kristalinite" nin arttığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, Roberts ve Merri- man (1985) bir antiklinalin menteşe zonunda artan Kübler indeksi illit "kristalinite" değerleri saptamışlar ve illit "kristalinite" ile bölgesel gerilme doğrudan bir ilişki ortaya koymuşlardır.

Zamanın illit "kristalinite" değerlerine etkisinin olması olduğu vurgulanmaktadır (Essene, 1982). İllit sabit sıcaklıkta ne kadar uzun kalırsa daha iyi kristalleşecektir. Bununla birlikte günümüzde laboratuvar ve arazi verileri bu hipotezi destekler görünmemektedir.

İllit "kristalinite" belirlenmesinde litoloji önemli bir rol oynamaktadır. İri taneli klastik sedimanlar, ince tanelilerden iyi kristalin illitleri içermeye daha elverişlidir. Bunun nedeni, detritik illit veya muskovitin "kristalinite" değerlerinin yüksek olması, ve iri taneli sedimanların yüksek gözeneklilik ve geçirgenliğe sahip olmasıdır ki, bu da illitin agradasyonuna neden olan gözenek suyunun sirkülasyonuna daha uygundur. Örneğin kumtaşları şeyllerden daha iyi kristalin illitleri içermektedir (Dunoyer de Segonzac, 1970; Bozkaya, 1995; Yalçın ve Bozkaya, 1996).

Metakarbonatlarda illitin agradasyonu, potasyum yetersizliği nedeniyle "normal" metaklastitlere göre gecikmektedir. Bazı özel jeolojik ortamlarda smektitler epizonda dahi korunabilmektedir (Wilson ve Bain, 1970; Dunoyer de Segonzac ve Abbas, 1976; Schaer ve Persoz, 1976; Zing ve diğ., 1976). Benzer biçimde illit

agradasyonundaki gecikme yüksek organik madde içerebilirlikli sedimanlarda da gözlenebilmektedir (Kübler, 1968; Weber, 1972b). Bu durumda illit kristalleri hidrofobik organik materyalle örtülmesi sonucu iyonik çözeltilerin sirkülasyonundan korunmuştur. Diğer yandan, evaporitlerde yüksek potasyum olması, illit "kristalinitesi" ni arttıracaktır (RumEAU ve Kilbicky, 1966; Kübler, 1968). Kübler (1968; 1984) ve Dunoyer de Segonzac'a göre (1970), illit "kristalinitesine" litolojinin etkisi diyajenez veya metamorfizma derecesinin artmasıyla birlikte azalmakta ve ankizonun başlangıcında ise önemsiz olmaktadır. Bununla birlikte, farklı kayaç türlerinde ankizonun yüksek sıcaklık kesiminde bile illit "kristalinite" değerlerinde sistematik farklılıklar saptanmıştır (Arkai ve diğ., 1981).

İllitteki potasyum içeriğinin artması daha iyi illit "kristalinitesi"ne neden olmaktadır (Weaver ve Beck, 1971; Hunziker ve diğ., 1986). Gereklili potasyum detritik K-feldispat, muskovit veya biyotitin bozunmasından sağlanabilmektedir. İllitte Al içeriğinin "kristaliniteye" etkisi tartışmalıdır. Esquevin (1969) yalnızca alüminyumlu illitlerin "kristalinite" değerlerinin metamorfizma derecesini belirlemede kullanılabilirliğini, magnezyumlu illitlerin uygun olmadığını belirtmektedir.

Ankizon veya epizonda 10 Å'a yakın bazal yansımalı diğer fillosilikatların varlığı illitin (001) pikinin genişlemesine neden olmaktadır (Frey, 1987; Yalçın ve Bozkaya, 1996). Bu tür mineraller pirofillit (9.2 Å), karşılık - tabakalı paragonit / muskovit (9.8 Å), margarit (9.6 Å) ve biyotit (10.0Å) olup, bu fazların bulunması durumunda gerçek illit "kristalinite" değerleri elde edilememektedir.

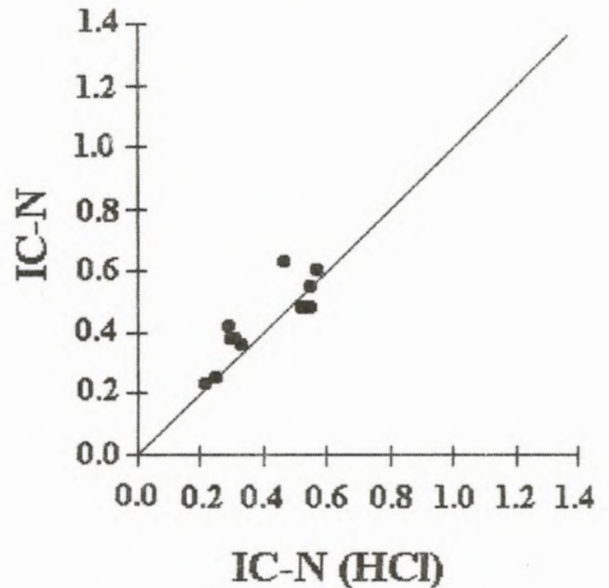
## 2. Deneysel ve örnek hazırlama ile ilgili koşullar:

Bazı yazarlar (Foscolos ve Kodama, 1974; Merriman ve Roberts, 1985; Kemp ve diğ., 1985; Robinson ve Bevins, 1986) kil fraksiyonu ayırımı için öğütme işleminden sonra çeşitli aşamalarda ultrasonik ayırıcı kullanmışlardır. Weber (1972a) kısa süreli bir öğütmeden sonra (tane boyu yaklaşık 1 mm) kil ayırımı yapılmasını önermiştir. Toselli ve Weber (1982) ultrasonik ayırıcının amonyum çözeltilisiyle ayırma işlemine göre "kristalinite" değerlerinde bir artmaya neden olduğunu göstermiştir. Diğer yandan Kisch ve Frey (1987), düşük dereceli ankizonun 0.1 - 2 µm fraksiyonundaki bir illitin 30 dakikayı aşan bir ultrasonik etkilemeden sonra bile "kristalinite" değerlerinde herhangi bir değişim gözlenmediğine dikkat çekmiştir. Santrifüjleme yöntemi ile katyonlardan arındırılarak defloküle edilen süspansiyon halindeki örneklerden 3 saat 40 dakikalık sedimentasyondan sonra kil fraksiyonunun elde edilmesi

"kristalinite" incelemelerinde daha uygun gözükmektedir (Gündoğdu ve Yılmaz, 1983; Bozkaya, 1995).

Karbonatlı sedimanlarda illitin zenginleştirilmesi için uygulanan asitleme "kristalinite" indeksinde artmaya neden olmaktadır. Bu artma özellikle genişleyebilen yapraklar içeren diyajenetik illitler için çok daha geçerlidir (Kübler, 1984; Krumm, 1984). Bununla birlikte, sülfatlı sedimanlarda NaCl, organik maddeli örneklerde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, amorf silisli olanlarında ise HF'in "kristaliniteye" olan etkisine ilişkin veriler literatürde bulunmamıştır. Asitleme (%10HCl) işleminin illit "kristalinite" derecesinde artmaya neden olduğu Bozkay (1995) tarafından da gözlenmiştir. Yazar, aynı seviyeye ait karbonat içermeyen, diğer bir deyişle asitlemeden geçirilmeyen örnekler için diyajenetik "kristalinite", asitleme işlemi yapılan karbonatlı örnekler için ise ankizon değerleri bulmuştur. Bu değerlendirmeye litolojik farklılıkların neden olup olmadığını araştırılması amacıyla, karbonat içermeyen on örnek üzerinde hem asitleme yapılmadan hem de asitleme yapıldıktan sonra "kristalinite" ölçümleri yapılmıştır. Sonuçta, asitleme yapılan örneklerin pik genişliklerinin azaldığı, diğer bir ifadeyle "kristalinite" derecelerinin arttığı ortaya konulmuştur (Şekil 4). Bu nedenle "kristalinite" ölçümlerinde çok az veya hiç karbonat içermeyen kayaç örnekleri seçilmelidir.

Plaket hazırlamada en yaygın yöntem cam yarıklar / oluklar üzerine pipetle kil süspansiyonunun dökülmesidir (Dunoyer ve Segonzac, 1969; Kisch, 1980a, b). Weber (1972a) kalın sedimentasyonlu örneklerdeki pik ge-



Şekil 4. Asitlenmemiş (IC-N) ve asitlenmiş (IC-N-HCl) örneklerin illit "kristalinite" değerleri arasındaki ilişki.

nişlemesini belirlemiş ve bunu sedimentasyon sırasındaki dikey tane boyu ayrılaşmasına bağlamıştır. Brime (1980), üç farklı yöntemle hazırlanan plaketterden ölçtüğü pik genişliklerini karşılaştırmış ve sıvama ile hazırlanan lamların sedimente slitlerden biraz daha geniş pikler gösterdiğini saptamıştır. Daha kalın olmalarından dolayı sıvama lamlar pipetlenmiş lamlardan daha yüksek I002/I001 şiddet oranları da göstermektedir (Brime, 1980; Robinson ve Bevens, 1986). Warr ve Rice (1993) kalın, orta, ince ve çok ince sedimentasyonlu kil plaketterinde kalınlığın genelde kristaliniteyi azalttığı ve pik şiddetini ise artırdığını saptamıştır. Diğer bir ifadeyle, örnek kalınlığı arttıkça pik genişliği de artmaktadır. Süspansiyon yöntemiyle dikey tane boylanması illit "kristaliniteyi" etkileyeceği dikkate alınarak ve cam plakette üzerine ince kil çamuru homojen olacak biçimde sıvanarak kurumaya bırakıldıktan sonra çekim yapılması çok daha uygun gözükmektedir (Gündoğdu ve Yılmaz, 1983; Bozkaya, 1995).

İllit "kristalinite" örneğin tane boyuna da bağlıdır (Weber, 1972a; Teichmüller ve diğ., 1979; Weaver, 1984; Bozkaya, 1995). Çoğu çalışmada 2 µm dan küçük kil boyu fraksiyon kullanılmış olup, çok daha küçük tane boyları (<0.01 µm) piklerde genişlemeye neden olmaktadır (Brindley, 1980). Bu nedenle Weber (1972a), 2 - 6 µm luk fraksiyonları çalışmayı önermiştir. Bununla birlikte, daha kaba tane boyu fraksiyonunun iyi kristalin detritik illitleri daha fazla içermesi nedeniyle dezavantajı da bulunmaktadır. Bu nedenle Weber milimetrik boşluklu filtreler yardımıyla <0.1 µm fraksiyonun uzaklaştırılması sonucu 0.1 - 2 µm boyutlu fraksiyonu zenginleştirmiştir.

Kemp ve diğ. (1985), diyajenez - ankimetamorfizma geçişi için <2 µm fraksiyonlarında 2 - 6 µm fraksiyonlarına göre %20 ye ulaşan daha yüksek  $H_{rel}$  değerleri belirtmişler, ancak orta - ankizonda aynı değerler sözkonusudur. Arkai (1983; Arkai ve diğ., 1981), tüm kayalık ve çözünmüş kalıntı örnekleri ( $\Delta 2\theta = 0.34^\circ$  veya  $H_{rel} = 150 - 155$ ), <2 µm fraksiyonlardakine ( $\Delta 2\theta = 0.38^\circ$  ve  $H_{rel} = 160$ ) göre daha geniş pik genişlikleriyle temsil edilen bir metamorfizma derecesine (lömونتit - prehnit - kuvars fasiyesi ve pumpellyit - prehnit - kuvars fasiyesi arasındaki sınır) yerleştirmiştir.

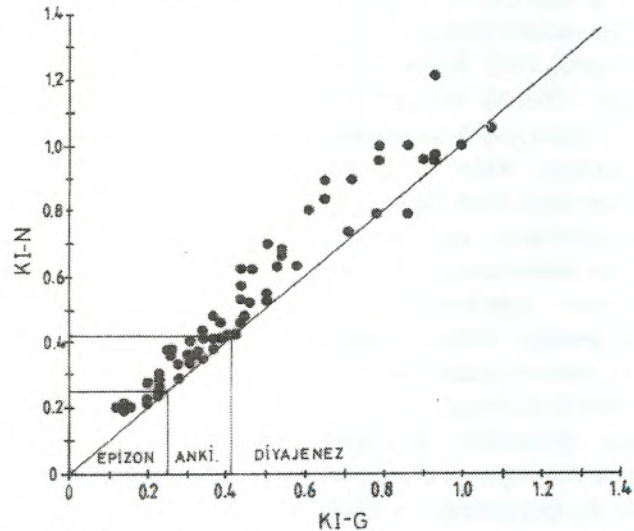
Birçok yazar, örnekleri K ve Mg iyonlarıyla doyurduktan sonra karşılaştırmıştır. Örneğin, Van Biljon ve Bensch (1970) ve Kisch (1980 a,b) tarafından K ile doygun örneklerde Mg ile doygun olanlardan daha dar pikler elde edilmiştir.

Diyajenetik ve düşük - dereceli ankimetamorfik zonu illitlerinin 10Å pikleri genellikle bir tarafı düşük açılı (geniş aralıklı) olacak şekilde asimetrikdir (Kisch, 1980a, b; Ivanova ve diğ., 1979; Arkai ve Toth, 1983). etilen glikolün bu piklerin daraltılması, genişleyebilen tabakaların şişerek ayrılması sonucu piklerin simetrisindeki artmayla ilişkilidir (Triplehorn, 1970; Kisch, 1980a, b, 1981).

Etilen glikol etkisi sonucu daralma yüzdesi, diyajenetik bölgenin yüksek dereceli kesiminde (Brime ve Perez - Estaun, 1980; Rohde, 1980) veya biraz daha ileri evresinde (Teichmüller ve diğ., 1979; Kisch, 1980a, b) bile %30 a kadar ulaşabilmektedir. Ancak diyajenez - ankimetamorfizma geçişinde ender olarak %20'yi aşmakta (Kisch, 1980b; Teichmüller ve diğ., 1979), ankizonda ise genellikle %10'dan daha az olmaktadır (Kisch, 1980b; Brime ve Perez - Estaun, 1980; Frey ve diğ., 1980; Dandois, 1981; Ahrendt ve diğ., 1977; Toselli ve Toselli, 1982; Warr ve Rice, 1993, 1994).

Bozkaya (1995) normal ve glikollü çekimlerde "kristalinite" ölçümü yapmış, ancak zonların ayrımında normal çekimlerden elde edilen veriler kullanmıştır. Bunun nedeni glikollü çekimlerde pik genişlikleri normal çekimlerde ölçülen "kristalinite" değerlerine göre belirgin bir artma göstermesidir (Şekil 5).

Geniş ve yeterli bir örnekleme yapıldıysa "kristalinite" değerlerinin harita üzerinde eşkristalinite eğrileri olarak çizilmesi de mümkündür (Roberts ve Merriman, 1985). İllit "kristalinite" yöntemi jeotermometrik amaçlar için kullanılamamıştır. İllit "kristalinite" yukarıda özetlenen uygulamalardan daha farklı amaçlar, örneğin

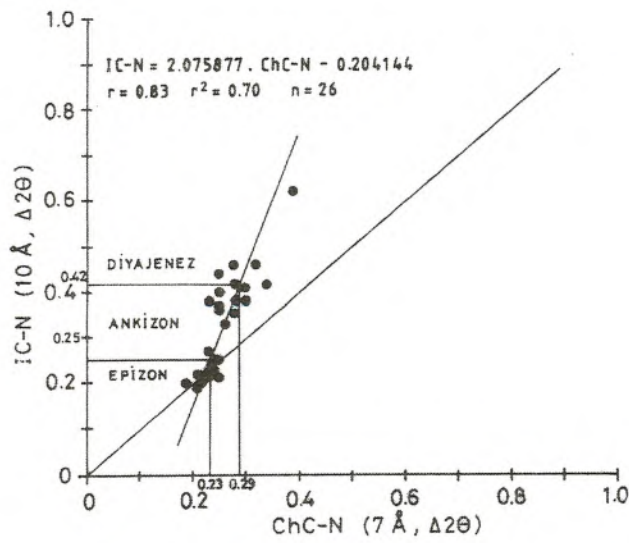


Şekil 5. Normal ve glikollü çekimlerden elde edilen illit "kristalinite" değerleri arasındaki ilişki.

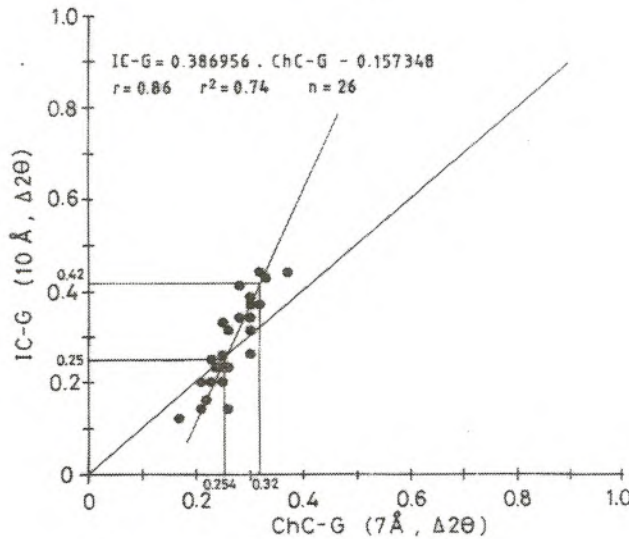
düşük sıcaklık statik ve dinamik retrograd metamorfizması ile bozunma + gömülme diyajenezini arasındaki ayırım için de kullanılmıştır (Arkai, 1993).

### Klorit "kristalinite" ölçümleri

Klorit 7 Å pik genişliği birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Le Corre, 1975; Schaer ve Persoz, 1976; Deutloff ve diğ., 1980; Dandois, 1981; Duba ve Williams - Jones, 1983; Arkai, 1991). Genelde klorit "kristalinitesi" ile illit "kristalinitesi" arasında doğrusal bir ilişki olduğu gözlenmiştir (Bozkaya, 1995; Şekil 6). Her ikisinin mutlak değerleri genellikle aynıdır (Duba ve William - Jones, 1983). Ancak diğer bazı çalışmalarda kloritin aynı örnekteki illitten daha iyi kristaliniteye sahip olduğu belirtilmiştir (Schaer ve Persoz, 1976;



a



b

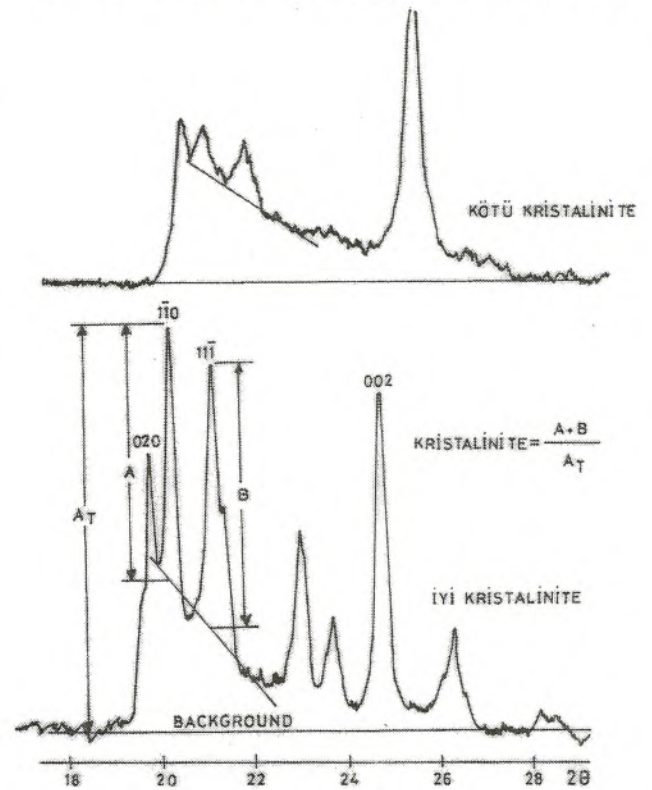
Şekil 6. (a) normal ve (b) glikollü çekimlerden elde edilen illit ve klorit "kristalinite" değerleri arasındaki ilişki.

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ, Sayı 49

Dandois, 1981; Arkai, 1991; Bozkaya, 1995). Metamorfik derecenin artmasıyla kloritin "kristalinitesinin" düzelmesinin nedeni bilinmemektedir. Klorit "kristalinite", kristal kafesinin yapılaşma düzlemlerinin boyutunun artmasından ve tekdüze kimyasal bileşiminden ileri gelebilir. Kimyasal açıdan farklı kloritler pik genişlemesine neden olan bazal boşlukları çok az farklılık sunarlar. Arkai (1991), kloritlerin normal ve etilen glikollü çekimlerden itibaren 14Å ve 7Å piklerini ölçmüş ( $\Delta^2\theta$ ) ve illit "kristalinitesi" ( $\Delta^2\theta$ ) değerleriyle karşılaştırmış, kloritlerin 14Å piklerinin "kristalinitesinin" genellikle daha düşük, buna karşın 7Å piklerinin "kristalinitesinin" daha yüksek olduğunu belirlemiştir.

### Kaolinit "kristalinite" ölçümleri

Kaolinit "kristalinitesi" ya yönelmemiş çekimlerdeki bazal olmayan bazı yansımaların şiddet oranları (Hinckley, 1963; Şekil 7), ya da yönlendirilmiş çekimlerdeki 7Å pik genişliği (Brauckmann ve Führtbauer, 1983) yardımıyla elde edilmektedir. Ancak diyajenetik ve çok düşük dereceli metamorfik kayalarda çalışılabilen kaolinit "kristalinitesi" (Hinckley indeksi), kloritin bulunması durumunda güvenilir olmayacaktır. Kaolinit - kömür tonştaynlarında kömürleşme derecesinin artmasıyla birlikte kaolinit "kristalinitesi" değerinde bir artış gözlenmiştir (Eckhardt, 1965). Stadler (1971), 200°C nin üzerindeki sıcaklıklara karşılık gelen yüksek kömürleşme derecelerinde değişen kaolinit "kristalinitesi"



Şekil 7. Kaolinitin yönelmemiş çekimlerinde Hinckley kristalinite indeksi (Hinckley, 1963).

leri" elde etmiştir. Brauckmann ve Fütchbauer (1983), silttaşlarındaki kaolinit "kristalinitesi" değerlerinde bazaltik dayk kontağına doğru artış gözlemişlerdir. Hinkley "kristalinite" değerlerinin düzenli hegzagonal kaolinitlerde yüksek, iyi gelişmemiş kristallerde ise düşük olduğu belirtilmiştir (Sayın, 1987).

### Pirofillit "kristalinite" ölçümleri

Pirofillit "kristalinitesi" için Ianovici ve diğerleri (1981) tarafından altı indeks önerilmiştir. Bunlardan beş tanesi X-ışınları bazal yansımaları, biri de Infrared spektroskopisi özelliklerine dayandırılmıştır. Yüksek dereceli ankizon pirofillitleri, diyajenez - ankizon geçişi yakınındaki pirofillitlerden daha iyi "kristaliniteye" sahip olduğu belirtilmiştir (Frey, 1987).

### Polimorfi ve Politipi

Diyajenez - çok düşük dereceli metamorfizmada polimorfizma ve bunun özel bir şekli olan politipi, aşağıda açıklanacağı gibi birçok fillosilikat minerali için kullanılmaktadır.

### İllit / mika politipleri

Mika mineralleri için polimorfizma ilk defa Hendricks ve Jeferson (1939; Bailey, 1988) tarafından tanımlanmıştır. Mikalarda altı adet standart politip olduğu belirtilmiştir (Smith ve Yoder, 1956). Bunlar vektöriyel özelliklerine göre A ve B olmak üzere iki gruba ayrılmış olup, A grubu mikalar 1M, 2M1 ve 3T politiplerini, B grubu mikalar ise 2Or, 2M2 ve 6H politiplerini kapsamaktadır (Bailey, 1980, 1984, 1988).

A grubu politipleri (özellikle bir ve iki tabakalı monoklinik formlar) B grubu politiplerinden daha bol bulunmaktadır (Bailey, 1984). İllitte bir tabakalı monoklinik düzensiz politipi (1Md) ve iki tabakalı monoklinik politipi (2M1) yaygındır. Üç tabakalı trigonal (3T) ve 2M2 yapısal formları enderdir (Yoder ve Eugster, 1955; Dunoyer de Segonzac, 1970). Levinson'a göre (1955) ince taneli illit iri muskovit kristalleri gibi aynı politip göstermektedir.

İleri diyajenez veya çok düşük dereceli metamorfizmada illitin 1Md den 2M1 e doğru evrimi birçok yazar tarafından belirtilmiş ve  $2M1 / (2M1 + 1Md)$  oranını da metamorfik derecenin önemli bir ölçüğü olarak kullanmışlardır (Maxwell ve Hower, 1967; Dunoyer de Segonzac, 1970; Frey, 1970; Gavish ve Reynolds, 1970; Foscolos ve Kodama, 1974; Foscolos ve diğerleri, 1976; Weaver ve Broekstra, 1984; Merriman ve Roberts, 1985; Hunziker ve diğ., 1986). Bununla birlikte, Kübler

(1967a, b) tarafından vurgulandığı gibi detritik 2M1 illitin bulunması bu ilişkiyi çelişkili hale getirebilmektedir. Bu yüzden metamorfizma başlamadan önce yalnızca 1Md polimorfunun olduğunun kanıtlanması gerekmektedir.

$2M1 / (2M1 + 1Md)$  illit politip oranının belirlenmesi gelişigüzel yönlendirilmiş örneklerdeki (hkl) yansımalarına ait piklerin ölçümüyle belirlenmektedir. 2M1 illit politipi oranı  $I(3.74\text{\AA}) / I(2.58\text{\AA})$  (Velde ve Hower, 1963),  $I(3.00\text{\AA}) / I(2.58\text{\AA})$  (Reynolds, 1963) ve  $I(2.80\text{\AA}) / I(2.58\text{\AA})$  (Maxwell ve Hower, 1967) pik şiddetleri oranlarından elde edilmektedir. Buradaki 3.74, 3.00 ve 2.80Å yansımaları yalnızca 2M1 mikaya özgü iken, 2.58Å yansıması her iki politipte de bulunmaktadır. Bu yöntemin hassasiyetinin düşmesinin nedeni; pik oranlarını etkileyen tane boyutları (Velde ve Hower, 1963), başka minerallerden gelebilecek karışıklıklar ve gelişigüzel yönlendirilmiş örneklerin yeniden hazırlanmasındaki güçlüklerdir. Maxwell ve Hower (1967) tarafından önerilen yöntem, başka minerallerden gelebilecek karışıklıklar açısından, diğerlerine göre daha çok kullanılmıştır. Bunların dışında Pique ve Wybrecht (1987) %2M miktarı için  $\%2M = I(2.98\text{\AA}) \times 100 / I(2.98\text{\AA}) + I(3.07\text{\AA})$  formülünü önermiştir.

Başlangıç materyallerde tüm sıcaklıklarda birincil faz olarak 1Md yapısının gözlenmesi, bu polimorfun yarı - duraylı; 1Md den sonra 1M düzeninin gelmesi (1Md → 1M) ve düşük sıcaklıklarda da devam etmesi 1M muskovitinin duraylı bir form olduğuna işaret etmektedir (Yoder ve Eugster, 1955; Velde, 1965; Mukhamet - Galejev ve diğerleri, 1986). Uzun süreli işlemler temel alınarak 1M → 2M geçişi ~2 kbar su basıncı ve 200 - 350°C sıcaklıklar arasında olup, yüksek sıcaklıklarda en duraylı form 2M yapısıdır.

İllit politipinin gelişimini etkileyen faktörlere başlıca sıcaklık, sıvı basıncı (Velde, 1965; Cloos, 1983), stress, zaman (Yoder ve Eugster, 1955; Velde, 1965), litoloji (Kisch, 1983), illit kimyasıdır (Radoslovich ve Norrish, 1962).

Sonuç olarak; başlangıç metamorfizması incelemelerinde illit 1Md → 2M politip dönüşümü illit "kristalinitesi" yönteminden daha az uygulanmıştır. Bunun nedeni,  $2M1 / (2M1 + 1Md)$  oranının belirlenmesinin uzun zaman alması ve görelilik olarak hatalı olmasıdır. Eğer bir çalışmada zaman ve kimyasal bileşimin önemli faktörler olduğu ortay konulursa, metamorfizma derecesi için 1Md → 2M1 geçişinin uygulanmasında çok daha dikkatli olunmalıdır (Frey, 1987).



### Klorit polimorf ve politipleri

Trioktahedral kloritin  $7\text{\AA} \rightarrow 14\text{\AA}$  polimorfu ve Ib  $\rightarrow$  Iib (her ikisi de  $14\text{\AA}$ ) politipi değişimleri bulunmaktadır.  $7\text{\AA} \rightarrow 14\text{\AA}$  polimorf değişiminin metamorfik indikatör olarak kullanımı iki faktör tarafından engellenmektedir. Birincisi,  $14\text{\AA}$  kloritin de olması durumunda pik çakışması nedeniyle  $7\text{\AA}$  kloritin (aynı zamanda  $7\text{\AA}$  şamozit, bertiyerin veya septaklorit) belirlenmesindeki güçlük, ikincisi ise örnekteki  $14\text{\AA}$  kloritlerin bütünüyle  $7\text{\AA}$  kloritten türemiş olmamasıdır. Nitekim, doğal örneklerden elde edilen optik ve XRD (Schoen, 1964; Delaloye, 1966; Frey, 1970) ile TEM / STEM verilerine (Lee ve diğ., 1984; Ahn ve Peacor, 1985) göre aynı örnekte hem  $7\text{\AA}$  hem de  $14\text{\AA}$  klorit gözlenmiştir.  $7\text{\AA}$  polimorfu  $14\text{\AA}$  fazının muhtemelen yarı - kararlı bir öncüsü (Schoen, 1964; Ahn ve Peacor, 1985; Cho ve Fawcett, 1986) olup, birlikte bulunduğu  $14\text{\AA}$  polimorfu ile kimyasal bileşim açısından hemen hemen aynıdır.  $7\text{\AA} \rightarrow 14\text{\AA}$  polimorfu geçişindeki sıcaklık verilerine (Delaloye, 1966; Karpova, 1969; Frey, 1970; Velde, 1985) göre  $7\text{\AA} \rightarrow 14\text{\AA}$  polimorf dönüşümü zeolit fasiyesinde meydana gelmekle birlikte,  $7\text{\AA}$  polimorfu sıcaklık aralığının yaklaşık  $200 - 300^\circ\text{C}$  olduğu ankizonda da gözlenebilmektedir.

Bailey ve Brown (1962) kloritlerdeki tabakaların yarı - düzenli istiflenmesinde, ya da düzenli tabakalı kloritlerde teorik olarak altı tabaka - tabakalararası birleşme veya  $14\text{\AA}$  yapısal birimi olduğunu belirtmiştir. Altı farklı yapısal grup; Iaa, Ibb, Iaa, Ibb, Iba (=Iab) ve Iiab (=Iiba) olarak tanımlanmışlardır. Buradaki I veya II numaraları tabakalararası yaprağın oryantasyonunu (I oryantasyonu 2: 1 tabakası içindeki oktahedral yaprak için önerilmiştir), a harfi tabakalararası yaprağı alttaki 2: 1, b harfi ise üstteki 2:1 tabakasına göre olan konumlarını ifade etmektedir. Eğer tabakalararası yaprak alttaki ve üstteki tabakalara göre simetrik konumda ise (aa veya bb) sembolde yalnızca bir harf kullanılması yeterlidir (Ia, Iib gibi). Asimetrik tabakalararası konumlar (ab veya ba)  $\beta$  açısından farklı olmasıyla belirlenebilir (Örneğin, Ibb için  $\beta = 90^\circ$ ; Iba (veya Ib için ise  $\beta = 97^\circ$  dir). Kloritlerin yapısal birim hücre şekilleri ise ortorombik, monoklinik veya triklinik olabilmektedir.

Bailey ve Brown (1962), Iaa ve Iiab yapısal formlarının doğada gözlenmediğini ve diğer politiplerin ise bolluk sırasına göre; Ibb (veya Iib;  $\beta = 97^\circ$ ), Ibb (veya Ib;  $\beta = 90^\circ$ ), Iba (veya Ib;  $\beta = 97^\circ$ ) ve Iaa (veya Ia;  $\beta = 97^\circ$ ) olduğunu belirtmiştir. Hayes (1970) bu dört politipe ek olarak Ibd düzensiz klorit tanımlamıştır ki, bu da  $2.4-2.5\text{\AA}$  bölgesindeki  $h_{01}$  difraksiyon bandının eksikliğiyle karakteristiktir.

X-ışınları toz difraksiyon paternlerinde kloritlerin

altı mümkün grubu tanımlanabilmektedir. Öğütme herhangi istiflenme düzenini bozabilir ve hatta tabaka - tabakalararası tipi değiştirebilir (Ibb  $\rightarrow$  Iba  $\rightarrow$  Iaa; Shirozu, 1963). Ibb ve Iiab yapıları için d - değerleri diğer dördünden daha farklıdır (Bailey, 1980, 1988). Çünkü bu ikisi  $\beta = 90^\circ$  olan ortogonal birim hücre şeklinde olup, diğer dördü için  $\beta = 97^\circ$  olan monoklinik şekilli birim hücre esas alınmıştır.

Geç diyajenez ve başlangıç metamorfizması sırasında  $14\text{\AA}$  trioktahedral klorit politiplerinde değişim gözlenmiştir. Hayes (1970), I tipi klorit yapılarının yalnızca diyajenetik süreçlerle oluştuğu sonucuna varmıştır. Sıcaklığın artması ile meydana gelen diyajenetik kristalizasyon, kristalografik veriler ve öğütme deneyleri baz alınarak duraylılık sıralaması, Ibd (d= düzensiz)  $\rightarrow$  Ib ( $\beta = 97^\circ$ )  $\rightarrow$  Ib ( $\beta = 90^\circ$ ) olarak önerilmiştir. Başlangıç metamorfizması koşulları sonuçta Ib ( $\beta = 90^\circ$ )  $\rightarrow$  Iib politip dönüşümüne neden olmaktadır. Bu yüzden metamorfizma geçirmemiş sedimanlardaki Iib kloritler büyük bir olasılıkla detritik kökenlidirler.

Hayes'e göre (1970) kloritlerin kimyasal bileşimi, yapısal duraylılığa çok az etki etmektedir. Bununla birlikte kimyasal bileşimin çok önemli etkileri olduğu da belirtilmiştir. Örneğin, Karpova (1969), Mitsui (1975) ve Shirozu (1978), Iib politipinin Iib politipli metamorfik kloritlerin Ib politipine sahip sedimanter kloritlerden daha fazla tetrahedral Al ve daha fazla oktahedral Mg içerdiğini savunmuşlardır.

Ib  $\rightarrow$  Iib politipi dönüşümü ile ilgili sıcaklık verileri oldukça sınırlıdır. Hayes'e göre (1970), bu dönüşüm metamorfizmanın en düşük derecesinde (yaklaşık  $150 - 200^\circ\text{C}$ ) oluşmaktadır. Karpova (1969), politip dönüşümlerinin başlangıç ve derin katajenez (=epijenez) evreleri arasındaki geçişte olduğunu, bunun da zeolit fasiyesine karşılık geldiğini ve yukarıda belirtilen sıcaklık aralığında geliştiğini gözlemiştir. Mitsui (1975), yaklaşık  $200 - 300^\circ\text{C}$  lik sıcaklarda Ib ve Iib klorit politiplerinin birlikte bulunduğunu belirtmiştir.

### Kaolinit politipleri

Bazı bazal olmayan yansımalar yardımıyla ayrılabilen üç kaolinit politipi (kaolinit, dikit ve nakrit) vardır (Bailey, 1980, 1988). Kaolinit minerallerinin asıl bileşen olarak oluştuğu yerlerde (örneğin kuvars - kaolinit kumtaşları, tonştayn veya damarlar) politipler kolaylıkla saptanabilmektedir. Bununla birlikte, kaolinit şeyl ve sleytlerde daha çok minör bileşen olarak bulunur ve politiplerinin belirlenmesi her zaman mümkün değildir. Bu nedenle kaolinit politiplerinin dağılımı ile ilgili bilgiler sınırlıdır ve muhtemelen literatürde kaolinit olarak tanımlananların çoğu gerçekte dikit veya nakrit olabilir.

Dikit, sondaj kuyusundaki 100°C (Ferrero ve Kübler, 1964) ve 80°C (Dunoyer de Segonzac, 1969) sıcaklıklarda, ankizonun çok düşük dereceli kesiminde (Clauser ve Lucas, 1970), ve erken geç epijenetik evrede (Rodionova ve Koval'skaya, 1974) belirlenmiştir. Kosovskaya ve Shutov (1963, 1970) tarafından kuvars - dikit fasiyesinin derin epijenez evresindeki kuvars - kaolinit kayaçları için karakteristik oldukları düşünülmüştür. Literatürde sınırlı ve farklı sonuçlar elde edilmesi, dikitin indeks mineral olarak kullanılmasını güçleştirmekle birlikte, pirofillit ve paragonit / muskovit ve paragonitin bulunduğu tektonik gömülme ile ilişkili metasedimanter serilerde ankizona, olasılıkla düşük epizonda bile korunabilmektedir (Yalçın ve Bozkaya, 1996).

### Pirofillit politipleri

Pirofillitin bir triklinik ve bir de monoklinik olmak üzere iki politipi ayırtlanmış (Brindley ve Wardle, 1970) olup, her ikisi de doğada gözlenmektedir (Frey, 1978; Ianovici ve diğ., 1981; Frey ve diğ., 1988). Pirofillit politipi ve metamorfik derece arasındaki ilişki ile ilgili çalışmalar literatürde yeterince bulunmamakla birlikte, Eberl (1979; Frey, 1987) hidrotermal deney verilerine göre, çoğu silikat polimorflarının tersine monoklinik pirofillitin düşük - sıcaklık formu olduğunu belirtmiştir.

### Kristalit büyüklüğü

Özellikle mika minerallerinde ölçülen kristalit büyüklüğü (kristalit popülasyonlarının büyüklüğü veya X-ışınlarının taradığı yöndeki düzlem sayıları) Kübler indisi değerlerinin (B) pik genişliği değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilmektedir. Merriman ve diğerleri (1990) tarafından Kübler indisi ( $B = \Delta 2\theta$ ) ile pik genişliği ( $\beta$ ) arasında  $\beta = 1.038949.B - 0.08250323$  şeklinde doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Daha sonra bulunan  $\beta$  değerinden itibaren  $N_{001} = 8.05 / \beta$  formülüyle kristalit büyüklüğü elde edilir (Merriman ve diğ., 1990). Yazarlar diyajenez - ankizon ve ankizon - epizon geçişlerine ait Kübler indisi değerlerinin sırasıyla  $B = 0.43$  ve  $0.25$ ,  $\Delta 2\theta$  kristalit büyüklüklerini de  $N_{001} = 22$  ve  $47$  hesaplamış ve pik genişliği ( $\beta$ ) ile efektif beyaz mika kristalit büyüklüğü ( $N_{001}$ ) ilişkisini ortaya koymuşlardır. Benzer bir ilişki Warren - Averbach (W - A) yöntemini (Warren ve Averbach, 1950) kullanan Warr ve Rice'in çalışmalarında da saptanmıştır (Warr ve Rice, 1994).

Scherrer eşitliğinde de görülebileceği gibi kristalit büyüklüğü ve pik genişliği arasında ters bir ilişki söz konusudur. Gerçekte de kristalografik olarak kristalit

büyükülüğü ve kafes düzeni veya düzensizliği polikristalin homojen bir fazın difraksiyon piklerini temsil etmektedir (Klug ve Alexander, 1974). Küçük kristalitler pik genişliğine neden olurlar. Brindley (1980) tarafından da vurgulandığı kristalit büyüklüğü 10 dan daha küçük ise ( $<100 \text{ \AA}$ ) X-ışınları kırınımı genişler ve hatta farkedilir derecede yer değiştirebilir. Diğer bir ifade ile kristalit büyüklüğü arttıkça pik genişliği azalacak ve kristalinite artacaktır. Merriman ve Roberts'e (1985) göre;  $N > 20$  ise XRD pikleri keskin ve şiddetli olmakta,  $N < 15$  ise önemli derecede genişlemekte ve  $N = 1$  olduğunda ise Bragg yansımaları gerçekleşmemektedir.

Nadeau ve diğerleri (1984, 1985) ile Merriman ve diğerleri (1990) kristalit büyüklüğünü XRD ile hesaplanmanın yanısıra, TEM ile de incelemişler ve sonuçta TEM ile belirlenen kristalit büyüklüğü değerlerinin yönlendirilmiş XRD değerlerinden daha küçük olduğunu belirlemişlerdir. Bazı yazarlar (Eberl ve Srodon, 1988; Eberl ve diğ., 1990; Warr ve Rice, 1993, 1994) kristalit büyüklüğü ölçümünde Warren - Averbach yöntemini (Warren ve Averbach, 1950) kullanmıştır. Ayrıca Eberl ve Velde (1989) gridlerinden itibaren kristalit büyüklüğü hesaplandığı da bilinmektedir.

### Organik madde yansımaları ve grafitleşme derecesi

Vitrinit, liptinit ve inertinit şeklinde gruplandırılan organik madde (maseral) yansımalarından (özellikle vitrinit) itibaren belirlenen kömürleşme derecesi kayacın diyajenez veya metamorfizma derecesinin tahmininde önemli bir rol oynamaktadır (Teichmüller, 1987). Kömürleşme mineral dönüşümlerinin aksine, dönüşü olmayan bir süreç olup, iyon konsantrasyonu, pH, Eh ve kısmi su basıncı gibi faktörlere bağlı değildir.

Kömürleşme sırasındaki kimyasal ve fiziko - kimyasal değişimler tekdüze olmayıp farklı rank evrelerine göre değişiklik sunarlar. Rank parametreleri organik maddenin hidrojen ve karbon içeriği ile vitritlerin uçucu madde, nem içeriği ve kalorifik değeri gibi kimyasal parametreler olduğu gibi (Patteisky ve Teichmüller, 1960, Teichmüller, 1987), vitrinit liptinit, inertinit, eksudatinit maserallerinin yansımaları (Teichmüller, 1987) ile özellikle liptinitlerin floresans şiddeti ve spektral floresans (Jacop, 1964, Teichmüller ve Ottenjan, 1977, Hutton ve diğerleri, 1980) gibi optik parametreleri de kapsamaktadır. Bunun yanı sıra spor - polen (Grayson, 1975, Harput, 1987) ve termal alterasyon renk indisleri (Staplin, 1969) de önemli sonuçlar verebilmektedir. Rank evreleri ve parametreleri ile ilgili veriler Çizelge 2 de verilmiştir.

Diyajenez - ankizon ve ankizon - epizon sınırlarına ait değişik araştırmacılarca belirlenen ortalama random organik madde yansımaya değerleri (%Rm) sırasıyla 2.3 - 3.5 ile 4.0 - 5.5 % Rm arasında değişmektedir (Çizelge 3). Buna göre diyajenez evresi Kuzey Amerikan (ASTM) sınıflamasına göre turba evresinden antrasit evresine kadarki rank değerlerini kapsamaktadır. Ankizon evresi yaklaşık olarak antrasit, epizon ise meta - antrasit evresine karşılık gelmektedir.

Organik maddenin toz XRD karakteristikleri ve elektron difraksiyonu meta - antrasit - grafit aralığındaki çok düşük dereceli metamorfizmanın ileri derecesi-

nin indikatörü olarak kullanılmıştır (Landis, 1971, İtalya, 1981, Tagiri, 1981, Pesquera ve Velasco, 1988, Barranechea ve diğ., 1992). Tagiri (1981) tarafından önerildiği gibi X-ışınları toz difraksiyonu verilerinden itibaren ölçülen grafitleşme derecesi  $GD = [(d_{002}) - 3.70] / \log (/1000)] \cdot 100$  ( $Lc_{002} = 91 / \beta$ ,  $\beta$  = Grafitin 002 pikinin yarı yükseklikteki genişliği) formülü ile ifade edilmektedir.

Pesquera ve Velasco (1988) ve Barranechea ve diğ. (1992)  $d_{002}$  ve  $Lc_{002}$  değerleri yardımıyla ankizon, klorit - biyotit + muskovit ve biyotit + andaluzit + granat zonlarının ayırımını yapmıştır.

Çizelge 2. Alman (DIN) ve Kuzey Amerikan (ASTM) sınıflamalarına göre kömürleşme evreleri, fiziksel ve kimyasal rank parametreleri (Teichmüller, 1987).

Rank		Yanma Rm <sub>oil</sub>	Uçucu Madde %	Karbon (kuru, kışksız) Vitril	Nem	Kalorifik Değer (E <sub>st</sub> /lb (tcal/kg)	Çeşitli Rank Parametrelerinin Uygulanabilirliği	
Alman	USA						nem içeriği (kışksız)	kalorifik değer (nemli, kışksız)
Turf	Peat	0.2	68					
			64	ca.60	ca.75			
Weich-	Lignite	0.3	60					
Braunkohle			56		ca.35	7200 (4000)		
Matt-	Sub-Bitum. Coal	0.4	52	ca.71	ca.25	9900 (5500)		
	C							
Glanz-	Coal	0.5	48					
	A	0.6	44	ca.77	ca.8-10	12600 (7000)		
Flamm-	B	0.7	40					
Gasflamm-	High volatile bit. coal	0.8	36					
Gas-	A	1.0	32					
		1.2	28	ca.87		15500 (8650)		
Fett-	Medium Volatile Bitumin. Coal	1.4	24					
		1.6	20					
Ess-	Low Volatile Bitumin. Coal	1.8	16					
		2.0	12					
Mager-	Semi-Anthracite							
		8		ca.91		15500 (8650)		
Anthrazit	Anthracite	3.0						
		4.0	4					
Meta-Anthrazit	Meta-Ant.							

**Çizelge 3.** Diyajenez - Ankizon ve Ankizon - Epizon sınırlarında belirlenen  $R_m$  (%) değerleri.

Referans	Diyajenez-Ankizon	Ankizon-Epizon
Kisch, 1974	-2.25	-4.00
Kübler vd., 1979	2.6-2.8	4.00
Heroux vd., 1979	2.5-3.0	
Teichmüller vd., 1979	3.5*	5.0*
Frey vd., 1980	2.65-3.1	5-5.5

\* Ankizon ve epizon değerleri Kübler'in (1984) değerlerine göre daha yüksektir.

## Jeotermometre ve jeobarometre

Çok düşük dereceli metaklastitler için birçok güvenilir jeotermometre ve jeobarometre bulunmaktadır. Tabaka silikatlarındaki politipi ve polimorfların "kristaliniteleri" ve dağılımlarıyla ilgil veriler nicel sıcaklık tahminleri için kullanılamamıştır. P-T koşullarının açıklanması için dehidrasyon ve karışık uçucu reaksiyonların kullanılması durumunda ise sıvı bileşiminin bilinmesi gerekmektedir. Aşağıda kısaca belirtilenlerin dışında diğer kullanışlı jeolojik termometreler kömürleşme derecesi ve radyojenik izotop verilerinden çıkarılabilmektedir.

**1. Kalsit - dolomit jeotermometresi:**  $\text{CaCO}_3$  -  $\text{MgCO}_3$  sisteminde dolomitte dengedeki kalsitteki  $\text{MgCO}_3$  miktarına göre sıcaklık tahmini yapılabilmektedir (Turner, 1981). Sıcaklık tahminlerine basıncın etkisi küçüktür. Doğal karbonatların çoğu  $\text{MgCO}_3$  in yanı sıra  $\text{FeCO}_3$  ve  $\text{MnCO}_3$  gibi bileşikler de içerdiklerinden kalsit - dolomit jeotermometresi için demir düzeltmesi de gerekmektedir (Bickle ve Powell, 1977). Bu yazarlar tarafından kalsit - dolomit termometresi 300 - 450°C sıcaklık aralığında ve 3 ile 5 kbar basınç altında  $\text{CaCO}_3$  -  $\text{MgCO}_3$  -  $\text{FeCO}_3$  sisteminde deneysel olarak çalışılmasıyla daha da kullanışlı hale getirilmiş ve Powell ve diğerlerinin (1984) teorik çözümlenmeleriyle birleştirilmiştir. McDowell ve Paces (1985), jeotermal bir sistemde 200°C ye yakın sıcaklıklarda kalsitin dolomit ve ankeritle birlikte dengede olduğunu saptamışlardır.

**2. Faz dengeleri jeotermometresi:** Pirofillit, paragonit, lavsonit ve Mg - Fe - karpolit içeren bazı mineral birliklerinin duraylılık ilişkileri çok düşük - dereceli metaklastitler için P - T tahminleri sağlayabilmektedir (Frey, 1987). Bununla birlikte organik maddenin varlığı su aktivitesini sınırlamaktadır. Böylesi durumlarda petrojenetik gridlerin doğrudan uygulanmasında su aktivitesi göz önüne alınmalıdır.

## 3. Kil mineralleri jeotermometresi

**a. İllit / smektit jeotermometresi:** Pollastro (1990, 1993; Eslinger ve Glasmann, 1993), sıcaklığın illitleşme faktörü için egemen bir faktör olduğunu, ancak zaman gibi ikincil denetleme mekanizmalarının da bulunduğunu belirtmiştir. Bu nedenle zaman faktörünü

gözönüne alan iki model önermiştir. Birincisi, ısınmanın ana kökeninin (bölgesel) jeotermal gradyan olduğunu uzun süreli gömülme diyajenezine uygulanabilen "Hoffman ve Hower" modeli, ikincisi ise, 3 Ma dan daha az sürede kritik sıcaklık etkisinde kalmış bölgeler için uygulanabilen "kısa - ömürlü jeotermal" modeldir. Yazar, sadece şeyl ve çamurtaşlarında değil, keza çeşitli kayalarındaki kil mineral birliklerinden de I/S mineralojisi bazında sıcaklık verileri elde edilebileceğini belirtmiştir. Price ve McDowell (1993), I/S jeotermometresini maksimum gömülme sıcaklıkları, fosil jeotermal gradyanı ve maksimum gömülme derinliğini hesaplamak için kullanmışlardır. Derinlikle birlikte I/S deki genişleyebilirliğin %80 den % 0 a doğru değişimine ek olarak bazı kuyularda kaolinitten klorite dönüşüm de belirtilmiştir.

**b. Klorit jeotermometresi:** Bu jeotermometre için bir yapısal, diğerleri de bileşimsel olmak üzere dört yöntem bulunmaktadır. Birincisi politipi olup, kısmen sıcaklıkla ilişkili olarak kloritlerde gözlenen yapısal değişimleri esas alan daha ziyade nitel bir yöntemdir (Hayes, 1970). Walker (1993) I-tipi kloritlerin II-tipi kloritlere geçişinin Hayes (1970) tarafından önerildiği gibi daima 200°C sıcaklıkta olmadığını, II-tipi kloritlerin 135°C kadar düşük sıcaklıklarda da oluşabileceğini ifade etmiştir.

İkincisi (tetrahedral Al yöntemi) jeotermal sistemlerde ölçülen sıcaklıklarla kloritlerde tetrahedral Al miktarı arasındaki ilişkiyi esas alan ampirik bir kalibrasyon yöntemidir (Cathelineau ve Nieva, 1985; Cathelineau, 1988).

Üçüncüsü altı - bileşenli klorit katı çözelti yöntemi (Walshe, 1986), sonuncusu teorik klorit - karbonat reaksiyonları ve  $\text{CO}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  karışmazlığı yöntemi (Hutchison, 1990) olup, yaygın kullanılmamaktadır.

Caritat ve diğerleri (1993), doğal koşullardaki tüm olayları kapsayacak tek bir klorit jeotermometresi olmadığını ve jeotermometre verilerinin çok dikkatli ve yalnızca paleosıcaklık belirlemelerinde diğer alternatif yöntemlerle birlikte kullanılması gerektiğini ileri sürmüşlerdir.

**c. Muskovit  $b_0$  - jeobarometresi:** Sassi (1972) ve Sassi ve Scolari (1974) tarafından yeşilist fasiyesi metapelitleri için kullanılmıştır. Daha sonra Padan ve diğerleri (1982), Robinson ve Bevins (1986) yüksek - dereceli ankizonun şeyl ve sleytleri için bu yöntemi daha da geliştirmişlerdir.

Muskovit  $b_0$  parametresinin jeotermobarometre olarak kullanılması iki faktöre dayandırılmıştır. Birincisi; bazı özel mineral birliklerindeki potasik beyaz mikanın

seladonit içeriğinin, sıcaklık sabit olduğunda basınçla birlikte artmasıdır. Guidotti ve Sassi (1976) çok yaygın oluşmaları nedeniyle muskovit + albit + kuvars ± karbonatlar ± grafit birliklerinin kullanımını önermişlerdir. Mu-Pa-Py-Qz, Mu-Pa-Ab-Qz veya Mu-Ab-Kf-Qz birlikleri diğer birçok Mu-Ab-Qz birliklerine göre tercih edilmiştir. İkincisi ise;  $b_0$  parametresi ile seladonit içeriği arasında pozitif bir korelasyonun olmasıdır (Guidotti, 1984). Ancak 2M1 muskovitinin (060) yansıması ile kuvarsin (331) yansımasının çakışmamasına dikkat edilmelidir (Frey ve diğ., 1983). Bu problem foliyasyona dik olarak kesilen ince kayaç dilimleri üzerinde çalışılarak (Sassi ve Scolari, 1974) veya Guinier kamera tekniği kullanımıyla büyük ölçüde azaltılmıştır. Diğer önemli bir problem de, çok düşük dereceli metaklastiklerin geniş bir kimyasal bileşim aralığına sahip detritik ve otijenik potasik beyaz mika içermeleridir (Hunziker ve diğ., 1986). Bu da herhangi bir maksimum pik vermeksizin çok geniş (060) yansımalarına neden olabilir. Ayrıca, çok sayıdaki örneğin  $b_0$  aralıkları belirlenmeli, veriler kümülatif eğriler şeklinde sunulmalı ve grubun standart sapması  $0.01 \text{ \AA}$  dan küçük olmalıdır. Fasiyes serileri (Miyashiro, 1961),  $b_0 < 9.000 \text{ \AA}$  (Düşük basınç),  $9.000 < b_0 < 9.040 \text{ \AA}$  (Orta basınç),  $b_0 > 9.040 \text{ \AA}$  (Yüksek basınç) gibi ayırtlanabilir (Sassi ve diğ., 1976; Guidotti ve Sassi, 1986).

Guidotti ve Sassi'ye (1986) göre  $b_0$  verilerinin çoğunun yalnızca düşük sıcaklık aralığı için geçerli olması nedeniyle bu uygulama kalitatif olarak ele alınmalıdır. Ayrıca muskovitteki  $b_0$  değerini etkileyen seladonit içeriğini denetleyen mineral dengesinin sıvı fazdaki suyun aktivitesine bağlı dehidrasyon reaksiyonları ile ilişkisi belirlenmelidir. Bu nedenle organik madde içeren çok düşük dereceli metapelitler için daha yüksek  $b_0$  değerleri beklenilmiştir.

**d. Sıvı kapanım jeotermobarometresi:** Çok düşük dereceli metamorfik kayalarda yer alan bazı minerallerdeki (özellikle kuvars) sıvı kapanımlar, kapanlanmadan günümüze kadar hemen hemen sabit bileşimli ve sabit hacimli kapalı sistemler olarak değerlendirilebilir (Mullis, 1987). Sıvıların deneysel verileri ilgili jeolojik P - T koşulları için geçerli olduğu durumlarda jeotermometrik ve jeobarometrik bilgiler elde edilebilir.

Çok düşük dereceli metamorfizma ile ilgili sıvı kapanım çalışmalarının en kapsamlı çalışmaların gerçekleştirildiği Alp'lerden elde edilen verilere göre (Frey ve diğerleri, 1980) sıvı kapanımlar diyajenetik bölgede yüksek hidrokarbon, düşük dereceli ankizonda  $\text{CH}_4$ , yüksek dereceli epizonda ise  $\text{H}_2\text{O}$  bileşimindedir.

Diyajenez - ankizon ve ankizon - epizon geçişleri için değişik araştırmacılarca, sıvı kapanımlardan itibaren

**Çizelge 4.** Diyajenez - Ankizon ve Ankizon - Epizon sınırlarında belirlenen sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) değerleri.

Referans	Diyajenez-Ankizon	Ankizon-Epizon
Durney, 1974	240	
Barlier vd., 1974	200	
Frey, 1980; Frey vd., 1980	200	300
Duba & William-Jones, 1983		300
Robinson vd., 1980	150-200	
Brauckmann, 1984	145-155*	
Niedermayr vd., 1984	180-200	300-350

\* Sıcaklık değerleri kuvars-illit oksijen izotop verilerinden itibaren ölçülmüştür.

elde edilen sıcaklık değerleri Çizelge 4 de verilmiştir. Buna göre diyajenez - ankizon geçişi için  $150 - 240 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , ankizon - epizon geçişi için ise  $300 - 350 \text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklık değerleri önerilmektedir. Basınç değeri ise Frey ve diğerlerinin (1980) sıvı kapanım çalışmalarından elde ettikleri verilere göre diyajenez - ankizon sınırı için  $1200 \text{ bar}$ , düşük dereceli ankizon ( $\text{CH}_4$  zonu) ile yüksek dereceli epizon ( $\text{H}_2\text{O}$  zonu) sınırı ise  $1700 \text{ bar}$ 'dır.

## Sonuçlar ve öneriler

Kırıntılı sedimanter kayaların diyajenez - çok düşük dereceli metamorfizma geçişinin belirlenmesinde kullanılan çeşitli parametreler Çizelge 5'de verilmiştir. Araştırmacılar kullandıkları yöntemlere göre farklı ölçütleri temel almış ve diyajenez - metamorfizma evreleri için farklı tanımlamalar yapmışlardır.

Illit "kristalinite" verilerine göre (Kübler, 1984), diyajenez ( $>0.42 \Delta^{\circ}2\theta$ ), ankizon ( $0.42 - 0.25 \Delta^{\circ}2\theta$ ) ve epizon ( $<0.25 \Delta^{\circ}2\theta$ ) bölgeleri ayırtlanmıştır.

Özellikle bazik volkanik - volkanoklastik sedimanter kayalarda yaygın olan indeks metamorfik mineraller yardımıyla zeolit, prehnit - pumpellyit, pumpellyit - aktinolit ve yeşilist fasiyesleri ayırtlanmıştır (Winkler, 1979; Liou ve diğerleri, 1987). Kübler'in (1984) diyajenetik zonuna karşılık gelen zeolit fasiyesi höylandit ve lömontit alt fasiyeslerine ayrılmaktadır. Prehnit - pumpellyit ankizona, pumpellyit - aktinolit ve yeşilist fasiyesleri ise epizona karşılık gelmektedir.

Hidrokarbon amaçlı çalışmalarda kullanılan epijenez ve metajenez terimleri (Kossovskaya ve Shutov, 1970) denetim açısından uygun olmayıp, Rus araştırmacılar dışında kullanım alanı bulamamıştır. Erken ve geç epijenez Kübler'in (1984) diyajenetik bölgesi içerisinde yer almakta ve olasılıkla höylandit ve lömontit fasiyeslerine karşılık gelmektedir. Metajenez daha geniş bir terim olup, erken metajenez ankizon'a ve prehnit - pumpellyit fasiyesine, geç metajenez ise epizona ve prehnit - aktinolit fasiyesine karşılık gelmektedir (Kisch, 1987). Katajenez terimi ise epijenez ve metajenezi de içeren daha üst bir terimdir.

Genel terminoloji açısından çok düşük dereceli metamorfizma (Frey ve Kisch, 1987) Kübler'in (1984) di-

İLİT KRİSTALİNİTE Δ °2θ	METAMORFİK FASİYES	HİDROKARBON	GENEL TERMINOLOJİ	KAYACADI		SICAKLIK T (°C)	SIVIKAPANIM	KÖMÜR RANKI	TABAKA SİLİKATLARI
				PETROGRAFI	İLİT KRİSTALİNİTE				
0.42	ZEOLİT Höylandit Lömöntit	Erken Epijenenez Geç Epijenenez	Erken Diyajenez Geç Diyajenez (derin, ileri, yüksek veya epijenetik diyajenez)	Çakıtaş, Kumtaşı, Silttaşı, Camurtaşı Kıllaş, Şeyl Kıraçtaşı, Dolomit		Frey vd. (1980), Frey (1986)	Frey vd. (1980)	Frey vd. (1980)	Ka S I S I M C P M P Pr
				Klastik dokulu ise : Meta-KAYAC (Meta-silttaşı vb.) Metamorfik dokulu ise : Ardıvaz / Sıy ve Filitli					
0.25	Prehilit- Pumpelliyit	Erken Metajenenez	ÇOK DÜŞÜK DERECELİ METAMORFİZMA	Ankimetamorfik KAYAC (Ankimetamorfik silttaşı vb.)		Frey vd. (1980), Frey (1986)	200 °C 1200 bar	Antrasit	K D IM IM IM
				Klastik dokulu ise : Meta-KAYAC (Meta-silttaşı vb.) Metamorfik dokulu ise : Ardıvaz / Sıy ve Filitli					
0.25	Pumpelliyit- Aktinolit	Geç Metajenenez	Gömlühe diyajenez / metamorfizması	Epimetamorfik KAYAC (Epimetamorfik silttaşı vb.)		Frey vd. (1980), Frey (1986)	270 °C 1700 bar	5.0-5.5 % Rm Meta-antrasit	IM 2M 2M
				Epimetamorfik KAYAC (Epimetamorfik silttaşı vb.)					
	Yeşiltaş	DÜŞÜK DERECELİ METAMORFİZMA		Ş İ S T				Grafit	

Çizelge 5. Diyajenez - çok düşük dereceli metamorfizmanın ayırt edilmesinde kullanılan parametrelerin denştirilmesi.

yajenetik zonunun alt kesimlerinden (lömونتit fasiyesi) epizonun üst kesimlerini (pumpellyit - aktinolit fasiyesi) de kapsayan geniş bir alanı temsil etmektedir.

Petrografik adlandırmalarda öncelikle dokusal ilişkiler göz önüne alınmalıdır. Diyajenetik bölgede yer alan ve metamorfik etkinin gözlenmediği kayalara doğrudan sedimanter kayaç adlamaları verilmektedir (kumtaşı, silttaşı v.b.). Çok düşük dereceli metamorfizma bölgesinde yer alan ve ilksel klastik dokunun korunduğu, ancak metamorfik dokunun da gözlenebildiği kayalar meta- öntakısı getirilerek adlandırılır (meta-kumtaşı, meta-silttaşı v.b.). Kayaç tümüyle metamorfik dokulu ise arduvaz / sleyt ve fillit isimleri verilir. Meta-kayaç adlaması hem ankizonu hem de epizonu temsil edebilir. Bu nedenle kayacın temsil ettiği "kristalinite" zonlarının da verilmesi daha uygun olabilmektedir (ankimetamorfik silttaşı gibi).

Diyajenez - ankizon ve ankizon - epizon geçişleri için değişik araştırmacılarca sırasıyla 150 - 240°C ve 300 - 350°C arasında değişen sıcaklıklar elde edilmekle birlikte, diyajenez - ankizon sınır için 200°C, ankizon - epizon sınırı için ise 300°C sıcaklık değerleri kullanılabilir gözükmektedir (Frey ve diğerleri, 1980; Frey, 1986).

Sıvı kapanım verilerine göre (Frey ve diğerleri, 1980) diyajenetik bölgede yüksek hidrokarbon, düşük dereceli ankizonda CH<sub>4</sub>, yüksek dereceli epizonda ise H<sub>2</sub>O bileşimine sahip kapanımlar yer almaktadır. Sıvı kapanımlardan elde edilen sıcaklık ve basınç değerleri ise diyajenez - ankizon sınırı için 200°C ve 1200 bar, düşük dereceli ankizon (CH<sub>4</sub> zonu) ile yüksek dereceli epizon (H<sub>2</sub>O zonu) sınırı ise 270°C ve 1700 bar'dır.

Organik madde yansımalarından itibaren elde edilen kömür rankı verilerine göre diyajenez bölgesi semi - antrasit, bitümlü kömür ve daha düşük ranklı organik maddeleri kapsamaktadır. Diyajenez - ankizon sınırı 2.65 - 3.1% Rm değerlerine karşılık gelmekte, ankizon yaklaşık olarak antrasit evresini kapsamaktadır. Ankizon - epizon sınırı ise yaklaşık olarak antrasit - meta - antrasit geçişine karşılık gelen 5.0 - 5.5 % Rm değerleri sunmaktadır.

Paragonit / muskovit, paragonit ve pirofillit dışında kalan fillosilikatların mineralojik dönüşümleri zonları belirlemede kesin ölçüt oluşturmamaktadır. Bununla birlikte, kaolinit, smektit, sepiyolit, paligorskit ve karışık tabakalı kil minerallerinin yok oluşu ve illitlerin 2M1, kloritlerin Iib politiplerinin yaygınlaşması metamorfizmaya geçildiğini işaret etmektedir.

Sonuçta diyajenez ve çok düşük dereceli metamorfizma ile ilgili incelemelerde bir ölçütten ziyade, müm-

kün olduğunca fazla ölçüt göz önüne alınarak zonlar tanımlanmalı ve özellikle de terminoloji dikkatlice kullanılmalıdır.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

- Ahn, J., Peacor, D.R., 1985, Transmission electron microscopic study of diagenetic chlorite in Gulf Coast argillaceous sediments. *Clays and Clay Minerals*, 33, 228 - 236.
- Ahrendt, H., Hunziker, J.C., Weber, K., 1977, Age and degree of metamorphism and time of nappe emplacement along the southern margin of the Damara orogen Namibia (SW - Africa). *Geol. Rdsch.* 67, 719 - 742.
- Aldahan, A.A., Morad, S., 1986, Mineralogy and chemistry of diagenetic clay minerals in Proterozoic sandstones from Sweden. *Amer. J. Sci.* 286 (1), 29 - 80.
- Arkai, P., 1983, Very low - and low - grade Alpine regional metamorphism of the Paleozoic and Mesozoic formations of the Bükkium, NE - Hungary. *Acta Geol. Hung.* 26(1-2), 83 - 101.
- Arkai, P., 1991, Chlorite crystallinity: an empirical approach and correlation with illite crystallinity, coal rank and mineral facies as exemplified by Paleozoic and Mesozoic rocks of northeast Hungary. *J. Metamorphic Geol.*, 9, 723 - 734.
- Arkai, P., 1993, The distinction between low-T retrograde metamorphism and weathering + burial diagenesis of the gneiss and mica schist basement complex, Great Plain, Hungary: A novel use of illite "crystallinity". *N. Jb. Miner. Mh.*, 8, 337 - 351.
- Arkai, P., Horvath, Z.A., Toth, M.N., 1981, Transitional very low- and low-grade regional metamorphism of the Paleozoic formations, Uppony Mountains, NE-Hungary: mineral assemblages, illite crystallinity, b<sub>0</sub> and vitrinite reflectance data. *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.* 24, 265 - 294.
- Arkai, P., Toth, M.N., 1983, Illite crystallinity: combined effects of domain size and lattice distortion. *Acta Geol. Hung.* 26(3-4), 341 - 358.
- Bailey, S.W., 1980, Structures of layer silicates. In *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identifications*, eds. Brindley, G.W. and Brown, G., Min. Soc. London, 2 - 123.
- Bailey, S.W., 1984, Classification and structures of the micas. In *Micas*, ed. Bailey, S.W., Rev. Mineral. 13, Mineralogical Society of America, 1 -12.
- Bailey, S.W., 1988, X-ray diffraction identification of the polytypes of mica, serpentine, and chlorite. *Clays and Clay Minerals*, 36, 3, 193 - 213.
- Bailey, S.W., Brown, B.E., 1962, Chlorite polytypism: I. Regular and semirandom one - layer structures. *Amer. Mineral.* 47, 819 - 850.
- Barlier, J., Ragot, J.-P., Touray, J.-C., 1974, L'évolution des Terres Noires subalpines meridionales d'après l'analyse mineralogique des argiles et la reflectometric des particules carbonées. *Bull. R.R.G.M.* (2me ser.), sect. II(6), 533 - 548.
- Barrenechea, J.F., Rodas, M., Arche, A., 1992, Relation between graphitization of organic matter and clay mineralogy, Silurian black shales in Central Spain. *Mineralogical Magazine*, 56, 477 - 485.
- Bates, R.L., Jackson, J.A., eds., 1980, *Glossary of Geology*, 2nd edn., Amer. Geol. Inst., Falls Church, Virginia.
- Bickle, M., Powell, R., 1977, Calcite - dolomite geothermometry for iron - bearing carbonates. *Contrib. Miner. Petrol.* 59, 281 - 292.

- Bozkaya, Ö., 1995, Doğu Toroslardaki (Sarız - Tufanbeyli - Saimbeyli yöreleri) sedimanter ve çok düşük dereceli metasedimanter kayaların mineralojisi ve jeokimyası. Doktora Tezi, C.Ü. Fen Bil. Enst., 334 s (yayımlanmamış).
- Brauckmann, F.J., 1984, Hochdiagenese im Muschelkalk der Massive von Bramsche und Vlotho. Bochumer Geol. Geotech. Arb. 14.
- Brauckmann, F.J., Füchtbauer, H., 1983, Alterations of Cretaceous siltstones and sandstones near basalt contacts (Nügssuaq, Greenland). *Sediment. Geol.* 35, 193 - 213.
- Brime, C., 1980, Influencia del modo de preparacion de las muestras en la relacion I(002) / I(001) de las illitas. *Breviora Geol. Asturica* 24 (3 - 4), 24 - 28.
- Brime, C., Perez - Estaun, A., 1980, La transicion diagenesis - metamorfismo en la region del Cabo Penas. *Cuadernos do Lab. Xeoloxico de Laxe* 1, 85 - 97.
- Brindley, G.W., 1980, Order - disorder clay mineral structures: in *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*, G.W. Brindley and G. Brown, eds., Mineralogical Society, London, 125 - 195.
- Brindley, G.W., Wardle, R., 1970, Monoclinic and triclinic forms of pyrophyllite and prophyllite anhydride. *Amer. Miner.* 55, 1259 - 1272.
- Caritat, P. de., Hutcheon, I., Walshe, J.L., 1993, Chlorite geothermometry: A review. *Clays and Clay Minerals*, 41, 2, 219 - 239.
- Cathelineau, M., 1988, Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Minerals*, 23, 471 - 485.
- Cathelineau, M., Nieva, D., 1985, A chlorite solid solution geothermometer. The Los Azufres geothermal system (Mexico). *Contrib. Mineral. Pet.*, 91, 235 - 244.
- Cho, M., Fawcett, J.J., 1986, A kinetic study of clinoclore and its high - temperature equivalent forsterite - cordierite - spinel at 2 kbar water pressure. *Amer. Miner.* 71, 68 - 77.
- Clauer, N., Lucas, J., 1970, Mineralogie de la fraction fines des schistes de Steige - Vosges septentrionales. *Bull. Groupe Fr. Argiles* 22, 223 - 235.
- Cloos, M., 1983, Comparative study of melange matrix and metashales from the Franciscan subduction complex with the basal Great Valley sequence, California. *J. Geol.* 91, 291 - 306.
- Coombs, D.S., 1961, Some recent work on the lower grades of metamorphism. *Austr. J. Sci.*, 24, 203 - 215.
- Curtis, C.D., Hughes, C.R., Whiteman, J.A., Whittle, C.K., 1985, Compositional variations within some sedimentary chlorites and some comments on their origin. *Miner. Mag.* 49, 375 - 386.
- Dandois, Ph., 1981, Diagenese et metamorphisme des domaines caledonien et hercynien de la vallee de la Meuse entre Charleville - Mezieres et Namur (Ardennes franco - belges). *Bull. Soc. Belg. Geol.* 90, 299 - 316.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussmann, J., 1992, *Rock Forming Minerals II: Sheet Silicates*. Longman, London.
- Delaloye, M.F., 1966, Contribution a l'etude des silicates de fer sedimentaires, Le gisement de Chamoson (Valais). *Beitr. Geol. Schweiz. Geotechn. Serie* 13 / 9.
- Deutloff, O., Teichmüller, M., Teichmüller, R., Wolfy, M., 1980, Inkohlungs - untersuchungen im Mesozoikum des Massivs von Vlotho (Niedersächsisches Tektonogen). *Neues Jb. Geol. Palaont. Mh.* 1980, 321 - 341.
- Duba, D., Williams - Jones, A.E., 1983, The application of illite crystallinity, organic matter reflectance, and isotopic techniques to mineral exploration: a case study in southwestern Gaspe, Quebec. *Econ. Geol.* 78, 1350 - 1363.
- Dunoyer de Segonzac, G., 1969, Les mineraux argileux dans la diagenese - passage au metamorphisme. *Mem. Serv. Carte Geol. Alsace Lorraine* 29.
- Dunoyer de Segonzac, G., 1970, The transformation of clay minerals during diagenesis and low-grade metamorphism: a review. *Sedimentology*, 15, 281 - 346.
- Dunoyer de Segonzac, G., Abbas, M., 1976, Metamorphisme des argiles dans le Rhetien des Alpes sud-occidentales. *Sci. Geol. Bull.* 29, 3 - 20.
- Dunoyer de Segonzac, G., Ferrero, J., Kübler, B., 1968, Sur la cristallinite de l'illite dans la diagenese et l'anchimetamorphisme. *Sediment.*, 10, 137 - 143.
- Dumey, D., 1974, Relations entre les temperatures d'homogenisation d'inclusions fluides et les mineraux metamorphiques dans les nappes helvetiques du Valais. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, (7) 16, 269 - 272.
- Eberl, D.D., Srodon, J., 1988, Oswald ripening and interparticle - diffraction effects for illite crystals. *American Mineralogist*, 73, 1335 - 1345.
- Eberl, D.D., Velde, B., 1989, Beyond the Kübler index. *Clay Minerals*, 24, 571 - 577.
- Eberl, D.D., Srodon, J., Kralik, M., Taylor, B.E., Peterman, Z.E., 1990, Oswald ripening of clays and metamorphic minerals. *Science*, 248 474 - 477.
- Eckhardt, F.-J., 1965, Ueber den Einfluss der Temperature auf den kristallographischen Ordnungsgrad von Kaolinit. *Proc. Int. Clay Conf.*, Stockholm, 1963, 2, 137 - 145.
- Eslinger, E., Glasmann, J.R., 1993, Geothermometry and Geochronology using clay minerals - An Introduction. *Clays and Clay Minerals*, 41, 2, 117 - 118.
- Esquevin, J., 1969, Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinite. *Bull. Centre Rech. Pau - SNPA* 3, 147 - 153.
- Essene, E.J., 1982, Geologic thermometry and barometry. In *Characterization of Metamorphism through Mineral Equilibria*, ed. Ferry, J.M. *Reviews in Mineralogy* 10, Mineralogical Society of America, 153 - 206.
- Ferrero, J., Kübler, B., 1964, Presence de dickite et de kaolinite dans les gres Cambriens d'Hassi Messaoud. *Bull. Serv. Carte Geol. Alsace Lorraine* 17/4, 247 - 261.
- Flehmig, W., 1973, Kristallinität und Infrarotspektroskopie natürlicher dioktaedrischer illite. *Neues Jb. Miner. Mh.* 351 - 361.
- Flehmig, W., Langheinrich, G., 1974, Beziehung zwischen tektonischer Deformation und Illit - Kristallinität. *Neues Jb. Geol. Palaontol. Abh.* 146, 325 - 326.
- Foscolos, A.E., Kodama, H., 1974, Diagenesis of clay minerals from Lower Cretaceous shales of north - eastern British Columbia. *Clays and Clay Minerals* 22, 319 - 335.
- Foscolos, A.E., Powell, T.G., Gunther, P.R., 1976, The use of clay minerals and organic geochemical indicators for evaluating the degree of diagenesis and oil generating potential of shales. *Geochim. Cosmochim. Acta* 40, 953 - 966.
- Frey, M., 1970, The step from diagenesis to metamorphism in pelitic rocks during Alpine orogenesis. *Sedimentology*, 15, 261 - 279.



- Frey, M., 1978, Progressive low - grade metamorphism of a black shale formation, Central Swiss Alps, with special reference torophyllite and margarite bearing assemblages. *J. Petrol.* 19, 95 - 135.
- Frey, M., 1986, Very low- grade metamorphism of the Alps- An introduction. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 66, 13-27.
- Frey, M., 1987, Very low - grade metamorphism of clastic sedimentary rocks. In *Low Temperature Metamorphism*. Ed. M. Frey, Blackie and Son, Glasgow, 9 - 58.
- Frey, M., Hunziker, J.C., Jager, E., Stern, W.B., 1983, Regional distribution of white K-mica polymorphous and their phengite content in the Central Alps. *Contrib. Miner. Petrol.* 83, 185 - 197.
- Frey, M., Hunziker, J.C., Roggwiler, P., Schindler, C., 1973, Progressive niedriggradige Metamorphose glaukonitführender Horizonte in den helvetischen Alpen der Ostschweiz. *Contrib. Miner. Petrol.* 39, 185 - 218.
- Frey, M., Kisch, H.J., 1987, Scope of subvect (very low - grade metamorphism). In *Low Temperature Metamorphism*. Ed. Frey, M., Blackie and Son, Glasgow, 1 - 8.
- Frey, M., Saunders, J., Schwander, H., 1988, The mineralogy and metamorphic geology of low - grade metasediments, Northern Range, Trinidad. *J. Geol. Soc. London*, 145, 563 - 575.
- Frey, M., Teichmüller, M., Teichmüller, R., Mullis, J., Künzi, B., Breitschmid, A., Gruner, U., Schwizer, B., 1980, Very low - grade metamorphism in external parts of the Central Alps: Illite crystallinity, coal rank and fluid inclusion data. *Eclogae geol. Helv.* 73, 173 - 203.
- Gavish, E., Reynolds, R.C., 1970, Structural changes and isomorphic substitution in illites from limestones of variable degrees of metamorphism. *Israel J. Chem.* 8, 477 - 485.
- Grayson, J.F., 1975, Relationship of palynomorph translucency to carbon and hydrocarbons in clastic rocks. In *Petrographie organique et potential petrolier*, ed. Alpein, B., Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 261 - 273.
- Guidotti, C.V., 1984, Micas in metamorphic rocks. In *Micas*, ed. Bailey, S.W., *Reviews in Mineralogy* 13, Mineralogical Society of America, 357 - 467.
- Guidotti, C.V., Sassi, F.P., 1976, Muscovite as a petrogenetic indicator mineral in pelitic schists. *Neues Jb. Miner. Abh.* 127, 97 - 142.
- Guidotti, C.V., Sassi, F.P., 1986, Classification and correlation of metamorphic facies series by means of muscovite data from low - grade metapelites. *Neues Jb. Miner. Abh.* 153, 363 - 380.
- Gündoğdu, M.N., Yılmaz, O., 1983, Kil mineralojisi yöntemleri, I. *Ulusal Kil Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana, Bilimler Kitabı*, s. 319 - 330.
- Harpur, O.B., 1987, Güneydoğu Anadolu'daki dört petrol kuyusunda organik ve inorganik diyajenezin incelenmesi. *H.Ü. Fen Bilimleri Ens., Yük. Lis. Tezi*, 89 s (yayınlanmamış).
- Hayes, J.B., 1970, Polytypism of chlorite in sedimentary rocks. *Clays and Clay Minerals* 18, 285 - 306.
- Heroux, Y., Changnon, A., Bertrand, R., 1979, Compilation and correlation of major thermal maturation indicators. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 63, 2128 - 2144.
- Hinckley, D.N., 1963, Variability in "crystallinity" values among the kaolin deposits of the coastal plain of Georgia and South Carolina. *Clays and Clay Minerals* 11, 229 - 235.
- Hunziker, J.C., Frey, M., Clauer, N., Dallmeyer, R.D., Fredrichsen, H., Flehmig, W., Hochstrasser, K., Roggviler, P., Schwander, H., 1986, The evolution of illite to muscovite: mineralogical and isotopic data from the Glarus Alps, Switzerland. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92, 157 - 180.
- Hutcheon, J., 1990, Clay - carbonate reactions in the Venture area, Scotia Shelf, Nova Scotia, Canada. In *Fluid - Mineral Interactions: A Tribute to H.P. Eugster*. Eds. R.J. Spencer and I-M. Chou, The Geochemical Society Special Publication 2, 199 - 212.
- Hutton, A.C., Kantsler, A.J., Cook, A.C., McKridy, D.M., 1980, Organic matter in oil shales. *J. Austral. Petrol. Explor. Assoc.* 20, 44 - 68.
- Ianovici, V., Neacsu, G., Neacsu, V., 1981, Pyrophyllites occurrences and their genetic relations with the kaolin minerals in Romania. *Bull. Mineral.* 104, 768 - 775.
- Itaya, T., 1981, Carbonaceous material in pelitic schists of the Sanbagawa metamorphic belt in central Shikoku, Japan. *Lithos* 14, 215 - 224.
- Ivanova, N.V., Volkova, A.N., Rekshinskaya, L.G., Konysheva, R.A., 1979, Pyroclastic material in coal measures of the Donets Basin and its diagnosis. *Litol. Polezn. Iskop.* 1979 (6), 71 - 80 (transl. in *Lithol. Miner. Resourc.* 1979 (6), 709 - 718).
- Jacob, H., 1964, Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Lumineszenzmikroskopie fossiler Brennstoffe. *Fortschr. Geol. Rheinld. Westf.* 12, 569 - 588.
- Karpova, G.V., 1969, Clay mineral post - sedimentary ranks in terrigenous rocks. *Sedimentology* 13, 5 - 20.
- Kemp, A.E.S., Oliver, G.J.H., Baldwin, J.R., 1985, Low - grade metamorphism and accretion tectonics: Southern Uplands terrain, Scotland. *Mineral Mag.* 49, 335 - 344.
- Kisch, H.J., 1974, Anthracite and meta - anthracite coal ranks associated with 'anchimetamorphism' and 'very - low - stage' metamorphism, I, II, III. *K. Ned. Akad. Wet., Amsterdam, Proc. Ser. B* 77 (2), 81 - 118.
- Kisch, H.J., 1980a, Incipient metamorphism of Cambro - Silurian clastic rocks from the Jamtland Supergroup, central Scandinavian Caledonides, western Sweden: illite crystallinity and 'vitrinite' reflectance. *J. Geol. Soc. London* 137, 271 - 288.
- Kisch, H.J., 1980b, Illite crystallinity and coal rank associated with lowest - grade metamorphism of the Tavayanne greywacke in the Helvetic zone of the Swiss Alps. *Eclogae Geol. Helv.* 73, 753 - 777.
- Kisch, H.J., 1981, Coal rank and illite crystallinity associated with the zeolite facies of Southland and the pumpellyite - bearing facies of Otago, southern New Zealand. *N.Z.J. Geol. Geophys.* 24, 349 - 360.
- Kisch, H.J., 1983, Mineralogy and petrology of burial diagenesis (burial metamorphism) in clastic rocks. In *Diagenesis in Sediments and Sedimentary Rocks*, 2, eds. Larsen, G. and Chilingar, G.V., Elsevier, Amsterdam, 289 - 493 and 513 - 541 (Appendix B- literature published since 1976).
- Kisch, H.J., 1987, Correlation between indicators of very low - grade metamorphism. In *Low Temperature Metamorphism*. Ed. Frey, M., Blackie, Glasgow and London, 227 - 300.
- Kisch, H.J., 1990, Calibration of the anchizone: a critical comparison of illite "crystallinity" scales and for definition. *Journal of Metamorphic Geology*, 8, 31 - 46.
- Kisch, H.J., Frey, M., 1987, Appendix: Effect of sample preparation on the measured 10A peak width of illite (illite "crystallinity"). In *Low Temperature Metamorphism*. Ed. Frey, M., Blackie, Glasgow and London, 301 - 304.
- Klug, H.P., Alexander, L.E., 1974, X-ray Diffraction Procedures. 2nd edn., Wiley, New York.

- Kossovskaya, A.G., 1961, Specific nature of epigenetic alteration of terrigenous rocks in platform and geosynclinal regions. Dokl. Akad. Sci. USSR, Earth Sci. Sect. 130, 123 - 125.
- Kossovskaya, A.G., Logvinenko, N.V., Shutov, V.D., 1957, Stages of formation and alteration in terrigenous rocks (in Russian). Dokl. Akad. Nauk SSSR, 116, 2, 293 - 296.
- Kossovskaya, A.G., Shutov, V.D., 1958, Zonality in the structure of terrigenous deposits in platform and geosynclinal regions. Eclogae Geol. Helv., 51, 656 - 666.
- Kossovskaya, A.G., Shutov, V.D., 1963, Facies of regional epigenesis and metagenesis (in Russian). Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geol. 1963 (7), 3 - 18 (transl. in Int. Geol. Rev., 7(1965), 1157 - 1167).
- Kossovskaya, A.G., Shutov, V.D., 1970, Main aspects of the epigenesis problem. Sedimentology, 15, 11 - 40.
- Krumm, H., 1984, Anchimetamorphose im Anis und Ladin (Trias) der Nördlichen Kalkalpen zwischen Arlberg und Kaisergebirge - ihre Verbreitung und deren baugeschichtliche Bedeutung. Geol. Rdsch. 73, 223 - 257.
- Kübler, B., 1964, Les argiles, indicateurs de metamorphism. Rev. Inst. Franç. Petrol., 19, 1093 - 1112.
- Kübler, B., 1967a, La cristallinite de l'illite et les zones tout a fait superieures du metamorphisme. In Etages tectoniques. Colloque de Neuchatel 1966, A la Baconniere. Neuchatel, Suisse, 105 - 121.
- Kübler, B., 1967b, Anchimetamorphism et schistosite. Bull. Centre Rech. Pau - SNPA 1, 259 - 278.
- Kübler, B., 1968, Evaluation quantitative du metamorphisme par la cristallinite de l'illite. Bull. Centre Rech. Pau - SNPA 2, 385 - 397.
- Kübler, B., 1984, Les indicateurs des transformations physiques et chimiques dans la diagenese, temperature et calorimetrie. In Thermometrie et barometrie geologiques, ed. M. Lagache, Soc. Franç. Miner. Crist., Paris, 489 - 596.
- Kübler, B., Pittion, J.-L., Heroux, Y., Charollais, J., Weidmann, M., 1979, Sur le pouvoir reflecteur de la vitrinite dans quelques roches du Jura, de la Molasse et des Nappes prealpines, helvetiques et penniques. Eclogae Geol. Helv. 72, 347 - 373.
- Landis, C.A., 1971, Graphitization of dispersed carbonaceous material in metamorphic rocks. Contrib. Mineral. Petrol. 30, 34 - 45.
- Le Corre, C., 1975, Analyse comparee de la cristallinite dans le Brioverian et le Paleozoique centre - armoricains: zoneographie et structure d'un domaine epizonal. Bull. Soc. Geol. France 17, 547 - 553.
- Lee, J.H., Peacor, D.R., Lewis, D.D., Wintch, R.P., 1984, Chlorite - illite / muscovite interlayered and interstratified crystals: a TEM / STEM study. Contrib. Miner. Petrol. 88, 372 - 385.
- Levinson, A.A., 1955, Studies in the mica group: polymorphism among illites and hydrous micas. Amer. Miner. 40, 41 - 49.
- Liou, J.G., Maruyama, S., Cho, M., 1987, Very low grade metamorphism of volcanic and volcanoclastic rocks - mineral assemblages and mineral facies. In Low Temperature Metamorphism. Ed. Frey, M., Blackie, Glasgow and London, 59 - 113.
- Maxwell, D.T., Hower, J., 1967, High - grade diagenesis and low - grade metamorphism of illite in the Precambrian Belt Series. Amer. Miner. 52, 843 - 857.
- McDowell, S.D., Paces, J.B., 1985, Carbonate alteration minerals in the Salton Sea geothermal system. California. Amer. Miner. 68, 1146 - 1159.
- Merriman, R.J., Roberts, B., 1985, A survey of white mica crystallinity and polytypes in pelitic rocks of Snowdonia and Llyn, North Wales. Mineral Mag. 49(3), 305 - 319.
- Merriman, R.J., Roberts, B., Peacor, D.R., 1990, A transmission electron microscope study of white mica crystallite size distribution in a mudstone to slate transitional sequence, North Wales, UK. Contr. Mineral. Petrol., 106, 27 - 44.
- Millot, G., 1970, Geology of Clays. (trans. W.R. Farrand and H. Paquet). Springer Verlag, New York, Berlin, 429 pp.
- Mitsui, K., 1975, Diagenetic alteration of some minerals in argillaceous sediments in western Hokkaido, Japan. Sci. Rep. Tohoku Univ. 13, 13 - 65.
- Miyashiro, A., 1961, Evolution of metamorphic belts. J. Petrol. 2, 277 - 311.
- Mukhamet - Galeev, A.P., Zotov, A.V., Pokrovskiy, V.A., Kotova, Z.Y., 1986, Stability of the 1M and 2M1 polytypic modifications of muscovite as determined from solubility at 300°C at saturation steam pressure. Dokl. Akad. Sci. USSR, Earth Sci. Sect. 278, 140 - 143.
- Mullis, J., 1987, Fluid inclusion studies during very low - grade metamorphism. In Low Temperature Metamorphism, ed. Frey, M., Blackie, Glasgow and London, 162 - 199.
- Nadeau, P.H., Wilson, M.J., McHardy, W.J., Tait, J.M., 1984, Interstratified clays as fundamental particles. Science 225, 923 - 925.
- Nadeau, P.H., Wilson, M.J., McHardy, W.J., Tait, J.M., 1985, The conversion of smectite to illite during diagenesis: evidence from some illitic clays from bentonites and sandstones. Mineral. Mag. 49(3), 393 - 400.
- Niedermayr, G., Mullis, J., Niedermayr, E., Schramm, J.-M., 1984, Zur Anchimetamorphose permio - skythischer Sedimentgesteine im westlichen Drauzug, Karnten - Osttirol (Österreich). Geol. Rundsch. 73(1), 207 - 221.
- Nyk, R., 1985, Illite crystallinity in Devonian slates of the Meggen mine (Rhenish Massif). Neues Jb. Miner. Mh. 6, 268 - 276.
- Padan, A., Kisch, H.J., Shagam, R., 1982, Use of the lattice parameter  $b_0$  of dioctahedral illite / muscovite for the characterization of P/T gradients of incipient metamorphism. Contrib. Mineral. Petrol. 79, 85 - 95.
- Patteisky, K., Teichmüller, M., 1960, Inkohlungs - Verlauf, Inkohlungs - Massstabe und Klassifikation der Kohlen auf Grund von Virtrit - Analysen. Brennstoff - Chemie 41, 79 - 84; 97 - 104; 133 - 137.
- Pesquera, A., Velasco, F., 1988, Metamorphism of the Palaeozoic Cinco Villas massif (Basque Pyrenees): illite crystallinity and graphitization degree. Mineralogical Magazine, 52, 615 - 625.
- Pique, A., Wybrecht, E., 1987, Origine des chlorites de l'epizone Heritage et cristallisation synschisteuse Exempe des grauwackes cambriennes du Maroc occidental. Bull. Mineral., 110, 665 - 682.
- Pollastro, R.M., 1990, The illite / smectite geothermometer - Concepts, methodology, and application to basin history and hydrocarbon generation. In Application of Thermal Maturity Studies to Energy Exploration. Eds. V.F. Nuccio and C.E. Barker. Soc. Econ. Paleontol. Mineral., 1 - 18.
- Powell, R., Condliffe, D.M., Condliffe, E., 1984, Calcite - dolomite geothermometry in the system  $\text{CaCO}_3$  -  $\text{MgCO}_3$  -  $\text{FeCO}_3$ ; an experimental study. J. Metamorphic Geol. 2, 33 - 41.
- Price, K.L., McDowell, D., 1993, Illite / smectite geothermometry of the Proterozoic Oronto Group, midcontinent rift system. Clays and Clay Minerals, 41, 2, 134 - 147.

- Radoslovich, E.W., Norrish, K., 1962, The cell dimensions and symmetry of layer - lattice silicates. I. Some structural considerations. *Amer. Miner.* 47, 599 - 616.
- Reynolds, R.C., 1963, Potassium - rubidium ratios and polymorphs in illites and microlines from the clay size fractions of Proterozoic carbonate rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta* 27, 1097 - 1112.
- Roberts, B., Merriman, R.J., 1985, The distinction between Caledonian burial and regional metamorphism in metapelites from North Wales: an analysis of isocryst patterns. *J. Geol. Soc. London* 142(4), 615 - 624.
- Robinson, D. Bevens, R.E., 1986, Incipient metamorphism in the Lower Palaeozoic marginal basin of Wales. *J. Metamorphic Geol.* 4, 101 - 113.
- Robinson, D., Nicholls, R.A., Thomas, L.J., 1980, Clay mineral evidence for low - grade Caledonian and Variscan metamorphism in south - western Dyfed, south Wales. *Mineral. Mag.* 43, 857 - 863.
- Rodionova, A.E., Koval'skaya, M.S., 1974, Dickite distribution in coal - bearing formations of the Donets Basin. *Litologiya i Poleznye Iskopaemye* 6, 132 - 137.
- Rohde, A., 1980, Clay minerals and illite crystallinity of the Almesakra Group. *Geol. Fören. Stockh. Förh.* 102, 26.
- Rumeau, J.L., Kulbicky, G., 1966, Evolution des minéraux argileux dans les dolomies et calcaires, poreux de Crétacé supérieur de la plateforme d'Aquitane. *Proc. Int. Clay Conf., Jerusalem*, 2, 103 - 117.
- Sassi, F.P., 1972, The petrological and geological significance of the  $b_0$  values of potassic white micas in low - grade metamorphic rocks. An application to the Eastern Alps. *Tschermaks Miner. Petrogr. Mitt.* 18, 105 - 113.
- Sassi, F.P., Scolari, A., 1974, The  $b_0$  value of the potassic white micas as a barometric indicator in low - grade metamorphism of pelitic schists. *Contrib. Miner. Petrol.* 45, 143 - 152.
- Sassi, F.P., Krautner, H.G., Zirpoli, G., 1976, Recognition of the pressure character in greenschist facies metamorphism. *Schweiz. Miner. Petrogr. Mitt.* 56, 427 - 434.
- Sayın, Ş.A., 1987, Türkiye'nin farklı bölgelerine ait kaolinitlerde kristalleşme derecesi, III. Ulusal Kil Sempozyumu, Ed. Türmenoğlu, A.G. ve Akıman, O., 21 - 27 Eylül 1987, Bildiriler, 57 - 72.
- Schaer, J.-P., Persoz, F., 1976, Aspects structuraux et pétrographiques du Haut Atlas calcaire de Midelt (Maroc). *Bull. Soc. Geol. France* 18, 1239 - 1250.
- Scherrer, P., 1918, Bestimmung der Grösse und der inneren Struktur von Kolloidteilchen mittels Röntgenstrahlen. *Göttinger Nachr. Math. Phys.* 2, 98 - 100.
- Schoen, R., 1964, Clay minerals of the Silurian Clinton ironstones, New York State. *J. Sediment. Petrol.* 34, 855 - 863.
- Shirozu, H., 1963, Structural changes of some chlorites by grinding. *Mineral J. (Japan)* 4, 1 - 11.
- Shirozu, H., 1978, Chlorite minerals. In *Clays and Clay Minerals of Japan*, eds. Sudo, T. and Shimoda, S., Elsevier, Amsterdam, 243 - 264.
- Smith, J.V., Yoder, H.S., 1956, Experimental and theoretical studies of the mica polymorphous. *Mineral. Mag.* 31, 209 - 235.
- Smykatz - Kloss, W., Althaus, E., 1974, Experimental investigation of the temperature dependence of the "crystallinity" of illites and glauconites. *Bull. Groupe Franç. Argiles* 26, 319 - 325.
- Stadler, G., 1971, Die Kaolin - kohlenonsteine aus dem Westfal C und B der Untertagebohrung 150 der Steinkohlenergiewerke Ibbenbüren und ihre Bedeutung für die Karbonstartigraphie Nordwest - Deutschlands. *Fortschr. Geol. Rheinld. Westf.* 18, 79 - 100.
- Staplin, F.L., 1969, Sedimentary organic matter, organic metamorphism, and oil and gas occurrences. *Bull. Can. Petrol. Geol.* 17, 47 - 66.
- Tagiri, M., 1981, A measurement of the graphitizing - degree by the X-ray powder diffractometer. *Journal of the Japanese Association of Mineralogy, Petrology and Economic Geology* 76, 345 - 352.
- Teichmüller, M., 1987, Organic material and very low - grade metamorphism. In *Low Temperature Metamorphism*, Ed. M.Frey, 114 - 161.
- Teichmüller, M., Ottenjann, K., 1977, Art und Diagenese von Liptiniten und lipoiden Stoffen in einem Erdölmuttergestein auf Grund fluoreszenzmikroskopischer Untersuchungen. *Erdöl und Kohle* 30, 387 - 398.
- Teichmüller, M., Teichmüller, R., Weber, K., 1979, Inkohlung und Illit - Kristallinität - Vergleichende Untersuchungen im Mesozoikum und Paläozoikum von Westfalen. *Fortschr. Geol. Rheinld. Westf.* 27, 201 - 276.
- Toselli, A.J., Toselli, J.N., Rossi de, 1982, Metamorfismo de la Formación Punconviscana en las provincias de Salta y Tucumán, Argentina. 5th Congr. Latinoam. Geol., Argentina, 1982, Actas II, 37 - 52.
- Toselli, A.L., Weber, K., 1982, Anquimetamorfismo en rocas del Paleozoico inferior en el noroeste de Argentina - Valor de la cristalinidad de la illita como índice. *Acta Geol. Lilloana (Argentina)* 14, 187 - 200.
- Triplehorn, D.M., 1970, Clay mineral diagenesis in Atoka (Pennsylvanian) sandstones, Crawford County, Arkansas. *J. Sediment. Petrol.* 40, 838 - 847.
- Turner, F.J., 1981, *Metamorphic Petrology - Mineralogical, Field, And Tectonic Aspects*, 2nd edn., McGraw - Hill, New York.
- Van Biljon, W.J., Bensch, J.J., 1970, The "crystallinity" of illites as a measure of contact metamorphism in mudstone of the Karroo System, South Africa. In *Second Gondwana Symposium, Proceedings and Paper*, CSIR, Pretoria, South Africa, 451 - 453.
- Velde, B., 1965, Experimental determination of muscovite polymorph stabilities. *Amer. Miner.* 50, 436 - 449.
- Velde, B., 1985, *Clay Minerals. A Physico - Chemical Explanation of their Occurrence*. Elsevier, Amsterdam, Dev. in Sediment., 40, 427 pp.
- Velde, B., 1992, *Introduction to Clay Minerals. Chemistry, Origins, Uses and Environmental Significance*. Chapman and Hall., 198 p.
- Velde, B., Hower, J., 1963, Petrological significance of illite polymorphism in Paleozoic sedimentary rocks. *Amer. Miner.* 48, 1239 - 1254.
- Walker, J.R., 1993, Chlorite polytype geothermometry. *Clays and Clay Minerals*, 41, 2, 260 - 267.
- Walshe, J.L., 1986, A six - component chlorite solid solution model and the conditions of chlorite formation in hydrothermal and geothermal systems. *Econ. Geol.* 81, 681 - 703.
- Warr, L.N., Rice, A.H.N., 1993, *Crystallinity Index Standard*. Unpublished report (Version 1), Geologisch - Paläontologisches Institut Ruprecht - Karls Universität, 45 p.

- Warr, L.N., Rice, A.H.N., 1994, Interlaboratory standardization and calibration of clay mineral crystallinity and crystallite size data. *J. Metamorphic Geol.* 12, 141 - 152.
- Warren, B.E., Averbach, B.L., 1950, The effect of cold - work distortion on X-ray patterns. *Journal of Applied Physics*, 21, 595 - 599.
- Weaver, C.E., 1960, Possible uses of clay minerals in search for oil. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 44, 1505 - 1518.
- Weaver, C.E., 1984, Shale - Slate Metamorphism in Southern Appalachians. eds. Weaver, C.E. et al. , *Developments in Petrology 10*, Elsevier, Amsterdam.
- Weaver, C.E., Beck, K.C., 1971, Clay water diagenesis during burial: How mud becomes gneiss. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 134.
- Weaver, C.E., Broekstra, B.R., 1984, Illite - mica. In *Shale - Slate Metamorphism in Southern Appalachians*, eds. Weaver, C.E. et al., *Developments in Petrology 10*, Elsevier, Amsterdam, 67 - 97.
- Weber, K., 1972a, Notes on the determination of illite crystallinity. *Neues Jb. Mineral. Mh.* 1972, 267 - 276.
- Weber, K., 1972b, Kristallinität des Illits in Tonschiefern und andere Kriterien schwacher Metamorphose im nordöstlichen Rheinischen Schiefergebirge. *Neues Jb. Palaont. Abh.* 141, 333 - 363.
- Weber, K., Dunoyer de Segonzac, G., Economou, C., 1976, Une nouvelle expression de la "cristallinité" de l'illite et des micas. *Notion d'épaisseur apparente des cristallites*. *C.R. Somm. Soc. Geol. Fr.* 5, 225 - 227.
- Wilson, M.J., Bain, D.C., 1970, The clay mineralogy of the Scottish Dalradian meta - limestone. *Contrib. Miner. Petrol.* 26, 285 - 295.
- Winkler, H.G.F., 1979, *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. 5th edn., Springer Verlag, New York.
- Yalçın, H., Bozkaya, Ö., 1995, Sepiolite - palygoskite from the Hekimhan region (Turkey). *Clays and Clay Minerals*, 43, 6, 705 - 717.
- Yalçın, H., Bozkaya, Ö., 1996, Kangal - Alacahan yöresi Üst Paleozoyik yaşlı metasedimanter kayaların mineralojisi: Bindirme tektoniği ile ilişkili çok düşük dereceli metamorfizma. (hazırlanmakta).
- Yoder, H.S., Eugster, H.P., 1955, Synthetic and natural muscovites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 8, 225 - 280.
- Zingg, A., Hunziker, J.C., Frey, M., Ahrendt, H., 1976, Age and degree of metamorphism of the Canavese Zone and sedimentary cover of the Sesia Zone. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 56, 361 - 375.

# Veledler Sırtı / Kurtşeyh (Sivrihisar - Eskişehir) sepiyolit cevherleşmesinin rezerv - tenör değerlendirilmesi

**Cem Saraç,**

**TanerİRkeç,**

**Hakan Gençoğlu,**

**A. Erhan Tercan,**

Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl., Beytepe, Ankara

Anadolu Endüstriyel Madencilik (AEM), Ankara

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara

Hacettepe Üniversitesi, Maden Müh. Böl., Beytepe, Ankara

*Bu çalışmada Eskişehir - Sivrihisar - Kurtşeyh Köyü - Veledler Sırtı sepiyolit cevherleşmesinin görünür rezervi kesit yöntemi ile, mümkün rezervi de jeostatistiksel yöntemlerle kestirilmiştir. Kesit yönteminde sondajların ve yarma gruplarının etki alanları yine jeostatistiksel olarak belirlenmiştir. Cevherleşmede görünür rezerv 604783 m<sup>3</sup>, mümkün rezerv ise 18996000 m<sup>3</sup>olarak saptanılmış ve maden işletme planlarına temel oluşturacak rezerv - tenör dağılımı hesaplanmıştır.*

## Giriş

Jeostatistik, bölgesel değişkenler kavramının cevherleşmelerin değerlendirilmesine uygulanması şeklinde tanımlanabilir (Matheron, 1971). Bölgesel değişken matematiksel açıdan, üç boyutlu bir uzayın her noktasında belirli bir değer alan fonksiyondur. Bu fonksiyonun değişimi son derece düzensiz olduğu için matematiksel açıdan direkt olarak incelemek mümkün değildir ve raslantı fonksiyonları ile değerlendirilmesi gerekir (Journel and Huijbregts, 1978). Genellikle bütün cevherleşmelerde lokal olarak zengin ve düşük tenörlü zonlar ayırt etmek mümkündür. Zengin zondan alınan örnekler yüksek bir tenör değeri gösterirken, fakir bir zondan alınan örnekler düşük tenör verecektir. Buradan da görüldüğü gibi bölgesel değişkenin değeri uzamsal konuma bağlı olacaktır. Jeostatistik ile klasik maden yatakları değerlendirme yöntemleri, bu noktada birbirinden ayrılırlar. Jeostatistiksel yöntemlerde: örneğin alındığı yer, konum, etki alanı, cevherleşmenin sürekliliği, homojenliği ve anizotropisi gibi uzaklığa bağlı

özellikler hesaplamalarda kullanılırken, klasik yöntemlerde cevherleşmenin uzaklığa bağlı dağılımı dikkate alınmamaktadır. Bu çalışma kapsamında jeostatistik, görünür rezev hesaplamalarında sondajların ve yarma gruplarının etki uzaklıklarını belirlemede ve mümkün rezervin saptanılmasında kullanılmıştır.

## Jeoloji

Cevherleşme alanı İç Anadolu Neojen Baseninin Yukarı Sakarya Kesiminde bulunmaktadır (Şekil 1). Buradaki istif Üst Miyosen yaşlı İlyaspaşa formasyonu ve Pliyosen yaşlı Sakarya formasyonlarından oluşmaktadır (İRkeç ve Gençoğlu, 1994).

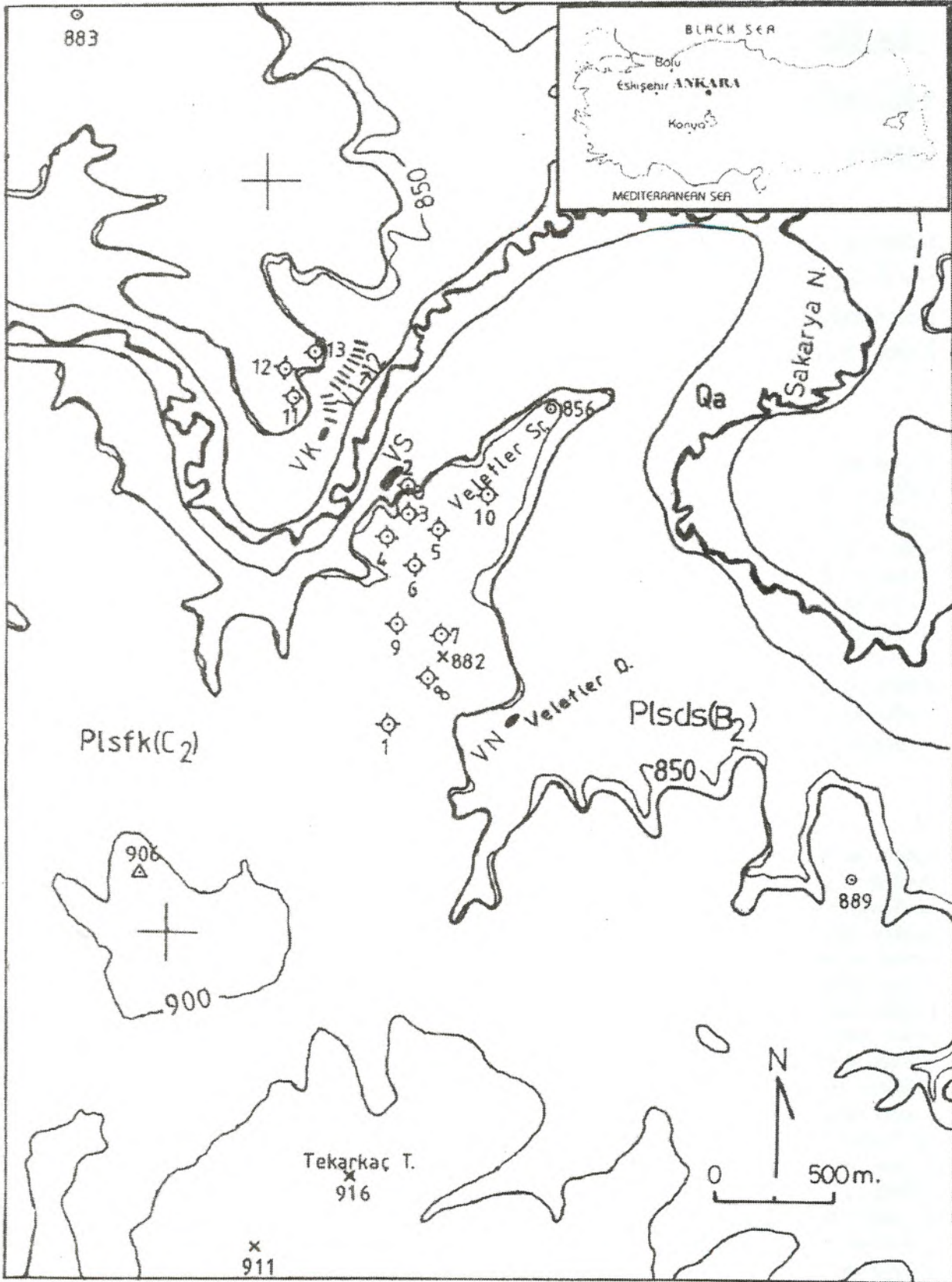
Evaporitik ağırlıklı fluviyatil - göl kompleksinden oluşan Sakarya formasyonu iki sekans olarak ayrılmıştır: Her bir sekans "jipsli yeşil kil", "dolomit - sepiyolit" ve "fosilli kireçtaşı" birim çökellerinden oluşmaktadır.

	Birim çökeli	Kod
2.Sekans	fosilli kireçtaşı	Plsfk - C <sub>2</sub>
	dolomitik - sepiyolit	Plsds - B <sub>2</sub>
	jipsli yeşil kil	Plsfk - A <sub>2</sub>
1.Sekans	fosilli kireçtaşı	Plsfk - C <sub>1</sub>
	dolomit - sepiyolit	Plsds - B <sub>1</sub>
	jipsli yeşil kil	Plsfk - A <sub>1</sub>

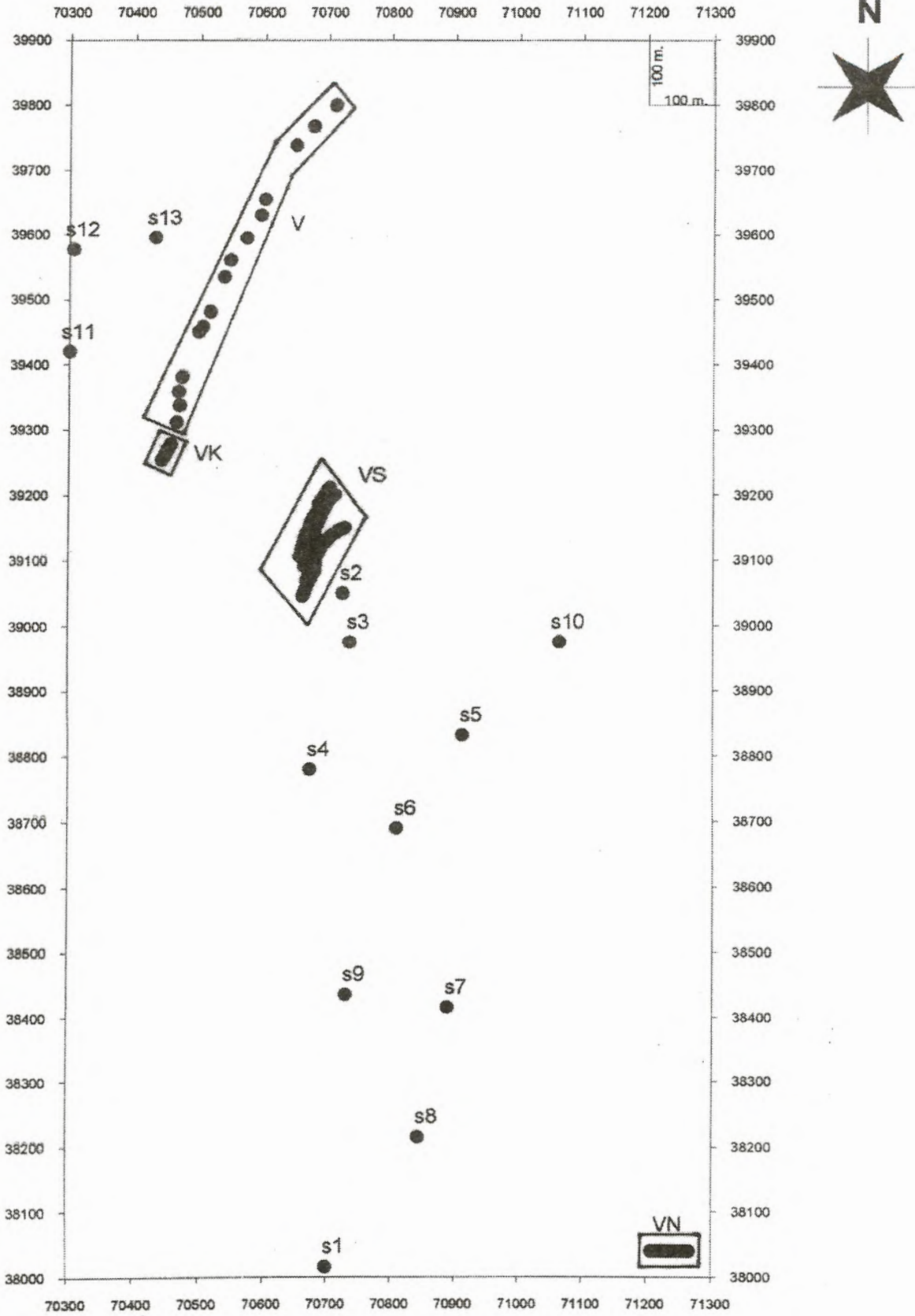
Yöredeki ekonomik sepiyolit oluşumları, 2. sekansa ait dolomit - sepiyolit birim çökeli içerisinde merccekler şeklinde bulunmaktadır.

## Veri analizi

Rezerv belirleme çalışmalarında, ayrıntılı mineralo-



Şekil 1. Yer bulduru haritası



Şekil 2. İnceleme alanındaki sondaj ve yarımlar.

jik açılımları İrkeç ve Gençoğlu 1994'de bulunan 13 sondaj ve 4 yarma grubu değerlendirilmiştir. Şekil 2'de sondaj ve yarma gruplarının topoğrafik izdüşümleri görülmektedir. Burada V, VK, VS ve VN simgeleri ile yarma grupları, S simgesi ile de sondajlar gösterilmiştir. Bunlardan VK, VS ve VN yarmaları yanal, V yarmaları dikey yönde açılmış dozer yarmalarıdır.

Bu çalışmada sondajlardan 97 adet, yarma gruplarından 337 adet örneğin % sepiyolit içerikleri değerlendirilmiştir. Sepiyolit içeriği % 50 üzerine olan cevherleşmeler hesaplamalarda kullanılmıştır. Ayrıca kalınlıkları 0.2 m'den daha ince olan oluşumlar dikkate alınmamıştır. Sondaj ve dikey yarmalarda, her bir cevherli seviyenin başlangıç / bitiş kotları, yanal yarmalarda ise örnek alınan kesimdeki (1 - 4 m aralıkla) cevherleşme kalınlıkları ile başlangıç / bitiş kotları değerlendirilmiştir. Burada mercek başlangıç ve bitiş noktalarında kalınlık - tenör sıfır kabul edilmiştir.

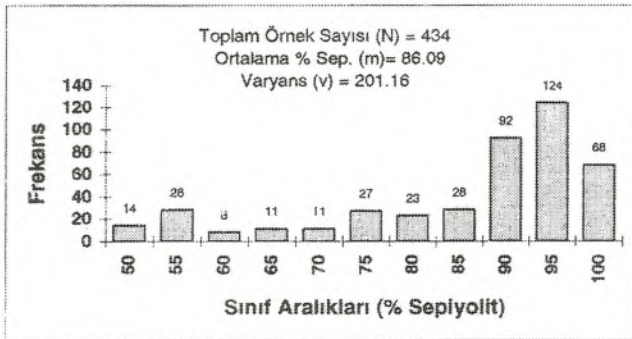
Toplam 434 örneğin göstermiş olduğu histogram Şekil 3'de verilmektedir. Sol yönlü (negatif) bir dağılım gösteren örneklerin ortalaması %86.09, varyansı da %201.16 olarak saptanmıştır. Örnekler 0.20 metre ortalama eş uzunlukta kompozit edilerek, jeostatistiksel olarak kullanıma hazırlanmıştır.

## Variogram analizi

Variogramlar jeostatistiksel rezerv hesabının ilk ve en önemli adımını oluştururlar. Cevherin sürekliliği, homojenliği, anizotropisi, örneklerin etki alanı, konumu ve birbiriyle ilişkisi gibi bütün parametreleri nicel olarak variogramlarda görmek mümkündür (David, 1977) ve matematiksel olarak

$$g(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

eşitliği ile gösterilirler. Eşitlikte



Şekil 3. Örneklerin histogramı

$n(h)$ : birbirinden  $h$  kadar uzaklıkta yeralan iki nokta arasındaki, örnek çifti sayısını,

$Z$ : veri değerlerini,

$x$ : lokasyonu,

$g(h)$ : uzaklığa bağlı olarak variogram değerini göstermektedir.

Sivrihisar sepiyolit cevherleşmesinde variogramlar, cevherleşmenin  $x$ ,  $y$  ve  $z$  yönleri boyunca hesaplanarak, Şekil 4'de sunulmaktadır.

Variogramlar genelde orijinde bir süreksizlik göstermemektedir. Bununla birlikte geometrik ve zonal anizotropiler söz konusudur.  $X$  yönündeki 40 - 45 metrelik etki uzaklığı ve  $y$  yönündeki 10 - 15 metre arasındaki etki uzaklığı yatay olarak geometrik bir anizotropinin varlığını işaret etmektedir. Düşey yöndeki variogram 1 metrelik daha küçük bir etki uzaklığına sahiptir. Ayrıca  $y$  yönündeki variogram 20 - 25'lik tepe değeri (sill) ile bir zonlanma göstermektedir.

Variogramlar, Journel and Huijbregts (1978)'e göre aşağıda formülü verilen, küresel anizotropik variogram ile modellenmiştir (Şekil 4).

$$\gamma(h) = C_0 + C \left( \frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3} \right) \quad \forall h \in [0, a]$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad \forall h \geq a$$

$$\gamma(h) = 0 \quad h = 0$$

Model parametreleri: nugget varyans  $C_0 = 0.0$ , yapılanmış varyans  $C = 85.0$  ve  $a(x) = 40$  m,  $a(y) = 10$  m,  $a(z) = 1$  m olarak belirlenmiştir.

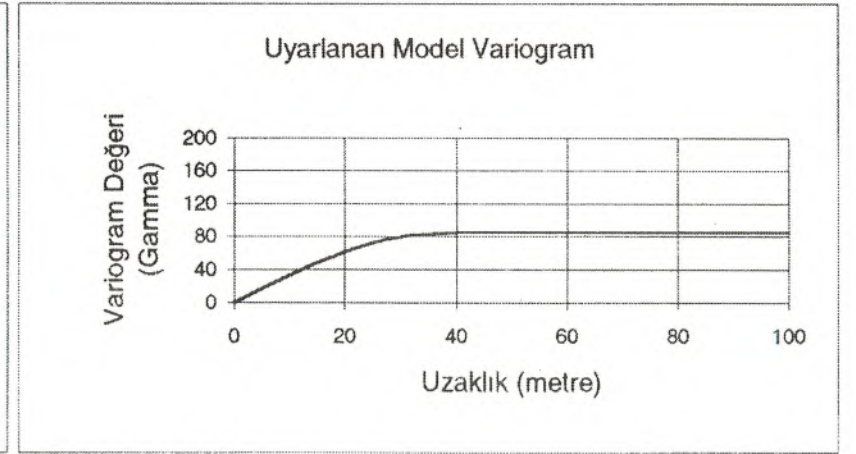
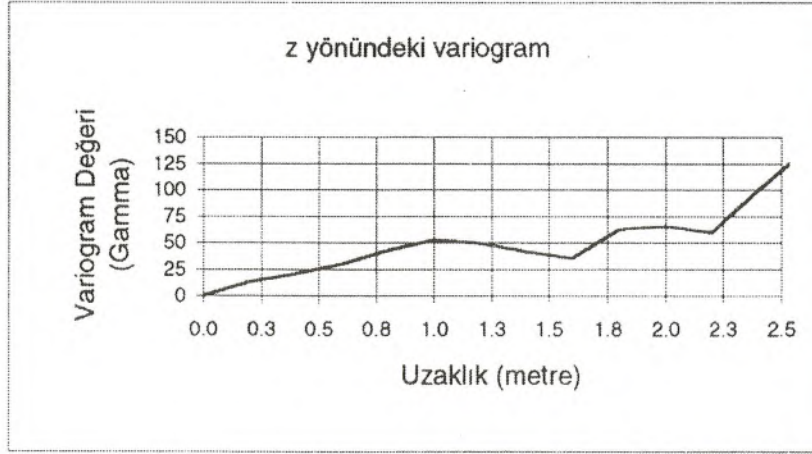
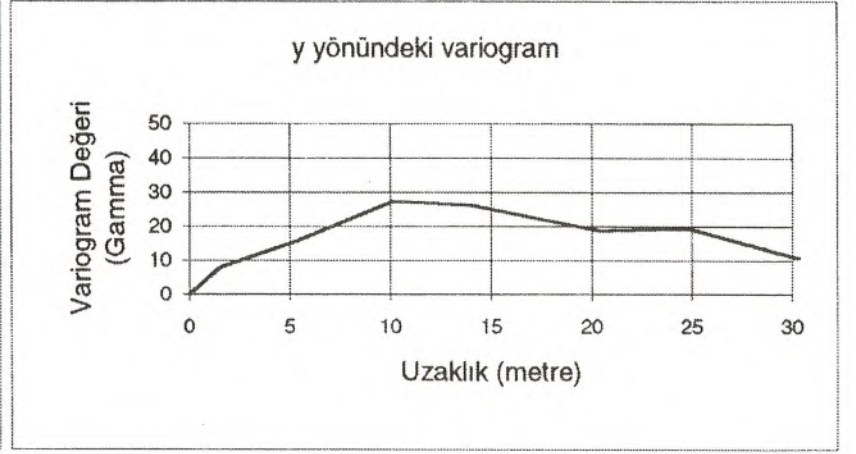
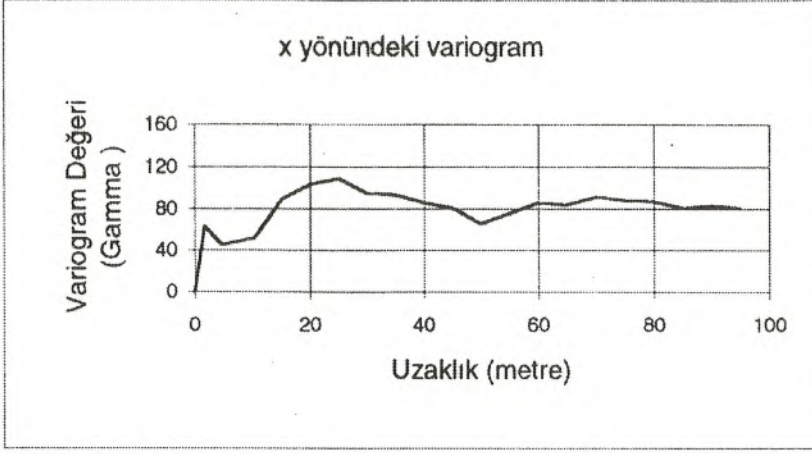
Elde edilen model parametreleri geri kestirim (back kriging) yöntemiyle, modelin geçerliliğini saptamak için kontrol edilmiştir. Örneklerden herbiri sırası ile veri setinden uzaklaştırılmış ve geri kalan örnekler kullanılarak uyarlanan model aracılığı ile bu örneklerin değeri yeniden kestirilmiştir. Geçerli bir model de; kestirim varyansı ile hataların kareler ortalamaları birbirine yakın ve gerçek değerlerin kestirilen değerler üzerindeki regresyonu da 1'e yakın olmalıdır (Saraç ve Tercan, 1992). Yukarıda parametreleri gösterilen sepiyolit cevherleşmesine uyarlanan model de geri kestirim yöntemi ile incelenerek, geçerliliği belirlenmiştir.

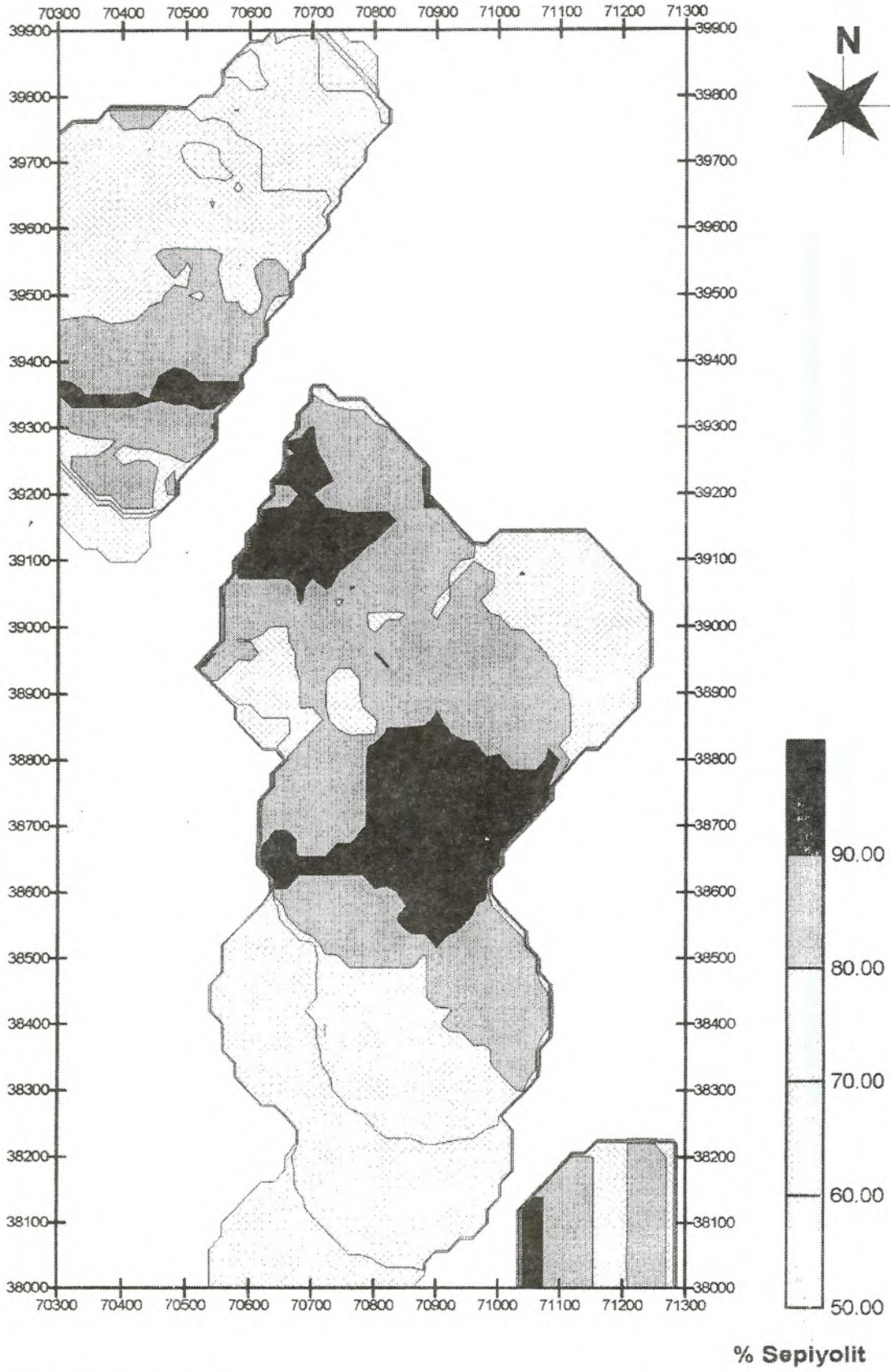
## Görünür rezerv

Görünür rezerv çalışmasında, International Atomic Energy Agency (1985)'e göre kesit yöntemi kullanılır.

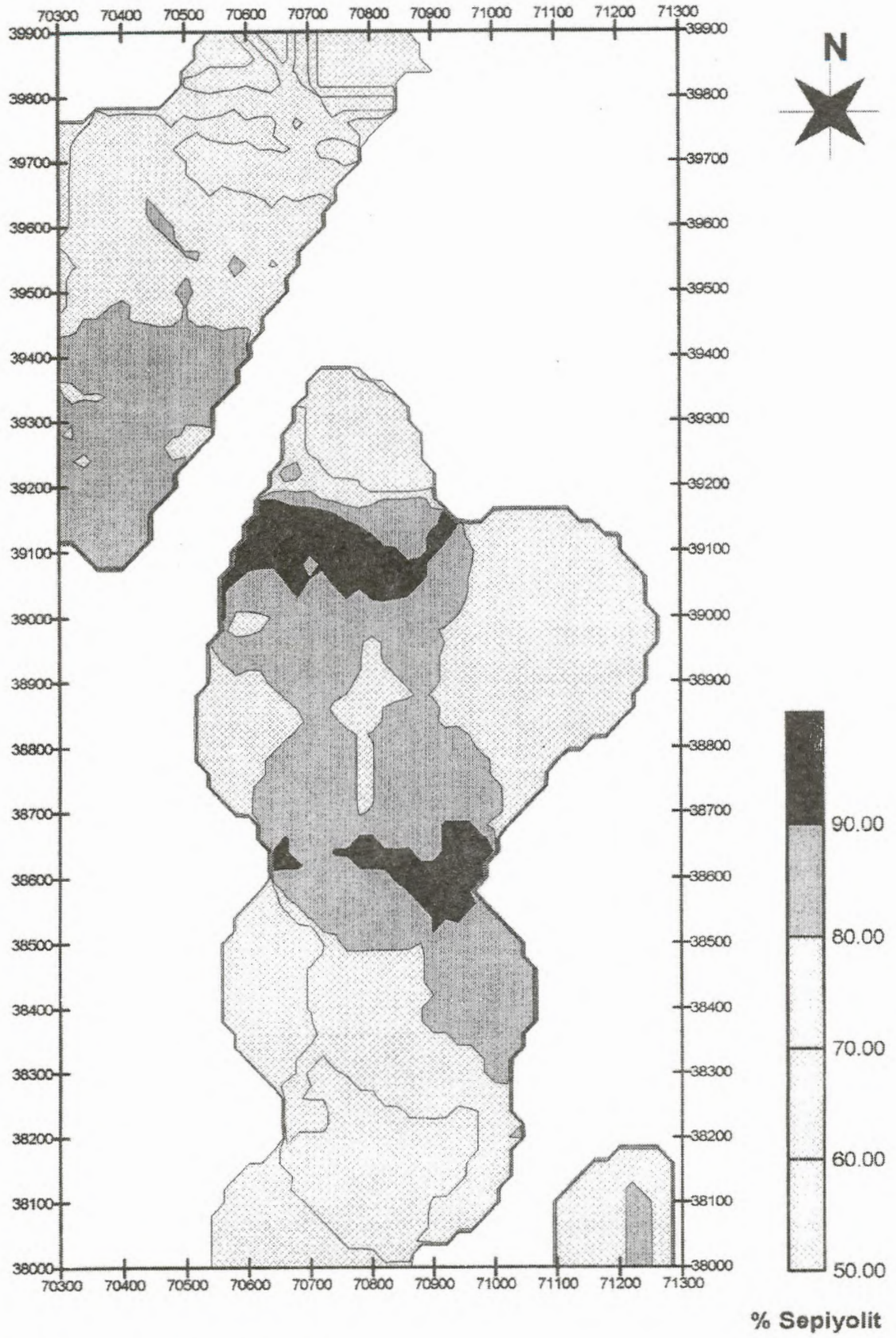


Şekil 4. Cevherleşmenin x,y,z yönlerindeki variogramlar ve uyarılan model variogramı.

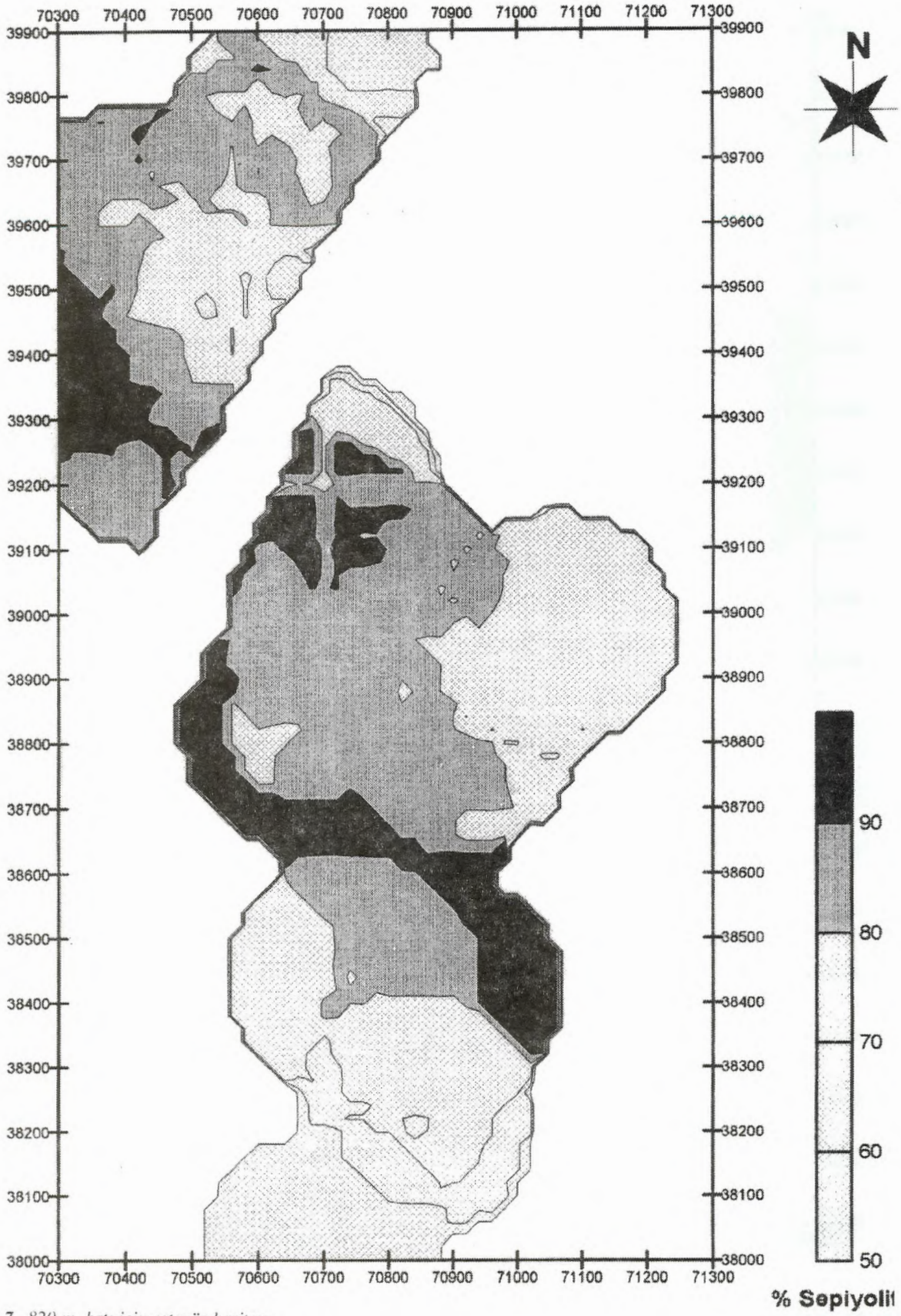




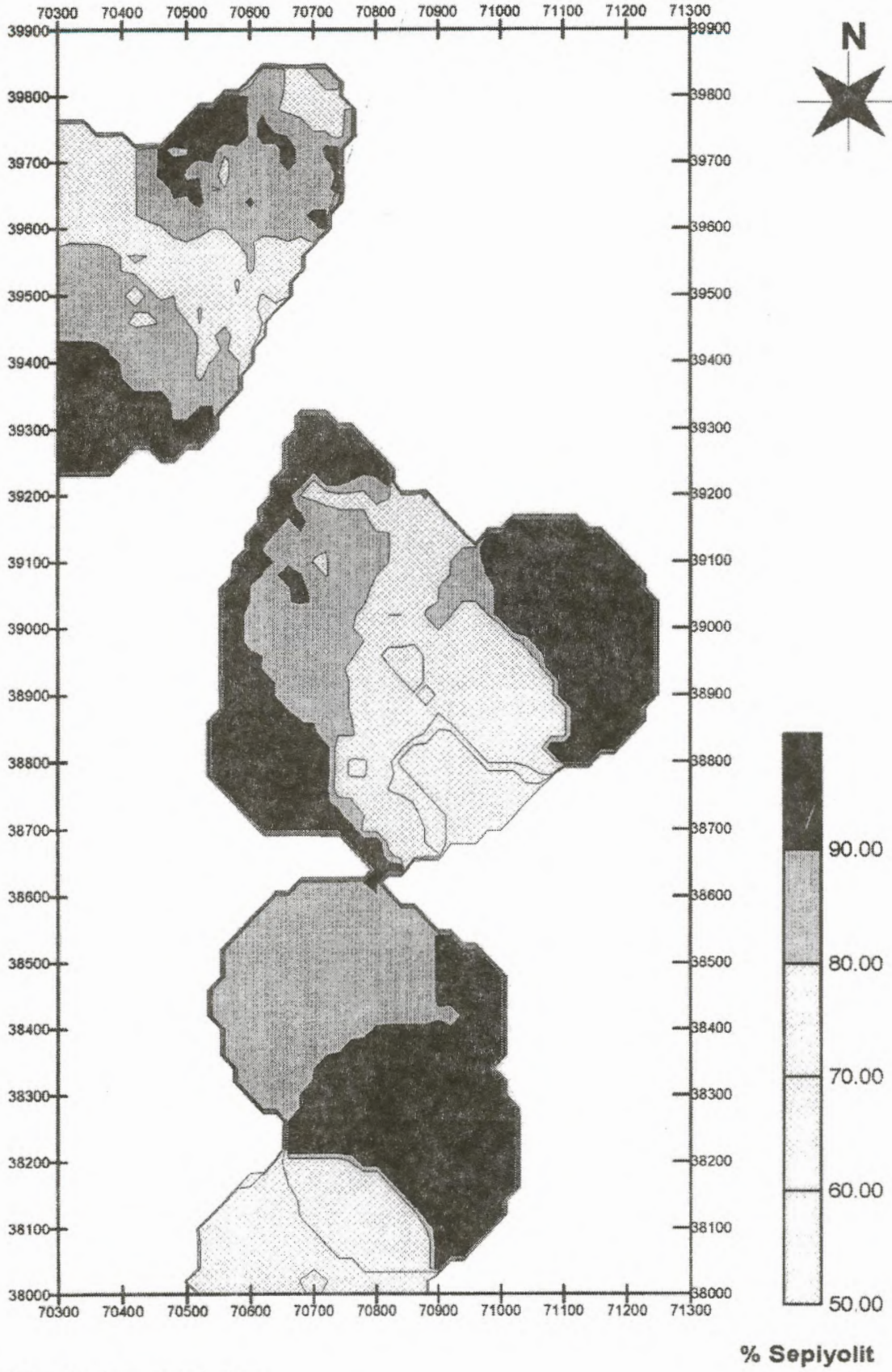
Şekil 5. 830 m. katı için eştenör haritası.



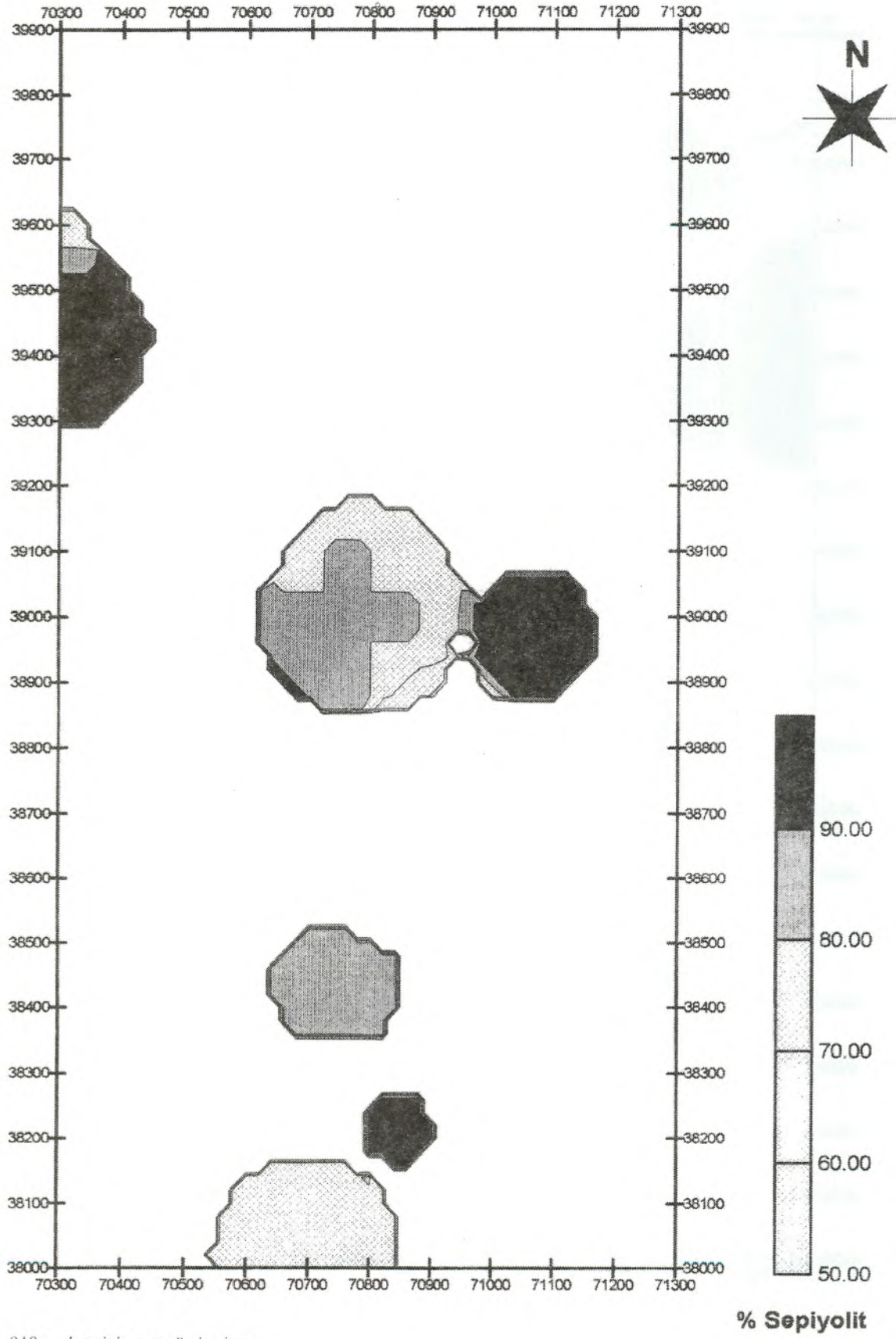
Şekil 6. 825 m. katı için estenör haritası.



Şekil 7. 820 m. katı için eştenör haritası.



Şekil 8. 815 m. katı için eşenör haritası.



Şekil 9. 810 m. katı için eşenör haritası,

mıştır. 6 adet kesit kullanılarak yürütülen hesaplamalarda etki uzaklığı olarak, variogram analizi kısmında model variogramda 40 metre olarak bulunan etki uzaklığı alınmıştır. Sondaj verileri ve yarma verileri kullanılarak yapılan değerlendirmede, sondaj sonuçlarına dayanarak 263820 m<sup>3</sup> ve yarma sonuçlarından giderek 340963 m<sup>3</sup>, toplam 604783 m<sup>3</sup> (ortalama sepiyolit içeriği %81.28) görünür rezerv saptanmıştır. Çalışmada kesitler arasındaki rezerv miktarı ve ortalama tenör, International Atomic Agency (1985)'e göre hesaplanmıştır. Bölgedeki sepiyolitlerin yoğunluğu 0.80 ile 1.20 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Ortalama olarak yoğunluk 1.00 gr/cm<sup>3</sup> alındığında metre küp cinsinden verilen rezervler ton olarak geçerli olacaktır.

## Mümkün rezerv

Cevherleşmenin mümkün rezerv değerlendirmesi kriging tekniği ile yürütülmüştür. Jeostatistik'in önemli unsurlarından bir olan kriging, bir bloğun gerçek değerini mevcut bütün örneklerden yararlanarak belirleyen jeostatistiksel bir tekniktir. Kriging kestiricisi

$$z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(x_i)$$

eşitliği ile verilir (Journel, 1989). Formülde  $\lambda$  simgesi ile gösterilen kriging ağırlıkları, hataların ortalaması sıfır ve varyansı da minimum olacak şekilde belirlenmiştir. Eşitlikte  $z^*(x)$ ,  $x$  noktasındaki bloğun kriging ile kestirilen değeri;  $z(x_i)$ ,  $x_i$  noktalarındaki data değeridir.

Yukarıdaki algoritma kullanılarak sepiyolit cevherleşmesinde  $x$  eksenini boyunca 20 metrelik 50 blok,  $y$  eksenini boyunca 20 metrelik 96 blok ve  $z$  ekseninde de 5 metrelik 6 kat için blokların kriging ile kestirimi yapılmıştır. 830 m, 825 m, 820 m, 815 m ve 810 m katlarında gerçekleştirilen kriging işleminde her bir katta 4800 blok bulunmaktadır. Tek bir bloğun hacmi 20 m ( $x$  eks.) x 20 m ( $y$  eks.) x 5 m (kat kalınlığı  $z$  eks.) = 2000 m<sup>3</sup> dür. 830 metre ve 810 metre katları arasında yapılan değerlendirme de elde edilen sonuçlar, blok tenör sonuçları ve eştenör haritaları şeklinde hazırlanarak, her bir kat için Şekil 5→9'de sunulmaktadır.

## Rezerv - tenör dağılımı

Gerçek blok değerlerinin dağılım varyansı, kestirilen değerlerin varyansından büyük olduğu için 20 x 25 x 5 m. blokların krigingle elde edilen sonuçlarının rezerv - tenör eğrileri, aşağıdaki eşitlik kullanılarak düzeltilmiştir.

Rezerv - tenör belirlenmesinde kullanılan eşitlik:

$$Z^2(V/D) = Z^2(V^*/D) + \sigma_k^2 - 2\bar{\mu}$$

şeklinde verilebilir. Eşitlikte:

$Z^2(V/D)$ : Gerçek blok değerlerinin cevherleşme içindeki dağılım varyansı

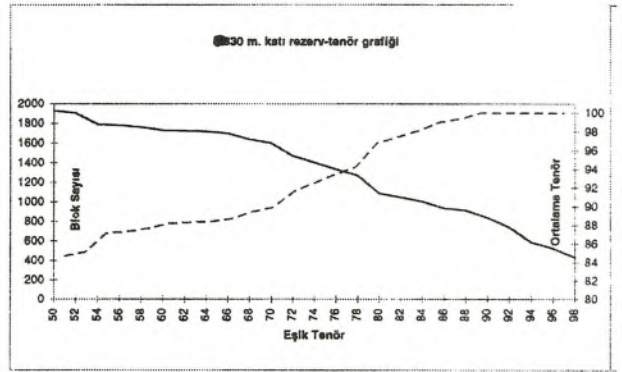
$Z^2(V^*/D)$ : Kestirilen blok değerlerinin cevherleşme içindeki dağılım varyansı

$\sigma_k^2$ : Kriging varyanslarının ortalaması

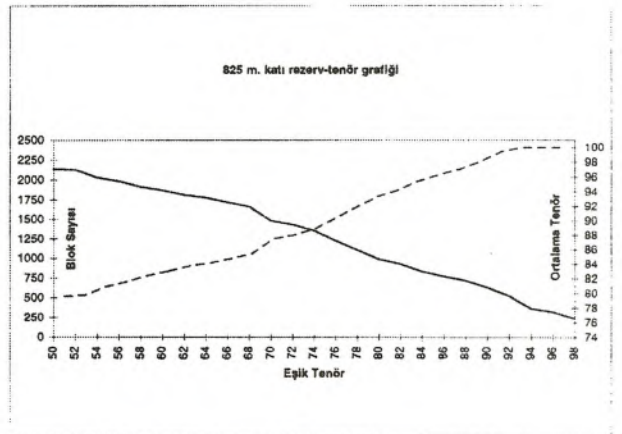
$\mu$ : Lagrange çarpanlarının ortalaması

Maden işletme planlarının yapılmasında temel oluşturacak rezerv - tenör grafikleri ve yukarıda verilen eşitliğe göre hesaplanan rezerv - tenör dağılımı her bir kat için sırası ile Şekil 10→14'de verilmektedir.

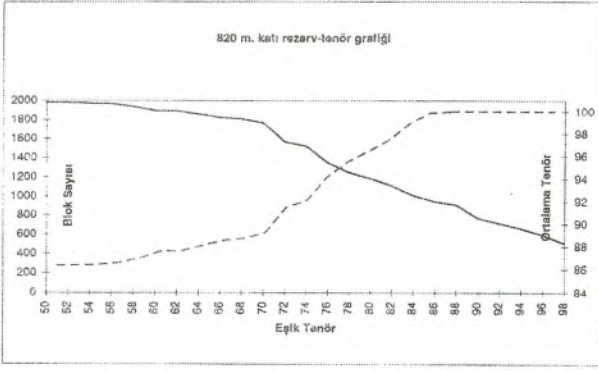
Rezerv - tenör dağılımından elde edilen bilgilere göre katlara göre hazırlanan mümkün rezerv ve ortalama tenör değerleri Tablo 1'de topluca gösterilmiştir.



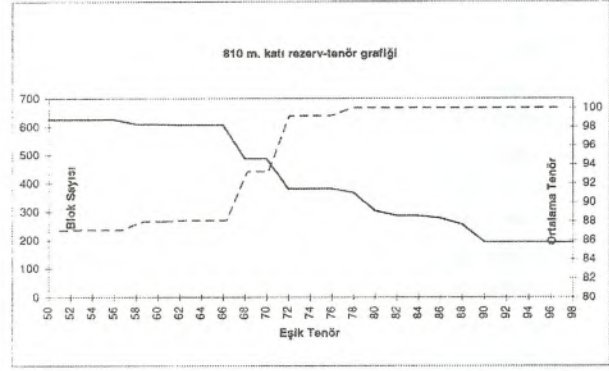
Şekil 10. 830 m. katı rezerv-tenör grafiği.



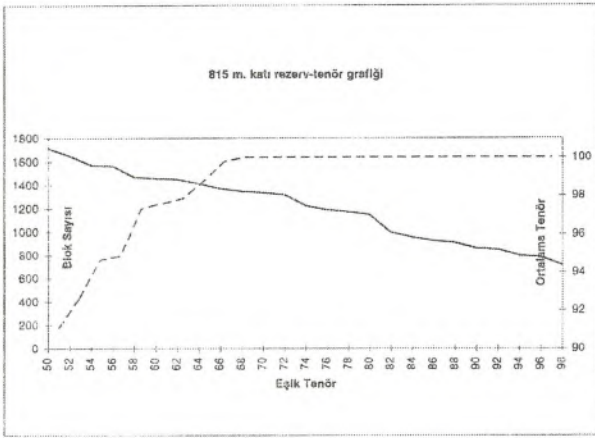
Şekil 11. 825 m. katı rezerv-tenör grafiği.



Şekil 12. 820m. katı rezerv-tenör grafiği.



Şekil 14. 810 m. katı rezerv-tenör grafiği.



Şekil 13. 815m. katı rezerv-tenör grafiği.

## Sonuçlar

Veledler Sırtı / Kurtşeyh (Sivrihisar) sepiyolit cevherleşmesinin, rezerv - tenör değerlendirilmesi jeostatistiksel yöntemler kullanarak yapılmıştır. Araştırmada görünür rezerv kesit yöntemi ile, mümkün rezerv ise kriging tekniği kullanarak belirlenmiştir. Maden işletme planlarının yapılmasında ve rezerv - tenör eğrilerinin belirlenmesinde kullanılacak veriler sunulmaktadır. İncelemede sonuç olarak toplam 604783 m<sup>3</sup> görünür rezerv ve mümkün rezerv olarak da %50'den yüksek sepiyolit içeren 9498 blok (toplam 18996000 m<sup>3</sup>) ve bu blokların ortalama sepiyolit içeriği de % 85.43 olarak belirlenmiştir. İstenilen % sepiyolit içeriğine göre mümkün rezerv miktarı ve ortalama tenör içeriği grafiklerle ve ayrıca tablo halinde verilmektedir.

Tablo 1. İnceleme alanındaki mümkün rezerv-tenör dağılımı

Sepiyolit içeriği	830 m katı			825 m katı			820 m katı		
	ortalama tenör	Blok sayısı	Rezerv (m <sup>3</sup> )	ortalama tenör	Blok sayısı	Rezerv (m <sup>3</sup> )	ortalama tenör	Blok sayısı	Rezerv (m <sup>3</sup> )
> % 50	84.68	1928	3856000	79.56	2139	4278000	86.34	1977	3954000
> % 60	88.21	1729	3458000	83.73	1870	3740000	87.60	1893	3786000
> % 70	89.91	1601	3202000	87.44	1481	2962000	89.21	1762	3524000
> % 80	96.80	1090	2180000	93.32	987	1974000	96.44	1180	2360000
> % 90	100.00	837	1674000	98.05	631	1262000	100.00	765	1530000

Sepiyolit içeriği	815 m katı			810 m katı			TOPLAM		
	ortalama tenör	Blok sayısı	Rezerv (m <sup>3</sup> )	ortalama tenör	Blok sayısı	Rezerv (m <sup>3</sup> )	ortalama tenör	Blok sayısı	Rezerv (m <sup>3</sup> )
> % 50	91.06	1715	3430000	87.06	627	1254000	85.74	8385	16772000
> % 60	97.59	1457	2914000	87.96	609	1218000	89.02	7558	15116000
> % 70	100.00	1333	2668000	93.24	487	974000	91.96	5664	13328000
> % 80	100.00	1147	2294000	100.00	304	608000	97.31	4708	9416000
> % 90	100.00	857	1714000	100.00	193	386000	99.61	3283	6566000

## DEĞİNİLEN BELGELER

- David, M., 1977, Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- International Atomic Energy Agency, 1985, Methods for the Estimation of Uranium Ore Reserves, An Instruction Manual, Technical Reports Series No: 255, Vienna.
- Journel, A.G., 1989, Fundamentals of Geostatistics in Five Lessons, Volume 8 Short Course in Geology, American Geophysical Union, Washington, D.C.
- Journel, A.G. and Huijbregts, Ch. J., 1978, Mining Geostatistics, Academic Press, London.
- Matheron, G., 1971, The Theory of Regionalized Variables and its Application, Centre de Morphologie Mathématique, Fontainebleau.
- Saraç, C. ve Tercan, E., 1992, A geostatistical Case Study of the Kızılyüksek - Yataardıç Chromium Orebody, Geosund, no. 20, pp 219 - 229.
- İrkeç, T. ve Gençoğlu, H. 1994, Eskişehir - Sivrihisar - Sığircık/ Kurtşeyh Köyleri ÖİR 5342 No'lu sepiyolit sahasına ait maden jeolojisi raporu: MTA Gn. Md. Derleme 311s.



# Pamukkale (Hierapolis) de arkeologlar tarafından yanlış yorumlanan jeolojik yapılar: Kendiliğinden oluşan kanal travertenler ve sırt tipi travertenler

*Erhan Altunel*, Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

*Pamukkale (Hierapolis) bölgesi sıcak ve şifalı suları ve aktif olarak oluşan kar beyazı rengindeki travertenleri ile uzun yıllardan bu yana önemli bir yerleşim yeri olmuştur. Bölgedeki antik kent Hierapolis'in tarihini gün ışığına çıkarmak için Türk - İtalyan işbirliği ile yapılan arkeolojik çalışmalar 1957 yılından bu yana devam etmektedir. Bu ekibin 1957 - 1987 yılları arasında elde ettikleri sonuçlar Hierapolis Di Frigia 1957 - 1987 adlı kitapta toplanmıştır. Hierapolis ve yakın çevresinde yer alan sırt tipi travertenler ve insan yardımıyla 'doğal' olarak kendiliğinden oluşan bazı kanal travertenler yukarıda adı geçen kitapta arkeologlar tarafından yanlış yorumlanmıştır. Bu çalışmanın amacı, bu 'doğal' jeolojik yapıları tanımlamak ve oluşumlarını tartışmaktır.*

## Giriş

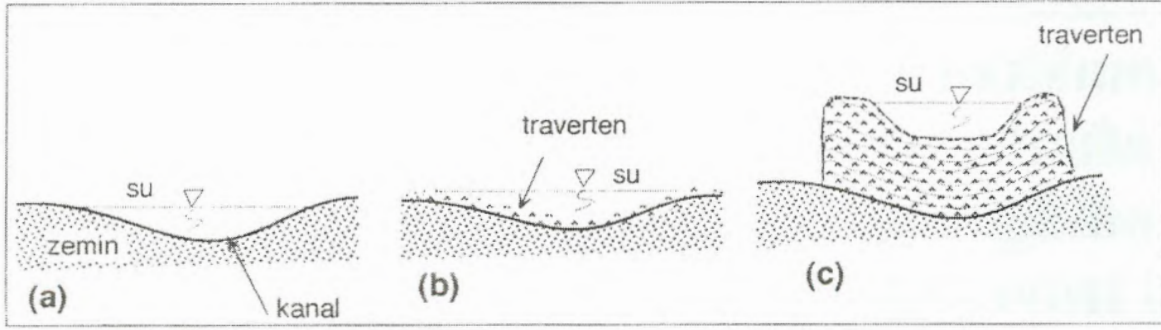
Bu çalışmanın amacı Pamukkale (Hierapolis) ve yakın çevresinde gözlenen bazı 'doğal' jeolojik yapıları tanımlamak ve oluşumlarını tartışmaktır. Bu nedenle, bölgenin tarihi hakkında burada ayrıntıya girilmemiştir. Pamukkale bölgesi, sıcak ve şifalı suları ve aktif olarak oluşan beyaz renkli travertenleri ile insanların dikkatini çok erken tarihlerden bu yana çekmektedir. Bölgede ilk olarak kimlerin yerleştiği kesin olarak bilinmemekle birlikte, Ritti (1987) ve McDonagh (1989)'a göre ilk yerleşim Seleucid'ler tarafından kurulmuş ve bölge daha sonra M.Ö. 190 yılında Attalid'ler tarafın-

dan ele geçirilmiştir. 'Kutsal Şehir' anlamına gelen Hierapolis, M.Ö. 129 yılında Roma İmparatorluğu'na bağlanmıştır. Antik şehir merkezinde günümüzde görülen kalıntıların çoğu Roma dönemindeki yapılaşmaya aittir (Bean, 1971). Şehir M.S. 12. yy da şimdiki sahibi Türkler'in eline geçmeden önce Bizans, Arap, Türkmen ve Selçuklu hakimiyetinde kalmış ve muhtemelen M.S. 12. yy'dan sonra çevre şehirlerdeki insanların Denizli'ye göç etmeleri sonucu, Hierapolis'te terk edilmiştir (McDonagh, 1989).

Pamukkale bölgesindeki sıcak sular çatlaklar ve fay segmentleri boyunca yüzeye çıkarlar. Kalsiyum karbonatça zengin olan bu sular, akış ve yüzey koşullarına göre değişik morfolojilerde travertenler biriktirirler. Altunel ve Hancock (1993) bölgedeki travertenler morfolojik özelliklerine göre 5 grupta sınıflandırmıştır. Bunlar: (1) teras tipi travertenler, (2) sırt tipi travertenler, (3) kendiliğinden oluşan kanal travertenler, (4) fay önü travertenleri ve (5) aşınmış traverten tabakaları.

Teras tipi travertenler, kaynaklardan çıkan sıcak suların yamaç aşağı akması sonucu oluşurlar. Sırt tipi travertenler, çatlaklar boyunca yüzeye çıkan sıcak suların çatlağın her iki tarafında akmaları sonucu oluşurlar. Sıcak suların kanalları içinde akmaları sırasında kanalın içinde ve kenarlarında traverten birikir ve kanal zamanla yükselir bu tür travertenler kendiliğinden oluşan kanal travertenler olarak tanımlanmıştır. Fay önü travertenler, normal faylar boyunca yüzeye çıkan suların fay önünde tavan blok üzerinde oluşturduğu travertenlerdir. Aşınmış traverten tabakaları, kenarları aşınmış ve diğer traverten kütleleri ile bağlantılı olmayan örtü şeklindeki travertenlerdir.

Bu çalışmada önce, çalışmanın konusu olan ve arkeologlar tarafından yanlış yorumlanan sırt tip ve kendili-



Şekil 1. Kendiliğinden oluşan kanal travertenlerin oluşumunu gösteren şematik kesit. a. kanalın ilk seviyesi, b. kanalın tabanında ve kenarlarında traverten çökelişi ve c. tabanda ve kenarlarda traverten çökelişinin devam etmesi sonucunda kanal ilk seviyesinden yukarıya yükselmiştir.

ğinden oluşan kanal travertenlerin oluşumları anlatılacaktır. Daha sonra, bu yapıların oluşum mekanizmaları ve detaylı saha gözlemleri ışığı altında arkeologların yorumladıkları yapılar olmadıkları tartışılacaktır.

## İnsan yardımıyla oluşan 'doğal' yapılar

Pamukkale'de traverten terasları oluşturan sıcak sular, şehir merkezinde kuzeybatı - güneydoğu uzanımlı bir kırık zonu boyunca yüzeye çıkarlar. Yüzeye çıkan kalsiyum karbonatça zengin suların kanallarda akması sonucu, kanalların tabanında ve kenarlarında traverten çökeltmektedir. Bu şekilde suyun kanallarda içinde uzun süre akmasıyla kanalların tabanlarında biriken travertenler kanalların başlangıçtaki yüzey seviyelerinden yükselmelerine neden olmaktadır (Şekil 1 ve 2). Duvar şeklinde bir görünüm sunan bu travertenler Altunel ve Hancock (1993) tarafından kendiliğinden oluşan kanal travertenler (self - built channel travertines) diye adlandırılmıştır. Kendiliğinden oluşan kanal travertenlerin oluşumunu sağlayan kanallar, teraslardan boşalan suların aktığı doğal kanallar ve insanların sulama amaçlı inşa ettikleri kanallar üzerinde gelişmişlerdir. Teraslardan boşalan suların oluşturduğu doğal kanal travertenler daha az sayıda ve genellikle traverten teraslarının alt kısımlarında gözlenmektedirler. Sıcak suların sulamada kullanılmaları nedeniyle oluşan kanal travertenlerin oluştuğu kanalların çoğu başlangıçta insanlar tarafından yönlendirilmiştir. Kanallar başlangıçta insanlar tarafından yapılmış ancak daha sonra suyun akmasıyla doğal olarak kendiliğinden oluşmaya devam ettikleri için bu tür yapıları tanımlamak amacıyla insan yardımıyla oluşan 'doğal' yapılar terimi kullanılmıştır.

## Doğal jeolojik yapılar

Aktif bir açılma tektoniğinin sonucunda oluşan Denizli Havzası (Westaway, 1993) ve bu havzada yer alan

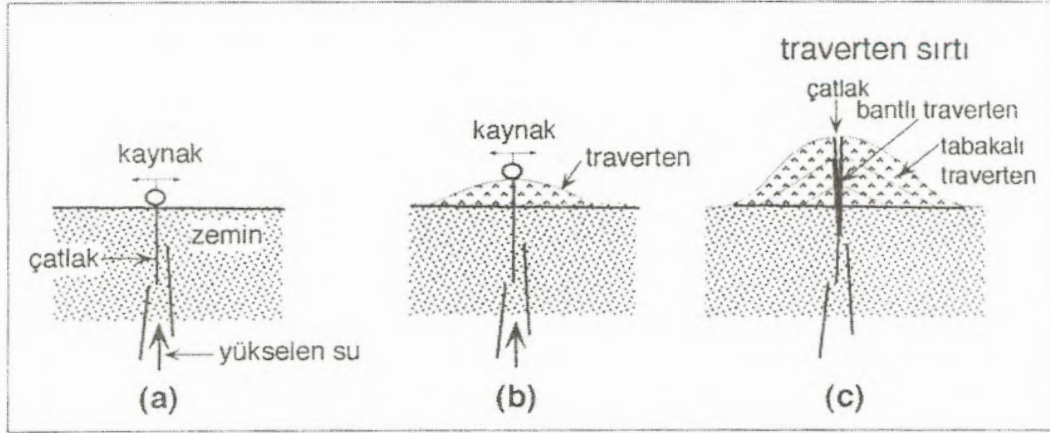
Pamukkale bölgesinde çok sayıda açılma çatlak gelişmiştir (Altunel, 1994). Bu bölgede görülen sıcak sular, bu çatlaklar boyunca yüzeye çıkarlar. Çatlaklar boyunca yüzeye çıkan sıcak sular çatlakların her iki tarafında akarlar (Şekil 3a ve b) ve zamanla çatlak boyunca traverten sırtı (fissure - ridge travertine) oluştururlar (Şekil 3c ve Şekil 4).

Sıcak su çatlak içinde yukarıya doğru yükselirken çatlak duvarlarında traverten biriktirir. Beyazdan - kırmızımsı beyaza değişen renklerde bantlar şeklinde olan bu travertenler çatlak duvarlarına paraleldirler (Şekil 3c). Bantlı travertenler sert ve sıkı dokuludurlar. Çatlaktan boşalan su, çatlakların her iki tarafına akar ve tabakalı travertenler oluşur. Traverten tabakalarının eğimleri sırtın ekseninden uzağa doğrudur. Yani sırt tipi travertenler bir nevi çatı şeklindedir (Şekil 3c).

Tabakalı travertenler genellikle sert, gözenekli olup yapı taşı olarak işletilmektedirler. Hierapolis'teki yapılarda kullanılan taşların büyük çoğunluğu çevredeki sırt tipi travertenlerden elde edilmiştir. Çatlaklarda oluşan bantlı travertenler ise tabakalı travertenlere oranla daha sıkı ve sert olup süs taşı olarak işletilmektedirler.



Şekil 2. Yaklaşık 10 m yüksekliğinde kendiliğinden oluşan kanal traverten.



Şekil 3. Sırt tipi travertenin oluşumunu gösteren şematik kesit. a. çatlakın ilk oluştuğu durum, b. traverten sırtının oluşumu ve c. traverten sırtının bugünkü durumu.

## Tartışma ve sonuç

Hierapolis, Denizli havzasını kuzeydoğuda sınırlayan kuzeybatı - güneydoğu uzanımlı Pamukkale normal fayının düşen bloğu üzerinde yer almaktadır (Şekil 5). Dolayısıyla şehrin kuzeyi ve doğusu yükseklikler ile sınırlıdır. Bu yüksekliklerden süzülerek toplanan yüzey suları küçük dereler şeklinde Denizli havzasının uzun eksenine dik bir şekilde ulaşırlar (Şekil 5). Bunlardan Çaltılı Dere Hierapolis'in kuzeyinde, Kadı Deresi de şehrin güneyinde yer alır (Şekil 5).

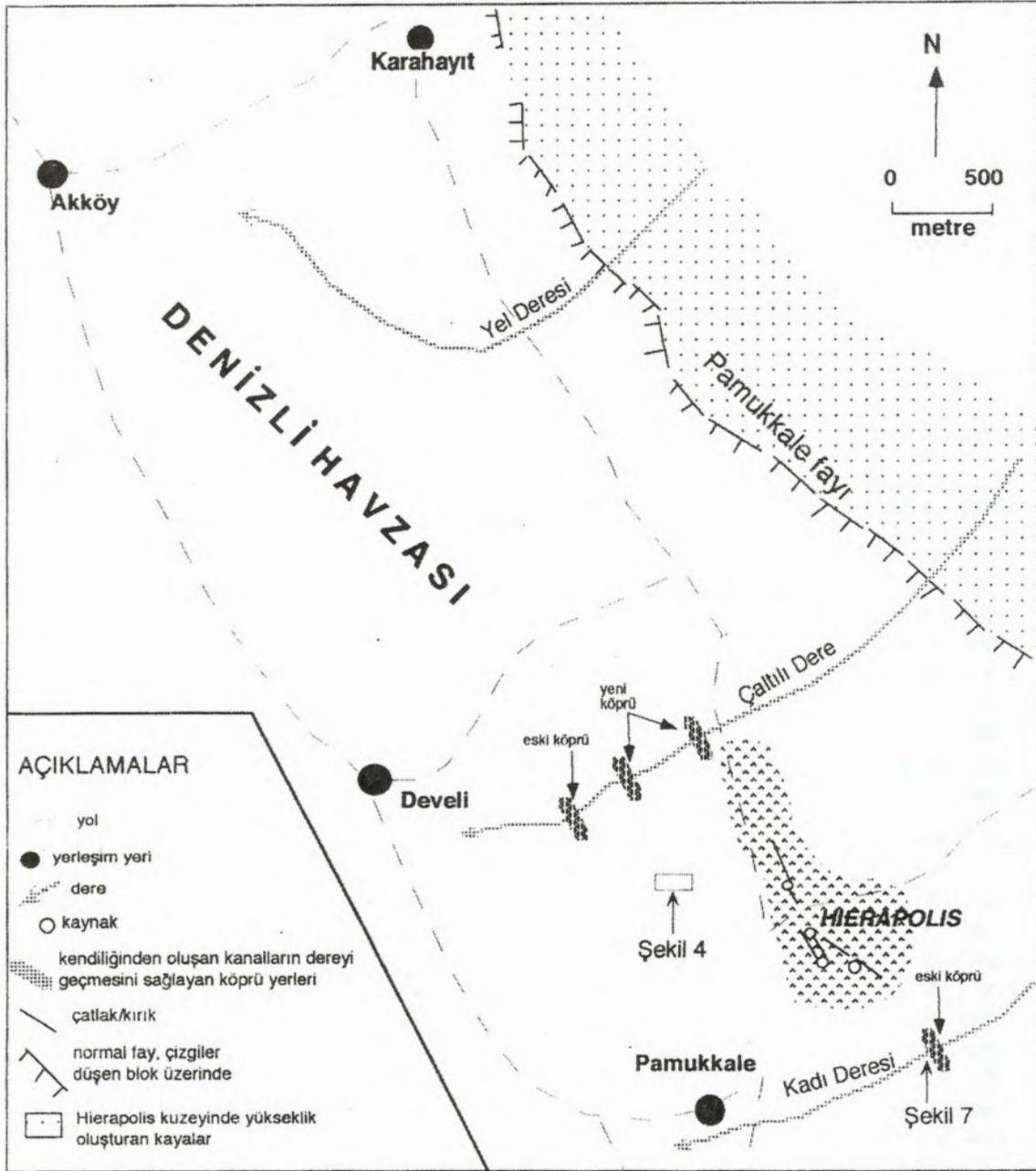
Pamukkale'deki traverten teraslarını oluşturan sıcak su kaynakları antik şehir merkezinde yer alırlar (Şekil 5). Bu suların bir kısmı günümüzde olduğu gibi tarihsel devirlerde de yakın bölgelerdeki tarım alanlarını sulamak için kullanılmışlardır. Şehir merkezindeki kaynaklardan çıkan suyu şehrin dışında yer alan tarım alanlarına taşıyabilmek için suyun Çaltılı ve Kadı derelerini karşıdan karşıya geçmesi gerekir. Örneğin, günümüzde Çaltılı Dereyi karşıdan karşıya geçen iki tane kendiliğinden oluşan kanal mevcuttur (Şekil 5). Su, ağaçtan yapılmış oluklar aracılığıyla dereyi geçmiştir, ancak suyun çökelttiği traverten zamanla altta bulunan ağaçları kaplamıştır. Bugün bu oluşum duvar şeklindeki kanalların dereyi geçtiği görünümü vermektedirler (Şekil 6).

Aynı şekilde, tarihsel devirlerde de sulama suları bu dereleri kemer veya köprü aracılığıyla geçişlerdir. Örneğin, Hierapolis'in güneyindeki Kadı Dere üzerinde bulunan ancak günümüzde yıkık olan kemer aracılığıyla dereyi geçen bir kanal mevcuttur (Şekil 5 ve 7). Ancak bu kemer Ferrero (1987) tarafından Colossai ve Laodicea'ya giden yol olarak yorumlanmıştır (Şekil 8). Genişliği 1 m den daha az olan bu yapının Romalılar zamanında yol olarak kullanılması mümkün görülmektedir. Ayrıca derenin her iki tarafında birbirinin devamı niteliğinde yaklaşık 5 m yüksekliğinde kendili-

ğinden oluşan kanal travertenler mevcuttur (Şekil 7). Dolayısıyla bu yapı sulama suyu taşıyan bir kanalın dereyi karşıdan karşıya geçmesini sağlayan bir kemerdir. "Bir su kanalının dereyi karşıdan karşıya geçebilmesi için bu kadar güzel görünlü bir yapıya neden gerek duyulsun?" gibi bir soru sorulabilir. Bu yapı Hierapolis şehrinin güney giriş kapısına çok yakındır. Dolayısıyla şehre gelen yabancılar veya ziyaretçilerin ilk karşılaştığı bu yapı olacağından muhtemelen göze hoş görünmesi dikkate alınmıştır. Ayrıca Çaltılı Dere üzerinde de derenin her iki tarafında birbirinin devamı niteliğinde kanal travertenleri görülmektedir (Şekil 5). Ancak burada kanalın dereyi geçmesini sağlayan yapıya ait kalıntılar aşınarak yok olmuştur. Sırt tipi travertenler Hierapolis antik kentinin kuzeybatısında yaygın olarak gelişmişlerdir. Yukarıda da açıklandığı gibi, çatlaklar boyunca yükselen sıcak suların çökelen travertenler çatlak boyunca traverten sırtı oluştururlar. Bu traverten sırtlarının uzunlukları birkaç metre ile 1 km arasında, taban genişlikleri 1 m ile birkaç on metre ve yüzeyden yükseklikleri yaklaşık 0.5 m ile birkaç



Şekil 4. Doğu - batı uzanımlı çatlak sırtı traverten. Sırtın batı ucuna doğru (muhtemelen Roma dönemine ait) bir taş ocağı mevcuttur. Lokasyon için Şekil 5'e bakınız.



Şekil 5. Hierapolis ve yakın çevresinin basitleştirilmiş haritası. Oklar ile işaret edilen Şekil 4 ve Şekil 7, fotoğrafların yerlerini göstermektedir.

metre arasında değişmektedir. Hierapolis'in yaklaşık 300 m batısında yer alan yaklaşık 400 m uzunluğunda, 10 m yüksekliğinde ve 20 m genişliğindeki bir traverten sırtı (Şekil 4 ve 5) D'Adria (1987) tarafından tarım alanlarını birbirinden ayıran kanal olarak yorumlanmıştır (Şekil 9).

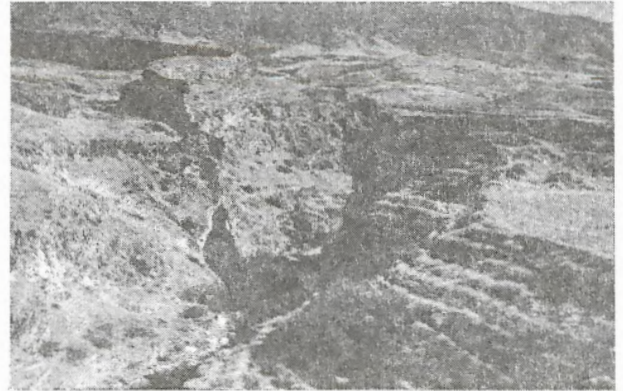
Hierapolis'in bulunduğu yerden bakıldığında kanal gibi görülen bu traverten sırtı yakından incelendiğinde, sırtın uzun eksenini boyunca travertenleri oluşturan suyun yüzeye çıkmasını sağlayan merkezi çatlaklar mevcuttur. Çatlakların içinde çatlak duvarlarına paralel

bantlı travertenler gelişmiştir. Bu bantlı travertenler, suyun çatlak içinde yukarıya doğru yükselmesi sırasında çökelen travertenlerdir. Sırtın kanatlarını oluşturan travertenler tabakalıdır ve tabakaların eğimleri sırt ekseninden dışa doğdudur, yani çatı şeklindedir. Bu traverten sırtının batı kısmı (muhtemelen Romalılar döneminde) taş ocağı olarak işletilmiştir (Şekil 4). Bu gözlemler bu yapının doğal olarak oluşmuş bir yapı yani jeolojik bir yapı olduğunu açıkça ortaya koymaktadırlar.

Sonuç olarak, Pamukkale bölgesini uzun yıllardan



**Şekil 6.** Çaltılı Dereyi karşıdan karşıya geçen kendiliğinden oluşmuş kanal traverten. Günümüzde su kanal içinde akmaya devam etmektedir.



**Şekil 7.** Kadı Deresini bir kemer ile karşıdan karşıya geçen yaklaşık 5 m yüksekliğinde kendiliğinden oluşan kanal traverten. Kemer günümüzde yıkılmıştır ancak kemere ait kalıntılar derenin her iki tarafında mevcuttur (fotoğrafta farkedilmiyor). Lokasyon için Şekil 5'e bakınız.



*Sul ponte romano ad arcata unica passava la strada per Laodicea e Colossai.*

Colossai ve Laodicea'ya yol, Romalılara ait blok köprüden geçirdi.

The road to Laodicea and Colossai crossed the roman bridge, built of stone blocks.

**Şekil 8.** Şekil 7'deki kemerin olduğu yerin Hierapolis Di Frigia'daki fotoğrafı ve Ferrero (1987) nun şekile ait açıklaması. Bu şekilde de derenin her iki tarafında kendiliğinden oluşan kanal travertenler görülmektedir. (Hierapolis Di Frigia, s. 22'den alınmıştır).

bu yana önemli bir yerleşim yeri kılan sıcak ve şifalı suların çökelen kalsiyum karbonat, akış koşulları ve çökeltme ortamlarına bağlı olarak değişik şekillerde çöker. Yukarıda ayrıntılı açıklandığı üzere, bu sular kanallarda aktıklarında duvar şeklinde traverten yapıları oluştururken, yüzeye çıktıkları çatlakların hemen ağızlarında traverten sırtları oluştururlar. Bu yapıların oluşum mekanizmaları ve detaylı saha gözlemleri ışığı

*Il ponte romano ad arcata unica passava la strada per Laodicea e Colossai.*

The road to Laodicea and Colossai crossed the roman bridge, built of stone blocks.



**Şekil 9.** Şekil 4'deki traverten sırtının Hierapolis Di Frigia'daki fotoğrafı ve D'Adria (1987) nün şekile ait açıklaması. Traverten sırtı fotoğrafın sol alt köşesinden başlayıp ortasına doğru uzanıyor. Sırt eksenini boyunca merkezi çatlak şeklinde farkedilebiliyor. (Hierapolis Di Frigia, s. 20'den alınmıştır).

ğında Hierapolis Di Frigia 1957 - 1987 adlı kitapta yol olarak yorumlanan yapının (Şekil 8) kendiliğinden oluşan kanal travertenin dereyi karşıdan karşıya geçtiği bir kemer, tarım alanlarını birbirinden ayıran kanal ola-

rak yorumlanan yapının ise (Şekil 9) sırt tipi traverten olduğu sonucuna varılmıştır.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

- Altunel, E., 1994, Active Tectonics and the Evolution of Quaternary Travertines at Pamukkale, Western Turkey. Ph. D. Tezi, yayınlanmamış, Bristol Üniversitesi, Bristol, UK.
- Altunel, E and Hancock, P.L., 1993, Morphological features and tectonic setting of Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey. Geol. J., 28, 335 - 346.
- Bean, G., 1971, Turkey Beyond the Maeander. Ernest Benn, London, 267 pp.

- D'Adria, F., 1987, Hierapolis bölgesinin coğrafik ve topoğrafik durumu. In: Hierapolis Di Frigia 1957 - 1987. Fabri, Turin, 15 - 20.
- Ferrero, D.D., 1987, Yolcular. In: Hierapolis Di Frigia 1957 - 1987. Fabri, Turin, 21 - 26.
- McDonagh, B., 1989, Turkey: The Aegean and Mediterranean Coasts. A and C Black, London, 597 p.
- Ritti, T., 1987, Hierapolis tarihi. In: Hierapolis Di Frigia 1957 - 1987. Fabri, Turin, 27 - 30.
- Westaway, R., 1993, Neogene evolution of the Denizli region of western Turkey. Journal of Structural Geology 15, 37 - 53.

# Yerbilimlerinde mikroanalitik yöntemler

A. Doğan Paktunç, CANMET, Min. and Mineral Sci. Lab. 555 Boo. Str. Ottawa

Mikroanaliz, mineral ve materyallerin bir ile birkaç yüz mikron küp arasında değişen kısımlarının elementsel veya izotopik analizi olarak tanımlanabilir. Yerbilimlerinde ve metallurjide kayaç ve cevher örnekleri içerisindeki minerallerin mikroanalizleri için kullanılan aletler şöyle sıralanabilir: elektron mikroprob (EPMA), enerji yayılımı spektrometre donanımlı taramalı elektron mikroskop (SEM - EDXA), proton mikroprob (micro - PIXE), iyon mikroprob (SIMS), lazer mikroprobları, akselaratör kütle spektrometresi, X-ışınları floresans mikroprobu (XRMF) ve sinkrotron X-ışınları floresansı (SXRF). Elektron mikroprob, minerallerin birkaç mikron büyüklüğündeki yerlerinin major ve minör element değerlerinin kantitatif olarak saptanmasında kullanılırken, taramalı elektron mikroskop'a bağlı enerji yayılımı x-ışını mikroanalizi (SEM - EDXA) ise esas olarak major ve minör elementlerin yarı kantitatif ve kalitatif analizlerinde kullanılmaktadır. Oksijen, karbon ve bunun gibi atom numarası 11'den küçük hafif elementlerin duraylı ve hassas bir şekilde kantitatif analizleri bu tekniklerle yapılamamaktadır. Proton ışınlarının oluşturulan X-ışınları emisyonu prensibine ( $\mu$ PIXE) bağlı proton mikroprob, minerallerin iz element miktarlarının kantitatif olarak saptanması amacıyla geliştirilmiş bir teknik olup, en düşük saptama derecesi 1 ile 10 ppm arasında değişmektedir. İyon mikroprob, bir ilksel iyon ışın demetinin örneğe çarpması ile oluşturulan ikincil iyonların kütle spektrometresinde analizi prensibine (SIMS) dayanan bir alet olup, minerallerin iz element analizlerinde, hafif elementlerin (atom numarası  $\leq 10$ ) kantitatif analizleri ve izotop oranlarının saptanmasında kullanılmaktadır. Analitik duraylılıkları % 5 ile 10 arasında değişen bu tekniğin en düşük saptama değerleri

elemente ve mineral cinsine bağlı olarak birkaç yüz ppb'den yaklaşık 1 ppm'e kadar değişmektedir. Lazer mikroprobları ise lazer ışınlarınınca örneklenen materyallerin değişik kütle spektrometrelerce analizi prensibine dayanmaktadır. Lazer mikroproblarının kullanım alanları kullanılan kütle spektrometresinin cinsine bağlı olarak iz elementlerin kantitatif analizlerinden duraylı ve radyojenik izotop oranlarının saptanmasına kadar değişebilmektedir. İyon mikroprob ve lazer mikroproblarının kantitatif analizlerde etkin ve yaygın bir kullanım alanı bulmaları, aletlerin gerekli hassasiyette kalibrasyonlarının yapılmasına ve uygun standartların bulunmasına bağlı olmaktadır.

## Giriş

Mikroanaliz, bir ile bir kaç yüz mikron küp hacmindeki yerlerin mikroışınlar aracılığı ile analizi olarak tanımlanabilir. Yerbilimleri, materyal bilimleri, metallurji, elektronik, çevre bilimleri, biyoloji ve tıp alanlarında geniş bir kullanım alanı bulan mikroanalitik teknikler küçük yerlerin analizlerinin yanısıra mikroskopik bölgelerin karakterize edilmesi ve yapısal özelliklerinin incelenmesi gibi amaçlarla da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Minerallerin ve materyallerin mikrometre ve daha düşük seviyelerde özelliklerinin incelenmesi ve tanımlanabilme gereksinimleri mikroanaliz konusundaki gelişmeleri zorunlu kılmıştır. Mikroanaliz ilk olarak 1940 larda elektron ışını ve optik mikroskop kullanımıyla gerçekleştirilmiştir. İlk elektron mikroprob 1949'da Castaing ve Guinier tarafından imal edilmiştir. Ticari amaçlı ilk elektron mikroprob ve taramalı elektron mikroskop yerbilimleri, metallurji ve materyal bilimlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojik ilerlemeler ve aletlerin kullanım alanlarındaki gelişmelere paralel olarak mikroanalitik yöntemler bu süre içinde hızlı bir gelişme kaydetmiştir. Mikroanaliz amacıyla kullanılan teknikler şöyle sıralanabilir: elektron mikroprob, mikro-

analitik taramalı elektron mikroskop, iyon mikroprob, proton mikroprob, lazer mikroproblar, akselaratör mikroprob, X-ışınları mikrofloresansı ve sinkrotron X-ışınları floresansı.

Bu yazının amacı mikroanalitik yöntemler ve aletler konusunda öz bir bilgi vermek, aletlerin kullanım alanları, avantaj ve dezavantajlarını tartışmak ve bu konudaki son gelişmeleri incelemek ileriye yönelik yapılan araştırmalar konusunda bilgi sağlamaktır.

## Elektron Mikroprob (EPMA)

Elektron mikroprob veya elektron prob mikroanalizi, mikroışın teknikleri arasında en güçlü, yerleşmiş ve en yaygın olarak kullanılan bir teknik olarak değerlendirilebilir. Enerji yayılımı spektrometresi ile donanmış taramalı elektron mikroskoplar da (SEM - EDXA) elektron mikroprob kadar uygun olarak kullanılmaktadır.

Bu tekniğin esas kullanım alanı minerallerin ve katı materyallerin ana ve minör element miktarlarının kantitatif olarak belirlenmesidir. EPMA ve SEM - EDXA'nın rezolüsyonları yaklaşık 1 µm civarında olup analitik doğrulukları element miktarlarının %1 ile %2'si arasında değişmektedir. En düşük saptama limitleri kullanılan detektör tipine, analiz koşullarına ve element cinsine bağlı olarak değişmektedir. Optimum analiz koşullarında en düşük saptama limiti yaklaşık 200 ppm olarak belirlenebilir.

Bir elektron mikroprob esas olarak bir elektron kolonu, bir ikincil elektron (SE) detektörü, bir geri dağılımlı elektron (BSE) detektörü, bir ile dört adet arasında değişen dalgaboyu yayılımı spektrometreleri, bir enerji yayılımı spektrometresi ve bir analizörden oluşmaktadır. Yaygın olarak kullanılan elektron ışın kaynakları tungsten veya LaB<sub>6</sub> filamentlerinden oluşmaktadır. Elektron ışın demeti vakum altında mercekle ve kolimatörlerden geçirilerek hızlandırılmakta, inceltilmekte ve örnek üzerine odaklaştırılmaktadır. Örneğe çarpan ışın demeti yaklaşık 1 µm çapında olmakta ve bu büyüklük analiz ve örnek cinsine bağlı olarak ayarlanabilmektedir. Örneğin, Na gibi uçucu nitelikte elementlerin yaygın olduğu örnek analizlerinde, ışın çapının yüksek tutulması gerekmektedir.

Elektron ışın demeti örneğe çarpınca, Auger elektronlar, ikincil elektronlar ve geri dağılımlı elektronlar oluşmakta ve X-ışınları şeklinde elektromanyetik radyasyon ortaya çıkmaktadır. Bunlardan ikincil elektronlar, geri dağılımlı elektronlar ve X-ışınları, EPMA ve SEM-EDXA tekniklerinin esasını oluşturmaktadırlar.

İkincil elektronlar örneğin bombardımanı sonucunda, örnek içerisindeki atomlardan fırlatılan elektronlar

olup çok düşük enerjiye sahiptirler. Bundan dolayı, sadece örnek yüzeyine yakın yerlerden üretilen elektronların saptanabilme şansları olmaktadır. Ayrıca bu düşük enerjili ikincil elektronların örneğin röliyefi yüksek yerlerinden saptanabilme şansları daha yüksek olmaktadır. Çukur yerlerden itibaren oluşan ikincil elektronlar örnek yüzeyine çıkmadan örnek içerisinde enerjilerini yitirebilmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı, ikincil elektronlar, SEM'de örneklerin yüzeyel özelliklerini gösteren imaj oluşturulmasında kullanılmaktadır. İkincil elektron imajlarında, parlak olarak beliren yerler örneğin yüksek röliyefe sahip yerlerini göstermekte, karanlık olarak beliren yerler ise örneklerin çukur kısımlarını temsil etmektedir.

Örneğe penetre eden ilksel elektronların büyük bir kısmı (yaklaşık %30 kadarı) sonuçta örnekten geri dağılımla kaçabilmektedir. Bu geri dağılımlı elektronların miktarı örneğin ortalama atomik numarasına bağlı olarak değişmektedir. Yüksek atomik numaralı element içeren örnekler minerallerin elektronlarca penetrasyonu daha zor olduğu için, geri dağılımlı elektronların büyük bir kısmı geri kaçabilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı, geri dağılımlı elektronlar örneklerin bileşimsel imajlarının oluşturulmasında kullanılmaktadır.

Elektron çarpması örnekteki atomların iç yörüngelerindeki elektronların fırlamasına yol açmaktadır. İç yörüngede oluşan elektron boşlukları daha yüksek enerjili yörüngelerdeki elektronlarca doldurulmaktadır. Böylece, daha düşük enerjili bir konuma düşen elektronlar, enerji farklarını elektromanyetik radyasyon şeklinde ortaya çıkarmaktadır. Bu şekilde oluşan elektromanyetik radyasyonun miktarları elektronik seviyeler arasındaki enerji farkına eşdeğer olduğu için, kaynak atomun tanımlanması olası olmaktadır. X-ışınları şeklinde ortaya çıkan elektromanyetik radyasyonlar dalgaboyu yayılımı ve enerji yayılımı spektrometrelerce saptanmakta ve analizi yapılmaktadır.

Dalgaboyu yayılımı ve enerji yayılımı prensiplerine dayanan iki tip X-ışını detektörü vardır. Bunlardan dalgaboyu yayılımı spektrometresi (WDS) bir kaç elektron volt ve daha yüksek enerji rezolüsyonuna sahip olup, enerji yayılımı spektrometresi (EDS) ise 150 eV ve daha yüksek enerji rezolüsyonuna sahiptir. Bundan dolayı, kompleks spektrumlardaki birbirine yakın çizgiler ve özellikle kuvvetli çizgiler yanında yeralan zayıf çizgilerin duyarlı bir şekilde birbirlerinden ayrılabilmesi WDS ile daha kolay olarak gerçekleştirilebilmektedir. Bazı elementlerin güvenilir kantitatif analizleri EDS ile gerçekleştirilememektedir. Buna ek olarak, dalgaboyu yayılımı spektrometreleri daha iyi sinyal - taban oranına sahip oldukları için, minör ve iz elementlerin analiz-



lerinde en düşük saptama seviyeleri EDS'e kıyasla çok daha düşük olmaktadır. Analitik doğruluk derecesi dalgaboyu yayılımı spektrometrelerinde enerji yayılımı spektrometrelerine kıyasla daha büyüktür. Bu iki tip detektörler arasındaki diğer bir fark ise hafif elementlerin analizlerinde olmaktadır. Atom numarası 4 (Be) ve daha yüksek elementlerin kantitatif analizi WDS ile yapılabilmektedir, EDS ile atom numarası 11 (Na) ve daha yüksek elementlerin kantitatif analizleri gerçekleştirilebilmektedir. WDS ile bir anda sadece bir element analizi yapılabilmektedir. EDS ise tüm enerji spektrumu elde edildiği için aynı anda hemen hemen tüm elementlerin analizleri olası olmaktadır. Analiz süresi WDS'te genellikle 10 ile 40 saniye arasında değişirken EDS analizi için yaklaşık 200 saniye kadar bir süre gerekmektedir.

Tipik bir elektron mikroprobu 3 ile 4 arasında WDS içerdiği için aynı anda spektrometre sayısı kadar elementin analizi yapılabilmektedir. Her bir WDS birden fazla kristal içerebilmekte ve bu nedenle de kristal pozisyonları değiştirilerek arka arkaya aynı noktaların analizi yapılabilmektedir.

Geleneksel EDS'lerin Be pencereleri Na'dan daha hafif elementlerden gelen radyasyonları absorbe ettiği için hafif elementlerin EDS ile analizleri olası değildir. EDS tekniğindeki son gelişmeler penceresiz veya X-ışınlarına karşı geçirgen olan pencereden oluşan EDS detektörlerinin yapılmasını gerçekleştirir. Bu nedenle karbon dahil hafif elementlerin kantitatif veya yarı kantitatif analizlerini olası kılmıştır.

WDS'lerdeki yeni teknolojik gelişmeler sayım hızını arttırmış ve ağır elementlerden doğan karışımları azaltmıştır. Her ne kadar tabakalı sentetik kristal mikro yapıları hafif elementlerin WDS ile analizlerini daha duyarlı bir hale getirmiş olsa da, sodyum'dan hafif elementlerin güvenilir olarak kantitatif analizleri henüz gerçekleşmiş değildir.

SEM konusundaki son gelişmeler örneklerin düşük vakumlarda veya normal atmosferik basınç koşullarında incelenmesini sağlayıcı yönde olmaktadır. Çevresel SEM (Environmental SEM) ve değişken basınçlı SEM (variable pressure SEM) olarak tanımlanan bu tip SEM'ler özellikle su içeren materyallerin ve örneklerin doğal hallerinde, parlatılmadan ve karbon kaplanmadan incelenmesini sağlamaktadır.

## Proton Mikroprob / Mikro - PIXE

Mikro - PIXE (Proton Induced X-ray Emission / proton kaynaklı X-ışınları emisyonu) veya nükleer mikroprob olarak tanınan bu teknikte, örneklerin mikroanalizleri 2 ile 4 MeV gücündeki bir elektrostatik akse-

leratörde üretilen proton ışınları ile yapılmaktadır. Elektron prob mikroanalizinin proton eşdeğeri olarak tanımlanabilecek bu teknikte, proton ışın demeti örnek içerisine penetre etmekte ve örnekteki atomların iç yörüngelerinden elektronların fırlamasına yol açmaktadır. Elektron mikroprob kısmında bahsedildiği gibi, bombardıman sonucu oluşan elektron kaybı X-ışınlarının oluşmasına yol açmaktadır. X-ışınlarının bir detektörce algılanarak sayılması ile de örneklerin mikroanalizleri gerçekleştirilmektedir. Bu teknikle atom numarası 11'den büyük elementlerin analizleri yapılabilmektedir.

Proton ışınları vakum altında örnek üzerinde 5 ile 15  $\mu\text{m}^2$  büyüklüğünde bir yere odaklanılmaktadır. Proton ışınının çapı 5  $\mu\text{m}$ 'a kadar küçültülebilmekte, yalnız analiz süresi proton ışınının büyüklüğü ile ters orantılı olduğundan dolayı, 15  $\mu\text{m}$ 'luk ışın kullanımı ile bir optimizasyon sağlanmaktadır. Bu koşullar altında, analiz süresi 5 ile 15 dakika arasında değişmektedir. Her ne kadar proton ışınlarının örnek üzerinde daha küçük yerlere (ör. 1  $\mu\text{m}$ ) odaklaştırılması olası olsa bile, 1  $\mu\text{m}$  büyüklüğündeki yerlerden oluşturulan X-ışınları normal koşullarda kantitatif analiz için yeterli olmamaktadır. Son gelişmeler ve değişik özellikte aletlerin kullanımı ve bazı çalışma koşulları altında, proton ışın demetinin çapı 1  $\mu\text{m}$ 'a kadar küçültülebilmektedir (ör. Roberts ve diğ., 1995, Zhou ve diğ., 1995). Proton ışını yoğunluğundan dolayı örnek içerisinde yaklaşık 40 ile 50  $\mu\text{m}$  derinliğe kadar penetre edebilmektedir. Bu derinlik, örneğin cinsine ve algılanan elemente göre değişmektedir. Örneğin 3 MeV'luk proton ışını, kromit mineralleri içerisinde 12  $\mu\text{m}$  kadar bir derinliği etkileyerek Ni analizini olası kılmaktadır. Bu derinlik kuvars mineralinde 40  $\mu\text{m}$ 'a kadar çıkmakta ve bu nedenle, parlatılmış ince kesitlerin en az 50  $\mu\text{m}$  kadar bir kalınlıkta olması gerekmektedir.

Mikro - PIXE analiz tekniği özellikle iz elementlerin analizi için geliştirilmiştir. Elektron ışını yerine proton ışını kullanılması ışın - örnek temasından dolayı ortaya çıkan sürekli veya temel radyasyonunun (bremstrahlung) enerji spektrumu üzerindeki etkisini azaltmaktadır. Sürekli radyasyonun şiddeti parça kütesinin karesi ile ters orantılı olduğundan dolayı, elektronlara göre oldukça ağır olan protonlar, çok daha düşük sürekli radyasyon oluşturmaktadır. Sürekli radyasyonun azlığı, iz elementlerin analizlerinde önemli bir rol oynayan pik - taban farkını arttırmakta ve dolayısı ile proton ışını ile daha düşük saptama limitleri elde edilmesini sağlamaktadır.

Jeolojik uygulamalarda minerallerin iz element analizlerinin yanısıra, sıvı kapanımlarının analizlerinde denenmiş olan bu teknikle başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Ryan ve diğ., 1995).

Mikro - PIXE tekniği ile en düşük saptama limitleri elementin cinsine bağlı olarak 1 ile 20 ppm arasında değişmektedir. Örneğin bu seviye Campbell ve diğ. (1990)'ce atom numarası 30 ile 40 arasındaki elementler için yaklaşık 1 ppm civarında olarak belirlenmiştir. Bu miktar pentlanditin Pd, Rh ve Ru analizinde 3 ile 4 ppm arasında değişmektedir (Paktunç ve diğ., 1990). Benzer olarak değişik silikat ve oksit minerallerinin Ni, Zn, Ga, Zr ve Y analizleri 2 ile 10 ppm'in üzerindeki seviyeler için yapılabilmektedir (Paktunç ve Cabri, 1995, yayımlanmamış). Riyolitik, bazaltik ve sentetik cam örneklerinden itibaren saptanmış en düşük analiz seviyeleri 2 ile 22 ppm arasında değişmektedir (Czamanske ve diğ., 1993, Mosbah ve diğ., 1995). Analiz doğruluk derecesi ise iz elementler için %10'un altında bulunmaktadır.

Mikro - PIXE tekniği ile iz elementlerin örnek içerisindeki dağılımları da incelenebilmektedir (ör. Campbell ve diğ., 1995, Malmqvist, 1995, Przybylowicz ve diğ., 1995). Taramalı elektron mikroskopuna benzer şekilde, mikro - PIXE tekniğinde de örneğe penetre eden protonların bir kısmı örnekten geri saçılmakta ve bu geri dağılan protonlar örneklerin bileşimleri konusunda bilgi verebilmektedir.

Mikro - PIXE'nin yanısıra, mikro - PIGE (Proton Induced Gamma - ray Emission) olarak tanımlanan, proton kaynaklı gamma - ışını emisyonunun algılanması prensibine dayanan bir teknik vardır. X-ışınları materyallerdeki atomların proton bombardmanı ile elektron yapılarının etkilenmesi sonucunda ortaya çıkarken, gamma - ışınları çekirdeğin etkilenmesinden dolayı oluşmaktadır. Bu teknikte, X-ışını detektörü yerine Ge (Li) veya NaI (TI) gibi gamma - ışını detektörleri kullanılmakta ve atom numarası 14'den küçük elementlerin duyarlı analizleri gerçekleştirilebilmektedir.

## İkincil İyon Kütle Spektrometresi (SIMS)

İkincil iyon kütle spektrometresi (SIMS) tekniği, örneklerin ilksel iyon ışınları ile bombardmanı sonucu oluşturulan ikincil iyonların, kütle spektrometresi ile analizleri prensibine dayanmaktadır. İlksel iyon olarak genellikle Cs<sup>+</sup> ve O<sup>-</sup> iyonları kullanılmaktadır. İlksel iyon ışın demetinin çapı 10 ile 60 µm arasında değişmekte ve iyonların örneğe penetrasyonları sadece 2 µm kadar olmaktadır. İkincil iyonlar örnek yüzeyine yakın yerlerden oluşturulduğu için, SIMS esas olarak bir yüzey analiz tekniği olarak değerlendirilmektedir. Yüzey analizi özelliğinden dolayı da yarı - iletken endüstrisinde, mikro - devrelerin ve materyallerin incelenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. SIMS'in yerbilimlerdeki uygulama alanları şöyle sıralanabilir:

- iz elementlerin kantitatif analizleri,
- hafif elementlerin kantitatif analizleri,
- izotop oranlarının saptanması,
- yüksek rezolüsyonlu izotop dağılım haritası imajlarının oluşturulması,
- derinlik profili oluşturulması.

Bu teknikte, iz elementlerin milyarda bir (ppb) seviyesindeki analizleri mümkün olabilmektedir. Örneğin, silikat mineralleri içerisindeki nadir toprak elementlerinin (REE) ve diğer iz elementlerin analizleri ve sülfür mineralleri içerisinde Au, Ag, Pt ve Pd analizleri başarılı olarak yapılabilmektedir. Bunların yanısıra, elektron mikroproble kantitatif analizleri mümkün olmayan Li, Be, B v.b. atom numarası 10'dan küçük elementlerin analizleri SIMS ile yapılabilmektedir. SIMS'in diğer bir yaygın kullanım alanı minerallerin izotop oranlarının saptanması olarak verilebilir. Örneğin bu teknikte, <sup>11</sup>B/<sup>12</sup>B, <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C, <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O, <sup>34</sup>S/<sup>32</sup>S, <sup>187</sup>Os/<sup>186</sup>Os, <sup>232</sup>Th/<sup>238</sup>U, <sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb ve <sup>238</sup>U/<sup>235</sup>U oranları saptanabilmektedir.

Bu tekniğin dezavantajlarından birisi diğer tekniklere kıyasla kullanımının güç olmasıdır. Buna ilaveten, kantitatif analizler standart yetersizliği nedeniyle kolay ve güvenilir bir şekilde elde edilememektedir. İz element standartların yetersizliği bu konuda en büyük sorunu oluşturmaktadır. Bu tekniğin doğruluk derecesi 1 ppm seviyesindeki nadir toprak elementleri için yaklaşık % 10 kadar olmaktadır. Li, Be ve B gibi hafif elementlerin düşük ppm seviyelerindeki analizleri için, analitik belirsizlik miktarı % 20'nin altında olmaktadır.

Kullanılan kalibrasyon yöntemlerinden bir diğeri ise örneğe iyon yerleştirimi tekniğidir (ion implantation technique). Bu teknikte, bilinen miktarda bir element, analizi yapılacak örnek üzerine yaklaşık 1 µm kalınlığında yerleştirilmektedir. Sürekli olarak aynı noktanın ışınlanması sonucunda yüzeydeki standartın yitirimini takiben örneğin analizi gerçekleştirilmektedir. Standart ile örnekten gelen ikincil iyon sinyallerinin ayrımı sinyal piklerinin karakteristik gaussian şekliinden itibaren yapılarak, aynı koşullar altında aletin kalibrasyonu ve kantitatif analiz hassas olarak gerçekleştirilebilmektedir.

İyon yerleştirim SIMS'in ilksel iyon kaynağı ile gerçekleştirilebilmektedir. Yalnız standart SIMS'lerin ilksel iyon kaynaklarının düşük enerjili oluşu, kantitatif analiz için gerekli hassasiyette iyon yerleştirimini olası kılmamaktadır. Bu nedenle, iyon yerleştirimi genellikle yüksek enerjili iyon akselaratörlerde yapılmaktadır.

Bu kalibrasyon tekniği, ay örneklerinin ve değişik sülfid minerallerinin iz element analizlerinde başarılı olarak kullanılmıştır. Sülfid minerallerinin Au analizi için <sup>197</sup>Au izotopu örnek üzerine yerleştirilmekte ve 200 ppb seviyesinde Au analizleri yapılabilmektedir. Örneğin Au için en düşük saptama limitleri pirit minerallerinde 400 ppb, arsenopirit te 200 ppb ve demir oksitlerde ise 500 ppb olarak hesaplanmıştır. Cabri ve McMahon (1995)'a göre Au için en düşük saptama limitleri piritte 223 ppb, pirotinde 65 ppb ve kalkopiritte 130 ppb olup bu değerler Pt için pentlanditte 26 ppb, pirotinde 20 ppb ve kalkopiritte ise 13 ppb'dir. Bu tekniğin doğruluk derecesi 1 ppm konsantrasyonu için %15 tir. Diğer bir deyişle doğruluk derecesi 1 ppm konsantrasyonu için  $\pm 150$  ppb kadar olmaktadır. Analizlerin kesinlik derecesi (precision) ise % 2'nin altındadır. Bu kalibrasyon tekniğinin en büyük dezavantaj zaman alıcı ve pahalı olmasıdır.

Hervig ve diğer. (1992) silikat minerallerinin oksijen izotoplarının analizlerini, SIMS tekniği ile  $\pm \%2$ 'lik bir hata ile gerçekleştirmiştir.

SIMS'in izotop analizlerdeki duyarlılık dereceleri, jeokronolojik yaş tayini için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle U - Pb tekniğiyle zirkon minerallerinin mikro analitik yaş tayinlerinde SHRIMP olarak adlandırılan, duyarlı ve yüksek rezolüsyonlu iyon mikroprob kullanılmaktadır. Bu teknik zirkon v.b. minerallerin kayaktan ayırma, temizleme ve zenginleştirme işlerini ortadan kaldırarak minerallerin direkt olarak kayaç içerisinde izotop oranlarının saptanmasını olası kılmaktadır. Radyojenik izotopların yanısıra, duraylı izotop analizlerinde de (Eldridge ve diğer., 1988) başarıyla kullanılan SHRIMP tekniğinde negatif şarjlı oksijen ilksel ışını ile örnek bombardıma tabi tutulmakta ve bombardıman sonucu örnek üzerinde 25  $\mu\text{m}$  büyüklüğünde ve 5  $\mu\text{m}$  derinliğinde bir krater oluşmaktadır. Bu çarpma sonucu oluşan ikincil iyonların kütle spektrometresinde analizi yapılarak sonuçlar elde edilmektedir.

## Lazer Mikroproblar

Lazer ışınlarının örnek üzerinde bir yerde odaklaştırılması sonucunda oluşturulan termal enerji birikimi örnekten katı, sıvı ve gaz halinde küçük parçacıkların kopmasına neden olmakta ve koparılan parçacıkların bir argon gaz akımı altında kütle spektrometresine aktarılması sonucunda da örneklerin mikroanalizleri gerçekleştirilmektedir. Kullanılan lazer ışınının cinsine ve kütle spektrometresine bağlı olarak çeşitli kombinasyonlu ve değişik amaçlı lazer mikroprobları bulunmaktadır. Bunlar arasından en yaygın kullanım alanı bulan teknik, lazer koparımlı ICP kütle spektrometresidir. Bu

teknik literatürde LA-ICP-MS, LAM-ICP-MS veya LP-ICPMS gibi değişik kısaltmalarla tanımlanmaktadır.

Bu teknikte, lazer ışınlarının örnek üzerinde odaklaştırılması sonucunda, örnekten katı, eriyik ve gaz halinde materyaller koparılmakta ve bu materyaller bir argon gaz akımı yardımıyla ICP kütle spektrometresine gönderilmektedir. Kütle spektrometresi girişinde, bu materyaller 6000°C'lik sıcaklıkta voltalıe olmakta ve iyonlaşmaktadır. Yaygın olarak kullanılan lazer cinsine, Nd:YAG kısa adı ile bilinen Neodymium - Yttrium Aluminum Garnet'tir. 1.064  $\mu\text{m}$ 'lik dalga boylu Nd:YAG lazer ışınının çapı 6 mm olup, örnek üzerinde 10  $\mu\text{m}$  büyüklüğünde bir yere odaklaştırılması sonucunda oluşturulan kraterin büyüklüğü yaklaşık 50  $\mu\text{m}$  civarında olmaktadır. Kraterin derinliği örneğin cinsine bağlı olarak değişmektedir. Daha düşük dalga boylu lazer ışınları kullanımı ile ışın çapı küçültülebilmekte, fakat koparılan parçacıkların miktarı hassas analizler için yeterli olamamaktadır. Bu teknikteki son gelişmelere göre, 266 nA'lik dalga boyundaki Nd:YAG UV lazer ışınları ve çok duyarlı kütle spektrometre kullanımı ile 10 - 15  $\mu\text{m}$  büyüklüğündeki yerlerin analizleri konusunda olumlu gelişmeler kaydedilmiştir.

Yerbilimlerdeki uygulama alanları, iz elementlerin kantitatif analizleri, silikat minerallerinde nadir toprak elementlerinin analizleri, duraylı ve radyojenik izotop oranlarının saptanması ve sıvı kapanımlarının analizleri olarak sıralanabilir. Birden fazla elementin veya izotopun analizi kuadropol kütle analizörü kullanımıyla ve iyon şiddetlerinin arka arkaya ayarlanmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Analiz süresi element başına yaklaşık 1 saniye kadar olmaktadır.

Jeokronolojik yaş tayinlerinde <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb ve <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd izotop oranlarının bu teknikte duyarlı olarak belirlenebilmesi potansiyeli, bu tekniğin en önemli özelliklerinden birisi olarak sayılabilir. Örneğin Hirata ve Nesbitt (1995), LA - ICP - MS tekniği ile zirkon minerallerinin U - Pb yaş tayinlerinde oldukça başarılı sonuçlar elde etmiştir. <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb oranlarının kesinliği % 0.6 ile % 5 arasında olup, Pb/U oranındaki hata payı ise % 3 ile % 20 arasında değişmektedir.

Değişik tipte lazer mikroproblar, çeşitli minerallerin H, C, N, O ve S izotop bileşimlerinin mikroanalizlerinde denenmiş olup bu konuda değişik teknikler geliştirilmiştir. Crowe ve diğer., (1990) göre, Nd:YAG lazeri kullanımıyla gerçekleştirilen sülfür izotop analizlerinin kesinlik dereceleri %0.3 ile %0.9 arasında değişmektedir. CO<sub>2</sub> lazeri karbonat minerallerince aynı ekilde absorbe edildiğinden dolayı, karbonat minerallerinin izotop analizlerinde daha duyarlı sonuçlar vermiştir (Kyser, 1995).

Sıvı kapanımlarının analizlerinde de oldukça başarılı gelişmeler kaydedilmiştir. Örneğin, Shepherd ve Chenery (1995) florit, kuvars ve halit kristalleri içerisinde 60 µm'a kadar derinliklerdeki ve 10 ile 100 µm büyüklüğündeki sıvı kapanımlarının analizlerini Nd - YAG ultraviyole lazer ışınları kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

Araştırmalar, lazer ışınlarıyla oluşturulan termal enerjinin örnek tarafından diferensiyel olarak absorbe edildiğini göstermektedir. Oluşturulan kraterlerin SEM fotomikrografları, krater civarının dereceli bir şekilde etkilendiğini göstermektedir. Bu dereceli etkilenme, izotopsal ve kimyasal bir farklılaşma olarak değerlendirilmekte ve bundan dolayı analiz sonuçlarının doğruluğu konusunda bazı soru işaretleri oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra, analizi yapılan yerlerin büyüklüğü ve etkilenen derinlik, örnek içerisinde olabilecek küçük kapanımlarında dikkate alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

#### Lazer iyonlaşması kütle spektrometresi (TOF - LIMS) tekniği

TOF - LIMS (Time - Of - Flight Laser Ionization Mass Spectrometer) tekniğinde diğer lazer mikroproblardan farklı olarak bir yerine iki ayrı lazer ünitesi kullanılmaktadır. Kullanılan lazerler 266 nm dalga boyulu Nd:YAG lazerleridir. Bu teknikte, örnek 2 - 5 µm çapındaki bir lazer ışını ile 4 - 10 nanosaniye kadar bir süreyle bombardımana tabi tutulmakta ve sonuçta örnekten itibaren genellikle nötral parçacıklar içeren bir plazma bulutu oluşturulmaktadır. Bu nötral parçacıklar, örnek yüzeyine paralel olarak yönlendirilmiş ikinci bir lazer ışını etkisiyle iyonlaştırılmaktadır. Bunun sonucunda nötral parçacıklar dış yörüngelerinden bir elektronu kaybederek katyonlar oluşturmaktadır. Oluşturulan iyonik parçacıkların kütle spektrometresinde analizleri yapılarak mikroanaliz gerçekleştirilmektedir. Toplam analiz süresi yaklaşık 2 dakika kadar olmaktadır.

İkinci lazer etkisi ile katyon oluşturulduğu için, bu teknik metallik iyonların analizleri için daha uygun olmaktadır. Bu teknikte lazer ışınlarının belli aralıklarla aynı nokta üzerine gönderilmesi sonucunda derinlik profilleri oluşturulabilmektedir. SIMS'e benzer şekilde bir yüzey mikroanaliz tekniği olarak değerlendirilen TOF - LIMS tekniği, mineral tanelerinin yüzeysel özellikleri konusunda bilgi verdiği için, cevher hazırlama çalışmalarında ve özellikle flotasyon devrelerinin denetiminde kullanım potansiyeli yüksek olan bir tekniktir.

#### Akselaratör Kütle Spektrometresi

Akselaratör kütle spektrometre tekniği, megaelektron voltunda yüksek enerjili bir SIMS olarak nitelenebilir.

Bu teknikte 200 ile 1000 µm çapındaki ilksel iyon ışınları kullanımı ile örnekten itibaren ikincil iyonlar oluşturulmakta ve bu ikincil iyonların analizleri bir kütle spektrometresinde yapılmaktadır. SIMS'e benzer şekilde, örnek üzerinde analizin yapıldığı yerde bir krater oluşmaktadır. Analiz süresi ve element sayısına bağlı olarak değişen krater büyüklüğü tipik olarak 1 mm civarındadır.

Bu teknik <sup>10</sup>Be, <sup>14</sup>C ve <sup>129</sup>I gibi uzun ömürlü radyoizotopların analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, sülfid minerallerinin Au, Pt, Pd, Ir, Os, Rh, Ru v.b. gibi iz elementlerinin kantitatif olarak analizlerinde denenmiş olup iyi sonuçlar alınmıştır (Rucklidge ve diğ., 1992, Wilson ve diğ., 1995). Bu teknik ayrıca preslenmiş kayaç tozlarının çok düşük seviyelerdeki iz element analizlerinde de kullanılmıştır. Örneklerin iletkenlik gereksinimi, kayaç örneklerine %50 miktarında grafit tozu karıştırımı ile sağlanmaktadır.

Bu tekniğin en önemli avantajları, çok düşük saptama limitleri (küçük ppb seviyeleri) ve analiz süresinin kısa olması (element başına 100 ile 500 saniye) olarak belirlenebilir. Analiz yerinin büyüklüğü ve mevcut akselaratör kütle spektrometre laboratuvarlarının azlığı bu tekniğin dezavantajları arasında sayılabilir.

#### X-Işınları Mikrofloresansı (XRMF)

Kayaç analizlerinde yaygın olarak kullanılan, X-ışını floresansı (XRF) analiz tekniği, örneklerin X-ışını bombardımanı sonucunda oluşan, örneğe özgün floresans X-ışınlarının ölçümüne dayanan bir tekniktir. Standart XRF tekniğinde, X-ışını demetinin çapı 200 mm kadardır. Teknolojik gelişmelerle, X-ışınlarının daha küçük bölgelere odaklaştırılabilmesi ve bu bölgelerden oluşturulan sinyallerin daha hassas bir şekilde algılanabilmesi gerçekleştirilmiş ve sonuçta bu tekniğin, bir mikroanaliz tekniği olarak potansiyeli belirlenmiştir. Işın çapı 50 µm'a kadar küçültülmüş ve yaklaşık 100 µm kadar yerlerin bu teknikte analizleri mümkün olmaktadır (ör. Lu ve diğ., 1995). Bu teknik, örnekleri tahrip etmediği için özellikle mücevher ve diğer kıymetli materyallerin analizlerinde kullanım alanı bulmaktadır.

#### Sinkrotron X-ışını Floresansı (SXRF)

Elektron sinkrotron kaynağı, XRF analizlerinde kullanılan standart X-ışını tüplerine kıyasla çok daha yüksek enerjili X-ışını üretebilmektedir. Bu teknik örnek üzerinde 20 µm çapındaki bir yerden kantitatif analiz için yeterli enerji sağlayabilmekte ve bu özelliğinden

Tablo 1. Mikroanalitik yöntemler ve ana özellikleri

Mikroanalitik yöntem	ana kullanım alanları	ışın çapı/ etki alanı	en düşük saptama limiti
EPMA	kantitatif majör ve minör element analizi	1-2 $\mu\text{m}$	100 ppm
SEM-EDXA	kalitatif majör element analizi ve imajlama	0.1 $\mu\text{m}$	400 ppm
$\mu\text{PIXE}$	kantitatif iz element ( $z > 13$ ) analizi	1-15 $\mu\text{m}$	1-10 ppm
SIMS	sıvı kapanım analizi kantitatif iz element analizi, hafif element analizleri, duraylı ve radyojenik izotop analizleri	scanning 25-60 $\mu\text{m}$	>50 ppm 0.02-1 ppm
LA-ICP-MS	kantitatif iz element analizi, duraylı ve radyojenik izotop analizleri	15-50 $\mu\text{m}$	0.01-0.1
TOF-LIMS	sıvı kapanım analizi kalitatif iz element analizi, yüzey özellikleri ve derinlik profili	2-5 $\mu\text{m}$	
AMS	kantitatif iz element analizi	200-1000 $\mu\text{m}$	<<1 ppb
XRMF	kantitatif majör, minör ve iz element analizleri ( $z > 10$ )	100 $\mu\text{m}$	düşük ppm
SXRF	kantitatif iz element ( $z > 10$ ) analizleri, sıvı kapanım analizi	20 $\mu\text{m}$	0.1-4 ppm 2000 ppm

z: atom numarası

dolayı da mikroprob olarak kullanılabilir. Oluşturulan X-ışınları, standard Si(Li) detektörlerince algılanmakta ve örneklerin kantitatif iz element analizleri yaklaşık 1 ppm seviyesinde mümkün olmaktadır. Kantitatif analiz için gerekli kalibrasyon, miktarı başka tekniklerde belirlenmiş bir majör elemente karşı yapılabilir. Örneğin, bu teknikle feldispatların Mn, Fe, Cu, Zn, Ga, Ge, Rb and Sr konsantrasyonları (Lu ve diğ., 1989) ve granatlarda Y, Zr, Zn, Ga, Ge, Rb, Sr, Pb ve Nb konsantrasyonları (Lanzirotti, 1995) hassas bir şekilde belirlenmiştir. Genel olarak en düşük saptama limitleri 0.1 ve 1 ppm arasında değişen bu tekniğin hafif element ( $z < 10$ ) analizlerindeki hassasiyetleri limitlidir. Örneğin, Mosbah ve diğ. (1995)'ne göre sentetik cam örnekleri üzerinde, 300 saniyelik bir analiz süresiyle saptanan en düşük saptama limitleri Ni için 1.6 ppm, Ga için 1.1 ppm ve As için ise 3.6 ppm olarak belirlenmiştir.

X-ışınlarının örnekler hasar vermemesi, analiz sürelerinin azlığı (yaklaşık 1 dakika), tekniğin basitliği ve örnek hazırlama işlemlerinin diğer tekniklere kıyasla kolaylığı, bu tekniğin önemli avantajları arasındadır.

SXRF tekniği elementel analizlerin yanısıra, sıvı kapanımlarının kantitatif analizlerinde de denenmiş ve başarılı gelişmeler elde edilmiştir. Örneğin Mavrogenes ve diğ., (1995), bu teknikle 5 ile 10  $\mu\text{m}$  kadar derin-

likteki sıvı kapanımları içerisinde, Sr'un en düşük saptama derecesini yaklaşık 2000 ppm olarak belirlemiştir.

## Değerlendirme

Mikroanalitik tekniklerin ana kullanım alanları, ışın çapları ve en düşük saptama limitleri karşılaştırmalı olarak Tablo 1'de verilmektedir. Bu tablodan da görüldüğü gibi değişik tekniklerce kullanılan ışın demetlerinin çapları ve dolayısı ile örnekteki etkileme hacimleri oldukça farklıdır. Bu durum bazı tekniklerin yerbilimlerinde mikroanaliz amacıyla kullanımlarında önemli bir engel oluşturmaktadır. Örneklerin kesit üzerindeki büyüklüklerinin yanısıra, örnek kalınlığı konusunda da bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Örneğin, proton mikroprob analizlerinde kalın örnekler kullanılmalıdır. Gözönünde bulundurulması gerek diğer bir konuda yüzeye yakın yerlerde olabilecek inklüzyonların varlığıdır. Bu teknikler örnek üzerinde yapılan hasar konusunda da değerlendirilebilirler. SIMS ve lazer teknikleri analizi yapılan örnekler en çok hasar veren teknikler olup, X-ışınları floresansına dayalı tekniklerde hasar söz konusu değildir. Diğer mikroanalitik tekniklere kıyasla, LA-ICP-MS aletsel ve donanım olarak daha basit bir yapıya sahip olup, fiyat olarak da daha ucuzdur. Bunun yanısıra, analiz yöntemlerinin basitliği, sürati ve gelişme potansiyeli bu tekniğin önemli avantajları arasında sayılabilir.

## KATKI BELİRTME

Bu yazı TÜBİTAK - UNISTAR'ın TOKTEN programı çerçevesinde Hacettepe Üniversitesi, Yer Bilimleri bölümünde 1995 Ekim ayında gerçekleştirilen danışmanlık görevini takiben hazırlanmıştır. Yazar TÜBİTAK ve Hacettepe Üniversitesi Yer Bilimleri yöneticilerine ve özellikle Hacettepe Üniversitesi öğretim üyesi sayın Prof. Dr. Yavuz Erkan'a davetlerinden ve görev süresince gösterdikleri ilgiden dolayı teşekkür eder.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Cabri, L.J. and McMahon, G., 1995, SIMS analysis of sulfide minerals for Pt and Au: Methodology and relative sensitivity factors (RSF). *Canadian Mineralogist* 33, 349 - 359.
- Camphell, J.L., Teesdale, W.J., and Halden, N.M., 1995, Theory, practice and application of micro - PIXE analysis and element - distribution maps. *Canadian Mineralogist* 33, 279 - 292.
- Camphell, J.L., Maxwell, J.A., Teesdale, W.J., Wang, J.-X. and Cabri, L.J., 1990, Micro - PIXE as a complement to electron probe microanalysis in mineralogy. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 44, 347 - 356.
- Crowe, D.E., Valley, J.W., and Baker, K.L., 1990, Micro - analysis of sulfur - isotope ratios and zonation by laser microprobe; *Geochimica et Cosmochimica Acta* 54, 2075 - 2092.
- Czamanske, G.K., Sisson, T.W., Camphell, J.L., and Teesdale, W.J., 1993, Micro - PIXE analysis of silicate reference standards; *American Mineralogist*, 78, 893 - 903.
- Hirata, T. and Nesbitt, R.W., 1995, U - Pb isotope geochronology of zircon: Evaluation of the laser probe - inductively coupled plasma mass spectrometry technique; *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 2491 - 2500.
- Kyser, T.K., 1995, Micro - analytical techniques in stable - isotope geochemistry; *Canadian Mineralogist* 33, 261 - 278.
- Lanzirotti, A., 1995, Yttrium zoning in metamorphic garnets; *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 4105 - 4110.
- Lu, F-Q, Smith, J.V., Sutton, S.R., Rivers, M.L. and Davis, A.M., 1989, Synchrotron X-ray fluorescence analysis of rock - forming minerals: 1. Comparison with other techniques, 2. White - beam energy - dispersive procedure for feldspars. *Chemical Geology*, 75, 123 - 143.
- Lu, R., Le, A., Gu, Y., Wu, G. and Zhu, J., 1995, Precious metals assay by means of microbeam XRF technology. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 104, 595 - 601.
- Malmqvist, K.G., 1995, Analytical techniques in nuclear microprobes. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 104, 138 - 151.
- Mosbah, M., Clocchiatti, R., Michaud, V., Piccot, D., Chevallier, P., Legrand, F., Nilsen, G.A., and Grübel, G., 1995, Micro PIXE and micro SXRF: comparison of the two methods and application to glass inclusions from Vulcano (Eolian Island - Italy); *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 104, 481 - 488.
- Paktunç, A.D., Hulbert, L.J. and Harris, D.C., 1990, Partitioning of the platinum - group and other trace elements in sulfides from the Bushveld Complex and Canadian occurrences of nickel - copper sulfides. *Canadian Mineralogist* 28, 475 - 488.
- Paktunç, A.D. ve Cabri, L.J., 1995, A proton - and electron - microprobe study of gallium, nickel and zinc distribution in chromian - spinel. *Lithos*, 35, 261 - 282.
- Roberts, M.L., Bench, G.S., Heikkinen, D.W., Morse, D.H., Bach, P.R. and Pontau, A.E., (1995) The new nuclear microprobe at Livermore; *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 104, 13 - 18.
- Rucklidge, J.C., Wilson, G.C., Kilius, L.R. and Cabri, L.J., 1992, Trace element analysis of sulfide concentrates from Sudbury by accelerator mass spectrometry, *Canadian Mineralogist* 30, 1023 - 1032.
- Ryan, C.G., Heinrich, C.A., Van Ackerbergh, E., Ballhaus, C. and Mernagh, T.P., 1995, Microanalysis of ore - forming fluids using scanning proton microprobe. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 104, 182 - 190.
- Wilson, G.C., Rucklidge, J.C. and Kilius, L.R., 1995, Ultrasensitive trace - element analysis with accelerator mass spectrometry: The current state of the art. *Canadian Mineralogist*, 33, 237 - 242.
- Zhou, S., Ren, C., Tang, J. and Yang, F., 1995, SPM study on the distribution of Carlin - type gold mineral deposit in China; *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 104, 437 - 444.

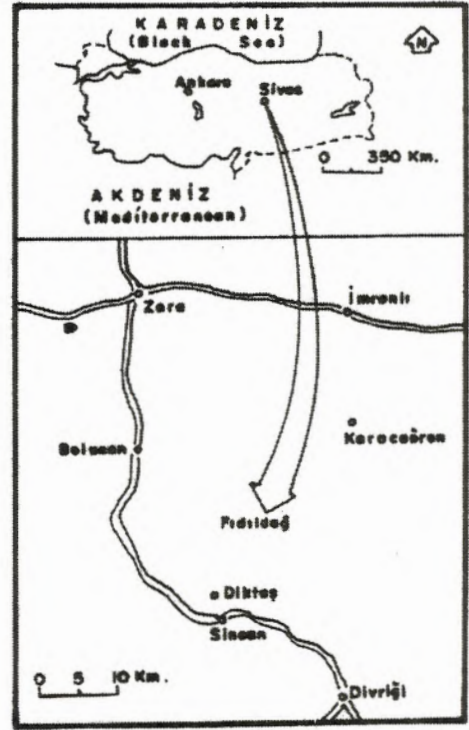
# Hidrokarbon aramalarında zeolitin kullanılmasına bir örnek: (İmranlı güneyi - Sivas)

*Orhan Özçelik,* Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas

*Hidrokarbon aramalarında bir olgunlaşma parametresi olarak zeolit mineralleri kullanılabilir. Gömülme diyajenezi sırasında ısıya bağlı olarak denizel istifte beraber silisli vitrik volkanoklastik kayalarda zeolit zonları oluşur. Bunlardan alkali zeolit reaksiyon ürünleri bir jeotermometre olarak petrol araştırmalarına uygulanabilmektedir. Bu amaçla İmranlı (Sivas) güneyinde yüzeyleyen Lütesiyen yaşlı Bozbel formasyonunun Fıdıldağ üyesinde yer alan volkanoklastikler incelenmiş ve zeolit mineralleri belirlenmiştir. Elde edilen analsim ve albit minerallerinin zeolit mineral zonlanmasındaki karşılık geldiği ısı 91 - 150°C arasındadır. Organik madde içeren örneklerden vitrinite elde edilebilenlerde ortalama yansıma (Ro) % 0.57 olarak ölçülmüştür. Isıya bağlı olarak gelişen zeolit zonları ile vitrinite yansıma değerleri karşılaştırılarak hidrokarbon olgunlaşma zonları ortaya çıkarılabilir. Fıdıldağ üyesini oluşturan sedimanlar ve onların içerdiği organik maddeler olgunlaşmış zona (petrol zonu) işaret ederler.*

## Giriş

İnceleme alanı Sivas Tersiyer Havzasının doğu bölümünde yer alır (Şekil 1). Lütesiyen yaşlı Bozbel formasyonuna ait Fıdıldağ üyesi volkanosedimanter birimleri de içermektedir (Şekil 2). Bu sedimanlar içinde zeolit mineralleri elde edilmiş ve hidrokarbon olgunluğu açısından değerlendirilmiştir. Bu yöntem yeni olup ülkemizde ilk kez bu çalışmayla denenmiştir. Zeolit minerallerinin tanımı X ışınları difraksiyonu tüm kayaç çözümlenmeleriyle yapılmış olup çekimler Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Çalışılan alan ve yakın çevresinde değişik jeolojik amaçlar doğrultusunda bir çok çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir. Kurtman (1973), Sungurlu ve Soytürk (1970), Artan ve Sestini (1971), Meşhur ve Aziz (1980), Gökçen (1981 ve 1982), Gökçen ve Kelling (1985), Aral (1986), Aktimur ve diğ., (1990), Korkmaz (1990), Özçelik ve Altunsoy (1991), Tunç ve diğ. (1991), Temiz ve diğ. (1992), İnan ve diğ. (1993) ve Altunsoy (1993) dur.

Bu çalışmayla; inceleme alanında yer alan volkanoklastik birimlerdeki ısıya bağlı zeolit minerallerinin hidrokarbon oluşum zonlarının belirlenmesinde bir parametre olarak kullanılabileceğinin ortaya konması amaçlanmıştır.





## Stratigrafi

İnceleme alanının temelinde Divriği ofiyolitli karışığı (Üst Kretase) yer alır. Bölgede geniş yayımları bulunmasına karşın çalışma alanında küçük yüzlekler şeklindedir ve serpantinlerden oluşur (Şekil 2). Divriği ofiyolitli karışığını uyumsuzlukla Kozluca formasyonu (İpresiyen) üstler. Çakıltası, kumtaşı, silttaşı, marn ve kireçtaşıdan oluşan bu formasyon sığ şelften derin denize kadar değişen bir ortamda çökelmiştir. Bu formasyon üzerine uyumlu olarak Bozbel formasyonu (Lütesiyen) gelir. Altta Fıdıldağ üyesinden, üstte ise Çamurcu üyesinden meydana gelmiştir. Fıdıldağ üyesi genellikle volkanoklastik birimlerden; Çamurcu üyesi ise kumtaşı, silttaşı, marn ve kireçtaşlarından oluşur. Bozbel formasyonunu uyumsuzlukla Selimiye formasyonu (Alt Oligosen) takip eder. Kumtaşı, silttaşı, marn, kireçtaşı ve jipslerle temsil edilen bu formasyonu uyumsuzlukla Miyosen yaşlı iki formasyon izler. Bunlardan altta bulunan Hafik formasyonu karasal ortamda çökelmiş olup bol miktarda evaporitik çökelimler içermektedir. Üstte bulunan Karacaören formasyonu ise denizel ortam ürünü olup çakıltası, kumtaşı, silttaşı, marn ve kireçtaşlarının yanı sıra kömür oluşumları da bulundurmaktadır. Tüm bu birimlerin üzerine bazalt ve andezitik bazaltlarla temsil edilen Yamadağ volkanitleri ile alüvyonlar gelir.

İncelemenin asıl konusunu oluşturan Fıdıldağ üyesi tabanda koyu yeşil ve gri renkli çakıltası, tuf, tüfit ve kumtaşları ile başlamakta, marn ve ince - orta katmanlı kumtaşları ile devam etmektedir. Fıdıldağ ve Yıldızdağ çevresinde birimin üst düzeylerinde gri ve sarımsı renkli, kıvrımlı kireçtaşları da görülmektedir. Çakıltaları iri katmanlı ve kötü boyanmalı olup çakıllar genellikle iyi yuvarlaklanmışlardır (Şekil 3). Üye içindeki diğer birimlerle ara katkılı olarak bulunan tüfler orta ve üst düzeylerde yer alırlar. Bunların mikroskopik incelemelerinde bileşenlerden %50'sinin kuvars kristallerinin oluşturduğu bir kristal tuf olduğu görülmüştür. Yeşil, koyu ve açık gri renkli olan kumtaşları Fıdıldağ üyesinin en bol bulunan bileşenidir. Alt düzeylerde iri - orta, üst düzeylerde de ince katmanlı olup kil ile bağlanmışlardır. Marnlar ise tüm düzeylerde ve değişik kalınlıklarda gözlenirler.

## Zeolit mineral analizi

Zeolitler alkali ve toprak alkali sulualümino silikatlardır. Bunların en önemli özelliklerinden biri sulu mineraller olmaları ve ısıtma sırasında bu suyu düzenli bir şekilde kaybetmeleridir. Zeolitler çeşitli sedimanter kayalarda ana mineral olarak göze çarpar. Zeolitleşmiş silisli vitrik volkanoklastik sedimanlar Japonya'da Nijgata petrol alanında olduğu gibi yeryüzünün birçok ye-

KAT (STAGE)	FORMASYON (FORMATION)	ÜYE (MEMBER)	KALINLIK (METER) (THICKNESS (METER))	ÖRNEK NO (SAMP. NO.) (NUMBER)	LİTOLOJİ (LITHOLOGY)	AÇIKLAMALAR (EXPLANATION)
LÜTESİYEN (LUTETIAN)	BOZBEL	FİDILDAĞ	255	ÇAMURCU	F.12	Gri ve yeşil renkli, orta katmanlı kumtaşları ile marn ardalanması, tuf, tüfit (Grey and green colored, medium bedded sandstones with marl alternation, tuff, tuffite)
					F.11	
					F.10	
					F.9	
					F.8	
					F.7	Kötü boyanmalı çakıltı, kumtaşı ve marnlar tuf, tüfit (Weakly graded conglomerate, sandstone and marls, tuff, tuffite)
					F.6	
					F.5	
					F.4	
					F.3	
					F.2	Kötü boyanmalı ve iri katmanlı çakıltı, ince-orta katmanlı kumtaşı ve marn ardalanması tuf, tüfit (Weakly graded and thick bedded conglomerate, thin-medium bedded sandstone and marl alternation, tuff, tuffite)
					F.1	Tektonik dokanak (Tectonic contact) Jipsler (Gypsums)
HAFİK						

Şekil 3. Bozbel formasyonu Fıdıldağ üyesi Karataş Tepe tip kesiti.

indeki petrol ve gaz alanlarında denizel birimlerle ara katmanlıdır. Volkanoklastik sedimentlerdeki zeolitlerin birçoğu gömülme diyajenezi sırasında dikey zonal bir dağılım gösterirler (Şekil 4). Mineral zonlanmasındaki zeolitlerin reaksiyon serisi ürünleri ısıya bağlıdır (Tablo 1). Isıya bağlı zeolit zonları petrol araştırmalarına uygulanabilir (Şekil 4).

İjima (1988) çalışmalarında zeolit reaksiyon serilerini şu şekilde sıralamıştır;

1- Alkali reaksiyon serileri, Volkanik cam + Su (I) --> Klinoptilolit + Mordenit + - Kristobalit (II) ----> Analsim + Kuvars + Su (III) ----> Albit + Su (IV)

2- Kalsik reaksiyon serileri,

Klinoptilolit + Ca<sup>++</sup> (II) ----> Heulandit (IIIa) ----> Lomontit + Kuvars + Su (IIIb ve IVa).

Alkali reaksiyon serileri ile kalsik reaksiyon serileri çoğunlukla uyusmaktadır. Zeolit gömülme diyajenezi çalışmaları 1971 yılından beri yapılmaktadır. Japonya'da 10 kuyuda yapılan araştırmalarda her bir zonun üstündeki saptanan ısılar düzenli bir artış göstermiştir (İjima, 1988). II/III ve III/IV sınırlarındaki çok dar ısı aralığı ile karşılaştırılarak alkali zeolit reaksiyon serilerinin doğası ısıya bağlılığa açıkça işaret eder. Bu sonuçlar deneysel ve teorik çalışmalarla doğrulanmıştır ve analsim - albit dengesi 2 kb'dan daha düşük su basıncında ısıya bağlıdır.

Tablo 1. Iijima (1985)'ya göre gömülme diyajenezi zonları.

Sodik	Kalsik
I Altere cam	I Altere cam 41-55 °C
II Klinoptilolit-Mordenit	II Klinoptilolit (Daha çok kalsik) 81-91 °C
III Analsim	III Höländit 120-124 °C
IV Albit	IV Lomontit

Zon	I	II	III	IV	
Mineral Özel.			a	b	
Silisyum cam	---				
Alkali klinoptilolit		---			
Klinoptilolit-C <sub>A</sub>		---			
Alkali mordenit		---			
Mordenit-C <sub>A</sub>		---			
Analsim			---		
Höländit			---		
Lomontit				---	
K-Feldispat					---
Albit					---

Şekil 4. Zeolitlerin zonal dağılımını gösteren şematik diyagram (Iijima, 1978).

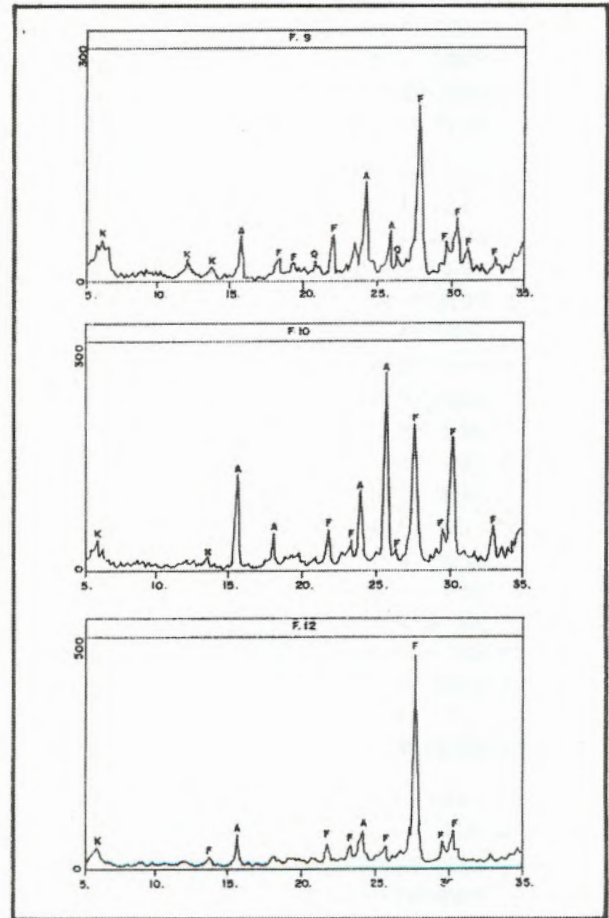
Zeolit zonlanmasının gösterdiği ısı ve derinlikler Iijima (1988) tarafından çalışılmıştır. Zonlanma sonucundaki denge; toplam çözünmüş materyal konsantrasyonu, pH ve silis aktivitesi ile gözenek suyunun kimyasından etkilenmektedir (Iijima ve Hay, 1968). Gömülme diyajenezine bağlı olarak gelişen zeolit minerallerinde kristal sınırları genellikle geçişli olup buna karşın diğer zeolit oluşumlarında daha keskin sınırlıdırlar (Hay, 1978).

İnceleme alanında Bozbel formasyonu (Orta Eosen) Fıdıldağ üyesi volkanoklastik sedimanlarından Diktaş yerleşim yeri yakınlarındaki Karataş Tepe dikme kesitiyle (Şekil 3) alınan örneklerden X-ışınları toplam kayaç çözümlenmeleriyle elde edilen sonuçlara göre üç örnekte (F9, F10, F12) %10 - 21 arasında analsim ve %7 - 60 arasında da albitin bulunduğu görülmüştür (Şekil 5). Bu hesaplama minerallerin difraktogramlardaki pik şiddetleri esas alınarak kütleli absorpsiyon katsayılarına

göre yapılmıştır (Gündoğdu, 1982). Bu örnekler Karataş Tepe dikme kesitinin orta ve üst düzeylerine karşılık gelmektedir. Elde edilen albit mineralinin gömülme diyajenezine bağlı olarak analsimden dönüştüğü düşünülmektedir. Buna veri olarak mikroskopik gözlemler ve incelenen düzeye karşılık gelen alan dışındaki kömür oluşumları ile Fıdıldağ üyesinden alınan örneklerden elde edilen vitrinit yansıma değerleri gösterilebilir. Mikroskopik incelemelere göre albit kristallerinin sınırları keskin hatlı olmayıp az belirgindir. Bu belirteç Hay (1978)'in tanımlamalarına uymaktadır.

## Yorumlama

Örnekler içinde belirlenen analsim Iijima (1988)'nın zeolit mineral zonlanmasında III zon içerisinde yer alırken, albitte IV zonun alt yarısında bulunmaktadır. Analsim ve albitin zeolit mineral zonlanmasında karşılık geldiği ısı aralığı ise 90 - 150°C arasındadır. Bu durumdaki bir aralık sedimanların dolayısıyla da içinde bulu-



Şekil 5. Bozbel formasyonu Fıdıldağ üyesi F.9, F.10 ve F.12 örneklerinin tüm kayaç difraktogramları (K: Kil, F: Feldispat, Q: Kuvars, A: Analsim)

nan organik maddelerin ısısal açıdan olgunlaştığı onlamına gelmektedir.

Gömülme diyajenezi sırasında alkali zeolit reaksiyonlarının alkali göl çökellerinde yavaş olduğu düşünülmektedir. Gömülme tarihi diyagramı kullanarak, sıg ve derin zonlardaki zeolitlerin birlikte bulunduğu durumlarda reaksiyon oranları geçiş zonunun kalınlığından tahmin edilebilir.

Tuzlu alkali göl çökellerinde analsim - albit reaksiyonu 55 - 65°C de oluşmuştur. Klinoptilolitlerin transformasyonu ve mordenit - analsim yüzey ısısında oluşmuştur (Iijima, 1988).

Alkali zeolit reaksiyon serilerinin ısıya bağlı yapısı gömülme diyajenezi ile şekillenmiştir. Gözeneklerde bulunan suyun hareketi çok yavaş olduğu için gözenek suyu kimyası kalın sedimentlerde önemli değildir. Gömülme diyajenezi sırasında bitümlü köken kayalar içindeki hidrokarbonların farklı durumları; sıg derinliklerde metan oluşumu (olgunlaşmamış safha), orta derinliklerde petrol (olgun safha) ve daha fazla derinliklerde termal parçalanmalarla oluşmuş kondense ürünler ve ıslak gaz (aşırı olgunlaşma) yer alır. Sonuç olarak hidrokarbonların olgunluğunun bilinmesi köken kaya oluşumu için çok önemlidir. Japonya'daki Tersiyer yaşlı petrol alanlarında da hidrokarbon oluşum zonları yukarıda anlatılan özellikleri içermektedir.

Isıya bağlı olarak gelişen zeolit zonları ile vitrinit yansımaları değerleri karşılaştırılarak olgunlaşma değerleri ortaya çıkarılmıştır (Iijima, 1988). Buna göre olgunlaşmamış zonda (Ro>0.5) II zonun üst yarısı ve I zon; Olgunlaşmış zonda (Ro= 0.5 - 1.2) II zonun alt yarısı, III zon ve IV zonun üst yarısına karşılık gelmektedir. Zeolit zonları kömür rankları ile karşılaştırılırsa; linyitler ve alt bitümlü kömürler II zeolit zonuna, bitümlü kömürler III zona karşılık gelmektedir (Shimoyama ve Iijima, 1978). Fıdıldağ üyesinin değişik bölümlerinden alınan örneklerde organik madde yoğunlaştırılmış ve parlatılmış kalıplar hazırlanmıştır. Bunlardan 7 tanesinde vitrinit maseralleri bulunarak yansımaları değeri ölçülmüş ve ortalama 0.57 değeri elde edilmiştir. Bu değerler zeolit minerali zonlarıyla karşılaştırıldığında III ve IV. zona karşılık gelmekte, bu da hidrokarbonlar için olgun zona (petrol zonuna) işaret etmektedir.

Zeolit zonları oluşurken jeotermal gradyanda gelişmiş olur. Yani, katmanlar maksimum derinliğe gömül-

düğünde zon II nin ve daha doğru olarak zon III'ün kalınlığından değerler elde edilebilmektedir. Şekil 6'daki I/II, II/III ve III/IV'ün sınırlarındaki ortalama sıcaklık derecelerine göre bu değerleri görmek mümkündür.

## Sonuçlar

- Sivas Tersiyer Havzasının İmranlı güneyi bölümlerinde Lütésiyan yaşlı volkanoklastiklerde zeolit mineralleri bulunmuştur. Bunlar analsim ve albitten ibarettir.

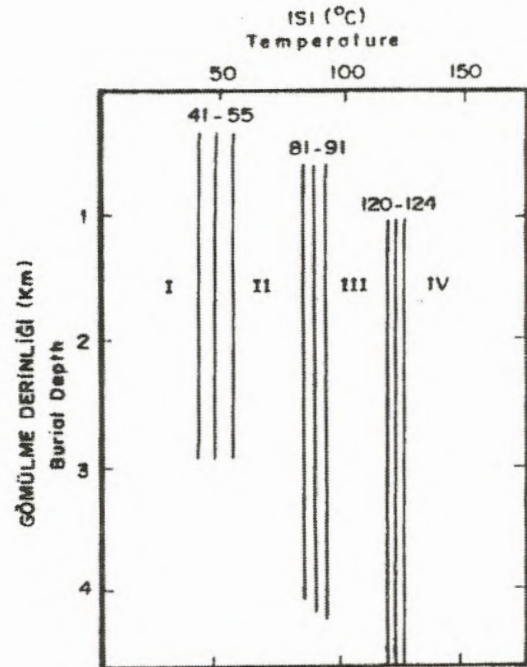
- Analsim %10 - 21 arasında, albit ise % 7 - 60 arasında bulunmaktadır.

- Albit ve analsimin zeolit mineral zonlanmasında karşılık geldiği ısı 91 - 150°C arasındadır.

- 7 adet ömekte vitrinit maserali belirlenmiş ve ortalama yansımaları değeri (Ro) %0.57 olarak ölçülmüştür.

- Zeolit mineral zonlanmasının karşılık geldiği ısı aralığı ile vitrinit yansımaları değerleri birlikte değerlendirildiğinde bunların aynı oluşum zonunda olduğu görülmüştür.

- Fıdıldağ üyesini oluşturan sedimanlar ve onların içerdiği organik maddeler hidrokarbon açısından olgunlaşmış zona (petrol zonu) işaret ederler.



Şekil 6. Zeolit zonlarının ısı ve gömülme derinliği arasındaki ilişki (Iijima, 1988).

**KATKI BELİRTME**

Katkıları nedeniyle Doç. Dr. Hüseyin Yalçın (C.Ü.), Yrd. Doç. Dr. Mehmet Altunsoy (C.Ü.) Yrd. Doç. Dr. Orhan Tatar (C.Ü.) ve Teknik Ressam Veli Kayaoğlu (C.Ü.)'na teşekkür ederim.

**DEĞİNİLEN BELGELER**

- Aktimur, T.H., Tekirli, M.E. ve Yurdakul, M.E., 1990, Sivas - Erzincan Tersiyer Havzasının jeolojisi: MTA Derg., 111, 25 - 37.
- Altunsoy, M., 1993, Karacaören (İmranlı) - Diktaş (Divriği) yöresi Tersiyer çökellerinin sedimanter petroloji, petrol ana kayası ve organik fasiyes özelliklerinin incelenmesi: C.Ü. Fen Bilimleri Ens., Doktora Tezi, 279 s (Yayınlanmamış).
- Aral, F., 1986, Çayözü - Çakırtarla (Divriği) yöresinin jeolojisi: C.Ü. Fen Bilimleri Ens., Yük. Lisans Tezi, 69s (Yayınlanmamış).
- Artan, Ü. ve Sestini, G., 1971, Sivas - Zara - Beyınarı Bölgesinin jeolojisi: MTA Derg., 76, 80 - 97.
- Gökçen, S.L., 1981, Zara - Hafik güneyindeki Paleojen istifinin sedimantolojisi ve paleoğrafik evrimi: Yerbilimleri, 8, 1 - 25.
- Gökçen, S.L., 1982, Zara - Hafik (SE Sivas) ve Refahiye (SW Erzincan) bölgeleri Eosen flišinin sedimanter petrolojik karşılaştırılması: 9, 141 - 147.
- Gökçen, S.L. ve Kelling, G., 1985, Oligocene deposits of the Zara - Hafik region (Sivas - Central Turkey). Evolution from storm - influenced shelf to evaporitic basin: Geologische Rundschau 74/1, 139 - 153.
- Gündoğdu, N., 1982, Neojen yaşlı Bigadiç sedimanter Baseninin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal incelemesi: H.Ü. Fen Bilimleri Ens., Doktora Tezi, 386s (Yayınlanmamış).
- Hay, R., 1978, Geologic occurrence of zeolites. In: Natural zeolites, occurrence, properties, use: L.B. Sand and F.A. Mumpton (Eds.), Pergamon press, Oxford, pp. 135 - 143.
- Iijima, A. ve Hay, R.L., 1968, Analcime composition in tuffs of the Green River formation of Wyoming: American Mineralogist, 53, 184 - 200.
- Iijima, A., 1978, Geological occurrences of zeolite in marine environments: In: Natural zeolites occurrence, properties, use (Eds. L.B. Sand and Mumpton), p. 175 - 198.
- Iijima, A., 1985, Applications of zeolites to petroleum exploration: Proc. Budapest Meeting on Natural Zeolites.
- Iijima, A., 1988, Application of zeolites to petroleum exploration (Kallo, D. ve Sherry, H.S., Edit.), Occurrence, properties and utilization of natural zeolites, 29 - 37, Akademiai Kiado, Budapest.
- Inan, S., Öztürk, A. ve Gürsoy, H., 1993, Ulaş - Sincan (Sivas) yöresinin stratigrafisi: Doğa - Türk Yerbilimleri Derg., 2, 1 - 15.
- Korkmaz, S., 1990, Sivas Havzasında ana kaya fasiyesi ve petrol oluşumunun jeokimyasal yöntemlerle araştırılması: Jeoloji Müh. Derg., 37, 61 - 68.
- Kurtman, F., 1973, Sivas - Hafik - Zara ve İmranlı bölgesinin jeolojik ve tektonik yapısı: MTA Derg., 80, 1 - 32.
- Meşhur, M. ve Aziz, A., 1980, Sivas baseni jeolojisi ve hidrokarbon olanakları: TPAO Rap. No: 1530 (Yayınlanmamış).
- Özçelik, O. ve Altunsoy, M., 1991, Bolucan (Zara - Sivas) yöresinde Selimiye formasyonunun (Oligosen) organik fasiyes özellikleri: A.Ü. Isparta Müh. Fak. Derg., 6, 145 - 152.
- Shimoyama, T. ve Iijima, A., 1978, Influence of temperature on coalification of Tertiary coal in Japan: Mem. Geol. Soc. Japan, 15, 205 - 222.
- Sungurlu, O. ve Soytürk, N., 1970, Sivas Havzası ve civarının jeoloji etüdü: TPAO Rap. No: 570 (Yayınlanmamış).
- Temiz, H., Guezou, J.C., Poisson, A. ve Tutkun, S.Z., 1992, Sivas Havzası doğusunun tektonostratigrafisi ve kinematığı: C.Ü. Müh. Fak. Derg., Yerbilimleri, 9/1, 27 - 34.
- Tunç, M., Özçelik, O., Tutkun, S.Z. ve Gökçe, A., 1991, Divriği - Yakuplu - Ilıç - Hamo (Sivas) yöresinin temel jeolojik özellikleri: Doğa, 15, 225 - 245.

# Dünya altın madenciliği ve Türkiye'nin altın potansiyeli

*Vedat Oygür*, MTA Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi, Ankara

1970'li yıllardan itibaren, altın fiyatlarının hızla yükselmesiyle birlikte, altınlı cevherin işlenmesi teknolojisindeki yeni gelişmelerin etkisiyle Dünya altın madenciliği dikkati çeken bir büyüme süreci içine girmiştir. Böylece, yeni bir "Altına Hücum" dönemi yaşanmaya başlamıştır. Dünya madenciliğini egemenliği altına alan bu gelişim ülkemizi de etkilemekte gecikmemiş ve özellikle Batı Anadolu ve Doğu Karadeniz'de yoğun arama çalışmalarına başlanmıştır. Ancak, bulunan yatakların üretime açılabilmesi için, altın madenciliğinin çevreyi nasıl etkileyeceği konusundaki tartışmaların çözümlenmesi gerekmektedir. Açılma tektoniğinin egemen olduğu, jeotermal sistemler bakımından zengin ve epitermal altın cevherleşmelerinin parmak izi olarak kabul edilen Hg-As-Sb cevherleşmelerinin fazlaca görüldüğü Batı Anadolu ile altın cevherleşmeleri açısından önem taşıyan masif sülfid ve porfiri tip maden yataklarının bol bulunduğu Doğu Karadeniz altın cevherleşmeleri için jeolojik ve metalojenik açılardan Türkiye'nin potansiyel bölgeleridir. Günümüzde işletilebilirliği söz konusu altın yataklarının rezervi 76.5 ton, potansiyel yataklarınki 16.5 ton ve altının yan ürün olduğu baz metal yataklarındaki altın rezervi 42 ton olmak üzere bilinen toplam altın rezervi 135 tondur.

## Altın madenciliğinin yakın geçmişi

Dünya altın madenciliği, 1970'lerin sonlarından itibaren baş döndürücü bir gelişim yaşamaya başlamıştır. Bir çok sanayileşmiş ülkede, altın cevheri üretimi hızla artmaya başlamıştır (Çizelge 1). Bu olağan dışı

gelişim sonucunda, G.Afrika ve Rusya gibi geleneksel altın üreticisi ülkelerin dünya altın üretimindeki payları düşerken, diğerlerinin hızla artmıştır.

Kuşkusuz, bu gelişmeyi bir rastlantısal olay olarak görmemiz doğru değildir. 1960'lı yıllara gelindiğinde, altın fiyatlarının maliyetlerin altında kalması nedeniyle altın madenleri kapanmaya başlamıştır. Bunun üzerine 1968'de altın fiyatları serbest bırakılarak bir serbest piyasa konumunu almıştır. Daha sonra, 1975 yılında önce ABD, ardından İsviçre hükümetleri kendi vatandaşları üzerindeki külçe altın satın alma yasağını kaldırdılar. Böylece ilk çağdaş altın madeninin işletmeye açıldığı 1820'lerden beri neredeyse duraylı kalmış olan altın kurları çok hızla yükselmiştir (Şekil 1).

Kurlardaki bu yükselme, cevhere olan talebi de beraberinde getirmiştir. Bu olumlu koşullar, altın madenciliğinde yeni bir çağın açılmasına neden oldu. Düşük tenörlü, buna karşın yüksek rezervli cevherlerin işletilmesine olanak veren siyanürleme yöntemi uygulanmaya başlandı. 1867'de patenti alınan yöntem, 1891'de G. Afrika'da uygulandıktan sonra yüksek maliyeti nedeniyle bir kenara bırakıldı. Son yıllarda, sanayideki iki gelişme sonucunda, madencilik teknolojisinde devrim yaratan bu teknik yaygın biçimde kullanılmaya başlandı:

1- Geçirimsizliği sağlamak için havuz ve yığınların tabanına yayılan plastik örtüler (geomembrane) artık çok ucuza ve kolayca temin edilebilmektedir.

2- Klasik çinko ile çökertme yöntemi yerine, metalin çözüldüğüden ucuza ve kısa zamanda alınmasını sağlayan aktif karbon absorpsiyonu tekniği günümüzde mükemmelleşmiştir.

Günümüzdeki üretim maliyeti ile altın kurları arasındaki son derece olumlu ilişki sürdüğü müddetçe, altın madenciliğinin büyümeyle devam edeceği tahmin edilmektedir.

## Siyanürleme yöntemi

Günümüzdeki teknolojik ve ekonomik koşullar çerçevesinde siyanürleme, altının cevherden kazanılmasında uygulanan tek yöntemdir. Uygulanan teknik, düşük tenörlü ve çok ince taneli altın içeren cevherin kütleli olarak işlenmesine olanak tanımaktadır. Böylece işlet-

Çizelge 1. Dünya altın üretimi (ton)

	1975	1980	1985	1990	1995
Güney Afrika Cumhuriyeti	713	675	673	601	522
ABD	32	28	79	294	312
Avustralya	16	17	57	257	253
SSCB	408	245	270	302	-
Rusya Federasyonu	-	-	-	-	129
BDT	-	-	-	-	241
Çin	-	-	73	100	160
Kanada	51	49	86	169	150
Brezilya	12	35	63	102	77
Papua Yeni Gine	18	14	33	32	52
Avrupa	11.6	11.9	16.4	27.3	23.4
Finlandiya	0.7	1.3	0.6	2.8	2.1
Fransa	1.5	1.1	2.1	5.4	4.8
İspanya	3.4	3.0	4.7	6.3	6.0
İsveç	1.9	2.2	4.3	4.2	6.5
Portekiz	0.3	0.3	0.2	0.4	-
Yugoslavya	3.8	4.0	4.5	8.2	4.0
<b>DÜNYA</b>	<b>1189</b>	<b>1187</b>	<b>1482</b>	<b>2086</b>	<b>2090</b>

Kaynak: Baché,1987; World Metal Statistics,June 1996.

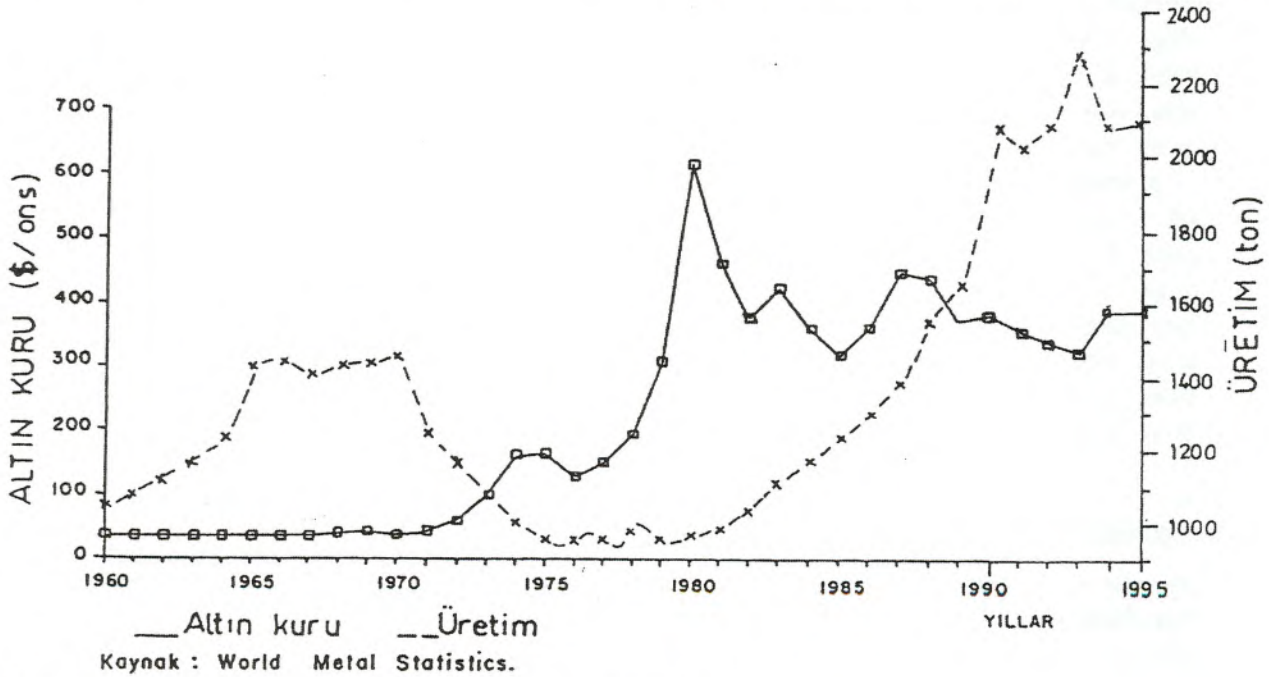
me rezervi son derece büyürken, işletme tenörü de düşüğünden bu yöntem bütün Dünya'da başarıyla uygulanmaktadır.

Siyanürleme yönteminde cevher, seyreltilmiş bir al- kalen siyanür çözeltisiyle (genelde NaCN) işleme sokulur. Proses, altının CN- iyonu ile anyonik bileşik yaparak sıvı faza özütlenmesi (liçi) esasına dayanmaktadır. Altının tane boyuna, cevherin tenörüne ve mineralojik özelliklerine göre siyanürleme ya yığın özütleme, ya da tank içinde karıştırılmalı özütleme biçiminde uygulanmaktadır.

Siyanürleme yöntemi her cevher türünde başarılı ol- mamaktadır. Olumlu sonuç alınması için cevherin şu özellikleri taşıması gerekmektedir:

- 1- Altın ve gümüşü tutan karbonlu malzeme içermemesi;
- 2- Bakır, arsenik ve antimon sülfürleri gibi yüksek oranda siyanür tüketen bileşenlere sahip olmaması;
- 3- Kireç tüketimine neden olacak asit yapıcı bileşenlere sahip olmaması;
- 4- Siyanürün etki etmesini engelleyecek killi malzemenin oluşmaması;
- 5- Mekaniksel olarak altın tanelerini örtecek olan demir oksit oluşumuna elverişli malzeme içermemesi.

Avrupa'da siyanürleme yöntemiyle altın üretimi konu- su ülkemizde sık sık gündeme gelmektedir. Çizelge 2'de 1994 yılı itibariyle Avrupa'da metal altın üretimi



Şekil 1. Altın kurları ve üretimin gelişimi (Oygür, 1990'dan değiştirilmiştir).

yapılan tesisler verilmektedir. Bakırın siyanürleme yöntemindeki olumsuz davranışı nedeniyle kompleks cevherlerde flotasyon yöntemi, buna karşılık Au - Ag cevherlerinde siyanürleme uygulanmaktadır.

## Dünya altın yatakları

Altın yatakları birçok jeolojik ortamda ve çok çeşitli kaya tiplerinde görülür. Bugüne kadar farklı ölçütlere dayandırılmış çeşitli sınıflandırmalarla altın oluşumları açıklanmıştır. En genel anlamda altın yatakları şu şekilde gruplandırılabilir:

- 1- Makaslama zonlarında yer alan, yüksek sıcaklıkta oluşmuş (mezotermal) altınlı kuvars damarları;
- 2- Jeotermal sistemlerle ilişkili düşük sıcaklıkta oluşmuş (epitermal) altın yatakları;
- 3- Bünyesinde altın da bulunduran, mağmatik etkiyle doğrudan ilişkili masif sülfid, porfiri bakır ve skarn yatakları;
- 4- Bu birincil cevherleşmelerden türemiş plaserler.

Dünya'da kayda geçmiş yüz bin kadar altın zuhuru vardır (Şekil 2). Seçilmiş bazı ülkeler için envanteri yapılmış altın rezervleri Çizelge 3'de verilmiştir. Güney Afrika'daki devasa Witwatersrand plaser havzası tek başına dünya altın stoğunun yaklaşık yarısını oluşturmaktadır. Son yıllardaki araştırmalar sonucunda bulunan rezervlerin ülkelere ve cevher tiplerine göre dağılımı Çizelge 4'de verilmiştir.

Dünya altın yatakları incelendiğinde, ülkemiz açısından vurgulanması gereken önemli bir nokta ortaya çıkmaktadır. Bugün önemli ölçüde altın üretimi yapılan epitermal cevherleşmelerin aranması, siyanürleme yönteminin sanayide uygulanmasından çok önce yapılmıştır. Örneğin, modern anlamda arama çalışmaları ABD California'daki Cherry Hill'de 1863'de, Fiji Emperor

*Çizelge 2. Avrupa altın işletmeleri (Mining Jour. Res. Ser., 1994).*

Ülke	Maden	Cevher Tipi	Ürün	Proses
FINLANDIYA	Saattopora	Kuvarsit	Au-Cu	Flotasyon
FRANSA	Salsigne	Kuvars damar	Au-Ag	Flotasyon-Siyanürleme
	"	Atıklar	"	Siyanürleme
İSPANYA	Le Bourmeix	Kuvars damar	"	"
	Filon Sur	Atıklar	"	"
İSVEÇ	Rio Tinto	Sülfid	Au-Ag-Cu	Flotasyon-Siyanürleme
	Aitik	"	"	Flotasyon
	Bjrokdal	"	Au	"
	Boliden	"	Au-Ag-Cu-Pb-Zn	"
	Garpenberg	"	"	"
	Kristineberg	"	"	"
	Enasen	"	"	"
	Viscaria	"	Au-Cu	"

Mine'da 1932'de, Filipinler'deki Exciban'da 1933'de ve Nalesbitan'da (Luzon) 1930'da başlamıştır. Yani önce cevherleşmeler bulunmuş ve jeolojik özellikleri ana hatlarıyla belirlenmiş, daha sonraki yıllarda ekonomik ve teknolojik gelişmelerin olumlu olmasıyla geliştirme çalışmaları yapılarak bir maden yatağı haline getirilerek işletmeye alınmışlardır.

Son yıllarda altın üretimindeki olağan üstü artış, epitermal altın yataklarındaki "görülmeyen" (invisible) altının siyanürleme tekniği kullanılarak kazanılması sayesinde olmuştur. Epitermal terimi yüzeye çok yakın, düşük sıcaklıkta (200°C'nin altında) oluşmuş hidrotermal cevherleşmeleri tanımlar. Termal kaynaklarla olan ilişkileri nedeniyle günümüzdeki jeotermal sistemlerin fosil eşdeğerleri olarak kabul edilirler. Epitermal yataklar kuvars damarları, ağsal damarlar veya saçınımlar biçiminde olabilir. Cevher içinde altın taneleri mikroskopla dahi görülemeyecek kadar ince olabilir ve kaya içinde saçınımlar halinde bulunabilir. Bu sayede işletilen cevherin tenörü düşmekte, buna karşılık rezervi çok büyümektedir (örneğin Round Mountain, ABD: 1.2 gr/ton, 195 milyon ton).

## Altın cevherleşmeleri açısından Türkiye Jeolojisi

Türkiye'nin jeolojisi ve metalojenisi çok karmaşıktır. Birbirinden farklı jeolojik ortamlarda oluşmuş çok çeşitli kayaçlar görülebilmektedir. Değişik oluşumlu ve çok sayıda maden yatağının bulunduğu bir metalojenik çeşitlilik de vardır.

Batı Anadolu'da Neojen'den beri bir genişleme tektoniği egemendir. Bunun sonucunda bölgede çok sayıda graben oluşmuştur ve bu yöreler, epitermal cevherleşmeler açısından önem taşıyan jeotermal sistemler bakımından da zengindir (Şekil 3). Bu özellikleriyle Batı Anadolu, ABD'deki en önemli epitermal altın yataklarının bulunduğu Nevada'daki Basin and Range bölgesiyle büyük bir benzerlik göstermektedir. Ayrıca, epitermal altın yataklarının iz elementi olarak önem taşıyan Sb ve Hg cevherleşmeleri de Batı Anadolu'da çok sayıda (Şekil 4).

Doğu Karadeniz bölgesindeyse, altın yatakları açısından önemli olan masif sülfid ve porfiri yataklarını oluşturmuş bir yitim zonu mağmatizması etkin olmuştur. Bu bölgemiz, bugün önemli altın yataklarına sahip Güneydoğu Asya ve Okyanusya ile aynı tektonik kuşaktadır ve benzer jeolojik ortamlar görülmektedir.

Dünya altın yataklarının önemli bir bölümü K. Amerika, Orta Avrupa ve Avustralya'da görülen makas-



Şekil 2. Dünya altın yatakları (Bache, 1987'den değiştirilmiştir). ●Mezotermal, x Epitermal, ▲Masif sülfür, ◆Porfiri, ●Plaser



Çizelge 3. Seçilmiş ülkelere göre altın rezervleri (metal ton).

	Rezerv	Baz Rezerv	Toplam Rezervdeki Pay (%)
G. Afrika	20 000	20 000	46.5
Rusya	6 220	7 780	14.5
ABD	4 770	5 250	11.0
Kanada	1 780	1 960	4.1
Avustralya	1 400	2 700	3.3
Brezilya	940	1 080	2.2
Diğerleri	7 920	8 710	18.4
<b>DÜNYA</b>	<b>43 000</b>	<b>49 400</b>	<b>100</b>

Kaynak: Mineral Commodity Summaries, 1992

lama zonlarındaki mezotermal kuvars damarlarıyla temsil edilmektedir. İç - Batı Anadolu Bölgesi'nde henüz incelenmemiş olmasına karşın benzer bir jeolojik ortam mevcuttur. Bu bölgede önceki yıllarda yapılmış çalışmalara göre, özellikle Orta Avrupa'daki Massif Central (Fransa), Bohemya Masifi (Çekoslovakya) ve Doğu Alpleri'ndeki (Avusturya) yataklara benzer bir mineralojik parajenez mevcuttur.

Altın cevherleşmeleri içerebilecek jeolojik özelliklere sahip olmaları bakımından İzmir - Ödemiş, Uşak - Muratdağı, Niğde - Bolcardağı, Sivas - Uzunyayla, Gümüşhane-Kelkit üzerinde durulması gereken yörelerdir.

Bu jeolojik renklilik ve metalojenik çeşitlilik üzerine, Anadolu madencilik tarihinde önemli bir yeri olan antik altın işletmelerini yerleştirdiğimizde Anadolu altın madenciliği açısından gerçekten çekici bir hale gelmektedir (Şekil 5).

## Türkiye altın yatakları

Mevcut bilgilerimize göre; halen işletme hazırlıkları sürdürülen işletilebilirliği söz konusu yatakların toplam altın rezervi 76.5 tondur (Çizelge 5). Günümüzdeki ekonomik ve teknik koşullara bağlı olarak henüz işletilmeleri gündemde olmayan potansiyel rezerve sahip sahalar ise 16.5 tondur. Bazı bakır - kurşun - çinko maden yataklarındaki altın rezervi 42 tondur. Bu yataklardan Rize - Çayeli ve Kastamonu - Küre halen işletilmektedir. Bu verilere göre bilinen ve envanteri yapılmış toplam altın rezervimiz 135 tondur.

Günümüzde işletilmesi için hazırlıklar sürdürülen Bergama - Ovacık, Havran - Küçükdere, Gümüşhane - Mastra, Sivrihisar - Kaymaz epitermal tipte yataklardır. Yine işletilmesi planlanan yataklar arasındaki Artvin - Cerattepe ise bir masif sülfid yatağının oksitlenmiş demir şapkasıdır.

Ayrıca önemli potansiyele sahip altın cevherleşme-

Çizelge 4. Yeni bulunmuş (1988 itibarıyla) altın rezervlerinin dağılımı (metal ton).

	TOPLAM	Mezotermal	Epitermal	Magmatik	Plaser	Kompleks	Belirsiz
Okyanusya	1611	-	1006	570	-	-	35
ABD	1370	128	857	30	-	120	235
L. Amerika	1282	642	512	90	-	-	38
Avustralya	1245	440	-	-	670	-	135
G. Afrika	1239	-	-	-	1239	-	-
Kanada	990	363	-	-	-	560	67
Asya	666	56	140	220	-	90	160
Afrika	129	61	-	-	-	-	68
Avrupa	45	45	-	-	-	-	-
<b>TOPLAM</b>	<b>8577</b>	<b>1735</b>	<b>2515</b>	<b>910</b>	<b>1909</b>	<b>770</b>	<b>738</b>
Toplam %		20	29	11	22	9	9

Kaynak: Baché, 1987; Intern. Mining, 1988

lerimizden Çanakkale - Madendağı ve Kartaldağı ile Karşıyaka - Arapdağı da epitermal tipte yataklardır.

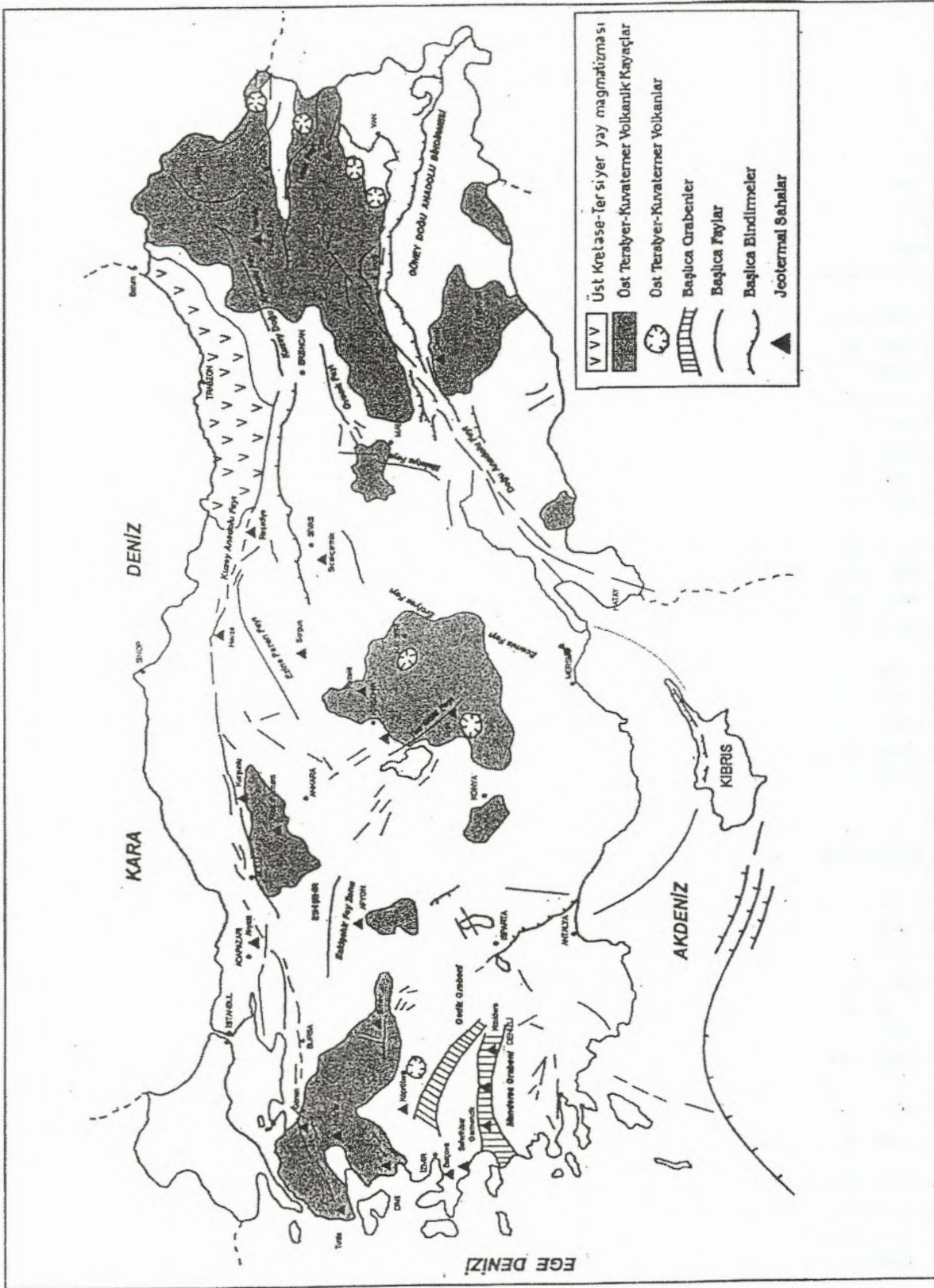
Masif sülfid yataklarımızdan Küre - Aşıköy, Rize - Çayeli ve Artvin - Borçka yan ürün olarak önemli altın içeriğine sahiptir.

Ancak, henüz hiç bir altın yatağının işletilmeye başlamadığını ve Anadolu'nun jeolojik ve metalojenik potansiyelini dikkate alırsak, ileride yapılacak aramalar ve yatak geliştirme çalışmaları sonucunda bu miktarların kolayca yükselebileceğini öne sürebiliriz.

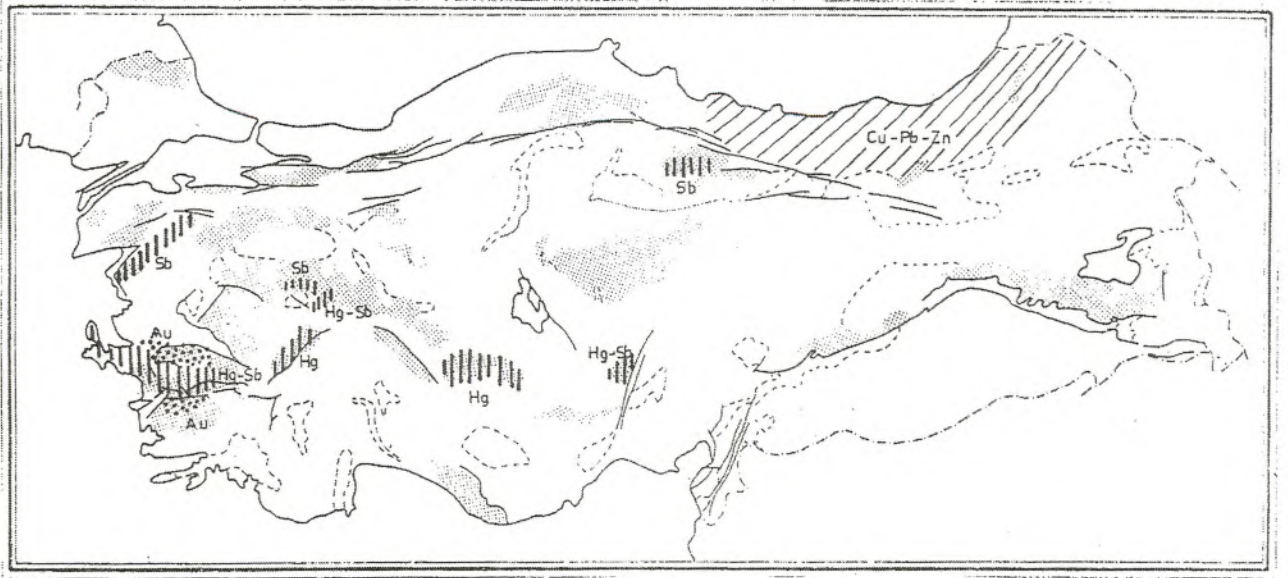
Ülkemizde, altın cevherleşmelerine yönelik modern maden yatağı modellemelerine dayandırılmış aramalar son on yıldır sürdürülmektedir. Bilgi birikimimizin genişletilebilmesi ve daha geçerli ve sağlıklı arama ilkelere belirlenebilmesi, bilinen yatakların işletilmesiyle

Çizelge 5. Türkiye altın rezervleri (Karabalık, 1994'den geliştirilmiştir).

a) İşletilebilirliği söz konusu olan sahalar						
Yeri	Tipi	Au(gr/ton)	Ag(gr/ton)	Diğer (%)	Rezerv (t)	Metal (t)
Bergama-Ovacık	Epitermal	9	11		2 980 000	27.0
Çanakkale-Madendağı	"	1.25			8 000 000	10.0
Gümüşhane-Mastra	"	8			1 164 000	9.2
Artvin-Cerattepe	Oksitli	4.8	200		1 600 000	8.3
	Sülfidli	1.8	23.9	Cu 2.1	3 800 000	6.8
	"	1.3	2.2	Cu 10	1 200 000	1.5
Havran-Küçükdere	Epitermal	5	11.8		1 500 000	7.5
Sivrihisar-Kaymaz	"	6.5	5.3		950 000	6.2
<b>TOPLAM</b>						<b>76.5</b>
b) Potansiyel rezerve sahip sahalar						
Arapdağı -Çilektepe	Epitermal	1.3			3 120 000	4.0
Arapdağı-Altuntepe	"	3.38	42.8		688 000	2.4
Sahtılı-Sart	Plaser	96 mgr/m <sup>2</sup>			20 mil. m <sup>2</sup>	1.9
Hatay-Kisecikköy	Mezotermal	4			450 000	1.8
Bolcardağı	Karstik	8	273	Zn 4, Pb 4	175 000	1.4
	"	3.12	140	Zn 1, Pb 2	152 000	0.5
Ordu-Akoluk	Epitermal	1.14	20.8		1 048 000	1.2
Sahtılı-Bozdağı	"	1.38			848 000	1.2
Kağzman-Darphane	Plaser	<0.1 gr/m <sup>2</sup>			9 mil. m <sup>2</sup>	0.9
İnegöl-Sülüküköy	Epitermal	0.7-28			25 750	0.4
Ödemiş-Küre	Mezotermal	1.1-8.0	1-3		96 000	0.4
Ödemiş-Emirli	Epitermal	4.37			50 000	0.2
Çanakkale-Kartaldağı	"	5.2			50 000	0.2
<b>TOPLAM</b>						<b>16.7</b>
c) Altının yan ürün olduğu baz metal sahaları						
Küre-Aşıköy	Sülfidli	2.48	10	Cu 1.56	11 230 000	28.0
Küre-Bakıba	"	1.5	5-20	Cu 3.24	250 000	0.4
Rize-Çayeli	"	1	68	Cu 4.7, Zn 7	10 600 000	10.6
Balıkesir-Altınoluk	Skarn	5	25	Zn 6.7, Pb 8.2	242 000	1.2
Borçka-Akarşen	Sülfidli	1.5	28	Cu 3.2	662 000	1.0
Artvin-Seyitler	"	0.35	36.84	Cu 1.8, Zn 2	1 485 000	0.5
Keban-Zeytindağı	"	1.64-2.35	40.1-47.3	Pb 2, Zn 0.7	94 500	0.2
Baskil-Nazarusağı	"	2.4	4.2	Cu 2	49 000	0.1
<b>TOPLAM</b>						<b>42.0</b>
<b>GENEL TOPLAM</b>						<b>135.0</b>



Şekil 3. Türkiye'nin genç tektonik yapısı, volkanizması ve jeotermal alanlar (Ünalın, 1983'den değiştirilmiştir).



Şekil 4. Türkiye maden provenşeri (Gümüş, 1970).



Şekil 5. Türkiye altın yatakları.

elde edilecek veriler yardımıyla varsayımların doğrulanmasına bağlıdır.

Maden aramacılığı genelde büyük sermaye ve uzun bir hazırlık süresini gerektirmektedir. Bu tür yatırımlarda ayrıca risk faktörünün de yüksek olması nedeniyle yabancı sermayeli şirketler dışında, özel yerli şirketler bu yatırımı göze alamamaktadır.

Aramaların başarılı sonuçlanması için, aranan maden yatağıyla ilgili bir benzeşim modelinin kurulması

gerekmektedir. Model olarak seçilen ve jeolojik özellikleri bilinen maden yatakları, arama yapılacak yöre nin jeolojik özellikleriyle karşılaştırılmakta ve saptanan hedef sahalara için arama yöntemleri ve ilkeleri belirlenmektedir. Bu hazırlık döneminde zaman ve para israfının önlenmesi için, MTA'nın metalojenik havzalara yönelik olarak yürüttüğü çalışmalar sonucunda elde ettiği temel jeoloji ve jeokimya verileri yayımlanmakta ve madenciler ile araştırmacıların kullanımına sunulmaktadır.

**DEĞİNİLEN BELGELER**

Bachè, J.J., 1987, World Gold Deposits, North Oxford Academic, 179s.

Gümüş, A., 1970, Türkiye Metalojenisi, MTA Yayın., Ankara.

International Mining, 1988, Epithermal Gold, Feb. 1988, s. 7 - 12.

Karabalık, N., 1994, Türkiye'nin altın potansiyeli, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bült., Sayı 1, s. 33 - 34.

Mining Journal Research Services, 1994, The use of cyanide technology in processing gold ores - European operations and regulations, Rapor (yayımlanmamış).

Oygür, V., 1990, Altın madenciliğinin yeniden doğuşu, Jeoloji Mühendisliği, Sayı 37, s. 17 - 22.

Ünalın, G., 1983, Türkiye'nin Enerji Kaynakları, Jeoloji Müh. Odası Yayın., No 40, 38s.

# Anatas mineralinin X-ışınları difraktometresi ile nicel analizi için bir yöntem

**Hulusi Kargı,** Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane

*X-ışınları difraktometresi ile klasik yöntemlerle nicel mineral analizlerinde genellikle toz halinde örnekler kullanılmakta olup bu örneklerin kalınlığı X-ışınının işleme derinliğine göre sonsuzdur. Kil mineralleri ile ilgili deneysel çalışma ve nitel analizlerde ise çoğunlukla yönlü örnekler kullanılır. Yönlü örneklerde klasik nicel mineral analiz yöntemlerinin uygulaması oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, kil örnekleri içerisinde yaygın olarak bulunan anatas mineralinin nicel analizi için yönlü ve sonlu örnek kalınlığı kullanılarak bir yöntem geliştirilmiştir. Değişik oranlarda anatas içeren smektit örneklerinden süspansiyonlar hazırlanıp, alüminyum slayt üzerinde kurutulmuştur. Örnekler bakır -  $K\alpha$  radyasyonuna tabi tutularak, örnek göreceli kütle soğurma katsayıları ve dolayısıyla anatas piklerinin düzeltilmiş şiddetleri belirlenmiştir. Düzeltilmiş şiddetlerin örnek içerisindeki anatas yüzdesine karşı regresyon analizi ile verilere en iyi uyan eğrinin denklemi bulunmuştur. Bu eğrinin denklemi:  $\%Anatas = 0.0582393 \times Anatas \text{ pikinin düzeltilmiş pikleri} - 1.058$ .*

## Giriş

X-ışınları ile nicel mineral analizi, uzun zamandan beri çalışmacılara konu olmuştur (Bromberger ve Hayes, 1966; Hubbard ve diğerleri, 1976; Moore, 1968; Spurr ve Myers, 1957). Yaygın olarak kullanılan nicel analiz yöntemlerinden birisi içsel standartla mineral analizidir.

İçsel standartla mineral analizi Alexander ve Klug (1948) tarafından ortaya atılmış olup, bu yöntemle ana-

liz için örnek içerisine, belli miktarda standart olarak kullanılacak bir minerali eklemek gerekmektedir. Yöntemin, LİF içsel standardı kullanarak rutil için uygulaması, Eren ve Kargı (1995)'da verilmiştir. Klasik içsel standart yönteminden başka, özel durumlar için bazı yazarlar tarafından değişik analiz yöntemleri ortaya atılmış olup bu yöntemler Alexander ve Klug (1974) tarafından özetlenmiştir.

X-ışınları difraktometresi ile mineral analizi yöntemlerinde kullanılan örnekler genellikle toz halinde olup, X-ışınının örneği geçip örnek altındaki metale ulaşamayacak kadar kalın olmaktadır. Bazı çalışmalar için örneklerin hazırlanma şekli, klasik toz örneklemelerinden farklıdır. Örneğin, killere ilgili deneysel çalışmalar için, alüminyum veya cam slayt üzerinde sedimante edilmiş yönlü örnekler kullanılır. Bu yönlü örneklerde, içsel standart yöntemi ise pek tercih edilmez çünkü içsel standart olarak çoğunlukla kütle soğurma katsayıları düşük olan alkali kristalen bileşikler (LiF, CaF<sub>2</sub> vb.) kullanıldığında, bunlar kil minerallerinde kation değişimi, şişebilirlik özelliğini etkileme gibi istenmeyen etkiler yapabilirler. Alkali kristalen bileşikler dışında bazı minerallerde kil analizlerinde içsel standart olarak kullanılabilir ancak bu örneklerin hazırlanmasında bazı zorluklar vardır ve dolayısıyla analizlerde hata payının artması söz konusudur. Bu içsel standartlar ve neden oldukları zorluklar Moore ve Reynolds (1989) tarafından verilmiştir.

Slayt üzerinde oluşturulan yönlü örnekler yeteri kadar ince olduğunda, gelen X-ışını örneği geçip slayta kadar ulaşabilmektedir. Dolayısıyla difraktometre kağıdında veya bilgisayarda metal slayta ait piklerde görülebilmektedir. Slayt üzerindeki örneğin miktarı sabitse, bir örnekten diğer örneğe, metal slayta ait piklerin şiddetlerinin farklı olması nedeniyle, örnek bileşenlerinin fonksiyonu olarak, örneklerin kütle soğurma katsayılarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla örnek altındaki metal slayta ait piklerin şiddetleri, örneğin gö-

receli kütle soğurma katsayısını vermektedir. Bu düşünce ile, kil deneyleri yapılırken aynı zamanda killer içerisinde bulunabilen anatas (TiO<sub>2</sub>) mineralinin miktarını belirlemek amacıyla, sonlu örnek yöntemi kullanılarak yönlü örnekler için bir yöntem geliştirilmiştir.

## Yöntem

Değişik miktarlarda anatas ile smektit mineralleri karıştırılarak %2, %10, %20, %30 ve %40 anatas içeren toz örnekler hazırlandı. Hazırlanan bu örneklerin 0.25 gramı 20 ml saf su içeren şişeler içerisine boşaltılarak süspansiyonlar oluşturuldu. Ultrasonik banyo yardımı ile süspansiyon içerisindeki taneler dağıtıldı. Şişeler el ile sallandıktan hemen sonra, pipetler yardımıyla süspansiyonlardan birer ml alınarak, alüminyum slaytlar üzerindeki bir inç (yaklaşık 2.54 cm) çaplı bileziklerle sınırlandırılmış alanlara boşaltıldı ve 24 saat açık havada bekletilerek süspansiyonlar kurutuldu. 24 saat sonra alüminyum slaytlar üzerinde çok ince örnek tabakaları oluştu.

Alüminyum slaytlara yüklenmiş örnekler ve boş slaytlar, Philips marka bir difraktometrede 2° 2θ / dakika tarama hızı kullanılarak nikel ile filtrelenmiş Cu - Kα radyasyonu ile çekim yapıldı. Boş slaytan ve örnekli slayttan elde edilen, difraktometre kağıdı üzerindeki, alüminyumun en büyük pikinin (d=2.34Å) şiddetleri ve örnekli slaytlardan elde edilen anatasın en büyük pikinin (d=3.52Å) göreceli integrale şiddetleri (mm<sup>2</sup> olarak pik alanı) ölçülüp kaydedildi. Elde edilen veriler Grapher 1.21 bilgisayar programıyla değerlendirildi.

## Nicel Anatas analizi

### Teori

Bir X-ışını demeti herhangi bir madde içerisinden geçtiğinde, o maddenin özelliği ve kalınlığının fonksiyonu olarak, geçen X-ışınının şiddetinin (I) gelen X-

$$(1) \quad \frac{I}{I_0} = e^{-\mu t}$$

ışınının şiddetine (I<sub>0</sub>) oranı Beer yasası ile ifade edilir.

μ, doğrusal kütle soğurma katsayısı, t ise X-ışınının madde içerisinde izlediği yolun uzunluğudur (Ladd ve Polmer, 1985).

Bir alüminyum slayt üzerinde, X-ışınının geçip alüminyum slayta ulaşacak kadar incelikte bir örnek tabakası oluşturulursa ve bu örnek bir difraktometrede X-ışınına tabi tutulursa, alüminyumun belli bir hkl yansımasının şiddeti, benzer şekilde, aşağıdaki denklemle ifade edebilir.

$$(2) \quad I_o = I_b e^{-\mu t}$$

I<sub>o</sub>, örnekleri slayttaki alüminyumun hkl yansımasının şiddeti; I<sub>b</sub>, boş slayttaki alüminyum hkl yansımasının şiddetidir (Williams, 1959). Gelen ilk X-ışını (I<sub>o</sub>) alüminyum slayta ulaşmaya kadar soğurulup ve alüminyum slaytta difrakte olup tekrar örnek içerisinden geçerken soğurulacağından, denklemin sağ tarafındaki üssel ifade 2 ile çarpılmıştır.

Slayt üzerindeki örnek tabakasının kalınlığına x dersek, 2. denklemi gelen X-ışınının açısının fonksiyonu olarak şu şekilde düzenleyebiliriz.

$$(3) \quad I_o = I_b e^{-2\mu x / \sin\theta_{Al}}$$

θ<sub>Al</sub>, alüminyum hkl düzleminin difraksiyon açısıdır. Denklem doğal logaritması alınıp, μ çekilirse,

$$(4) \quad \mu = - \frac{\sin\theta_{Al}}{2x} \ln \left( \frac{I_o}{I_b} \right)$$

ifadesi elde edilir.

Alüminyum slayt üzerindeki örnek tabakası içerisinde bulunan anatas mineralinin belli bir hkl yansımasının şiddetini bulmak için öncelikle örnek - slayt sınırındaki kalınlığı dx, hacmi dV olan bir birim hacimden difrakte olan X-ışınını formülize etmek gerekir. Örnek içerisindeki anatasın hacimsel kesiri V<sub>An</sub> ve soğurmanın olmadığı varsayılan bir durumda birim hacimden difrakte olan X-ışınının gelen X-ışınına oranı K<sub>An</sub> ise, hacimden difrakte olan X-ışınının şiddeti (dI<sub>An</sub>):

$$(5) \quad dI_{An} = V_{An}^* K_{An} I_0 e^{-2\mu x / \sin\theta_{An}} dV$$

θ<sub>An</sub>, anatas hkl sinin difraksiyon açısıdır. Gelen X-ışınına dik kesitin alanına A dersek dV hacmini şu şekilde ifade edebiliriz:

$$(6) \quad dV = \frac{A}{\sin\theta_{An}} dx$$

5. denklem dx kalınlığının fonksiyonu olarak yazıldığında:

$$(7) \quad dI_{An} = \frac{V_{An}^* K_{An} A I_0}{\sin\theta_{An}} e^{-2\mu x / \sin\theta_{An}} dx$$

Bu eşitlik sıfır (0) dan x kalınlığına kadar integre edilirse, örnek içerisindeki anatasın x kalınlığı boyunca hkl düzlemlerinden difrakte olan X-ışınlarının toplam şiddeti (I<sub>An</sub>) bulunur.

$$(8) \quad I_{An} = \frac{V_{An}^* K_{An} A I_0}{2\mu} \left(1 - e^{-2\mu/\sin\theta_{An}}\right)$$

3. denklem yeniden düzenlenip,

$$(9) \quad \left(\frac{I_0}{I_b}\right)^{\frac{\sin\theta_{Al}}{\sin\theta_{An}}} = e^{-2\mu/\sin\theta_{An}}$$

ve 8. denklemde yerine konursa:

$$(10) \quad I_{An} = \frac{V_{An}^* K_{An} I_0 A}{2\mu} \left[1 - \left(\frac{I_0}{I_b}\right)^{\frac{\sin\theta_{Al}}{\sin\theta_{An}}}\right]$$

eşitliği elde edilir.  $\mu$  yerine de 4. denklemdeki karşılığı konulduğunda denklem aşağıdaki şekle dönüşür.

$$(11) \quad I_{An} = \frac{x V_{An}^* K_{An} I_0 A}{\sin\theta_{Al} \ln\left(\frac{I_0}{I_b}\right)} \left[1 - \left(\frac{I_0}{I_b}\right)^{\frac{\sin\theta_{Al}}{\sin\theta_{An}}}\right]$$

$V, W, W_{An}$  sırasıyla; X-ışını demetinin etkin olduğu kısımdaki örneğin hacmi, ağırlığı ve anatasın ağırlığı ve  $W_{An}, P_{An}$  sırasıyla; örnek içerisindeki anatasın ağırlıkça kesiri ve anatasın özgül ağırlığı olarak tanımlanırsa,  $V_{An}$ 'yi  $W_{An}$  dönüştürmek için aşağıdaki denklemler yazılabilir.

$$(12a) \quad V = \frac{A}{\sin\theta_{An}} x$$

$$(12b) \quad V_{An}^* V = \frac{W_{An}}{\rho_{An}}$$

$$(12c) \quad W_{An} = W_{An}^* W$$

$$(12d) \quad V_{An}^* V = \frac{W_{An}^* W}{\rho_{An}}$$

$$(12e) \quad V_{An}^* = \frac{W_{An}^* W}{V \rho_{An}}$$

$$(12f) \quad V_{An}^* = \frac{W_{An}^* W \sin\theta_{An}}{\rho_{An} A x}$$

12f denklemdeki eşitliğin sağ tarafındaki ifade 11. denklemde yerine konup yeniden düzenlendiğinde

$$(13) \quad I_{An} = \frac{W_{An}^* W \sin\theta_{An} K_{An} I_0}{\rho_{An} \sin\theta_{Al} \ln\left(\frac{I_0}{I_b}\right)} \left[1 - \left(\frac{I_0}{I_b}\right)^{\frac{\sin\theta_{Al}}{\sin\theta_{An}}}\right]$$

ve 13. denklemden  $W_{An}^*$  çekildiğinde

$$(14) \quad W_{An}^* = -\frac{\rho_{An}}{W K_{An} I_0} \ln\left(\frac{I_0}{I_b}\right) \left(\frac{\sin\theta_{Al}}{\sin\theta_{An}}\right) \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{I_0}{I_b}\right)^{\frac{\sin\theta_{Al}}{\sin\theta_{An}}}}\right] I_{An}$$

eşitliği elde edilir.

#### Uygulama:

14. denklem, sadece alüminyum slayt üzerindeki örnek tabakası içerisinde bulunan anatasın miktarını belirlemek için kullanılabilir bir denklemdir ancak gerekli terimler değiştirildiğinde bütün minerallere ve slaytlara da uygulanabilir.

Denklemden  $P_{An} / W K_{An} I_0$  ifadesinde  $P_{An}$  ve  $K_{An}$  genel sabitlerdir.  $I_0$  herhangi bir difraktometre için sabit,  $W$  ise örnekler hazırlanırken aynı miktarlarca örnek kullanıldığı için bu çalışma için sabittir. Dolayısıyla bütün bu sabitler tek bir sabit altında toplanabilir (=b). Kullanılan alüminyum ve anatas piklerinin K açıları  $19.25^\circ$  ve  $12.65^\circ$  olduğundan  $\sin\theta_{Al} / \sin\theta_{An}$  nin değeri 1.505 dir. Deneysel çalışmalarda her zaman hata bekleneceğinden, denkleme C sabiti eklenip yeniden düzenlenirse aşağıdaki ifade oluşur.

$$(15) \quad W_{An}^* = b \cdot \left[ -1.505 \frac{\ln\left(\frac{I_0}{I_b}\right)}{1 - \left(\frac{I_0}{I_b}\right)^{\frac{\sin\theta_{Al}}{\sin\theta_{An}}}} I_{An} \right] + C$$

Bu eşitliğin sağ tarafındaki parantez içerisinde kalan kısım, anatas pikinin düzeltilmiş şiddeti olarak düşünülebilir. Açıkça görüldüğü gibi bu düzeltme, anatas pikinin gözlenen şiddetinin ( $I_{An}$ ) örneğin göreceli kütle soğurma katsayısına göre düzeltilmesi şeklindedir.

Analizlerde elde edilen verilere, 15. denklem kullanılarak, en küçük kareler yöntemi ile bir eğri uydurulduğunda aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

$$b: 0.0582393$$

$$C: -1.058$$

$$r^2 \text{ (deneştirme katsayısı): } 0.999212$$

$r^2$  nin değerinden görüldüğü gibi denklem, verileri oldukça iyi karakterize etmektedir. Yöntemin hassasiyetinin oldukça iyi olduğu Tablo 1'den ve Şekil 1'den görülmektedir. Hesap yoluyla bulunan anatasın ağırlıkça yüzdelerinin, örnek içerisindeki anatasın gerçek yüzdelere farklarının ortalamasının mutlak değeri % 0.37 dir.  $|\bar{x} - \bar{x}|(100 / x)$  formülü ile bulunan, analizlerin hassasiyeti ise ortalama % 6.13 olmasına rağmen, % 2 anatas içeren örnek hariç, diğer örnekler için % 1.66 her iki değerde X-ışınları dikraftometresi ile yapılan analizlerde istenen hassasiyet sınırları içerisinde yer almaktadır.

## Sonuçlar

Alüminyum slaytlar üzerinde çok ince, yönlü tabakaları oluşturularak, bu örnekler içerisindeki anatas mineralinin X-ışınları difraktometresi ile nicel analizi yapılmıştır. Nicel analizlerin direk yapılmasını engelleyen kütle soğurma katsayısı, örnek altındaki alüminyum slayta ait piklerin şiddetleri ile göreceli olarak bulunan anatas pikinin düzeltilmiş şiddetleri belirlenmiştir.

Bu yöntemle hesaplanan örnek içerisindeki yüzde ağırlıkların, gerçek değerlerden farkı % 0.18 ile % 0.48 arasında değişmektedir. Verilerle denklem arasındaki ilişkiyi veren deneme katsayısı ( $r^2$ ) = 0.999212 dir. Bu bilgiler yöntemin, killer içerisindeki anatasın miktarını hassas bir şekilde tahmin edebileceğini açıkça göstermektedir.

### KATKI BELİRTME

Bu çalışma, A.B.D.'de Texas Tech. Üniversitesi Jeoloji Bölümü, X-ışınları laboratuvarında killer içerisindeki titanyum minerallerinin oluşumun incelenirken yapmış olduğum bir çalışmadır. Bana bu çalışma imkanını sağlayan, çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Necip Güven'e teşekkür ederim.

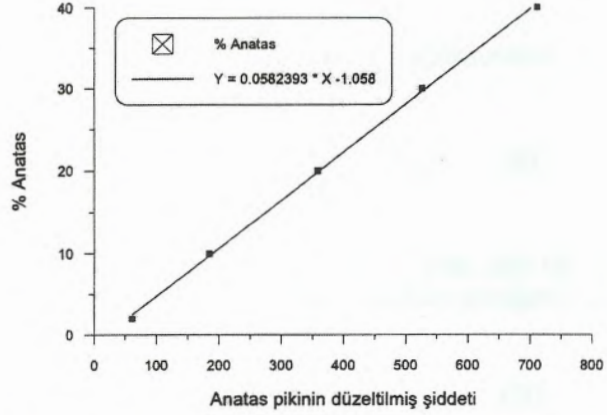
### DEĞİNİLEN BELGELER

Alexander, L. and Klug, H.P., 1948, The basic aspects of X-ray absorption in quantitative diffraction analysis of powder mixture. Anal. Chem., 20, 886 - 889.

Bromberger, I.S. and Hayes, J.B., 1966, Quantitative determination of calcite - dolomite - apatite mixtures by X-ray diffraction. J. Sed. Petrology, 36, 2, 358 - 361.

Çizelge 1. Deneysel ve hesaplanan veriler. Sütun başlıkları için metine bakınız.

% $W_{an}$ (kullanılan)	$I_{an}$	$I_b$	$I_c$	$I_a / I_b$	$\ln(I_a / I_b)$	Anatas pikinin düzeltilmiş şiddeti	% $W_{an}$ (hesaplanan)	Fark
2	25	2010	483	0.240	-1.426	60.754	2.48	0.48
10	70	1960	400	0.204	-1.589	184.281	9.67	0.33
20	145	1550	360	0.232	-1.460	358.415	19.82	0.18
30	198	1450	290	0.200	-1.609	526.292	29.60	0.40
40	260	2150	403	0.187	-1.674	712.486	40.44	0.44



Şekil 1. Anatasın örnek içerisindeki yüzdesi ile anatas pikinin düzeltilmiş şiddeti arasındaki ilişkiyi gösteren grafik.

Hubbard, C.R., Evans, E.H., and Smith, D.K., 1976, The reference intensity ratio,  $I/I_c$ , for computer simulated powder patterns. J. Appl. Cryst., 9, 169 - 174.

Klug, H.P. and Alexander, L.E., 1974, X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials, John Wiley and Sons, New York, 966 pp.

Ladd, M.F.C. and Palmer, R.A., 1985, Structure determination by X-ray crystallography, Plenum Press, New York, 502 pp.

Moore, C.A., 1968, Quantitative analysis of naturally occurring multicomponent mineral systems by X-ray diffraction. Clays and Clay Min., 16, 325 - 336.

Moore, D.M. and Reynolds, R.C. Jr., 1989, X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals, Oxford University Press, New York, 332 pp.

Spurr, R.A. and Myers, H., 1957, Quantitative analysis of anatase - rutile mixtures with an X-ray diffractometer. Anal. Chem., 29, 5, 760 - 762.

Williams, P.P., 1959, Direct quantitative diffractometric analysis. Anal. Chem., 31, 1842 - 1844.



# Çayırhan (Nallıhan - Ankara) termik santrali baca gazı arıtma kireçtaşı

Aydoğan Akbulut, MTA Genel Müdürlüğü, Maden Etüd Dairesi, Ankara

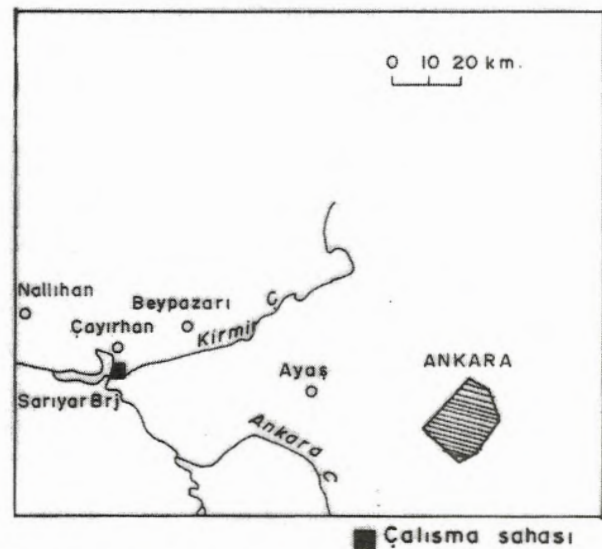
Bu çalışmanın amacı Çayırhan Santrali'nin baca gazı arıtma tesisinde kullanılacak uygun kireçtaşı çevrede olabildiğince yakın bir yerde ve yeterli miktarda belirlemektir. Uygun nitelik ve miktarda görülen kireçtaşı Santral'in üç kilometre güneyinde çakıtaşı, kumtaşı, kiltası, marn, kireçtaşı aralanmasından oluşan Bozçayır Formasyonunda saptanarak incelenmiştir. Üst Miyosen Bozçayır Formasyonu tabanındaki dolomitik marn ve dolomitik kireçtaşlarının üzerinde 25 - 30 metre kalınlıkta bir karbonat istifine sahiptir. Söz konusu karbonat istifi kendi içinde üstten alta "üst kireçtaşı", "ara seviye" ve "alt kireçtaşı" olmak üzere üç bölüme ayrılabilir. Bu seviyeler kendi aralarında düşey geçişli olup çökme anında veya hemen sonrasında yeşil kil saflılıklarıyla zaman zaman az da olsa karışmıştır. Üst kireçtaşı ortalama 4 metre kalınlıkta ve düşük saflıkta bir kireçtaşı seviyesidir. "Ara seviye" ortalama 7 metre kalınlıkta ve gözenekli, killi, yeryer dolomit - dolomitik kireçtaşı mercekli silisli kireçtaşıdır. "Alt kireçtaşı" ortalama 20 metre kalınlıkta olup orta - yüksek saflıktadır. "Ara seviye" ile karıştırılarak baca gazı arıtması için uygun karışımlar verebilir. Bozçayır Formasyonu kireçtaşı istifinin görünür rezervi "ara seviye" ile birlikte 30 milyon tonun üzerindedir. Pliyosen kil, marn, çakıl ve jipslerinden oluşan örtünün 10 metre kalınlığa kadar olan kısmının altında kalan kireçtaşı istifi değerlendirmeye alınmıştır. Bu sınıra kadar olan örtü miktarı toplam 2 120 921 m<sup>3</sup> tür. Kireçtaşı içinde dolomitik ve uygun olmayan kesimler belirtilmiştir. Kullanıma uygun nitelikte ve yeterli miktarda kireçtaşının varlığı ortaya konulmuştur.

## Giriş

Çayırhan Termik Santrali'nin baca gazlarını arıtacak tesiste kullanılmak üzere büyük miktarda kireçtaşına gereksinim vardır. Bu kireçtaşının gaz arıtmaya en uygun ve en yakın yüzleklerini belirlemek, uygun olmayan kesimlerinin ayırılması kenarındaki küçük bir yerleşim birimidir. Nallıhan'a 25 km, Ankara'ya 125 km uzaklıktadır. Çayırhan Termik Santrali'nin gereksinimine uygun kireçtaşları Bolu H27 - d3 paftasında ve Santral'in yaklaşık 3 km güneyinde bulunur (Şekil 1).

Bilindiği gibi düşük kalorili linyitler en çok termik santrallerde kullanılmaktadır. Türkiye'nin enerji sektöründe kullanılan enerji kaynaklarının 1985 te %19.1 inin linyite dayandığı bilinmekte ve 2010 yılında ise bu miktarın %15 e düşürülmesi beklenmektedir.

Linyitin yakılmasıyla havaya tozlar, kükürt dioksit ve azot oksitler karışmaktadır. Bu maddeler havadaki nem ile tepkimeye girerek asit yağmurlarına neden ol-



Şekil 1. Yer bulduru haritası.

makta, akarsu ve göller ile toprakta asitleşme olayını meydana getirmektedir. Linyitin kükürt içeriği genelde %1-2,6 düzeyinde olup çok tehlikeli bir çevre kirleticisidir. Baca gazlarının kükürt dioksitten arıtılması yaş  $SO_2$  yıkama veya kuru  $SO_2$  yüzeysel tutma yöntemi ile sağlanır. Kuru yöntemdeki uygulamalardan birinde toz halindeki kireçtaşı, nemlendirilmiş baca gazına püskürtülür. Yaş yöntemde, kireçtaşı çözeltisi ile yıkanan  $SO_2$ , tepkime sonucu  $CaSO_3/CaSO_4$  karışımına dönüşür (Durmaz, 1987).

Bu gün çevre sağlığı bakımından yasal bir zorunluluk olan baca gazı arıtma sistemleri içinde şimdilik en yaygın olanı yaş kireçtaşı yöntemidir. Dolayısıyla bu yöntemde büyük miktarlarda, uygun kalitede kireçtaşına gereksinim duyulmaktadır. Örneğin kireçtaşının  $CaCO_3$ 'ü en az %85,  $MgO$ 'ü en çok %3,  $SiO_2$ 'ü en çok %4 ve  $R_2O_3$  ü en çok %4 olmalıdır. Bu araştırma böyle bir kireçtaşı sahası belirleme amacıyla yapılmıştır.

Çayırhan Termik Santrali baca gazı arıtma tesisinde yaş kireçtaşı yöntemi kullanıldığı için burada öz olarak yalnızca bu yönteme değinilecektir. Arıtma tesisi birbirinin aynı iki birimden oluşur. Tam kapasite ile çalıştırıldığında her biri saatte 200 ton kireçtaşı tüketir. Kireçtaşı depodan besleme hunisine, sarsıntılı eleğe ve sırasıyla kırıcı, yaş bilyalı değirmene, havalı ayırıcılara ve absorban toplama kazanına gelir. Yaş baca tabanındaki kazandan birinci aşama püskürme düzeyine gönderilen kireçtaşı çözeltisi ve ikinci aşama düzeyindeki kireçtaşı çözeltisi baca gazı ile tepkimeye girerek  $CaSO_3/CaSO_4$  karışımı halinde arıtma bacası tabanındaki kazanda toplanır. Burada bir taraftan sürekli baca gazı üzerine gönderilirken bir taraftan da toplanma kazanında oksitleyici hava pompalarından gelen hava ile oksitlenerek  $CaSO_4$  haline dönüştürülür.  $CaSO_4$  çamuru kazandan çekilerek pompalarla jips toplama deposuna gönderilir (Şekil 2).

Yaş kireçtaşı yönteminde  $SO_2$  arıtma verimi kömürün kükürt oranına bağlıdır. Kükürt oranı % 0.75 - 1 olan kömürlerde yanma sonrası atmosfere dağılan  $SO_2$  miktarı bu yöntemle  $400 \text{ mg/m}^3$  ün altına düşürülebilir. Yine bu yöntemde baca gazı sıcaklığı 50 santigrad dereceye düştüğünden baca çekişini sağlamak için baca girişinden önce gazın yeniden ısıtılması gerekir.

## Jeoloji

Çayırhan çevresinde temeli oluşturan en yaşlı birim "Ayırtlanmamış Temel Karmaşığı" (Altınlı, 1973) olarak isimlendirilen Paleozoyik metamorfik ve metaültrabazitlerdir. Çayırhan'ın yaklaşık 20 km kuzeyinde gö-

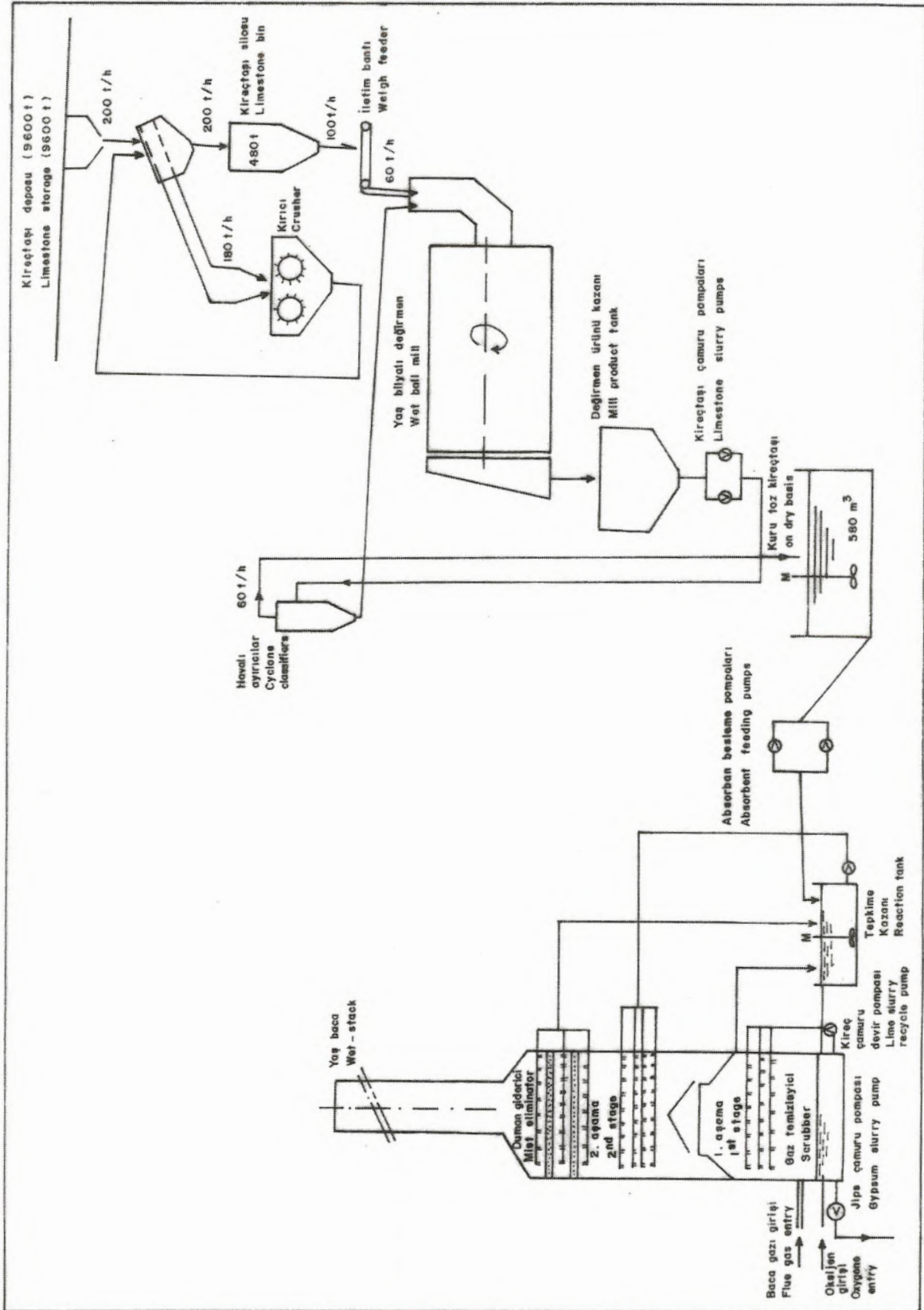
rülen metamorfikler dışında Nallıhan yöresinde temeli Jura öncesi yaşta granitik sokulum kayaları oluşturur (Saner, 1980). İnceleme alanının kuzeyinde metamorfikler üzerinde tektonik dokanakla Soğukçam Formasyonu yer alırken Nallıhan yöresinde granitik temel üzerinde Bilecik Kireçtaşı ve üste doğru geçişli olarak Soğukçam Formasyonu bulunur. Yörede çeşitli amaçlarla Jensenko (1955), Gökmen (1965), Wedding (1965), Aziz (1976), Işıganer (1976), Narin (1980), Siyako (1983) ve Çelik (1988) çalışmışlardır. Bu çalışmalara göre metamorfik ve granitik sokulum kayalarının üzerinde çeşitli Mesozoyik ve Tersiyer yaşlı çökel, volkanoçökel ve volkanik birimler uyumsuz olarak yer alır.

İnceleme alanında Tersiyer, Neojen alt sistemi; Neojen de Miyosen ve Pliyosen serileri ile temsil edilir. Miyosen bölgede geniş bir alana yayılır ve kalınlığı 1000 metreye kadar çıkar. Miyosen birbiri ile uyumlu, alttan üste şu formasyonlardan oluşur: Boyalı Formasyonu (çakıltaşı, kumtaşı, kömürlü kilitaşı-tüfit), Hırka Formasyonu (şeyl, bitümlü şeyl-tüfit, soda "trona"), Karadoruk Formasyonu (çörtlü dolomitik kireçtaşı), Akkum Formasyonu (bentonitik kilitaşı, marn, tüfit, kireçtaşı), Kızılkum Formasyonu (kırmızı, yeşil kilitaşı - tüfit) ile Acısu Formasyonu (tüfitik kilitaşı - marn)'ndan oluşur (Çelik, 1988).

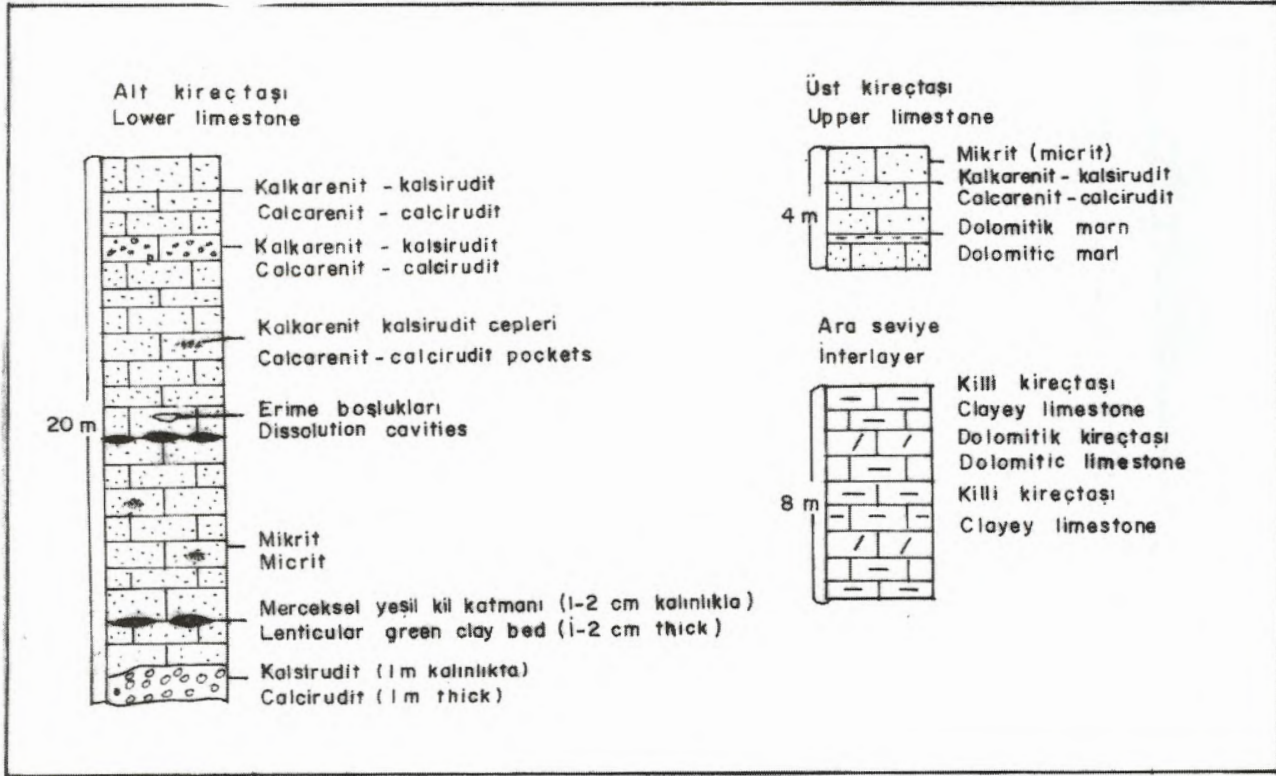
Diğer bir çalışmada Neojen öncesi metamorfik, ofiyolit, granit, kireçtaşı ve kırıntılı kayalardan oluşan temel üzerinde uyumsuz olarak Orta Miyosen ve Üst Miyosen formasyonları ayırtlanmıştır (İnci ve diğ., 1988, Tatar ve diğ., 1993'ten).

Bu çalışmada Orta Miyosen yaşlı Çoraklar Formasyonu (linyitli, çapraz katmanlı çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı), Hırka Formasyonu (şeyl, bitümlü şeyl, trona ve tüf), Akpınar Formasyonu (silisleşmiş kilitaşı, kireçtaşı ve çört), Çayırhan Formasyonu (kilitaşı, çamurtaşı, ince taneli kumtaşı) ve Üst Miyosen yaşlı Bozbelen Formasyonu (çakıltaşı, kumtaşı, siltaşı, çamurtaşı), Sarıyar Kireçtaşı ve Kırmir Formasyonu (Kilitaşı, çamurtaşı ve jips) tanımlanmıştır.

Bu çalışmada Üst Miyosen yaşlı Sarıyar Kireçtaşı Işıganer (1976)'da Bozçayır Formasyonu içindeki kireçtaşları ile; Çelik (1988)'deki Pliyosen yaşlı Bozalan Formasyonu'nun en üst seviyesindeki kireçtaşlarının eşleniği olmalıdır. Çalışmamızda söz konusu kireçtaşları Bozçayır Formasyonu adı altında tanımlanacaktır. Üstündeki birimler de Pliyosen yaşlı Softa 1 ve Softa 2 formasyonları olarak anlatılacaktır.



Şekil 2. Çayırhan Termik Santrali baca gazı arıtma tesisi basitleştirilmiş akım şeması ve bulduru haritası.



Şekil 3. "Alt kireçtaşı", "ara seviye" ve "üst kireçtaşı seviyeleri.

## Bozçayır Formasyonu

Bozçayır Formasyonu inceleme alanında altı görülmeyen açık yeşil - beyaz dolomitik marn, kil ve dolomitik killi kireçtaşı arakatmanları içeren bir taban seviyesi ile başlar. Taban seviyesi üzerinde "alt kireçtaşı", onun üzerine marn-kil, killi kireçtaşı "ara seviyesi" ile "üst kireçtaşı" seviyesi gelir (Şekil 3 ve 4).

**Taban seviyesi;** Alttaki marn, killi kireçtaşı, kil ve dolomitik marn litolojileri inceleme alanının batı ve güney kenarlarında, Sarıyar baraj gölünün hemen kıyısındaki yamaçlarda görülür. Yer yer kahverengi siltli kesimlerin dışında sertçe, beyaz, silisleşmiş marn - kil ile gevşek yapıda açık yeşil marn ve killerden oluşur. Bu seviye içinde yer yer dolomit, dolomitik marn - kireçtaşı ve mercıksel kireçtaşı arakatmanlarına rastlanır.

**Alt kireçtaşı;** Sarıyar baraj gölü kıyısı boyunca, dik, kalın bir yar halinde uzanır. Az çok dalgalı, yeşilimsi beyaz bir dolomitik kil taban üzerinde iyi yuvarlak, yumurta biçimli 10 - 20 cm boyunda kendi kireçtaşı çakıllarından ibaret bir kireçtaşı seviyesiyle başlar. Bu çakılların arasında küçük, yeşil kil cepleri bulunur. Üste doğru mikrit ve kalkarenit - kalsirudit kalın katmanları aralanarak "ara seviye" ye geçer. Ortalama 20 metre kalınlıktadır.

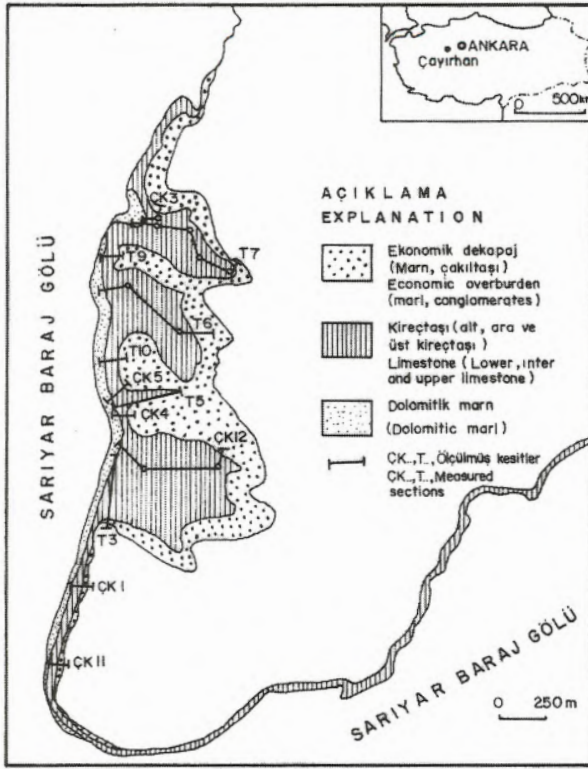
Beyazımsı bej, mikritik kireçtaşı - kalsirudit - kalkarenit dokulu ardalanan seviyeler halindeki bu kireçtaşı 15 - 25 metre kalınlıkta ve ara seviye ile alttaki dolomitik marnların arasında bulunur. Genelde orta - yüksek saf kireçtaşı kalitesindedir. Bazen ara seviye ve tabandaki dolomitik marnlarla düşey geçişler yapar.

İnce kesitte kenarları net olmayan mikritik tanelerden boşluğa doğru, giderek büyüyen spar kalsit çimento görülür. Bazı boşluk ve tane kenarlarında bakımsız sparitik çimento ile mikrit içinde kuş gözü yapıları gözlenmiştir. Mikritik parça ve tanelerin bazı ostrakod kavraklarıyla çökme anında veya hemen sonrasında sığ göl tabanının hareketliliği nedeniyle birbirinin içine karıştığı ve hatta zaman zaman suyun azalması ile su yüzüne çıktığı izlenimi algılanmaktadır.

Daha çok tabana yakın kısımlarda yaygın yumrulu kireçtaşı veya kalsirudit fasiyesi, çimentosunda bir miktar yeşil kil ve mikritik kireçtaşının parçalarını bulundurarak incelik kalınlaşan bir seviye oluşturur. Breşik görümlü bu seviyenin kalınlığı 0.5 - 1.5 metre arasında değişmektedir.

"Alt kireçtaşı"nın üste yakın kesimlerinde yer yer 0.2 metre kalınlığında 0.5 metre uzunluğunda mercıksel dolomitik kireçtaşı seviyesi gözlenir. Bu seviyeler bazen dolomitik marn - marn görümlü yumuşak beyaz dolomitler halindedir.

"Ara seviye". Kendi içinde killi kireçtaşı-marn-kil-



Şekil 4. Çayırhan Termik Santrali kireçtaşı sahasında, kireçtaşı ve ölçülmüş kesit dağılımı.

kireçtaşı geçişleri gösterir. Açık yeşil-beyazımsı renkleri ve düşük açılı yamaçlar halinde görünüşleriyle tanınır. Bolca gözenekli ve daha az sert yapıdadırlar. Ortalama 6 metre kalınlıktadır. Bu seviye yumrulu, killi kireçtaşı ve mercekssel dolomitik killi kireçtaşından oluşur. "Üst kireçtaşı"nın altında, düşük yamaç eğimleri ile 3 - 10 metre kalınlıkta bir seviye halinde görülür. Yeşilimsi krem renkli, bolca gözenekli, yumrulu, yüksek silis ve  $R_2O_3$  içeriklidir. Gözenekler birincil ve çoğu da erime sonrası oluşmuştur. Gözeneklerin önemli bir bölümüne yeşil kil dolmuştur. Bu yüzden dayanımlı kireçtaşı yumruları arasında % 25 - 30 kadar yeşil kil kapanlanmıştır. Yeşil killi, yumrulu kireçtaşı "ara seviye" de killi kireçtaşı ile yanal ve düşey geçişlidir.

Kireçtaşı yumrularının ince kesitlerinde mikrit içinde erime ve birincil boşluklar ile çatlaklarında yer yer kuvars kırıntılarının kalmış olduğu görülür. Gerek "üst kireçtaşı" gerekse "ara seviye" kil hamurlu yumrulu kalkarenit ince kesitlerinde ostrakod kavrıklarına rastlanmaktadır.

**Üst Kireçtaşı:** Kahverengi bej renkli, beyazımsı - bej mikrit ve kalkarenit dokulu bir seviyedir. Bu seviye kendi içinde yer yer 0.5 metre kalınlıkta dolomitik marn arakatmanı içerir. Bazen erime boşluklu, kalsit dolgulı,

kalın kalsirudit - kalkarenit katmanları halinde de görünürler. Ortalama kalınlığı 4 metredir.

Üst kireçtaşı, dış görünümü yer yer koyu yeşil kara yosunlarıyla kaplı, kovuklu, 0.5 - 1 cm kadar ayrışma kabuklu, açık bej kireçtaşıdır. Ara katman olarak ortalama 0.5 metre kalınlıkta fakat yer yer 5 - 10 cm ye kadar incelen bir dolomitik kireçtaşı kuzeyden güneye daima ara seviyenin üzerinde bulunur.

Taze kırılma yüzeyi beyazımsı çok açık bej renkli, 0.1 - 1 cm intraklastlı, birincil ve erime boşluklu "üst kireçtaşı" seviyesi kalkarenit - kalsirudit olarak tanımlanabilir. Üst bölümü bazen mikritik dokulu olabilmekte fakat orta ve alt bölümü hemen daima kalkarenit - kalsirudit dokuludur. Taneler mikritten ibarettir. Çatlaklar ince kesitte mikrosparit çimento dolgulı görünür. Olasılıkla erken erime ve yeniden kristallenme sonucu yer yer oluşmuş bu dağınık çatlak dolgusu, mikrit kökenli bir mikrosparidir.

Üst kireçtaşı kuzeyden güneye doğru bazen "düşük saflıkta kireçtaşı", bazen "orta saflıkta kireçtaşı" kalitesinde ve bazen de yalnız "dolomitik kireçtaşı" olarak ortalama 4 metre kalınlıkta bir seviye halinde uzanır.

Denize! fosil bulunmayışı, sık sık dolomit ve silis oranlarının değişmesi, su seviyesinin önemli değişimler göstermesi sonucu ortama kil karışması gibi olaylar, söz konusu kireçtaşlarının sığ bir göl ortamına ait olabileceğini düşündürür (Collinson, 1978). Ayrıca kireçtaşlarının bolca intraklast ve birincil boşluk içermesi göl tabanının duraysız ve suyun genelde yüksek enerjili olduğunu gösterir.

### Softa 1 Formasyonu

Boz, yeşilimsi kahverengi çakıltaşı, beyazımsı açık yeşil marn - kil ve yer yer ince kireçtaşı arakatmanlarından oluşur. Çakıltaşı; 0.5 - 30 cm boyunda, yarıyuvarlak - yuvarlak çört, sokulum ve püskürük kaya çakıllarından oluşmuştur. Çakıllar ortalama 10 cm boyunda olup az çok yassı biçimli, kötü boylanmalıdır. Çimento kumlu kireçli olup çakıllar sıkıca tutturulmuştur. Ancak tutturulmuş haldeki çakıllar birkaç küçük yüzlek dışında genelde dağılmış haldedir.

Marn ve killer yeşilimsi beyaz, gevşek yapıda ve birbiriyle geçişli olup yer yer ince marnlı kireçtaşı - kireçtaşı arakatmanları içerir. Söz konusu kireçtaşı kahverengi - bej mikritik dokulu ve en çok yarım metre kalınlıktadır. Softa 1 Formasyonu inceleme alanında 120 metre kalınlığa ulaşır.

## Softa 2 Formasyonu

Sarımsı kahverengi - gri, marn ve killerden ibarettir. Jips arakatmanları sayesinde biraz duraylılık kazanırlar. Çoğun kolay aşınıp yamaç aşağı aktıklarından üstlerindeki jips katmanından blokları da beraberinde sürükleyebilmektedirler.

Bozçayır Formasyonu ile Softa 1 ve Softa 2 formasyonları arasında çok düşük açılı bir uyumsuzluk vardır. Olasılıkla Miyosen sonu Pliyosen öncesi Genç Alpin Orojenezinin Rodaniyen fazı Bozçayır Formasyonunu etkilemiştir. Bozçayır Formasyonunun katmanları 10 derecelik bir eğimle kuzey dalmaktadır. Kendi içinde yaklaşık doğu - batı yönlü küçük atımlı düşey blok hareketleri ve bunlara bağlı çatlakların gelişmiş olduğu görülmüştür.

## Ekonomik Jeoloji

Kireçtaşı, en az %80 CaCO<sub>3</sub> içeren bir çökel kayadır. Sanayide kullanılan başlıca karbonat kayaları kireçtaşı ve dolomittir. Kireçtaşları içerdikleri CaCO<sub>3</sub> oranlarına göre beş saflık grubuna ayrılır (Bridge ve Gozzard, 1981):

CaCO<sub>3</sub> %

- 1) Çok yüksek saflıkta kireçtaşı >98.5
- 2) Yüksek saflıkta kireçtaşı 97 - 98.5
- 3) Orta saflıkta kireçtaşı 93.5 - 97
- 4) Düşük saflıkta kireçtaşı 85 - 93.5
- 5) Saf olmayan kireçtaşı 65 - 85

Kireçtaşı şeker, cam, kağıt, çelik, çimento sanayileri ile baca gazı arıtma tesislerinde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır.

Baca gazı arıtma tesislerinde kullanılacak kireçtaşının CaCO<sub>3</sub> nın % 85 in üzerinde, MgO inin % 3 ün altında, SiO<sub>2</sub> inin % 4 ün altında olması istenmektedir (TEK ve MTA arasında yapılan teknik sözleşme).

## Yöntem ve örnek alımı

Jeoloji haritası yapıldıktan sonra Bozçayır Formasyonu'nun uygun yerlerinden "alt kireçtaşı", "ara seviye" ve "üst kireçtaşı" nı kapsayan ölçülmüş dikme kesitler yapılmıştır. Dikme kesitlerden söz konusu seviyelerde her 2 metre kalınlıktan bir oluk örnek derlenmiştir. Toplam 126 örnekte kimyasal analiz yapılarak CaCO<sub>3</sub>, MgO, SiO<sub>2</sub> ve R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarları % cinsinden bulunmuştur. Kimyasal analizler yaş kimyasal ve gravimetrik yöntemlerle yapılmış olup bu analizlerde hata sınırı %2 olarak kabul edilmiştir.

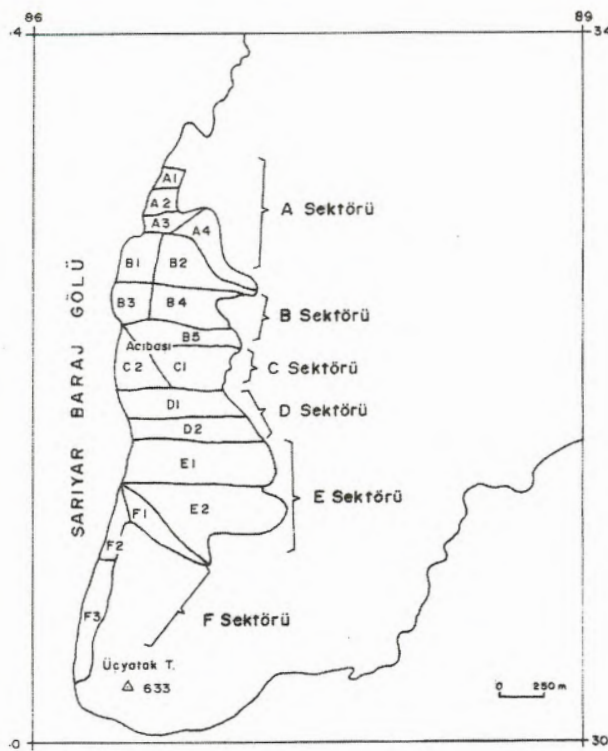
Kireçtaşı olarak değerlendirilebilecek litofasiyelerde 12 den fazla ölçülmüş dikme kesit yapılmıştır (Şekil 4). Ölçülmüş dikme kesitlerde "Jakob çubuğu" yöntemi uygulanmıştır. Kireçtaşı işletme alanı ekonomik dekapaj oranına uygun sınırlar ile haritalanmış; kendi içinde "çok yüksek saf kireçtaşı", "yüksek saf kireçtaşı", "orta saf kireçtaşı", "düşük saf kireçtaşı", "dolomitik kireçtaşı", "kalsitik dolomit", "dolomitik marn", "dolomitik ve silisli kireçtaşı", "silisli kireçtaşı" ve "kireç çakıltısı" kalite bölümlerine ayrılmıştır.

Rezerv hesapları hem "kesit" hem de "blok" yöntemine göre yapılmıştır. Kesit yönteminde kuzeyden güney her 100 metre ara ile doğu - batı yönlü 27 adet harita enine kesitleri hazırlanmış; 45°lik şev açısı dikkate alınarak 10 metrelik örtü kalınlığı sınırına kadar olan bölüm değerlendirilmiştir. Blok yönteminde de aynı şev açısı ve örtü kalınlığı dikkate alınarak bloklar (sektörler) kendi içinde panolara ayrılarak  $V = h/3 (S1 + S2) + \sqrt{S1 \times S2}$  formülünden hacimler bulunmuş; özgül ağırlık 2 g/cm<sup>3</sup> alınarak rezervleri hesaplanmıştır.

## Ölçülmüş dikme kesitlerin irdelenmesi

Üst kireçtaşı %85 - 97 CaCO<sub>3</sub> içerikleriyle kullanıma uygun bir kireçtaşı olup arakatmanı ve altındaki "ara seviye" yumrulu kireçtaşı ile belli oranlarda karıştırılırsa "ara seviye"nin baca gazı arıtma tesisinin aradığı özelliklere uygun gereç haline gelmesini kısmen sağlayabilir.

Ara seviye silisli ve silisli - dolomitik kireçtaşı ve marnlarının bütün saha genelinde ortalama CaCO<sub>3</sub> i %84; SiO<sub>2</sub> i % 6 ve MgO i % 2 dolayındadır. Bu seviyenin değerlendirilebilmesi uygun oranlarda "alt" ve "üst kireçtaşı" ile karıştırılmasına bağlıdır. Bu bağlamda A sektörünün A1, A2 ve A3 panoları ele alındığında (Şekil 5) "üst kireçtaşı"nın ortalama CaCO<sub>3</sub> i % 90.4; MgO i % 1.7; SiO<sub>2</sub> i % 2.7 dir. "Ara seviye"nin ortalama CaCO<sub>3</sub> i % 87.7; SiO<sub>2</sub> i % 6.9 ve MgO i % 1.2 dir. Üst kireçtaşından üç kısım "ara seviye"nin bir kısmı ile karıştırılırsa karışımın ortalama bileşimi % 89.7 CaCO<sub>3</sub>, % 1.6 MgO ve % 3.75 SiO<sub>2</sub> olacaktır. Üst kireçtaşının 3 metrelik ortalama kalınlığı ile "ara seviye"nin en üst bölümündeki 1 metrelik kısım karıştırılarak uygun karışımlar elde edilebilir. "Ara seviye"nin artakalan 7 metre kalınlıktaki bölümü de "alt kireçtaşı"nın uygun oranlarda karıştırılmasıyla değerlendirilebilir. Çünkü "alt kireçtaşı"nın hem kalınlığı fazla hem de saflığı "üst kireçtaşı"ndan daha iyidir.



Şekil 5. Kireçtaşı sahasının sektör ve pano dağılımı.

"Alt kireçtaşı" güney tarafında yersel 2 metre kalınlığındaki düşük saf kireçtaşı seviyesi dışında orta ve yüksek saflıktadır (Şekil 6). Kendi içinde yanal ve düşey kalite geçişlidir.

"Ara seviye"nin değerlendirilmesi bağlamında örneğin A sektörünün A3 panosu ele alınırsa "alt kireçtaşı"nın 4 - 5 metre kalınlıktaki bölümü bile 7 metre kalınlıktaki "ara seviye" killi kireçtaşlarından uygun karışım elde edilmesine yetmektedir. Çünkü "ara seviye"nin ortalama % 6.76 olan  $SiO_2$ 'ne karşın "alt kireçtaşı"nın ortalama  $SiO_2$  i % 1.13 tür. Yani "ara seviye"nin 1 kısım, 2 kısım "alt kireçtaşı" ile karıştırılırsa  $SiO_2$  uygun düzeye çekilebilmektedir.

B sektöründe "ara seviye"nin 10 metre kalınlıktaki yeşil kil hamurlu, yumrulu kireçtaşı - killi kireçtaşı fasiyesinin ortalama  $SiO_2$  i % 6.12 dir. "Alt kireçtaşı"nın yumrulu kireçtaşı seviyeleri sıkı dayanımlı ve çok az yeşil kil hamurlu olduğundan, breşik kireçtaşı görünümündedir. Ortalama  $SiO_2$ 'i % 1.45 düzeyindedir. Bu nedenle "ara seviye"nin bir kısım killi kireçtaşına 2 kısım "alt kireçtaşı" karıştırılırsa  $SiO_2$  oranı uygun düzeye (% 4) indirilmiş olabilir. Diğer bileşenler bakımından ise herhangi bir sorun bulunmamaktadır.

C sektöründe "ara seviye" nin ortalama  $SiO_2$  i %1 dir. Yani yaklaşık 3 kısım "alt kireçtaşı" 1 kısım "ara seviye" ile karıştırılırsa uygun bir karışım elde edilebilir. Ancak mercekli dolomitli, silisli yeşil kil hamurlu, yumrulu kireçtaşının  $SiO_2$  i 10 un üzerinde olan 4 metrelik bölümü değerlendirmeye alınmayabilir, atılabilir. "Ara seviye"nin bu aşırı silisli ve dolomitli kısmı ki, 3 - 4 metre uzunlukta yarım metre kalınlıkta mercekler ve bol yeşil kil hamurlu, yumrulu kireçtaşı - dolomitik kireçtaşı fasiyesi ile dikkati çeker, ayrılacak olursa geri kalan kısım alt kireçtaşı ve üst kireçtaşı ile 1/2 oranında karıştırılarak uygun karışımlar elde edilebilir. Bu yüksek silis olasılıkla yeşil killerde bulunan bir bileşen olup kireçtaşının kendi bünyesinde o kadar yüksek değildir.

D sektöründe "ara seviye" nin ortalama  $SiO_2$  i % 11 dolayında ve kalınlığı 8 metredir. "Alt kireçtaşı"nın orta ve yüksek saf oluşu; ortalama % 1.2  $SiO_2$  içermesi ve 18 metre kalınlıkta olması karışım için büyük yarar sağlayacaktır. Örneğin 3 kısım "alt kireçtaşı" 1 kısım "ara seviye" ile karıştırılırsa uygun bir karışım elde edilebilir.

E ve F sektörlerinde de benzer durumlar söz konusudur. Ekonomik değerlendirmeler doğrultusunda karışım ve dekapaj işlemleri uygulanabilir.

## Sonuçlar

Baca gazı arıtma tesislerinde kullanılacak kireçtaşı Çayırhan beldesinin yaklaşık 3 kilometre güneyinde belirlenmiştir. Baraj gölünün doğu kenarında yüzlek veren kireçtaşında aşağıdaki ekonomik jeoloji bulguları saptanmıştır:

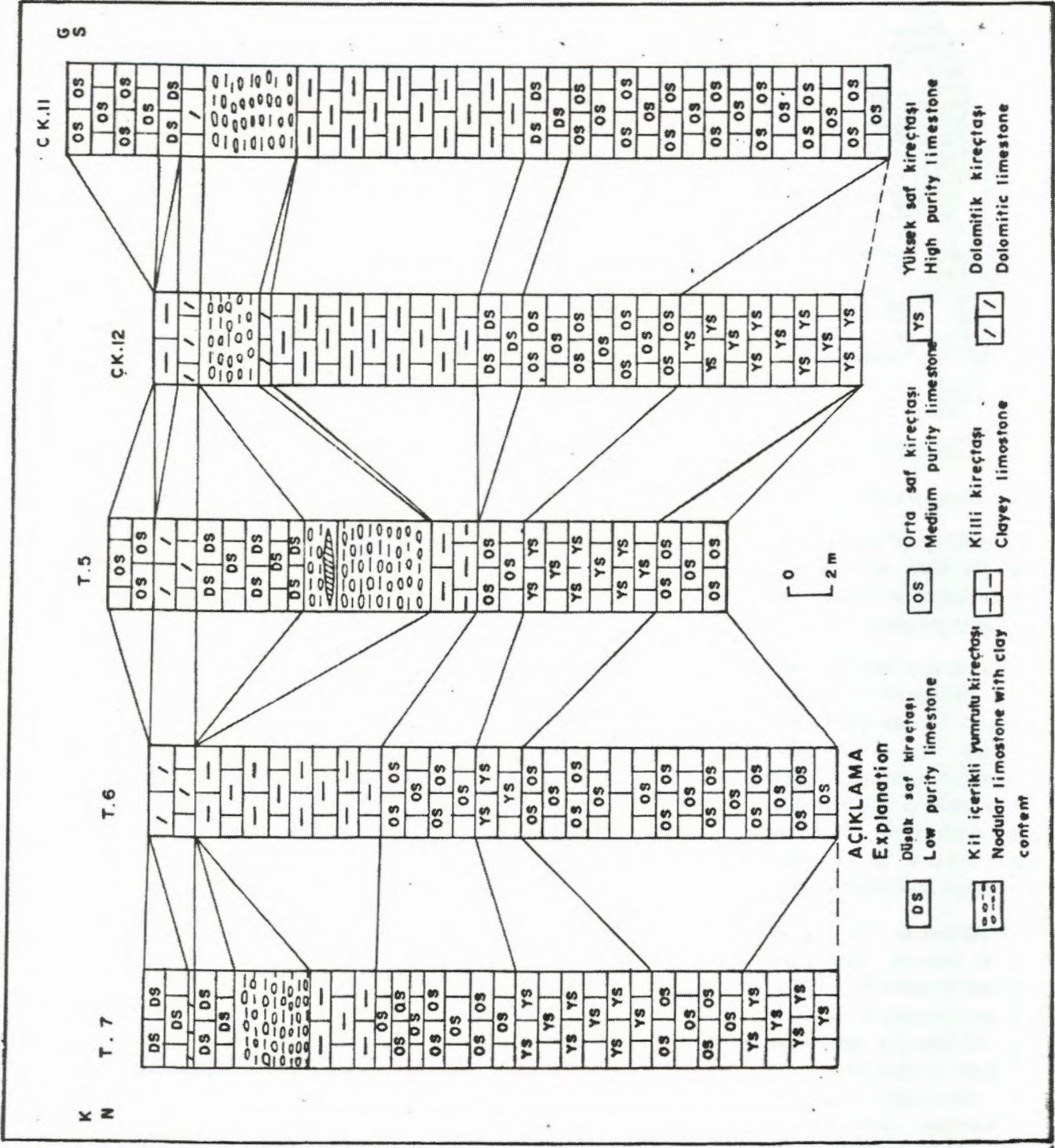
- TEK Çayırhan Termik Santralı baca gazı arıtma tesisi için belirlenen kireçtaşı, silisli ve yer yer mercekli dolomitli "düşük saf", "orta" ve "yüksek saf" kalite gruplarındadır.

- "Ara seviye" genel olarak "alt" ve "üst kireçtaşı" ile 1/2 - 1/3 oranlarında karıştırılarak uygun bileşimli kireçtaşı karışımları elde edilebilir.

- Kullanıma uygun kireçtaşının "ara seviye" dışındaki görünür rezervi 26 635 287 ton; "ara seviye"nin görünür rezervi 3 900 000  $m^3$  tür.

- "Ara seviye"nin belli oranlarda "alt" ve "üst kireçtaşı" ile değerlendirilmesi durumunda işletilebilir kireçtaşı rezervi en azından 30 000 000 tonu bulacaktır.

- Toplam örtü miktarı 2 milyon  $m^3$  olup kil, marn, gevşek ve tutturulmuş çakıltaşı türündedir.



Şekil 6. Çayırhan Termik Santralı baca gazı arıtma tesisi kireçtaşlarında kuzeyden güney kalite değişimi.



## DEĞİNİLEN BELGELER

- Altınlı, İ.E., 1973, Bilecik Jurassığı. 50. Yıl Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri, 17 - 19 Aralık 1973, MTA - TJK Ankara, 103 - 111.
- Aziz, A., 1976, Beypazarı - Yeniçayırhan ve Karaköy arasındaki sahanın jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Gen. Müd. raporu, 4461 (yayımlanmamış).
- Bridge, McC.D. and Gozzard, J.R., 1981, The Limestone and Dolomite Resources of the Country Around Bakewell, Derbyshire. Inst. Geol. Sci. Min. Ass. Rep. 79, 66 p. London.
- Collinson, J.D., 1978, Lakes. Reading, H.G., ed. Sedimentary Environments and Facies'de. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 61 - 79.
- Çelik, E., 1988, Çayırhan doğal sodyum sülfat yatağı maden jeolojisi raporu: Maden Tetkik ve Arama Gen. Müd. raporu, 8354 (yayımlanmamış).
- Dumaz, A., 1987, Türkiye'nin enerji alt yapısı ve hava kirliliği. Dumaz A.R. ve Ercan A. ed., Uluslararası Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğini Kontrolü Sempozyumu, 23 - 25 Eylül, 1987, Ankara, 1 - 74.
- Gökmen, V., 1965, Nallıhan - Beypazarı civarındaki linyit ihtiva eden Neojen sahasının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Gen. Müd. raporu, 3802 (yayımlanmamış).
- Işıganer, T., 1976, Beypazarı - Mihaliççik dolayındaki kömürlü alanın jeolojisi. İ.Ü. Müh. tezi (yayımlanmamış).
- Jesenko, P., 1955, Nallıhan-Mihaliççik sahalarında harita çalışmalarına ait ihzari mahiyette rapor. Maden Tetkik ve Arama Gen. Müd. raporu, 2436 (yayımlanmamış).
- Narin, R., 1980, Orta Anadolu Beypazarı, Beyşehir linyit yatakları. Jeol. Müh. Bül. 2, 231 - 239.
- Saner, S., 1980, Mudurnu - Göynük havzasının Jura ve sonrası çökelim nitelikleriyle paleocoğrafya yorumlaması. Türkiye Jeoloji Kurumu Bül. 1, 39 - 52.
- Siyako, F., 1983, Beypazarı (Ankara) kömürlü Neojen havzası ve çevresinin jeolojisi raporu: Maden Tetkik ve Arama Gen. Müd. raporu. 7431 (yayımlanmamış).
- Tatar, Ç., Köse, H. ve Helvacı, C., 1993, Çayırhan kömür havzasında yeni kömür damarlarının jeolojisi ve uygulanabilecek üretim yöntemi. Cum. Üniv. Müh. Fak. Mad. Bil. ve Tekno. Derg. 1, 11 - 28.
- Wedding, H., 1965, Çayırhan Neojen havzası (Nallıhan / Beypazarı - Ankara). Maden Tetkik ve Arama Gen. Müd. raporu: 3924 (yayımlanmamış).

# Başkalaşım kayalarındaki ana süreksizliklerin kaynak oluşumuna etkisi

*İlyas Yılmaz*, Spekra Jeotek, Kumkapı Sok. 20/1-2, 06610 Çankaya, Ankara

Özellikle tortul kayalardaki tabakalar, yeraltısuyunun akışı üzerinde etkilidir. Manisa - Demirci ilçe merkezinin kuzeyinde GD'ya eğimli Tersiyer tortul birimlerinden oluşan dağın GD yamaçlarında kaynaklara ve sızıntılara sık sık rastlanabilirken KB yamaçlarında tersi hidrojeolojik durumlar geçerlidir. Bu örnekli genelleme başkalaşım kayalarında daha farklı durum göstermektedir. Tortullaşma sonrası basınç (P) ve/veya sıcaklığın (T) artmasıyla birlikte pekişme başlar ve diyajenez sonrasında da katı - katı etkileşimleri gelişip sürer. Böylece, taneler yerini kristallere bırakır ve yükselen yeni T - P koşullarında daha duraylı mineral grupları oluşur. Basınca bağlı olarak minerallerin yeniden dizilimi ve konumlanması başlar ve gelişir. Böylece, süreksizlikler kaynaşır, boşluklar kaybolur ve geçirimsizlik sıfıra iner. Ancak, daha sonraları başkalaşım koşullarının atmosferik koşullara doğru yaklaşması sırasında, etkisi altına girilen değişik jeolojik olaylar, özellikle tektonik hareketler ve T - P'nin azalması, yeni süreksizliklerin oluşmasına olanak sağlar. Bu süreksizlikler; bileşimsel değişiklik gösteren ve farklı dayanım içeren seviyelerin ayrılması, yapraklanmanın oluşması ve eşlenik - gerilim - sıkışma eklemlerinin oluşması veya eskilerinin belirginleşmesi şeklinde oluşmaktadır. Gelişen süreksizliklerin bir bölümü, bölgesel anlamda yüzey şekillerinin oluşmasında da etkindirler. Bu tür ana süreksizlikler yeraltısuyu güdümlerini sağlar. İstrancalarda Çilingos göleti güneyinde 10 l/s debili bir kaynağın oluşumunu tabakalanma, eklem ve faylar belirlerken Nurdağ'daki Ayransuyu kaynağı tabakalanma, yapraklanma ve sıkışma eklemleri

tarafından yönlendirilmektedir. Bu dağların pek çok bölümünde etkisini gösteren bu süreksizlikler, tek yönlü (homoclinal) yapıları oluştururlar. Bu bağlamda, dağ sırasını bir tarafta kaynaşmaz ve yeraltısuyu açısından verimsizken, diğer tarafta tam tersi hidrojeolojik koşullar geçerlidir. Bu anlamda hazırlanan bir hidrojeolojik model, yeni kaynakların ortaya çıkarılması ve varolanların geliştirilmesinde etkin teknik kararların bulunup uygulamaya konmasına olanak sağlar. Ayrıca, böyle bir model ilgili mühendislik yapılarının jeoteknik tasarımında da oldukça gereklidir.

## Giriş

Eğimli tortul istiflerde yeraltısuyunun hareketi, genellikle tabakalanma tarafından güdümlenir. Fay zonları, düzlemsel sokulumlar (sil-dayk) olan dokanaklar, uyumsuzluk düzlemleri ve gerilim çatlakları, bu anlamda, ikinci derecede önem taşımaktadır. Yılmaz (1990) kıvrımlar içeren bir sahada, yeraltısuyunun hareketine bağlı olarak, otoyol bileşenlerinin jeoteknik tasarımında gözönünde bulundurulması gereken konulara değinmiştir. Aynı araştırmacı (1991) sıradan (conventional), beslenme havzası sınırı yerine yapısal yöntem ileri sürerek bu sınırın bitişik havzalar arasında tek yönlü ve yaygın olan süreksizliklerin konumuna göre nasıl belirlenebileceğini ortaya koymaya çalışmıştır. Düşük - orta derecede başkalaşım kayaçlarını içeren bölgelerde, tortul istifler için önerilen hidrojeolojik araştırma yöntemleri genel çizgileriyle kullanılabilir.

Başkalaşım kayaçlarından oluşan bir bölgede kaynakların oluşumunda etkili olan süreksizlik etkenine sunulan iki örnekten birincisi İstranca masifi içerisinde yer alıp Saray ilçesinin KD'sunda yapılmış olan Çilingoz barajının KB'sındaki Kaynak Dere kaynağıdır (SIAL,

1993). Diğeri ise Paleozoyik yaşlı Nurdağı başkalaşım kayalarından (Yılmaz ve diğeri, 1993) beslenen Ayransuyu kaynağıdır. Kırıntılı başkalaşım kayalarının genel özelliği gereği her iki kaynaktaki suyun pH'si 6.5'tur. Avrupa Konseyi ve TS-266'ya göre önerilen ve izin verilebilir üst sınır (Tablo 1) gözönünde bulundurulduğunda doğrudan içilemeyecek kadar asidik özellik taşıdıkları anlaşılmaktadır. Bu özelliğinden dolayı içildiğinde acıkma hissi vermekteler. Ayrıca, mineral içeriği açısından oldukça fakirdirler.

Tablo 1. Avrupa Konseyi ve Türk İçme Suyu (TS-266) Standartları

Değişirge	Birim	Hamsu Kalitesi			
		Avrupa Konseyi (1975)		TS - 266	
		Önerilen	Üst sınır	Önerilen	Alt-üst sınır
Renk	PtCo	5	20	5	50
Bulanıklık	mgSiO <sub>2</sub>	5	10	5	25
Elektriksel iletkenlik	µmhos/cm	-	-	-	-
Klorür	mg/l	≤200	500	≤200	600
pH	-	-	-	7-8.5	6.5-9.2
Deterjan (ABS)	mg/l	-	-	0.5	1
Toplam Sertlik	Fr	-	-	50	-
Kalsiyum	mg/l	100	-	75	200
Magnezyum	mg/l	30	50	50	150
Buharlaştırma kal.	mg/l	-	-	500	1500
Sülfat	mg/l	-	250	100	500
Amonyak (NH <sub>3</sub> )	mg/l	-	0.5	200	400
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	mg/l	50	-	-	45
Florür	mg/l	-	-	0.8-1.7	1.4-2.4
Çözünür demir	mg/l	0.3	-	0.3	1
Mangan	mg/l	0.02	0.05	0.1	0.5
Çinko	mg/l	-	-	5	15
Bakır	mg/l	0.05	-	1	1.5
Kurşun	mg/l	-	0.1	-	0.05
Selenyum	mg/l	-	-	-	0.01
Arsenik	mg/l	0.05	-	-	0.05
Krom	mg/l	0.05	-	-	0.01
Siyanür	mg/l	0.005	-	-	0.0005
Kadmiyum	mg/l	-	-	-	0.05
Gümlüş	mg/l	-	-	-	-
Koli basılı	*KBS/100 ml	-	-	-	-

\* KBS : Koliiform bakteri sayısı

## Başkalaşmış kırıntılı birimlerin hidrojeolojik özellikleri

Kiltaş, miltaş, çamurtaş, kumtaş, çakıl kaya ve kalkerli kayalar çökme kayaların %90'ından fazlasını oluşturmaktadır. Başkalaşım kayalarından oluşan dağ kuşakları, bileşenleri açısından incelendiğinde %90'ı yukarıda verilen kırıntılı kayaların başkalaşmasıyla oluşturmaktadır. İngilizce adına benzetme yapılarak kısaca metadetritik olarak adlandırılan başkalaşmış kırıntılılarda, tabakalanma yaklaşık ilk 20 m'lik derinliğe kadar belirginliğini koruyabilir. Artan derinlikte kütlelilik kazandığı derin vadi tabanlarında ve tünel kazılarında gözlenebilmektedir (Duman, 1993).

Kırıntılı kayalar pekişmeleri sonrasında artan sıcaklık (T) ve/veya basınçla (P) başkalaşıma uğrarlar. Başkalaşım sırasında katı - katı tepkimeleri başlar.

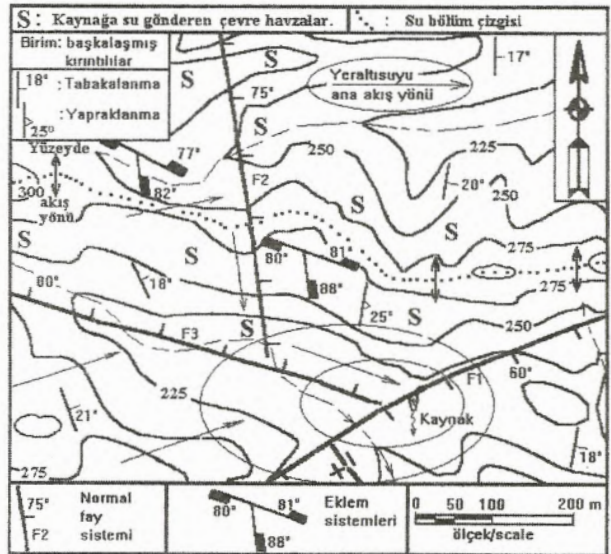
Böylece:

- Kil mineralleri daha duraylı olan mika, klorit, kloritoid, profillit ve paragonit minerallerine dönüşür.
- Tabakalar kaynaşarak birim kütlelilik kazanır.
- Gözenekler kaybolduğundan geçirimsizlik sıfıra yaklaşır.

Ancak dağ oluşturan olaylar sonucu düşük - orta derecede başkalaşmış kayalar yüzeylenirken kaynaşma yüzeylerinde ve bileşimsel değişiklik gösteren eski süreksizlikler yüzeyince ayrılmalara başlar. Bu durumda, özellikle üst bölümlerine doğru geçirimsizlik artar. Bileşimsel özellikleri gereği her tabakanın hidrojeolojik karakteri değişik olacaktır. Metakuvarsit içerisindeki süreksizlikler genellikle geçirimsizlikten fillatlar içerisindeki geçirimsiz veya az geçirimsiz nitelik taşımaktadır. Bu durum, aşağıda sunulan iki örnek üzerinde somutlaştırılmaya çalışılmıştır.

## Kaynakdere kaynağı

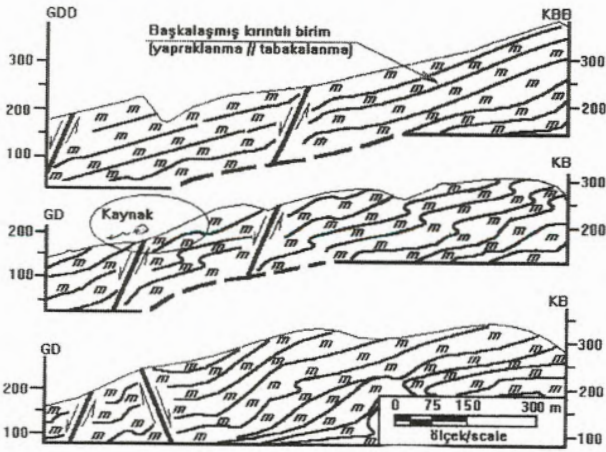
Bu kaynak, fillit, metakuvarsit ve mikaşist ardalanmasının çoğunlukta olduğu bir metadetritik birim içerisinde çıkmaktadır (Şekil 1). Şeklin K ve KB'sındaki bitişik havzaların (S ile belirtilen) suyunun önemli bir bölümü süreksizlikler yardımıyla bu kaynağa gelmektedir. Kaynağın boşalımı ~10 l/s'dir. Oysa, bu kaynağın su bölüm çizgisine dayalı belirlenen havzası 400 m<sup>2</sup>'den daha azdır. Ancak, yapısal yöntemle (Yılmaz, 1991) belirlenen beslenme havzası 200 hektarın üzerindedir.



Şekil 1. Çalışma alanının geliştirilmiş yapısal jeolojisi

- Özel bir iklimsel durum yoksa denize bakan dağ yamaçlarının yüksek bölümleri daha fazla yağış alır. Ayrıntı, Yılmaz (1993 ve 1994)'de verilmiştir.

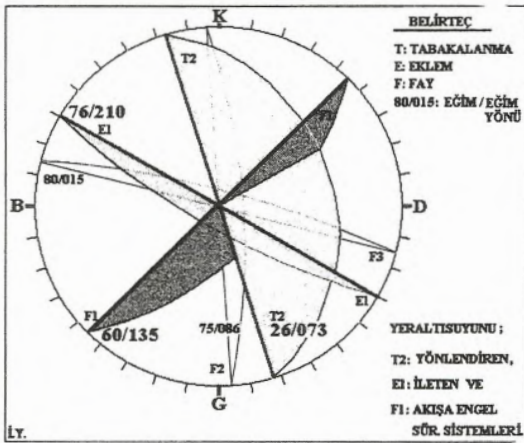
- Tabaka ve şistozitenin birbirine uyumlu (//) olduğu bu birimde (Şekil 2), genel konum  $20^{\circ}/075^{\circ}$ 'dir.



Şekil 2. Çalışma alanının tipik jeolojik kesitleri.

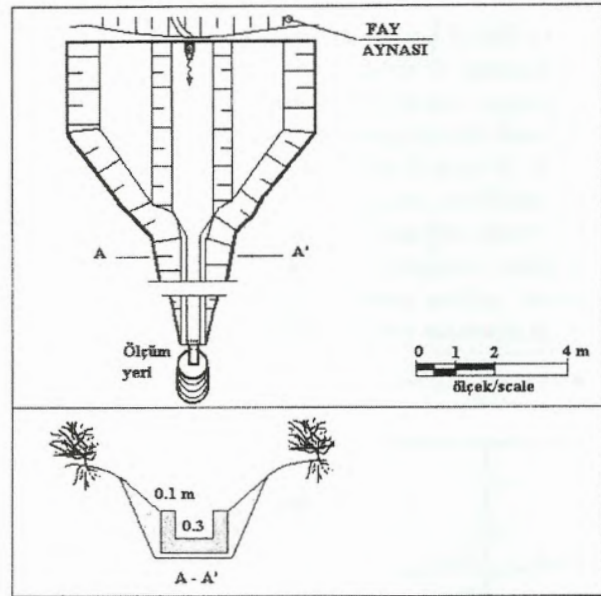
- Kaynağın beslenme havzası sınırı, K ve KB'daki bitişik havzaların tepeyukarısı bölümlerini de içine alır.

Bu nedenlerle, kaynağın geliştirilebilme şansı büyük olup süreksizliklerin ayrıntılı çalışılmasıyla yeni potansiyel kaynak alanları da belirlenmiştir. Şekil 1 - 3



Şekil 3. Kaynağın oluşumunu etkileyen ana süreksizlik sistemleri.

birlikte incelendiğinde; yapraklanma ve tabakalanmanın yeraltısuyunu D'ya ve GD'ya yönlendirdiği görülür.  $80^{\circ}/015^{\circ}$  konumlu fay ve  $76^{\circ}/210^{\circ}$  konumlu eklemlerle GD'ya yönlendirilen suyun bu yönde hızla iletilmesine olanak sağlamaktadır. İleten ve yönlendiren sistemler  $60^{\circ}/136^{\circ}$  konumlu fayla kesildiğinden, iletimde süreklilik bu fayda son bulmuştur. Faya kadar ulaşan suyun bir bölümü hidrostatik basınç altında yükselip kaynağa dönüşmektedir. Böyle bir kaynağın işletmeye alınabilmesi için nitelik ve nicelik açısından en az bir yıl gözlem altına alınması gerekmektedir. Gözlemlerin sağlıklı yapılabilmesi için Şekil 4'te verilen düzeneğin veya bir benzerinin yapılması kaçınılmazdır.



Şekil 4. Tasarım öncesi güvenilir gözlem için örnek akışlama sistemi.

## Ayransuyu kaynağı

Bu kaynak, Nurdağı'nın 1400 m'ye ulaşan yüksek bir bölümünün eteğindeki yamaç molozu ve eski kaya çığından çıkmaktadır. KB'ya eğimli tabaka, şistozite, bindirme fayları ve sıkışma eklemleri tarafından KB'ya yönlendirilen yeraltısuyu kaya çığı - yamaç molozu içersine boşalmaktadır. Nurdağı, Yılmaz (1993)'te belirtildiği gibi, Üst Kretase'de KB'dan GD'ya doğru olan sıkıştırma kuvvetlerinin etkisi altına girmiştir. Büyük olasılıkla, kıta yamacında olan metadetritik istif bu kuvvetlerin etkisinde tek yönlü yapıları (KB'ya eğimli tabaklanma, şistozite, bindirme ve ters faylar, sürüklenme ve yatık kıvrımlar ve sıkışma eklemlerini) kazanırken batı yamaçlarında dolerit dayklarınca kesilmiştir. Geçirimsiz olan daykların çalışma alanının hidrojeolojik özelliklerin belirlenmesinde büyük önem taşır. Ayrıca, ayrıntılı olarak haritalanan daykların alansal dağılımı otoyol bileşenlerinin tasarımında da etkin bir şekilde kullanılmıştır. Dayklar, çoğu yerde, bitki örtüsünde ve yüzey şeklinde çizgisellik yaratmıştır. Bu nedenle, izlenmesi oldukça kolaydır.

Aynı birim, KDK - GBG yönünde uzanan Nurdağı'nın batı yamacında ofiyolitli melanaj tarafından bindirilmişken doğu tarafında ise ofiyolitli melanja bu birim bindirmektedir. Dağı karakterize eden KBB'ya eğimli tek yönlü yapılar nedeniyle dağın batı yamacında sızıntı, kaynak ve akarsular yoğunlaşmıştır. Başkalaşmış kırıntılı kayalardan çıkan bu kaynak suları, mineral yönünden fakir olup genellikle asidik ( $pH=6.5$ ) karakterdiler. Asidik özellikli sular, içildiğinde acıkma hissi uyandırır. Bu nedenle, bu suyun çok iyi nitelikli olduğu

ve hazmı kolaylaştırdığı kanısı yaygındır, ancak yanlıştır. İçme suyunun pH'ı 8 dolaylarında olmalıdır (bkz. Tablo 1).

Çukurova'nın doğusunda yüksek bir engel olan bu dağ sırasının yüksek oranda yağış almasının (Duman, 1993) yanısıra buharlaşmanın az oluşu yeraltı suyu olanaklarını arttırmıştır. Bu durum aşağıda sunulan denkliliklerde yansıtılmaya çalışılmıştır. Bu denklilikler, özellikle taşkın hesaplamalarında ve taşkına yeraltı suyunun katkısının belirlenmesinde yazar tarafından 1988'den bu yana geliştirilerek kullanılmaktadır. Ayrıntılı bilgi, Yılmaz (1991 - 1994), Duman (1993) ve Yılmaz ve diğ. (1994)'te sunulmuştur.

$$P = P_m + S * \Delta H$$

P: Çalışma alanında olası ortalama yıllık yağış (mm)

P<sub>m</sub>: En yakın meteoroloji istasyonundaki ortalama yıllık yağış (mm)

S: Yağış-Yükseklik grafiği eğrisinin eğimi (Yılmaz, 1993)

$\Delta H$ : Meteoroloji istasyonu ile çalışma alanı arasındaki kot farkı (m).

$$F_c = 1 + F(d) + F(p) \text{ Düzeltme katsayısı}$$

$$F(d) = (a/A) \text{ Süreksizlik bileşeni}$$

$$F(p) = F(a) + F(s) \text{ Fiziyografi bileşeni}$$

$$F(a) = S^2 * P/P_m \text{ Kot (yükseklik) bileşeni}$$

$$F(s) = S_{cd} * [(2 - S_{cd} / L) / Y] * a/A \text{ Karörtü bileşeni}$$

a: Yapısal Yöntemle belirlenen alan artışı (+) veya alan azalması (-), m<sup>2</sup>

A: Alışlagelmiş (conventional) yöntemle belirlenen su toplama alanı, m<sup>2</sup>

S: Yağış-Yükseklik grafiği eğrisinin eğimi (Yılmaz, 1993)

S<sub>cd</sub>: Çalışılan havzanın orta yükseklik kuşağında karörtüsünün kalış süresi, ay

L: Kuramsal olarak bulunan etkin karörtü süresi üst sınırının (10 ay) yarısı (5 ay)

Y: Bir yıldaki ay sayısı anlamında bir katsayı, 12 ay/yıl

Su bölüm - çizgisine ve en yakın meteoroloji istasyonu verilerine dayalı yöntemle belirlenen kaynak suyu verimi (Q<sub>v</sub>) "F<sub>c</sub>" ile çarpılarak gerçek verim belirlenmelidir (Q<sub>g</sub> = F<sub>c</sub> \* Q<sub>v</sub>).

Ayransuyu kaynağı, yazar ve çalışma ekibi tarafından ülke genelinde, bu bağlamda sürdürümekte olan araştırmalardan birisidir. Ayransuyu kaynağı suyunun elde edilmesi kolay olduğu için çevre yerleşim birimleri ve Bahçe Belediyesi tarafından işletmeye alınmıştır. Benzer nitelikte edilgen yeraltı suyu kaynakları yine batı yamaçta olmak üzere pek çok noktada gözlemlenmektedir.

## Öneri ve sonuçlar

Yeraltı suyu açısından verimsiz olarak bilinen başkalaşım kayaçlarında, özellikle başkalaşmış kırıntılılarda, faylar, gerilim eklemleri ve kuvarsitik seviyelerde ikincil olarak kazanılan geçirimsizlik farkedilir derecede yüksektir.

Tek yönlü jeolojik yapılarla karakterize olan dağlarda, eğim yönündeki yamaçlar yeraltı suyu açısından oldukça zengindir. Beslenme havzası sınırları eğim yönü tersindeki bitişik havzaların içerisine uzanır. Bu nedenle, su toplama şansı alışlagelmiş yöntemlerle belirlenen değerlerden daha yüksektir. Benzer sıradağlarda, dağ sırtları yağış yönünden göreceli olarak daha şanslıdır. Ayrıca, kar örtüsünün daha uzun süre kalması, bu kesimlerde yağış suyunun yeraltı suyu katılmasını artırır. Başkalaşmış kırıntılı kayaçlardan çıkan kaynak suları, mineral yönünden fakir olup genellikle asidik (pH= 6.5) karakterlidirler.

Başkalaşım kayaçlarından oluşan bölgelerde; yapısal jeolojinin ayrıntılı çalışılması ve yükseklik - yağış - sızma ilişkilerinin gerçeğe yakın kurulması, hidrojeolojik araştırmanın ilk ve en önemli aşamasıdır. Daha sonra, birimlerin litolojik özelliklerinin ayrıntılı olarak çalışılması da yapılarak yeni kaynakların bulunması veya varolanların geliştirilmesi aşamasına geçilir.

## KATKI BELİRTME

Yazar, her türlü bilimsel araştırma için verilerin toplanmasında ve derlenmesinde anlayış gösteren kurum ve kuruluşlardaki yetkililere teşekkür eder.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Duman, T., 1993, Tarsus - Adana - Gaziantep (TAG) otoyolu T2 - T4 tünelleri arasının mühendislik jeolojisi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 109 s.
- Sial Ltd. 1993, Kaynak Derenin hidrojeolojik özellikleri raporu. Yayınlanmamış rapor.
- Yılmaz, İ., 1990, Geçki belirlenmesi ve bu seçimde jeolojinin önemi. Jeol. Müh. Dergisi, 36, 37 - 45.

- Yılmaz, İ., 1991, Katmanlı ve eğimli bir jeolojik birimde yeraltısuyu beslenme havzası sınırının belirlenmesi üzerine bir yaklaşım. Yağış - Sel - Heyelan Simpozyumu, 205 - 218.
- Yılmaz, İ., 1992, Hidrojeolojik araştırmalarda yükseklik ve süreksizlik etkenleri. Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, 14, 110 - 122.
- Yılmaz, İ., 1993, Kaynak düşü enerjisinin yeraltısuyu çıkarılmasında kullanılmasına bir yaklaşım. Atatürk Üniversite Reformu, Jeoloji Eğitiminde 60. Yıl Kutlama Programı, I.Ü., 6 - 8 Ekim 1993.
- Yılmaz, İ., 1994, Sugücü ve doğal çevre ilişkisi üzerine. Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturumlar Tebliği 2, 198 - 211, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 17 - 22 Ekim 1994, İzmir.
- Yılmaz İ. ve Çongar, B., 1994, Significance of discontinuity survey and physiographical study in engineering works. Proceedings of the 7th congress of the International Association of Engineering Geology Organising Committee, 5 - 9 September 1994, Lisbon - Portugal, 1105 - 1111.
- Yılmaz, İ., Erhan, F. ve Hoş, T., 1993, Yukarı Orta Amanoslarn genel jeolojisi ve bölgenin mühendislik jeolojisine etkisi. 46. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 8, 30 - 38.
- Yılmaz, İ., İşler, F. ve Duman, T., 1992, Metamorphism in the Nurmounain Range and its effect on the engineering geology of the region. Proceedings and abstracts of the 1st International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, 67 - 76, Ankara.

# Kuzuluk (Akyazı) termomineral kaynağı çevresinin ayrıntılı jeolojisi ve ilişkili hidrotermal anomalileri

**Rüstem Pehlivan,** İstanbul Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Avcılar / İstanbul

*Bu araştırma Kuzuluk (Akyazı) termomineral kaynağıyla ilgili olarak gerçekleştirilmiştir. Bu incelemede: 1. Kuzuluk (Akyazı) termomineral kaynağı civarının 1/10.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış, 2. İnceleme alanından toplanan kayaç örneklerinin ana ve iz element, toprak ve güncel birikim örneklerinin iz element ve sıcak suyun majör iyon analiz sonuçları verilmiş, 3. Litojeokimyasal verilerle hidrojeokimyasal veriler karşılaştırılarak güncel birikimler, maden yatağı oluşumu bakımından değerlendirilmiştir. Böylelikle, kuzuluk sıcak suyunun etkisiyle çevre kayaçlarda oluşan anomaliler ile güncel birikimlerdeki element zenginleşmelerinin türleri belirlenmiştir.*

## Giriş

İnceleme alanı, Sakarya İli Akyazı İlçesi güneydoğu kesiminde Kuzuluk Köyü dolaylarında bulunur (Şekil 1). Araştırmada yaklaşık 1.5 km<sup>2</sup>lik bir alanın ayrıntılı 1/10.000 ölçekli hidrotermal anomali oluşumları değerlendirilmiştir.

Araştırmada, Kuzuluk Kaplıcası (Adapazarı) dolaylarında önceki yıllarda araştırmalar yapan, Baykal (1955)'in jeoloji, Yılmaz vd. (1981)'nin tektonik, Şentürk ve Demirel (1986, 1987)'in hidrojeoloji, Önder (1987)'in sıcak su aramaları ve Pehlivan (1996)'nın ise jeoloji ve hidrojeokimyaya yönelik çalışmalarından yararlanılmıştır.

## Materyal ve metod

Kayaç, toprak ve güncel birikim örneklerinin mineralojik bileşimleri XRD, element miktarları ise XRF teknikleri kullanılarak İ.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Jeokimya Laboratuvarında belirlenmiştir. Sistematik olarak araziden alınan kayaç, toprak ve güncel birikim örnekleri önce kurutulmuş, kırılmış ve Fritsch marka değirmende öğütülmüştür. Sonra her bir numuneden 5'er gram alınarak 2 gram nişasta ile birlikte agat havanda karıştırılmış, pres aletinde 20 ton yük altında sıkıştırılarak tabletleri hazırlanmış ve ana oksitler ile Sb, Cr, Mn, Fe, Cu, Co, Ni, Zn, Pb, As, U ve Cd elementlerinin miktarları (ppm) tesbit edilmiştir. Au elementi analizleri XRAL Laboratuvarlarında (İzmir) fire assay yöntemi ile yaptırılmıştır. Diğer taraftan, Nisan 1995'de araştırma sahasından alınan termomineral suyun kimyasal analizi ise İÜMF Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya Laboratuvarı ve TÜBİTAK - Gebze Yerbilimleri Bölümü Kimya Laboratuvarlarında atomik absorpsiyon spektrometre, gravimetrik ve titrimetrik yöntemlerle yapılmıştır.

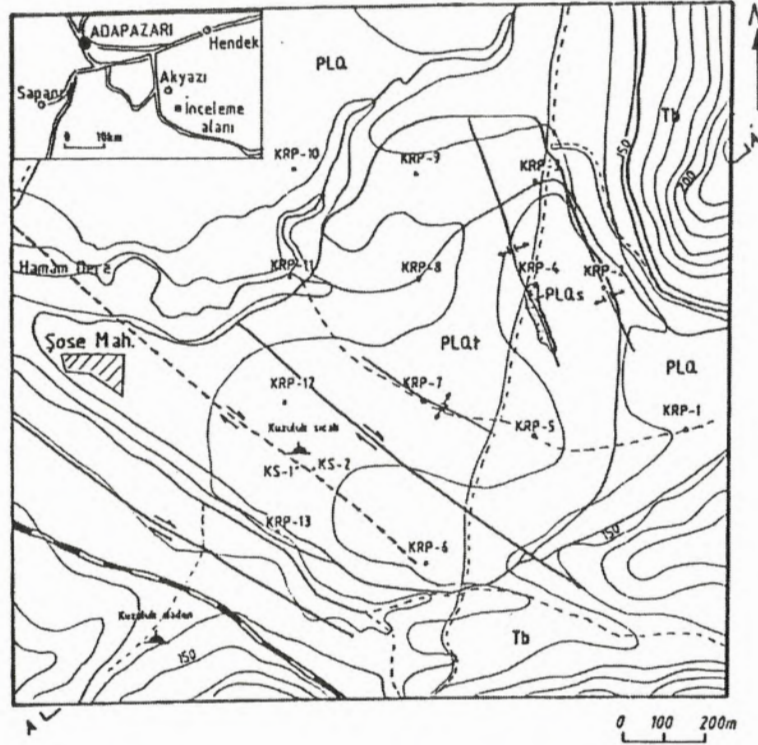
## Litostratigrafi

Beydili Volkanitleri: Siyah, yeşil, kırmızı renkte andezit, bazalt ve tüflerden oluşur. Çalışma alanında oldukça geniş bir alan kaplar. Araştırma sahasının doğu, güney ve güneybatı bölümlerinde mostra verir. Yer yer alterasyona uğramışlardır. İnce kesit değerlendirmelerinde andezitlerin hamuru limonitleşmiş olup küçük boşlukların zeolit dolgulu olduğu ve amfibol kristallerinin de yer yer karbonata dönüşmüş olduğu gözlenmiştir.

Birimin tipik mostralari ilk kez Abdüsselamoğlu (1959) tarafından, grimsi siyah ve morumsu renkli andezit ve bazaltlar şeklinde Beydili (Göynük) dolaylarında tanımlandığı için tarafımızdan, Beydili volkanitleri olarak adlandırılmıştır. Bu volkanik kayaçlar, Baykal (1955)'in andezitleri, Şentürk ve Demirel (1986)'in volkanik kayaçları ile aynıdır. Volkanitler, Baykal (1955)'in yaptığı çalışmalarına göre Eosen yaşındadır.

Bölgede, 1987 yılında açılan iki adet sıcak su sondajında volkanitler, KS-1 sondajı ile 61 m, KS-2 sondajı

## KUZULUK KAPLICASI (AKYAZI) ÇİVARININ AYRINTILI JEOLOJİ HARİTASI VE JEOLOJİ ENİNE KESİTİ



### AÇIKLAMALAR

	Silisifite zon
	Traverten
	Taraça
	Beydili Vulkanitleri
	Karayolu
	Stabilize yol
	Dökanak
	Doğrultu atımlı fay
	Açılma çatlığı
	Drenaj
	Termomineral kaynak
	Yerleşim merkezi
	Örnek no
	MTA sondajı
	Kesit yönü
	Mühane





ile 87 m olarak kesilmiştir (Şentürk ve Demirel, 1987). Ancak rezistivite etüdü sonuçları kayaçların kalınlıklarının 150 - 200 metre arasında değiştiğini göstermektedir (Şentürk ve Demirel, 1986).

**Taraça:** Genellikle yuvarlak metamorfik ve volkanik kayaç çakılları, killi, kumlu ve karbonatlı çimento ile gevşek olarak bağlıdır. Bu oluşumlar en çok 70 m kalınlığında ve Pliyo - Kuvaterner yaşlıdır. Çalışma sahasında geniş bir alanda gözlenir.

**Traverten:** Travertenler çalışma alanında Kuzuluk köyü dolayında mostra verir. Yaklaşık 1 km<sup>2</sup> lik bir alanı kaplar. Travertenler beyaz, sarı, kırmızı kahverenkli olup boşluklu bir yapıya sahiptirler. Pliyo - Kuvaterner yaşlı travertenlerin kalınlıkları 0 - 25 m. arasında değişir. Travertenler Kuzuluk'ta daha önce MTA tarafından açılan K - 1 sondajında 25 m. ve K - 2 sondajında ise 8 m. olarak kesilmiştir (Şentürk ve Demirel, 1987). Travertenler Kuzey Anadolu Fay Zonuna bağımlı olarak gelişmiş olan kırık zonları boyunca yüzeye çıkan bikarbonatlı sıcak suların basınç serbestlenmesi sonucu karbondioksit gazlarını kaybetmeleri ile kalsiyum karbonat çökmesi sonucunda oluşmuşlardır.

## Mineralojik ve petrografik inceleme

Şekil 1'de görülen lokasyonlardan alınan örneklerin özelliklerin aşağıda belirtildiği gibidir.

İnceleme alanındaki taraçalardan alınan KRP-1, KRP - 11 ve KRP - 13 nolu kayaç örnekleri makroskopik olarak, gri ve sarımsı renkli ve gevşek yapılıdır. Kayaç içerisinde bulunan volkanik kayaç çakılları killi, kumlu ve karbonatlı çimonta ile tutturulmuştur. XRD difraktogramlarına göre örnekler kuvars ve plajiyoklas minerallerinden oluşmaktadır.

Az çok birbirlerine benzeyen KRP - 6 ve KRP - 9 nolu traverten örneklerinin gevrek, kırılğan ve beyaz, gri ve kahverenkli olduğu ve boşluklu bir yapı içerdiği tesbit edilmiştir. XRD difraktogramına göre KRP-6 nolu kayaç örneği kalsit, kuvars ve opal A (amorf silis) minerallerinden oluşmaktadır.

Travertenler içerisinde boşalan sıcak su birikintilerinden alınan KRP-2, KRP-3, KRP-5, KRP-7, KRP-8, KRP-10 ve KRP-12 nolu güncel birikim örneklerinin ise bolluk sıralarına göre kuvars, opal A ve plajiyoklas minerallerinden oluştuğu XRD ile belirlenmiştir.

## Yapısal Jeoloji

İnceleme alanı, özellikle faylar ve açılma çatlaklar oluşturan tektonik hareketlerden çok etkilenmiştir.

**Faylar:** Sahada çalışma alanının güneyindeki Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve kuzeyindeki Düzce - Hendek faylarının etkisi ile oluşan biri ihtimalli olmak üzere üç adet GD - KB doğrultulu, doğrultu atımlı sağ yönlü faylar tesbit edilmiştir.

**Açılma çatlakları:** Kuzuluk kaplıcası dolaylarında, travertenlerin olduğu alanda üç adet açılma çatlakları belirlenmiştir. Genellikle bu çatlaklar KD - GB doğrultuludur.

## Hidrojeoloji

Çalışma alanının önemli akarsuyu Hamam Deresi'dir. Araştırma sahasının hemen civarında bulunan birimlerden Akveren formasyonunun Paleosen yaşlı kireçtaşları bol kırıklı çatlaklı, erime boşluklu ve su tutma özelliklerine sahip oldukları için iyi bir akifer özelliği sunarlar. Rezervuar karakteri gösteren söz konusu birimler üzerinde bulunan Eosen yaşlı Beydili volkanitleri ile Pliyo - Kuvaterner yaşlı çökellerin killi - siltli seviyeleri jeotermal akışkan için örtü kayasıdır. Kuzuluk suyunun yüzeydeki sıcaklığı 51°C ve debisi 42 lt/s'dir.

## Hidrojeokimyasal inceleme

Kuzuluk termomineral kaynağından alınan bir adet su örneği analizinde (Çizelge 1) kanyonlarda egemen iyonun  $r(\text{Na}+\text{K})$  [ $r(\text{Na}+\text{K}) > r\text{Ca} > r\text{Mg}$ ], anyonlarda ise  $r(\text{HCO}_3)$  [ $r(\text{HCO}_3) > r\text{Cl} > r\text{SO}_4$ ] olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla Kuzuluk termomineral kaynağının kanyon dizilimi literatürde verilen (Şahinci, 1991) volkanik kayaç [ $r(\text{Na}+\text{K}) > r\text{Ca} > r\text{Mg}$ ,  $r\text{SO}_4 > r\text{Cl} > r(\text{HCO}_3)$ ] gibi litolojik birimden gelen suların dizilimleriyle benzerlik gösterirken anyon dizilimlerinde farklıdır. Termomineral sular, meydana gelmelerine sebep olan değişik türdeki (atmosferik, juvenil ve miks) suların yerin derinliklerine inerken, ikincil ortamda dolaşırken ve yüzeye doğru hareket ederken geçtikleri ortamların litolojik özellikleri, tektonik yapısı, fiziksel ve kimyasal özellikleri ve ayrışma dereceleri vb. gibi etkenlerin etkisiyle iyon yüklenirler. Sıcak suların ilk kimyasal bileşimleri temas halinde oldukları birbirlerinden farklı litolojik birimler (kayaç, mineral, cevher) den çözerek bünyelerine aldıkları iyonlar yüzünden değişebilir. Bu durum, Kuzuluk termomineral kaynağının anyon diziliminide etkilemiştir.

Çizelge 1'deki veriler sıcak suyun yüksek oranda  $\text{SiO}_2$  taşıdığını ve silisleşmeyi arttırdığını,  $\text{HCO}_3$ 'ca oldukça zengin olduğunu (kireçtaşları ile temasta bulunduğu), içme, ısıtma ve banyo amaçlı kullanım halinde tesisatta kabuklaşma yapabileceğini göstermektedir.

**Çizelge 1.** Kuzuluk sıcak su kaynağının kimyasal analiz sonucu (ppm).

Katyon	mg/l	Anyon	mg/l
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3.5	Cl <sup>-</sup>	388.1
Li <sup>+</sup>	3.5	Br <sup>-</sup>	-
Na <sup>+</sup>	740	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	58
K <sup>+</sup>	37	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-
Ca <sup>2+</sup>	103	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-
Mg <sup>2+</sup>	19	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1176
Fe <sup>2+</sup>	-	CO <sub>2</sub>	153
Al <sup>3+</sup>	-	SiO <sub>2</sub>	131
As <sup>3+</sup>	0.01	pH	7.4
Sb <sup>3+</sup>	-	T ° C	51
B <sup>3+</sup>	27		

## Hidrotermal alterasyon

Çalışma sahası, aşırı silisleşmiş traverten örtü ile kaplı olduğu için tipik hidrotermal alterasyon zonları yüzeylenmemektedir. Fakat hidrotermal alterasyonun bir diğeri belirteci olan silisifiye zon saptanmıştır.

**Silisifiye zon:** Araştırma sahasında KRP - 4 nolu aşırı silisleşmiş kayalık örneğinin alındığı lokasyonun batısında bulunan açılma çatlaklarının yaklaşık 200 metrelik kısmında mostra verir (Şekil 1). Oldukça sert ve grimsi renklidir. KRP - 4 nolu kayalık örneğinin XRD difraktogramında bolluk sırasına göre kuvars mineralinden ve az miktarda da antimon, nikel ve gümüş tellüridler ile illit mineralinden oluştuğu ve jeokimyasal analizi sonucunda ise %89.97 SiO<sub>2</sub> içerdiği belirlenmiştir. Söz konusu silisifiye zonanın bölgedeki hidrotermal sülsiyonların travertenler üzerinde gelişen açılma çatlakları içerisinde geçerek yüzeye kadar ulaşması sonucunda oluştuğu söylenebilir.

## Litojeokimyasal İnceleme

İnceleme sahasından alınan iki örneğin ana element analiz sonuçları (Çizelge 2) ve diğer bütün örneklerin iz element analiz sonuçları (Çizelge 3) değerlendirildiğinde, traverten örnekleri arasında seçilmiş olan KRP-6 nolu kayalık örneğinde ana elementlerin büyük miktarını SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve CaO in oluşturduğu gözlenmiştir. Çökel örneklerinde Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Pb, U ve Cd, silisifiye zondan alınmış örnekte As, tıraça örneğinde ise Ni elementlerinin maksimum değerinde olduğu, kayaların tümünde U, çok azında ise As elementinin varlığı belirlenmiştir.

## Güncel hidrotermal anomali oluşumları

Kuzuluk sıcak suyu etkisiyle çevre kayalarla geli-

**Çizelge 2.** Silis zonu ve traverten örneklerinin ana element analiz sonuçları.

	KRP-4(Silis zonu) (%)	KRP-6(Traverten) (%)
SiO <sub>2</sub>	89.97	87.78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.18	2.65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.19	0.88
MnO	>0.001	0.005
MgO	>0.01	0.09
CaO	0.18	2.4
Na <sub>2</sub> O	0.41	0.2
K <sub>2</sub> O	0.47	0.47
TiO <sub>2</sub>	0.15	0.13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.01
AK	4.47	4.73
<b>Toplam</b>	<b>99.04</b>	<b>99.35</b>

şen güncel hidrotermal anomaliler Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. Haritalarda belirlenmiş olan anomali alanları, traverten içerisindeki elementlerin tarafımızdan belirlenen normal miktarları (aritmetik ortalama + standart sapmaları) baz alındığında:

**Krom anomalisi:** Cr'un normal değeri travertende 140 ppm olduğu için KRP-10 nolu çökel örneğinde görülür.

**Mangan anomalisi:** Mn'nin normal değeri travertende 120 ppm olduğu için KRP-2 ve KRP-5 çökel örneklerinde görülür.

**Demir anomalisi:** Fe'nin normal değeri travertende 36619 ppm olduğu için KRP-5 nolu çökel örneğinde görülür.

**Kobalt anomalisi:** Co'nun normal değeri travertende 15.25 ppm olduğu için KRP-8 nolu çökel örneğinde görülür.

**Nikel anomalisi:** Ni'nin normal değeri travertende 190.2 ppm olduğu için KRP-10 ve KRP-11 nolu örneklerde görülür.

**Bakır anomalisi:** Cu'nun normal değeri travertende 25.36 ppm olduğu için KRP-4 ve KRP-5 nolu çökel örneklerinde görülür.

**Çinko anomalisi:** Zn'nun normal değeri travertende 29.4 ppm olduğu için KRP-5 nolu çökel örneğinde görülür.

**Kurşun anomalisi:** Pb'un normal değeri travertende 161 ppm olduğu için KRP-5 ve KRP-12 nolu çökel örneklerinde görülür.

**Arsen anomalisi:** As'in normal değeri travertende

Çizelge 3. Araştırma sahasından alınan örneklerdeki iz element değerleri (ppm) ve örneklerin tanımlaması.

	Kayaç adı	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	As	U	Cd	Sb	Au (ppb)
KRP-1	Taraça örneği	122	84	27545	10	112	8	27	84	-	23	32	-	
KRP-2	Sıcak su çökeli	111	133	27545	9	99	8	19	17	-	7	-	-	
KRP-3	Sıcak su çökeli	56	70	31849	17	125	5	14	17	-	60	-	-	
KRP-4	A.silis.kayaç	111	42	19798	17	144	33	13	71	53	10	18	46	86
KRP-5	Sıcak su çökeli	89	154	42179	3	97	38	57	181	-	41	-	23	
KRP-6	Traverten	89	70	8608	9	152	8	8	64	15	12	28	46	15
KRP-7	Sıcak su çökeli	56	70	25824	14	108	7	15	185	-	12	-	-	
KRP-8	Sıcak su çökeli	111	70	26684	19	123	25	30	68	10	23	-	-	
KRP-9	Traverten	122	63	11190	9	140	16	24	60	-	17	-	69	
KRP-10	Sıcak su çökeli	178	112	31849	5	198	3	26	68	-	10	9	-	
KRP-11	Taraça örneği	144	105	35293	7	245	13	28	81	-	23	9	58	
KRP-12	Sıcak su çökeli	100	70	30988	5	160	2	20	252	-	36	36	-	
KRP-13	Taraça örneği	150	101	31220	5	173	3	22	61	-	9	8	-	
Ortalama		110	88	26967	9.9	144	13	23	93	6	22	11	-	

49.1 ppm olduğu için KRP-4 nolu kayaç örneğinde görülür.

**Uranium anomalisi:** U'un normal değeri travertende 34.35 ppm olduğu için KRP-3, KRP-5 ve KRP-12 nolu çökel örneklerinde görülür.

**Kadmiyum anomalisi:** Cd'un normal değeri travertende 29.26 ppm olduğu için KRP-12 nolu çökel örneğinde görülür.

**Antimon anomalisi:** Sb'un normal değeri travertende 28.50 ppm olduğu için KRP-4, KRP-6 ve KRP-9 nolu çökel örneklerinde görülür.

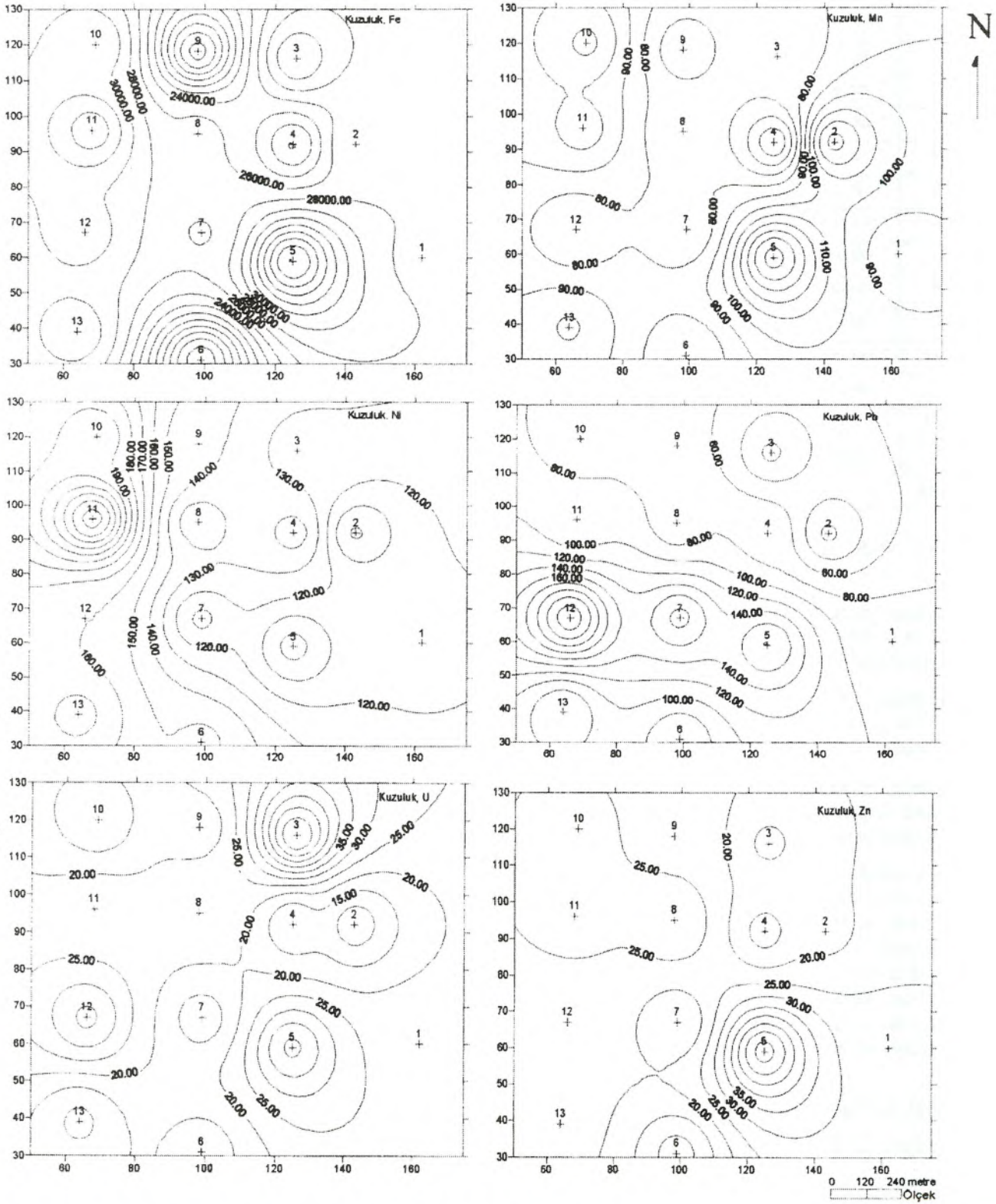
Sonuç olarak, Kuzuluk termomineral kaynağı yakın civarında sıcak sular etkisiyle kayaç ve güncel birikim örneklerinde Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As, U, Cd ve Sb anomalilerinin varlığı belirlenmiştir. Taraça örneklerinin (KRP-1, KRP-11 ve KRP-13) normal değeri tarafımızdan belirlenemediği için, anomali sunup sunmadıkları ile az sayıdaki Au analizi sonucuna göre de Au anomalisi konularında bir görüş ileri sürülemez.

## Güncel birikimlerin maden yatağı açısından irdelenmesi

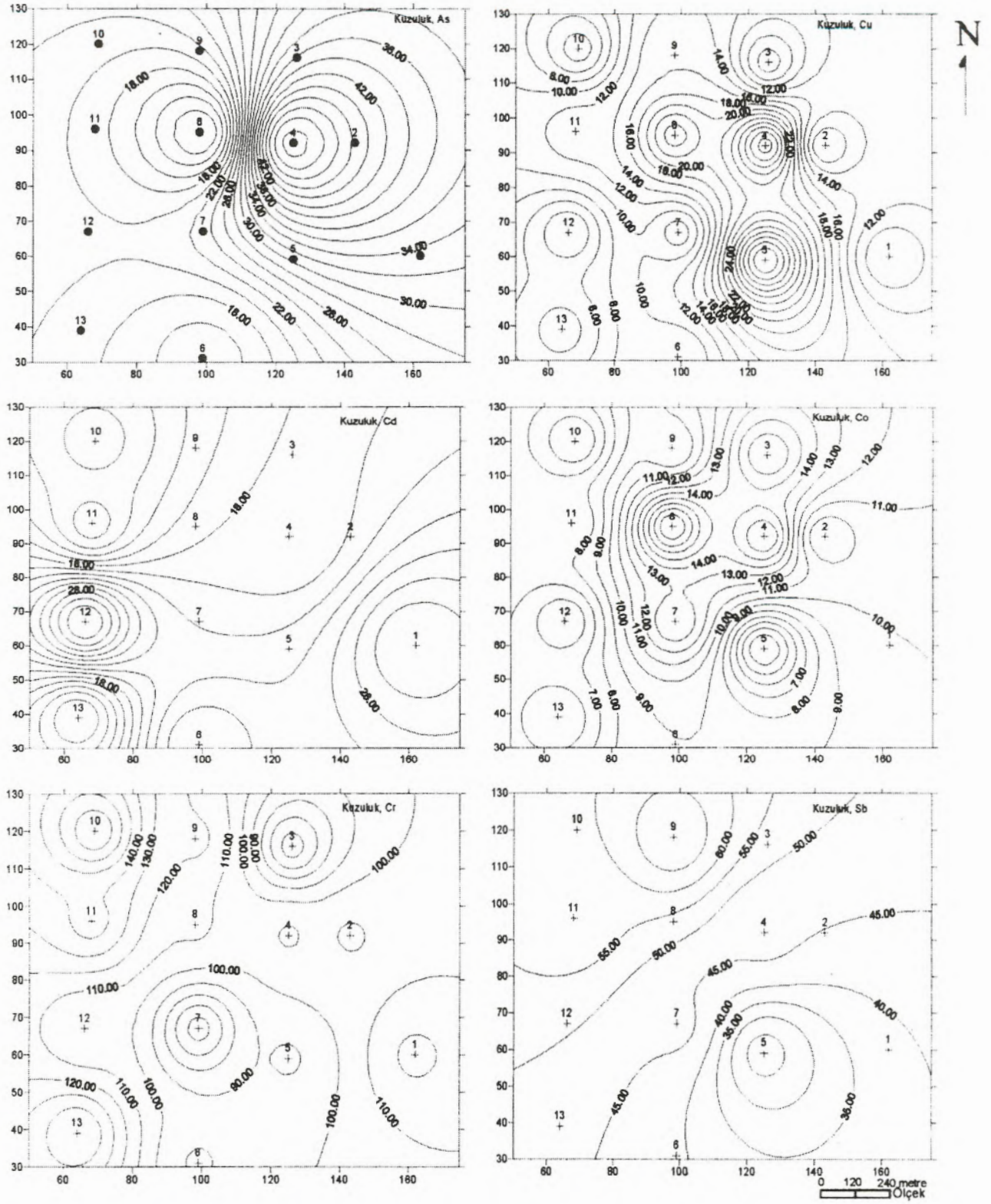
Bu bölümde, Kuzuluk (Akyazı) sıcak su kaynağı etkisiyle oluşan güncel birikimlerin maden yatağı açısından irdelenmesi yapılacaktır. Analiz sonuçlarını topluca değerlendirebilmek için çalışma sahasında belirlenen

sonuçların elementlere göre ortalama değerleri Çizelge 4'de sunulmuştur. Karşılaştırma amacıyla aynı tabloda elementlerin yerkabuğu, bazalt ve andezitlerdeki ortalama değerleride verilmiştir. Burada (M) Kuzuluk sahası örneklerinin ortalamasını, (L1) yerkabuğu, (L2) bazalt ve (L3) andezit ortalama değerlerini, (Z1) yerkabuğuna, (Z2) bazalta, (Z3) ise andezite göre zenginleşme katsayılarını gösterir. Örneklerdeki Mn, Fe, Co, Cu, Zn değerleri yerkabuğu, bazalt ve andezit ortalamalarından küçük, Cr, Ni, Pb, As, U, Cd, Sb ve Au elementlerinin de ise büyüktür. Örneklerdeki en çok zenginleşme Sb, Cd, U ve Au elementlerinde gelişmiştir. Bu elementlerin yüksek değerlerini yakın kayaçlara bağlamak olası değildir. Bu nedenle bu dört element sıcak sularda zenginleşmiş ve sular tarafından çöktürülmüştür.

Sıcak su etkisiyle oluşan aşırı silisli traverten örneklerinden KRP-6 nolu kayaç örneğinde 15 ppb Au ve 46 ppm Sb elementi, silisleşmiş zondan alınan KRP-4 nolu örnekte ise 86 ppb Au ve 46 ppm Sb elementi (Çizelge 3) tesbit edilmiştir. Kalınlığı 0 - 25 metre arasında değişen traverten örtünün altında tellüridler şeklindeki Au ve Sb elementleri silisifiye zonlardaki diseminasyon cevherleşmelerden daha fazla olabilir. Kuzuluk sıcak sularında en fazla derişim gösteren iyonlar Na, HCO<sub>3</sub> ve Cl'dür. Bu iyonlar antimonun taşınması ve çökmesinde önemli derecede etkin olabilirler (Köksöy ve İleri, 1977). Ancak eldeki verilere göre söz konusu elementlerin bugün için bir cevher yatağı oluşturabilecek düzeyde olduğu söylenemez.



Şekil 2. Kuzuluk sıcak suyu sahasındaki Fe, Mn, Ni, Pb, U ve Zn anomalileri.



Şekil 3. Kuzuluk sıcak suyu sahasındaki As, Cu, Cd, Co, Cr ve Sb anomalileri.

**Çizelge 4.** Kuzuluk sıcak su sahasındaki ortalama metal değerlerinin yerkabuğu, bazalt ve andezit ortalamaları ile karşılaştırılması (ppm).

Element	Yerkabuğu (L <sub>1</sub> ) (1)	Bazalt (L <sub>2</sub> ) (2)	Andezit (L <sub>3</sub> ) (3)	Kuzuluk sahası ortalama (M)	Zenginleşme katsayısı (Z <sub>1</sub> : M / L <sub>1</sub> )	Zenginleşme katsayısı (Z <sub>2</sub> : M/L <sub>2</sub> )	Zenginleşme katsayısı (Z <sub>3</sub> : M/L <sub>3</sub> )
Cr	100	170	87.4	110	1.10	0.64	1.25
Mn	950	2200	1006	88	0.09	0.04	0.08
Fe	50000	86500	48807	26967	0.53	0.31	0.55
Co	25	48	21.3	9.9	0.40	0.20	0.46
Ni	75	130	34.4	144	1.92	1.10	4.18
Cu	55	72	51.8	13	0.23	0.18	0.25
Zn	70	94	72	23	0.32	0.24	0.31
Pb	13	4	9.9	93	7.15	23.25	9.39
As	1.8	1.5	2.4	6	3.33	4	2.50
U	1.8	0.53	0.5	22	12.22	41.80	44
Cd	0.2	0.2	0.19	11	55.00	55	57.90
Sb	0.2	0.1	0.15	19	95.00	190	126.6
Au	0.004	0.0032	0.0035	0.051	12.75	15.93	14.59

## Sonuç ve öneriler

Kuzuluk (Akyazı) termomineral kaynağının ayrıntılı jeolojisi, çevre kayalarda oluşan anomaliler ve güncel birikimlerin maden yatağı açısından irdelenmesi konularında gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Litojeokimyasal verilerle hidrojeokimyasal veriler karşılaştırıldığında güncel birikim örneklerinin SiO<sub>2</sub>'ce zengin olduğu Kuzuluk (Akyazı) termomineral kaynağında halen 100 ppm'den fazla SiO<sub>2</sub> taşıdığı tesbit edilmiştir. Diğer taraftan, sıcak suyun içerisindeki SiO<sub>2</sub>'in silisleşmeyi arttırdığı, HCO<sub>3</sub>'ca oldukça zengin olması kullanım halinde kabuklaşma yapacağını ve kireçtaşları ile temasta bulunduğunu gösterir.

2. Kuzuluk (Akyazı) termomineral kaynağı etkisiyle oluşan hidrotermal alterasyon zonlarından silisifiye zon tesbit edilmiş olup silisleşmenin gelişimine sebep olan jeotermal akışkan sıcaklığının 100°C'nin altında olduğu söylenebilir.

3. Araştırma sahasındaki traverten ve güncel birikim örneklerinde Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As, U, Cd ve Sb anomalilerinin varlığı belirlenmiştir.

4. Zenginleşme katsayısı değerlerine göre en çok zenginleşme Sb, Cd, U ve Au elementlerinde gelişmiştir. Bu elementlerin yüksek değerlerini yakın kayalara bağlamak olası değildir. Bu nedenle bu dört elementin sıcak sularda zenginleşmiş ve sular tarafından çökeltilmiş oldukları düşünülmektedir.

5. Sıcak su etkisiyle oluşan aşırı silisli traverten örneğinde 15 ppb Au ve 46 ppm Sb, silisleşmiş zondan

alınan örnekte ise 86 ppb Au ve 46 ppm Sb nin tesbit edilmiş olması ilerleyen zaman diliminde silisleşmeye bağlı olarak Au getiriminin devam edebileceğini göstermektedir. Kuzuluk sıcak sularında en fazla derişim gösteren iyonlar arasında Na, HCO<sub>3</sub> ve Cl iyonlarının bulunması, söz konusu iyonların antimon elementinin taşınması ve çökmesinde etkili olduklarına işaret etmektedir.

### KATKI BELİRTME

Hazırlanmış olduğum makalenin değerlendirilmesi aşamasında öneri ve düzeltmeleriyle katkı yapan sayın hakeme içtenlikle teşekkür ederim.

### DEĞİNİLEN BELGELER

- Abdüsselamoğlu, M.Ş., 1959, Almacıkdağı ile Mudurnu ve Göynük civarının jeolojisi, I.Ü.F.F. Monografileri, Sayı: 14, İstanbul.
- Baykal, F., 1955, Çamdağ ve civarı, Geyve - Akyazı dağları, Hendek - Akyazı ovası, Gebze kuzeyinde ovacık bölgelerinin jeolojik etüdüleri, MTA rapor no 2280, Ankara.
- Ewart, A., 1982, The mineralogy and petrology of tertiary - recent orogenic volcanic rock, In andesites: Orogenic andesites and related rocks, R.S. Thorpe (ed.), p: 26 - 87, Chichester.
- Köksoy, M., İleri, S., 1977, Türkiye antimon oluşum ilkeleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi, Cilt: 3, No: 1 - 2, Sayfa: 95 - 114, Ankara.
- Mason, B., Moore, C.B., 1982, Principle of geochemistry, 344 s., ISSN 0196 - 427X, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Önder, İ., 1987, Sakarya - Akyazı Kuzuluk kaplıcası sıcaksu aramaları rezistivite etüd raporu, MTA rapor no: 8253, Ankara.
- Pehlivan, R., 1996, Mamara Bölgesi Termomineral Kaynaklarının Jeolojisi ve Hidrojeokimyasal İncelemesi, I.Ü. Fen Bil. Enst., Doktora tezi, 165s., Ek11, İstanbul, (Yayınlanmamış).

- Rose, A.W., Hawkes, E.H., Webb, J.S., 1979, Geochemistry in mineral exploration, Geochemical characteristics of the elements (Appendix), p: 549 - 581, Academic Press Inc., 24 - 28 Oval Road London.
- Şahinci, A., 1991, Doğal suların jeokimyası, reform matbaası, 546 s., Beyler - İzmir.
- Şentürk, N., Demirel, E., 1986, Akyazı (Sakarya) Kuzuluk kaplıcası hidrojeoloji incelemesi, MTA rapor no: 7085, Ankara.
- Şentürk, N., Demirel, E., 1987, Sakarya - Akyazı - Kuzuluk K-1 ve K-2 sıcaksu sondajları kuyu bitime raporu, MTA rapor no: 8296, Ankara.
- Yılmaz, Y., Gözübol, A.M., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., 1981, Abant (Bolu)-Dokurcan (Sakarya) arasında Kuzey Anadolu fay zonunun kuzey ve güneyinde kalan tektonik birliklerin jeolojik evrimi, MTA rapor no: 7085, Ankara.

# Kömür kökenli doğal gaz

**İlker Şengüler,** MTA Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara

*Kömürleşme ile başlayan metan gazı oluşumu, kömür yatakları için özellikle işletme sırasında büyük tehlike oluşturmaktadır. Ancak bu potansiyelin tehlikesiz duruma getirilmesi ve ekonomiye kazandırılması mümkündür. Biyojenik kökenli doğal gazlar grubu içinde yer alan kömür kökenli doğal gaz, aynı zamanda çevre dostu olması nedeniyle günümüzde özellikle gelişmiş ülkelerde özel bir ilgi görmektedir. Kömür kökenli doğal gazın rezerv tahminleri ve üretimi, petrol kökenli doğal gaz çalışmalarından farklılıklar gösterdiğinden tüm dünyada bu konuda araştırmalar sürmektedir.*

## Giriş

Kara sevdalı çevreciler ve yeşiller kabul etmemekle beraber, yapılan enerji projeksiyonları, sanayileşme sürecindeki ülkemizde enerji gereksiniminin her geçen gün arttığını göstermektedir. Ayrıca enerji üretim ve tüketim istatistikleri bu artışın önümüzdeki yıllarda daha da fazla olacağını ortaya koymaktadır.

Jeotermal, güneş, rüzgar, dalga gibi temiz enerji kaynakları günümüzde özellikle gelişmiş ülkelerin dillerinden düşürmedikleri çevre kavramı ile iyi dost olmalarına karşın kendine özgü enerji dönüşüm sistemleri ve teknolojiler gerektirdiğinden gereken ilgiyi görememektedirler. Bunun yanı sıra nükleer enerji konusundaki tartışmalar ve özellikle gelişmiş ülkelerde bu enerjiye karşı oluşan tepkiler, henüz bu santrallara sahip olmayan ancak yapımını planlayan ülkeleri düşündürmektedir. Bu yüzden çevresel etkileri bakımından bazı dezavantajları bulunmasına rağmen fosil yakıtlar günümüzde ilgi odağı olmaya devam etmektedirler.

Kömür, bitümlü şeyl, petrol gibi fosil yakıtlar grubu içinde bulunan doğal gaz, grubunun en temiz yakıtı olması nedeniyle özel bir ilgi görmektedir ve bu yüzden önemi her geçen gün daha da artmaktadır.

Dünyada yaygın olarak enerji üretiminde, sanayide ve evlerde kullanılan petrol kökenli doğal gaz gibi, kömür kökenli doğal gazın da ekonomik olarak kullanılabilirliğini araştıran çalışmalar son yıllarda yoğunlaşmıştır. Başta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere Çin, Avustralya, Polonya, İngiltere ve Almanya'da bu konuda önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Ülkemizde TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi Yer Bilimleri Bölümü 1991 yılında kömür kökenli doğal gaz (Coalbed Methane) konusunda bir araştırma başlatmıştır. MTA Genel Müdürlüğü ve Türkiye Taşkömürü Kurumu işbirliği de sağlanarak Zonguldak Havzasındaki kömür kökenli doğal gazın oluşumu, göçü ve birikmesi araştırılmış ve sonuçta havzada gaz potansiyelinin varlığı ortaya konmuştur (Yalçın, 1993).

## Doğal gazlar

Oluşum koşulları ve bileşimlerine göre doğal gazları üç grupta toplamak mümkündür. Bunlar biyojenik kökenli doğal gazlar, mağmatik ve metamorfik kökenli doğal gazlar ile radyoaktif kökenli doğal gazlardır (Gedik, 1994).

### Biyojenik kökenli doğal gazlar

Biyojenik kökenli doğal gazlar, organik maddenin biyolojik ve fizikokimyasal proseslerle hidrokarbonlara dönüşmesi sonucu oluşur. Bunlar; bataklik gazları, kömür kökenli gazlar, petrol kökenli gazlar, tuz tabakalarında oluşan gazlar ve çamur volkanı gazları olarak sınıflandırılır.

Bataklik gazları, eski ve yeni batakliklar ile delta ve alüvyonlarda görülür. Ülkemizde buna en güzel örnekler Bafra, Çarşamba ve Adana Ovalarıdır. Kömür kökenli gazlar, kömürü oluşturan bitkisel maddelerin turbiyelerde depolanarak bozulmasıyla oluşmaya başlar ve kömürleşme derecesi (rank) arttıkça gaz oluşumu artar. Buna en iyi örnek Zonguldak kömür havzasıdır.

Petrol kökenli gazlar, petrol oluşum prosesleri ile meydana gelir, bileşiminde ağırlıklı olarak bulunan metan yanında, metandan daha ağır hidrokarbonlar da içerir. Ülkemizde Hamitabat ve Çamurlu sahaları petrol kökenli doğal gazlara örnek olarak verilebilir.



Tuz tabakalarında oluşan gazlar azot, metan ve karbondioksit gazları olup ağır hidrokarbon içermezler. Petrol ve kömür sahalarında oluşan gazlar basınçları nedeniyle çatlak boyunca yüzeye çıkarlar. Çıkışları sırasında basınçları oranında killi malzemeyi yüzeye taşıyarak, çıktıkları noktada oluşan kraterleri çevresinde bir koni oluştururlar ve bu koni nedeniyle çamur volkanı olarak adlandırılırlar. Bileşiminde metan, karbondioksit, azot ve hidrojen sülfür bulunan bu gaza örnek olarak ülkemizde Muş Ovasında yıllardanberi çıkmakta olan gazlar gösterilebilir.

#### Mağmatik ve metamorfik kökenli doğal gazlar

Magmatik ve metamorfik kökenli doğal gazlar karbondioksit, karbonmonoksit, hidrojen sülfür, azot gibi gazların yanında su buharı ve asal gazları da içerir. Ülkemizde Orta ve Doğu Anadolu'daki genç volkanlar ile Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayına bağlı değişik açılı faylar boyunca karbondioksit çıkışları yaygındır.

#### Radyoaktif kökenli doğal gazlar

Radyoaktivite nedeniyle oluşan gazlar olup başlıcası Helyum dur. Helyum, iki proton ile iki nötrondan oluşan bir çekirdeğe sahip asal gazdır. Helyum atmosfer, manto ve kabuk kökenli olarak meydana gelebilmekte ve bu köken izotop çalışmaları ile belirlenebilmektedir (Ercan ve diğ., 1994).

#### Kömür kökenli doğal gaz

Kömürleşme prosesleri ile oluşan ve kömürün moleküler yapısında adsorbe edilmiş olarak bulunan doğal gazın bileşiminde ağırlıklı olarak metan ile karbondioksit, oksijen, nitrojen, metandan daha ağır hidrokarbonlar (etan vb.), hidrojen, helyum bulunur.

Kömürleşme sürecinde vitrinit yansıma değeri %2 ye ulaşıncaya kadar ortalama olarak metan 63 - 157 cm<sup>3</sup>/gr, karbondioksit 63 - 157 cm<sup>3</sup>/gr, nitrojen ise 8 - 16 cm<sup>3</sup>/gr dir (Scott, 1993).

Kömür kökenli doğal gaz (metan) oluşum koşullarına göre ya biyojenik ya da termojenik olmaktadır. Biyojenik metan gazı, yüzeye çok yakın sulu ortamda bitkilerin bozuşması ile oluşan turba, linyit ve subbitümlü kömürler olarak isimlendirilen kömürleşme derecesi düşük kömürlerde meydana gelebildiği gibi, esas olarak kömürleşme derecesi yüksek olan bitümlü kömürler ve antrasitlerde oluşur. Kömürleşme derecesi yüksek olan kömürlerin oluşturduğu metan gazı ekonomik rezervler sunabilir.

Biyojenik kömür kökenli gaz (metan), oluşum açısından birincil ve ikincil olarak ikiye ayrılır. Birincil biyoje-

nik metan nispeten düşük sıcaklıklarda ve gömülme derinliklerinde (Rm %0.3) turbalardan oluşur. Bu metan denizel çökellerde gömülmeden kısa süre sonra oluşan biyojenik gaz ile büyük benzerlik göstermektedir (Rice, 1992). İkincil biyojenik metan ise meteorik suların kömüre nüfuz etmesi ile ortamda başlayan metabolik faaliyetler sonucu oluşur. Bu esnada gömülme ve kömürleşme tamamlanmış olup kömürün vitrinit yansıma değeri % 0.30 - 1.50 arasında bir değere ulaşmış ve hatta % 1.50 yi bile geçmiştir. Bu yüzden ikincil biyojenik metan ile birincil biyojenik metan oluşum açısından farklıdır (Scott, 1993).

Termojenik kömür kökenli gaz (metan) oluşumu da iki grupta değerlendirilir. Erken termojenik metan yüksek uçuculu bitümlü kömürlerden (Rm% 0.5 - 0.8) oluşur ve etan, propan ile hidrojen zengin kömürlerden türeyen diğer ıslak gaz bileşenlerini içerir (Scott, 1993). Termojenik metan oluşumu vitrinit yansıma değeri %0.74 olan kömürlerde gerçekleşir (Tang ve diğ., 1991). Kömür kökenli doğal gazın bileşimi, kömürleşme derecesi ile doğrudan ilgili olmakla beraber havzanın hidrolojisi de bunu kontrol eden ana faktörlerdendir (Scott ve Kaiser, 1991). Gazın bileşimindeki karbondioksitin önemli bir bölümü ilk kömürleşme süreci içinde oluşur ve kömürleşme arttıkça gaz oluşumu genellikle azalır (Scott ve diğ., 1994). Avustralya'da Sydney ve Bowen havzalarındaki Permiyen yaşlı bitümlü kömürlerde yapılan izotop çalışmaları karbondioksitin mikrobiyolojik indirgenmesinin geleneksel termojenik reaksiyonlardan daha çok, gazın bileşimi ile ilgili olduğunu göstermiştir (Smith ve Pallasser, 1996).

Kömürleşme proseslerinin ilk dönemlerinde kömürün üzerini örten tabaka ince ve geçirimli olduğundan oluşan gazın çok az bir kısmı depolanır. Kömürleşme proseslerine bağlı olarak sıcaklık, basınç yanında üzerindeki ve çevresindeki kayaçlar da geçirimsizleştikçe gazın büyük bölümü kömürde tutulmaya başlar. En fazla metan gazı oluşumu orta uçuculu bitümlü kömürlerden, düşük uçuculu kömürlere geçişte gerçekleşir. Bu sırada ortamın sıcaklığı yaklaşık 150°C dir.

Kömürün maseral bileşimi, kömürde adsorbe olacak metan gazı miktarı ile doğrudan ilgilidir. Vitrinitce zengin kömürlerde metan adsorpsiyonu genellikle yüksektir. İnertinit içeriği arttıkça metan adsorpsiyonu azalmaktadır (Lamberson ve Bustin, 1993).

Kömürleşme derecesi arttıkça kömürün bünyesinde bulunan su tedrici olarak tabaka dışına atılır. Yüksek uçuculu bitümlü kömürlerde su miktarı % 27 iken, orta uçuculu veya düşük uçuculu bitümlü kömürlerde su miktarı % 12 dir. Sonuç olarak kömürde oluşan metan gazı miktarının, kömür tabakasının yüzeyden derinliğine, kö-

mürleşme derecesine (rank) ve diğer jeolojik koşullara bağlı olduğu söylenebilir.

## Rezerv tahmini

Konvansiyonel yöntemlerle üretilmesi planlanan gaz rezervi tahmini iki ayrı değerlendirme gerektirmektedir. Bunlar; yerinde gaz miktarı ve üretilebilecek gaz miktarıdır.

### Yerinde gaz miktarının belirlenmesi

Yerinde gaz miktarı genellikle hacimsal hesaplamalar ile yapılır. Yerinde gaz miktarının hesaplanmasında iki önemli parametre vardır. Bunlar yerinde kömür miktarı ve metan içeriğidir. Metan içeriği, kömürde ton başına bulunan gaz miktarını ifade etmekte olup doğru bir rezerv tahmini yapılabilmesi için çok iyi hesaplanmalıdır. Metan içeriğini çeşitli yöntemler ile hesaplamak mümkündür (Elhiney, 1989).

1) Doğrudan gaz desorpsiyon ölçümleri: Kömür numunesinden açığa çıkan gaz miktarı olup laboratuvarında ölçülür.

2) Metan emisyon debisi: Kömür ocaklarında, çalışılan damarda açığa çıkan metanın ton başına miktarıdır.

3) Sorpsiyon-izoterm bağıntısı: Deneyimlere dayalı bağıntılar olup belirli sıcaklıklarda değişen basınçlar ile teorik olarak kömürün ton başına tutabileceği maksimum gaz miktarı ilişkisidir. Bu yöntem genellikle doğrudan gaz ölçümlerinin yapılamadığı durumlarda kullanılır. Her tip kömürün kendine özgü sorpsiyon-izoterm bağıntısı vardır. Sorpsiyon-izoterm bağıntısını sağlıklı olarak kullanabilmek için kömürün nem, kül, sabit karbon, uçucu madde miktarı ile basınç ve sıcaklık gradyanlarının önceden bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler gaz üretim aşamasında da çok önemlidir.

### Üretilebilecek gaz miktarının belirlenmesi

Kömür yataklarından metan gazı üretimi, doğal gaz sahalarında yapılan sondaj ve benzeri çalışmalar ile gerçekleştirilmektedir. Ancak rezervuar üretim prosesleri açısından doğal gaz sahalarından büyük farklılıklar gösterdiğinden konvansiyonel üretim tahmin yöntemlerini burada kullanmak mümkün olmamaktadır.

Kömürde matriks boyunca difüzyon ile çatlaklardaki serbest gaz akışı üretimin gerçekleşmesinde çok önemli iki faktördür (Şekil 1). Metan gazı kömürde adsorbe olarak bulunduğu uzun süreli üretimlerde özellikle difüzyonun önemli bir parametre olduğu unutulmamalıdır (Smith ve Williams, 1984). Bununla beraber geçirimsizlik, statik rezervuar basıncı ve gaz desorpsiyon basıncı üretim üzerinde etkili olan diğer üç faktördür.

Kömür damarının kalınlığı ve içerdiği gaz miktarı, kömür kökenli doğal gaz rezervi açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca geçirimsizlik, çatlak verimliliği ve akış kapasitesi diğer önemli faktörleri oluşturmaktadır.

Metan üretimi üç evrede olmaktadır. Birinci evrede, basınç düşmesi ile sadece suyun akışı söz konusudur. Tek fazlı akışın oluştuğu bu evrede su üretimi gerçekleşir. İkinci evre basınç düşmesine bağlı olarak oluşan desorpsiyon ile başlar. Bu evrede oluşan gaz kabarcıkları birbirleri ile bağlantılı olmadıklarından henüz akış gerçekleşemez. Yine sadece su hareketlidir ve gaz kabarcıkları su ile taşınmaktadır. Üçüncü yani son evrede, devam eden basınç düşmesi ile kritik gaz doygunluğuna erişilir, çatlaklardaki gaz serbest kalarak akışa geçer. Bu evrede su ile gazın birlikte akışı söz konusudur yani iki fazlı akış gerçekleşir. İki fazlı akışı iyi tanımlayabilmek için geçirimsizliğin iyi bilinmesi gerekmektedir (Remner, 1986 ve Gray 1987).

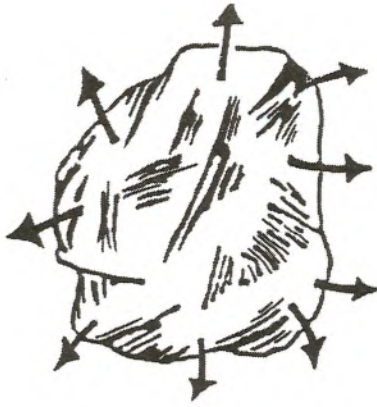
Özet olarak söylemek gerekirse ekonomik üretimi gerçekleştirmek için yeterli miktarda gaz, bu gazı alabilmek için yeterli geçirimsizlik, yeterli basınç, uygun sorpsiyon süresi gerekmektedir. Ayrıca izoterm karakteristiklerinin de iyi belirlenmesi çok önemlidir (Kuuskraa ve Brandenburg, 1989, Hughes ve Logan, 1990).

## Dünyada kömür kökenli doğal gaz çalışmaları

ABD'de kömür kökenli doğal gaz çalışmaları 1980'li yıllarda devlet tarafından da desteklenerek yoğun bir şekilde sürdürülmüştür. 1986 yılında sadece 378 metan üretim kuyusu açılmışken, bu sayı 1991 yılında 4443 olmuştur (Boyer, 1992). San Juan (New Mexico ve Colorado) ile Black Warrior (Alabama) bölgelerinde sondajlı üretim çalışmalarına 1990 ve 1991 yıllarında diğer havzalar da eklenmiştir. ABD'de de yeni sayılabilecek metan üretimi 1986 yılında  $0.5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  iken, 1991 de  $9 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ 'e ulaşmıştır (Boyer, 1992). Bugün için yıllık gaz tüketiminin sadece % 2'sini oluşturan metan üretiminin, 2000 yılında % 5-6'sını karşılaması planlanmaktadır (Baly, 1992).

ABD'de ispatlanmış metan rezervi  $140 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ , tahmin edilen üretilebilir metan rezervi  $4.2 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$ , jeolojik rezerv ise  $11.3 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$  dür.

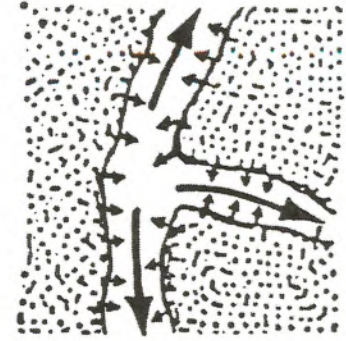
Son tahminlere göre Avrupa'da kömür kökenli doğal gaz rezervi (Bağımsız Devletler Topluluğu hariç) yaklaşık  $8.5 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$  dür (Boyer, 1992). Avrupa'daki taşkömürü yatakları tektonizma, derinlik ve damar özellikleri bakımından ABD'deki yataklardan büyük farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle Avrupa ülkelerinde metan üretimi çalışmalarında ABD'de olduğu gibi ilerleme kaydedilememiştir.



**Kömür Yüzeyinde  
Oluşan Desorpsiyon**



**Matriksin Mikrogözenekleri  
Boyunca Oluşan Difüzyon**



**Makrogözenekler (Doğal Çatlak)  
Boyunca Akış**

**Şekil 1. Üretim mekanizmasının şematik görünümü**

Almanya'da Saarland kömür sahasında 1960'lı yıllarda başlayan kömür kökenli doğal gaz çalışmaları, üretimde başarı sağlanamaması nedeniyle devam etmemiştir.

İngiltere'de de benzer çalışmalar BCC (British Coal Corporation) tarafından yapılmıştır (Boyer, 1992). Daha sonraları ara verilen çalışmalara, geliştirilen yeni teknolojiler ile Avrupa kömür ve çelik topluluğu'nun (European Coal and Steel Community- ECSC) sponsorluğunda araştırma projeleri ile yakın bir gelecekte yeniden başlanacaktır. Topluluğun enerji bölümü içinde yer alan Ticaret ve Sanayi Bölümü (Department of Trade and Industry) özellikle konvansiyonel olmayan bu gaz ve üretimi ile yakından ilgilenmekte ve büyük destek vermektedir.

Fransa'nın bugünkü enerji politikalarında fosil yakıtların önemi oldukça azdır (Daniel ve Jamieson, 1992). Ülkede kömür kökenli doğal gaz rezervlerine ilişkin resmi veriler bulunmamasına rağmen yaklaşık  $0.3 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$  olduğu tahmin edilmektedir (Crick, 1992). Terkedilmiş olan Nord-Pas de Calais kömür sahasında HBNPC ve Gaz de France (GdF) arasında bir proje yapılmıştır. Benzer şekilde HBCM şirketi çalışılmamış bir saha olan Cevennes havzasında (South Massif Central) bir proje oluşturulmuştur (Crick, 1992). Burada iki araştırma kuyusu ile yapılan testler sonucunda 1200 m derinlikte  $10^9 \text{ m}^3$  metan gazı varlığı tahmin edilmektedir.

Belçika'da kömür sahalarının kapanmasından sonra gaz üretimine yönelik projeler gündeme gelmiştir (Daniel ve Jamieson, 1992). Hainaut havzasının Charleroi bölgesinde 1964 yılında kömür sahasının kapatılmasından sonra yaklaşık yılda 7 milyon  $\text{m}^3$ , 8300 kcal/ $\text{m}^3$  ısı değere sahip metan gazı üretilmiştir. Söz konusu üretim düşük düzeyde gerçekleşmesine rağmen oldukça ekono-

miktir. Eğer üretim aynı seviyede tutulursa bölgedeki gaz potansiyelinin 25 yıl daha varlığını sürdüreceği tahmin edilmektedir (Dusar ve Verkaeren, 1992). Tüm Hainaut havzasının metan potansiyelinin  $10^{12} \text{ m}^3$  olduğu tahmin edilmektedir. Yine yapılan bir çalışmaya göre açılacak olan 100 üretim kuyusu ile yılda ancak metan potansiyelinin % 1'i alınabilecek olup bu da Belçika'nın yıllık gaz tüketiminin % 10'unu oluşturacaktır (Dusar ve Verkaeren, 1992).

İspanya'da ise kömür yataklarındaki gazın üretimi ve kullanımı projesi hem ekonomik nedenlerden hem de jeolojik nedenlerden dolayı büyük destek görmektedir. Oluşturulan konsorsiyumun çalışma planına göre sondajlar 2000 m. derinliğe ulaşacak olup beklenen metan gazı potansiyeli 12  $\text{m}^3/\text{ton}$  dur (Roever, 1992).

Polonya'da taşkömürü en önemli enerji kaynağıdır. Metan potansiyeli  $3 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$  olarak tahmin edilmektedir (Kruger, 1992). Ülkenin enerji potansiyeli Dünya Bankası ve EPA'nın (U.S. Environment Protection Agency) desteği ile Avrupa Topluluğu çevre standartlarına uygun olarak değerlendirilme kapsamına alınmıştır. Üst Silesian havzasındaki metan potansiyeli  $1.5 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$  olup, 1500 m derinlikte gaz içeriği 20  $\text{m}^3/\text{ton}$  dur. Buna karşın Alt Silesian havzasının gaz içeriği 10  $\text{m}^3/\text{ton}$ 'un altında olduğundan şu anda diğer saha kadar ekonomik görülmemektedir.

Eski Çekoslovakya'nın enerji üretiminin % 60'ı yerli taşkömüründen ve linyitten gerçekleştirilmektedir. Ost-ravan taşkömürü sahasında 1500 m derinlikteki 500  $\cdot 10^9 \text{ m}^3$  metan gazını çıkarmak için bir proje oluşturulmuştur.

Macaristan'da taşkömürünün gaz içeriği 15-40  $\text{m}^3/\text{ton}$  olup metanın ticari olarak kullanımı konusunda araştır-

malar yapılmaktadır (Somos, 1992). Tahmin edilen gaz rezervi 1500 m derinlikte  $85 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  dür. (Schneider, 1993). Kanada'lı enerji şirketi Fracmaster, Macaristan kömür şirketi Mecseki Szenbanyak ile Mecsek havzasında çalışma planları yapmaktadır.

## Sonuç

Önümüzdeki yıllarda enerji gereksiniminin artacağı düşünülen ülkemizde, enerji temininde çeşitlilik ilkesi de gözetildiğinde, kömür kökenli doğal gaz yeni bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca bu kaynağın, daha verimli olarak işletilmesine yönelik yeni modellerin arandığı Zonguldak kömür havzasında bulunması ve fosil yakıtlar içinde çevre dostu olarak bilinmesi, kömür kökenli doğal gazı ülkemiz enerji gündemine sokmuştur.

Gerçekten, fosil yakıtlar içerisinde en az çevresel etkilere sahip olan metan gazı, üretilebildiği taktirde ülkemiz için çok büyük kazanç olacaktır. Ancak, bu araştırmada sözü edilen gerek rezerve gerekse üretime ait tüm parametreler özenle araştırılmalıdır.

Gelişmiş ülkeler için dahi oldukça yeni bir enerji kaynağı olan kömür kökenli doğal gaz, ülkemiz enerji projeksiyonlarında yer almalı, başlatılan çalışmalar ve araştırmalar uygulamaya yönelik projeler ile geliştirilmelidir.

### KATKI BELİRTME

Bu araştırmadaki değerli katkılardan dolayı Tayfun Umucu'ya (TPAO) teşekkür ederim.

### DEĞİNİLEN BELGELER

- Baly, M., 1992, Bright future seen for "Fuel of Choice". Petroleum Economist 59, 2, 25-28.
- Boyer, C., 1992, Overview and analysis of coalbed methane. Presented at the conference on "Coalbed methane in Europe" on 20.5.1992 in London.
- Crick, J., 1992, Progress towards exploitation of coalbed methane in the Cevennes Basin. Presented at the "Workshop on the recovery and end-use of coalbed methane" in Katowice from 16-21.3.1992
- Daniel, M. and Jamieson, E., 1992, Coal production prospects in the European Community. IEA Coal Research 48, London.
- Dusar, M. and Verkaeren, P., 1992, Methane desorption in closed collieries-examples from Belgium. Presented at the "Workshop on the recovery and end-use of coalbed methane" in Katowice from 16-21.3.1992.
- Elhiney, J.E., 1989, Evaluation of coalbed methane reserves involves different techniques. Oil and Gas Journal, October, 30, 63-72.
- Ercan, T., Ölmez, E., Matsuda, J., Nagao, K., Kita, I., 1994, Kuzey ve Batı Anadolu'da sıcak ve mineralize sular ile içerdikleri gazların kimyasal ve izotopik özellikleri. Türkiye Enerji Bülteni c.1.s.2, Ankara.

- Gedik, A., 1994, Türkiye Doğalgazları. MTA Enerji Hammaddesi Etüt ve Arama Dairesi eğitim semineri, Ankara.
- Gray, I., 1987, Reservoir Engineering in Coal Seams. Part 1, The Physical Process of Gas storage and movement in coal seams, SPERE, February, 28-34.
- Hughes, B.D. and Logan, T.L., 1990, How to design A coalbed methane well. Petroleum Engineering International, May, 16-20.
- Kruger, D., 1992, Coalbed methane's potential in Poland and CSFR. Presented at the conference on "Coalbed methane in Europe" on 20.5.1992 in London.
- Kuuskräa, V.A. and Brandenburg, C.F., 1989, Coalbed methane sparks a New Energy Industry. Oil and Gas Journal, October 9, 49-56.
- Lamberson, M.N. ve Bustin, R.M., 1993, Coalbed Methane Characteristics of Gates Formation Coals, Northeastern British Columbia: Effect of Maceral Composition. AAPG Bulletin, V. 77, No. 12, P. 2062-2076.
- Remner, D.J., 1986, A Parametric study of the effects of coal. Seam properties on gas drainage efficiency. SPERE, November, 633-646.
- Rice, D.D., Clayton, J.L., Flores, R.M., Law, B.E., and Stanton, R.W., 1992, Some geological controls on coalbed gas generation, accumulation, and production, western United States. U.S. Geological Survey Circular 1074, p. 64.
- Roever, B., 1992, Coalbed Methane in Spain. Presented at the conference on "Coalbed methane in Europe" on 20.5.1992 in London.
- Schneider, T.H.A., 1993, Coal bed methane extraction. IEA coal research (in preparation), London.
- Scott, R.A., and Kaiser, W.R., 1991, Relation between basin hydrology and Fruitland gas composition, San Juan basin, Colorado and New Mexico Quarterly Review of Methane from Coal Seams Technology, v. 9, No. 1, p. 10 - 18.
- Scott, R.A., 1993, Composition and origin of coalbed gases from selected basins in the United States. The 1993 international coalbed methane symposium proceedings, V. 1, p. 207 - 216.
- Scott, R.A., Kaiser, W.R., and Ayers, W.B., 1994, Thermogenic and Secondary Biogenic Gases, San Juan Basin, Colorado and New Mexico- Implications for coalbed gas producibility. AAPG Bulletin, V. 78, No. 8 (August 1994), P. 1186 - 1209.
- Smith, D.M. and Williams, F.L., 1984, Diffusional Effects in the recovery of methane from coalbeds. Society of Petroleum Engineering Journal, October.
- Smith, W.J., and Pallasser R.J., 1996, Microbial origin of Australian Coalbed Methane. AAPG Bulletin, V. 80, No. 6 (June 1996), P. 891 - 897.
- Somos, L., 1992, Coalbed methane fuel in Mecsek Mountains. Presented at the "Workshop on the recovery and end-use of coalbed methane" in Katowice from 16-21.3.1992.
- Tang, Y., Jenden, P.D., and Teeman, S.C., 1991, Thermogenic methane formation in low rank coals - published models and results from laboratory pyrolysis of lignite, in D.A.C. Manning, ed., Organic geochemistry - advances and applications in the natural environment. Manchester University Press, p. 329 - 331.
- Yalçın, M.N., 1993, Kozlu-K20/G Kuyusunun Zonguldak Havzasındaki Bilgisayar Destekli Modelleme Çalışmalarına Katkısı. Kozlu-K20/G Araştırma Kuyusu, Workshop, Program ve Özler, TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Yer Bilimleri Bölümü, s.28.

# EYS kuralı ile enjeksiyon projelendirmesi ve kontrolü

*G.Lombardi, D.U. Deere,*

(Water Power and Dam Construction, June, 1993)

*Çeviren : Adil Öktem* D.S.İ. Bölge Müdürlüğü, Antalya

*Bu makalede kütlelerinin enjeksiyonunuda geliştirilen EYS yöntemi sunulmaktadır. Yöntemin ana unsurları 1- enjeksiyon işleminde ağırlıkça S/Ç oranı 0.67 - 0.81 arasında olan ve karışımın sokulabilirliğini arttırmak için süper akışkanlaştırıcı katılmış tek tip karışım kullanılması; 2- düşükten ortay değişen düzenli pompalama debisi altında belirli bir süre aşılmaya karışımın kaya çatlaklarına daha fazla sokulmasını sağlamak için enjeksiyon basıncının göreceli olarak arttırılması; 3- PC grafikler aracılığı ile basınç, akış oranı, basılan miktar ve sokulabilirliğin zamana karşı; işlem anındaki eğrilerinin çizilerek gözlenmesi ve 4- enjeksiyon seyrinin; görüntülenen basınç - toplam alış diyagramının sınırlama basıncı, sınırlama hacmi veya enjeksiyon yoğunluk eğrilerinden birisiyle (ki bunlar seçilmiş EYS hiperbolik eğrisi tarafından belirlenmiştir) kesiştiğinde enjeksiyona ara verilmesidir. EYS hiperbolik eğrisi tüketilen enerjinin bir ölçümü olarak sabit bir pxV eğrisidir. Deneyimler bir çok ülkenin büyük hidroelektrik projelerinde kullanılan yöntemin teknik ve ekonomik açıdan etkili olduğunu göstermiştir.*

## Giriş

Kaya kütlelerinin mekanik ve hidrolik özelliklerinin çimento karışımları kullanılarak iyileştirilmesi inşaat mühendisliği uygulamalarında oldukça iyi gelişim göstermiştir. Bu uygulamalar sık sık dogmatik inançlara sürüklense de baş parmak kuralı ve kişisel veya kurumsal deneyimlerce yönlendirilmiştir.

Yazarlar son 25 yıllık dönemde; çeşitli ülkelerdeki inşaat halindeki büyük hidroelektrik projelerin; projeci-

si, jeoteknik mühendisleri, jeologları ve arazi kontrol mühendisleri ile sık sık bir araya gelerek enjeksiyon işleminin laboratuvar deneyleri, teori ve arazi araştırmaları ile birlikte daha iyi anlaşılmasına çalışmışlardır. Farklı enjeksiyon karışımlarının kohezyon (Yield mukavemeti) ve dinamik viskozitesi, akış ve sokulum özellikleri üzerine yapılan teorik çalışmalar, enjeksiyon basınçları ve alışları üzerindeki arazi gözlemleri; yazarları bu makalede tartışılacak olan Enjeksiyon Yoğunluk Sayısı (Grouting Intensity Number, EYS) kavramına yöneltmiştir.

Sunulan yorumlar taneli zeminler için de kullanılabilirse de; bu makale yalnızca kaya kütlelerinin enjeksiyonu ile ilgilidir. Yeraltı işleri ve konsolidasyon enjeksiyonlarından daha ziyade enjeksiyon perdelerine önem verilmiştir. Gerçekte EYS yöntemi perde dışındaki işlerde de bir kaç kez uygulanmıştır.

Bu makale enjeksiyonda geline seviyeyi ve son yıllarda yayımlanan kitaplarda belirtilen durumu gözden geçirmeyi amaçlamamaktadır. Bununla birlikte temel teorik bilgi ve EYS yöntemine ulaşmayı sağlayan teorik ve pratik bilgiler özet olarak verilmiştir. Kabullerin kanıtlanmış etkinliği, daha başarılı sonuçlar, basitlik ve daha ekonomik enjeksiyona ulaşma; yazarları yöntemi daha geniş kitlelere ulaştırmaya yöneltmiştir.

## Enjeksiyon akışı ve sokulumunun teorik kabulleri

Su ve yağ gibi Newtoniyen akışkanlara benzemeyen akışkanların reolojik davranışları yalnızca viskozite parametresi ile belirlenirken, duraylı bir enjeksiyon karışımı akış sırasında viskozite ve kohezyonun (Yield mukavemeti) etkisi altında Bingham akışkanı gibi davranır. Her ikisi de akışa direnç gösteren parametrelerdir, viskozite akış oranını yönlendirirken kohezyon (enjeksiyon uygulamasında belirli bir basınç altında ve belirli bir kaya çatlak açıklığında) hareket uzaklığını yönlendi-

rir. Geliştirilen formüller maksimum hareket uzaklığı-  
nı, maksimum miktarı ve maksimum hidrolik kaldırma  
kuvvetlerini hesaplamada kullanılmaktadır. (6-11)

Bu noktada maksimum hareket uzaklığı; doğru  
orantılı olarak uygulanan enjeksiyon basıncına ve çat-  
lak açıklığına bağlı iken ters orantılı olarak da karışı-  
mın kohezyonuna bağlıdır. Bu durumda; ince kaya çat-  
laklarında enjeksiyonun sokulumunu arttırabilmek için  
ya basınç artırılmalıdır veya kohezyon azaltılmalıdır  
veyahut her ikisi de yapılmalıdır.

Muhtemelen Bingham akış eşitliğinin en büyük de-  
ğeri enjeksiyon işlemi sırasında sağlanmaktadır. Bu de-  
ğer faktörlere bağlı olarak kaya çatlaklarına enjeksiyon  
sokulumunu ve enjeksiyon işlemi sırasında yaratılan  
ayrım kuvvetlerini etkiler. Duraylı karışımlar (1 000  
ml silindir numune üzerinde 2 saat sonraki çökmesi  
%5'den az olan) yaklaşık Bingham akışkanlığı davranışı  
gösterirler, bu eşitlikleri duraysız ve sulu karışımlara  
uygulamak olanaksızdır. Çimentonun su içinde duray-  
sız olduğu ince karışımlar veya bulamaç suspansiyon-  
larda; kaya çatlakları içinde enjeksiyon akışı sırasında  
aşırı çökme, erozyon, yeniden suspansiyona dönüş-  
me ve yeniden çökme davranışlarının görülebileceği  
beklenebilir. Bu durumları Bingham akış veya benzeri  
denklemlerle öngörmek ve karakterize etmek olanaksız-  
dır.

Aşağıda karışımın seçimine etki eden diğer etmen-  
ler açıklanmıştır.

## Karışımın seçimi

Kalın ve ince karışımlar üzerine tartışmalar daha  
uzun yıllar sürecektir. Yazarlar 1985 yılından bu yana  
tercihlerini kalın karışımlar yönünde kullanmışlardır  
(5-11). Çökelmeyi azaltma ve karışımı duraylı hale ge-  
tirme amacıyla karışıma %1-2 oranında bentonit katıl-  
ması işlemi; akışkanlaştırıcı katkı maddesi eklenmiş  
yüksek miktarda çimento içeren karışımların kullanıl-  
ması ile yer değiştirmiştir. Bu tür karışımlar az kohez-  
yon nedeniyle duraylıdır ve daha fazla sokulabilirliği  
ile katılma sonunda daha fazla mukavemete ulaşırlar.

Geleneksel olarak kalın karışım savunucuları; kalın  
karışımların enjeksiyon işlemi ve karışımın katılma-  
masından sonraki kullanım süresi içerisinde birçok  
avantajları olduğunu belirtmişlerdir.

İnce karışımlarla kıyaslandığında kalın, duraylı ka-  
rışımlar enjeksiyon sırasında aşağıdaki avantajlara sa-  
hiptir:

- düşük akış şartlarında çimento tanecikleri daha az  
çökeler

- akış yollarının dar zonlarında sokulum veya sıkış-  
ma şartlarında az kanama suyu (bleeding water) bırak-  
ması nedenleriyle daha az yalancı bloklama olur

- zamana ve mesafeye bağlı yüksek duraylılık (belir-  
lenen kohezyon ve dinamik viskozite ile Bingham akış-  
kanı) ve

- karışımın kohezyonunun sonucu olarak enjeksi-  
yon kuyusundan uzakta hızlı basınç düşüm nedeniyle  
hidrolik ayrılma veya hidrolik kaldırma da denilen hid-  
rolik kırılma ve jeolojik tabakaların altkaldırma riskinin  
azlığı. Böyle bir durum oluşsa bile çatlaklar yüksek ka-  
litedeki karışımla dolacaktır.

Katılmış enjeksiyonun kullanımı süresince ince  
karışımlara oranla kalın karışımların avantajları aşağı-  
da belirtilmiştir.

- katılma sırasındaki az büzülmenin sonucu ola-  
rak kaya çatlaklarının duvarları boyunca büyük bükül-  
me (bond) direnci ve bunların yeniden açılma olasılığı  
azdır,

- yüksek çimento içeriğinin sonucu olarak yüksek  
yoğunluk ve yüksek mekanik özellikler göstermesi ve  
bu nedenle borulanma ve erozyona karşı yüksek direnç  
göstermesi ve

- az boşlulukluk, az geçirimsizlik ve yüksek bükülme  
kuvvetine bağlı olarak yıkanmaya karşı yüksek muka-  
vemet ve baraj kullanımı süresince yüksek duraylılık.

İnce karışımlarla karşılaştırıldığında kohezyonu  
nedeniyle duraylı karışımları aynı uzaklığa ulaştırabil-  
mek için yüksek basınç gerekir. Bununla birlikte karışı-  
ma eklenen az miktardaki akışkanlaştırıcı sayesinde  
karışımın viskozite ve kohezyon parametreleri aşağı-  
ner.

Mevcut uygulama; arzulanan yoğunluk ve mukave-  
meti elde etmek için bir çok büyük projede ağırlıkça S/  
Ç oranı olarak 0.67 - 0.81 arasındadır. Ve enjeksiyonun  
yerleştirilmesi sırasındaki kohezyonunu düşürmek için  
karışıma az miktarda akışkanlaştırıcı katkı maddesi  
eklenmiştir. Farklı çimento ve farklı akışkanlaştırıcı-  
lar kullanılarak elde edilen karışımların akış, çökme,  
katılma ve mukavemet özellikleri laboratuvarlarda test  
edilmiştir.

Kohezyon ve viskozite özellikleri laboratuvarla kon-  
santrik (consentric) silindirik döner viskozimetrelerde  
saptanabilir (5-6). Bu alet karışıma daldırılmadan önce  
ve sonra tartılan 1.5 mm kalınlığında, 100x100 mm bo-  
yutlarında çelik bir levhadır. Ölçülen ağırlıklar iki yü-  
zeyin toplam alanına bölünür ve değerler arasındaki  
fark kesme mukavemeti birimi olarak kohezyon para-

metresini verir. Bağlı kohezyon değeri (Cr); kohezyon (C) değerinin, karışımın birim ağırlığına (g) bölünmesiyle ifade edilebilir ( $Cr = C/g$ ). Genel olarak mm cinsinden ifade edilir ve kalın karışımlar için bu değer 0.2 - 0.35 mm arasındadır. Katkı maddesi ile bu değer tavsiye edilen değer olan 0.08 - 0.15 mm düzeyine iner. Elde edilen Cr değeri gerçekte kohezyon levhasının her bir yüzeyine yapışan karışımın kalınlığıdır. Kohezyon levhası; üzerinde kırıntılar tarafından oluşturulan kesişen yivlerden temizlenmelidir. Bu nedenle çelik yüzey ile enjeksiyon karışımı arasındaki yapışma; levha yüzeyine yapışan enjeksiyon tabakasının yüzeyi ile geride kalan arasındaki kohezyondan daha büyük olacaktır. Aksi durumda bütün enjeksiyon kayıp gidecektir.

·Laboratuvarında elde edilen diğer tipik değerler özgül ağırlık 1.59 - 1.67 t/m<sup>3</sup> (99.2 - 104.2 lb/ft<sup>3</sup>), Mars hunisi akış zamanı 29 - 32 s ve 28 günlük mukavemeti 15 - 20 MPa (2250 - 3000 lb/in<sup>2</sup>) şeklindedir.

Gözönünde bulundurulması gereken diğer bir husus, yeraltı su tablası üzerinde kuru kay ortamında yapılan enjeksiyon kalınlaşabilir ve bu ise karışımın kohezyonunu (ve içsel sürtünmeyi) artırarak enjeksiyonun başlamayacağı noktaya ulaşmasına neden olur. Bunu önlemek için enjeksiyondan önce, enjeksiyon yapılacak ortama belirli bir süre su basılarak doygun hale getirmek ihtiyatlı bir tedbirdir. Ayrıca karışıma su tutucu katkılarda katılabilir.

İnce çatlaklı kayanın enjeksiyonunda, enjeksiyonun sokulumu karışımın aşırı su ile seyrelmesinden daha ziyade çimento tanelerinin ve topakların boyutuna bağlıdır. Bu nedenle yüksek sokulum özelliğini sağlamak için karışımı su ile inceltmek yerine; akışkanlaştırıcı ve ince çimento ile birlikte yüksek enjeksiyon basınçları kullanılmalıdır.

Laboratuvarında yapılan araştırmalar sonucunda arzulanan mekanik özellikleri taşıyan karışım belirlendikten sonra, bir projenin bütün enjeksiyon işlemlerinde aynı karışım kullanılmalıdır. Tek tip karışım kullanmanın diğer bir yararı ise enjeksiyon işleminde büyük kolaylıklar sağlamasıdır.

## Enjeksiyon işlerinin projelendirilmesi

Bir enjeksiyon perdesinin projelendirmesi aşağıdaki ana hususları içerir. Karışım, kuyu aralığı ve derinlik, enjeksiyon sırası, hacim ve basınç sınırlaması da dahil enjeksiyon işlemi ve arazideki kontrolün tanımlanması. Çalışılacak sahanın jeolojisinin çok iyi bilinmesi bu hususların belirlenmesinde çok büyük yararlar sağlayacaktır. Özellikle; enjekte edilecek kaya kütlelerinin süreksizliklerinin tip, sıklık, çatlak açıklığı, pürüzlülük, alte-

rasyon veya dolgululuk ve uzanımı gibi fiziksel özellikleri önemlidir. Gerilmelerin yerindeki durumu ve yeraltı suyuda gözönünde bulundurulmalıdır.

Mevcut jeolojik ve jeoteknik koşulların yeterince bilinmesine ek olarak projenin gerilim aşamasındaki değişimler ve hidrolik basınçların zamana bağlı değişimleri (rezervuarda su tutma ve su boşaltma aşamaları gibi) hesaba katılmak zorunluluğundadır.

Bu makale bütün bu konularda söylev vermeyecek yalnızca daha önemli olan hususlara değinecektir.

## EYS yönteminin gelişimi

### Açık, geniş çatlakların enjeksiyonu

Uygulamadaki gözlemler ve kuramsal çalışmaların her ikisi de kaya kütlelerindeki geniş ve açık çatlakların enjekte edilmeye hazır olduklarını göstermektedir. Karışımın yayılım uzaklığı oldukça yüksektir (bir kaç on metre gibi). İşte bu gibi durumlarda enjekte edilecek karışım miktarını ve yayılım uzaklığını azaltmak; hem uygulama hem de ekonomik açıdan gereklidir. Bu sınırlama 3 değişik seçenikle yapılabilir. 1- Sokulumu az karışım (kalın ve yüksek kohezyonlu) kullanmak, 2- enjeksiyon basıncını ve 3- karışım miktarını sınırlamak.

Sınırlama kriterinin saptanmasından önce kaya kütlelerinde ince çatlakların da olabileceği dikkate alınmalıdır. Geniş ve açık çatlakların dolması aşamasına kadar enjekte edilebilir oldukça zordur. Ancak; ilk aşama enjeksiyon sırasında bu çatlakların bir kısmını enjekte etmek arzu edilir. Bu nedenle karışım kalınlaştırılmamalı süper akışkanlaştırıcı katkıları ile orta kalınlıkta ve duraylı olmalıdır. Basıncı sınırlama seçeneği ise ince çatlakların enjeksiyonunu azaltacağından cazip değildir. Geriye en uygun çözüm olarak miktar sınırlama seçeneği kalmaktadır.

### İnce çatlakların enjeksiyonu

Geniş veya açık çatlakların enjeksiyonundan sonra veya enjekte edilecek bölgede bu tür çatlakların olmaması durumlarında önceliği ince çatlaklar alır. Böyle bir enjeksiyon düşük kohezyonlu ince karışım veya yüksek basınç kullanılarak sağlanabilir. Yüksek akışkanlaştırıcı, orta kalınlıklı yüksek kaliteli karışım ile birlikte basıncı yükseltmek oldukça yaygındır. İnce karışımların yayılım uzaklığı azdır. Çünkü enjeksiyon basıncı uygulandığı kuyunun çevresinden uzaklaştıkça hızlı bir şekilde azalır. Toplam alt kaldırma basıncı yüksek enjeksiyon basınçlarında bile bir kural olarak üstteki kütlelerin ağırlığından az olmalıdır. Üstteki 5 - 10 m'lik kısım hariç kaya çatlaklarında ve tabakalanma düzlemlerinde hidrolik kırılma nadiren karşılaşılan bir sorundur. Sonuç olarak enjeksiyon alışlarının az oldu-

ğu durumlarda 30 - 40 bar'a kadar olan oldukça yüksek enjeksiyon basınçları (ki enjeksiyon aralıklarında 3 - 5 Mpa (425 - 570 lb/in<sup>2</sup>) olarak hesaplanmıştır) kabul edilebilir basınçlardır.

Bu faktörler gözönünde bulundurulduğunda; alış az olduğunda önerilen enjeksiyon basıncı günlenme, tabakalanma, zayıf zonlar, gerilmelerin yerindeki durumu ve diğerleri gibi jeolojik koşullara, gelecekteki su basıncına ve arzulanan enjeksiyon yoğunluğuna bağlı olarak 30 - 50 bar (3 - 5 MPa) aralığında önerilmektedir. Böylelikle EYS prensibinin ilk iki ögesi ortay çıkmış olmaktadır. Karışımın düşük basınçlarda kolayca verilebildiği durumlarda miktar sınırlaması ve karışımın güçlülükle girebildiği durumlarda ise basınç sınırlaması. Geriye ara oranlar kalmaktadır. Ancak bu ara oranların belirlenmesinden önce diğer enjeksiyon kabullerine kısaca göz atmak yararlı olacaktır.

#### Enjeksiyon kuyularında seri olarak araya girme

Genel uygulama olarak çevreyi fazla etkilememeleri için birincil kuyular az geniş (10-12m) aralıkla açılarak enjekte edilmektedir. Genellikle diğer birincil kuyulardan önce araştırma kuyusu olarak hizmet etmeleri için her üçüncü veya dördüncü birincil kuyuların delinerek enjekte edilmesi belirtilmiştir. Bu kuyular genellikle karotlu olarak ve toplam derinliklerinin 0.75 x H'ı derinliğine (H= gelecekteki rezervuar yüksekliği) kadar su testli olarak açılırlar. Diğer birincil kuyuların derinlikleri ilksel araştırma kuyularından elde edilecek sonuçlara bağlı olarak düzenlenebilir. İkincil kuyular birincil kuyuların arasına gelecek şekilde açılırlar. Bu kuyular birincil kuyulardan 5 - 6 m uzaklıkta oldukları için zaman zaman katlanmış enjeksiyon karışımları ile özellikle geniş çatlaklarda karşılaşabilirler. Genel olarak alış miktarları birincil kuyulara nazaran azdır. Yeniden 2.5 - 3 m aralıklara girilerek açılan üçüncül kuyular daha az alışlı ve bu kuyulardan 1.25 - 1.5 m uzaklıktaki dördüncül kuyular ise kabul edilebilecek oranda düşük enjeksiyon alış ile sonuçlanırlar.

Her bir fazdan sonra; kayanın oldukça geçirimsiz duruma gelmesi nedeniyle bir sonraki aşamaya enjekte edilememiş ince çatlaklar kalır ve bu durumda etkili bir enjeksiyonu sağlamak için yüksek basınç uygulamak yararlı olur. Böylece EYS prensibinin üçüncü faktörü şu şekilde tanımlanabilir: aşamalı olarak ince çatlakları enjekte edebilmek ve kayayı sıkılaştırabilmek için aşamalı yüksek basınç uygulamak.

#### Basınçlı su deneyleri (lugeon)

Basınçlı su deneyi (Lugeon deneyi) enjeksiyon karışımını belirlemeye yardımcı olması amacıyla sıkça uygulanır. Deneyimler ve teori Lugeon değerleri ile enjek-

siyon alışları arasında çok zayıf ilişki olduğunu göstermiştir. Lugeon veya benzeri deneyler hala kullanılmaktadır. İlksel araştırma kuyularında bu deney yardımıyla; yamaçlar ve baraj temeli bölgelerindeki geçirimsizlikle ilgili genel bilgi sahibi olunur. Geçirimsizlikte yeterli bir azalmanın olup olmadığını görebilmek için enjeksiyondan sonra açılan kontrol kuyularından elde edilen değerlerle karşılaştırma yapılır.

#### EYS yöntemi

##### Tüketilen özgül enerji

Bir kaya zonunu daha yoğun enjekte edebilmek için daha fazla enerji tüketilmelidir. Bir enjeksiyon aralığındaki tüketilen enerji yaklaşık olarak nihai enjeksiyon basıncı (p) ile enjekte edilen miktarın (V) çarpımının ürünü (pxV) ile doğru orantılıdır. pxV sayısı; Enjeksiyon Yoğunluk Sayısı (EYS) olarak adlandırılır. Alış, kademelinin boyu düşünülerek litre / metre (l/m) olarak birimlendirilir (veya çimento ağırlığı olarak kg/m kullanılır; çünkü orta kalın karışımlar için sayısal değerler %5-%10 aralığında birbirlerine benzerler). Her ne kadar diğer birimler uygun dönüştürmeler yapmak için açıklıkla kullanılabilirse de basınç için genellikle bar birimi kullanıldığından; sonuç olarak EYS'nin veya pxV'nin birimi bar x l/m'dir.

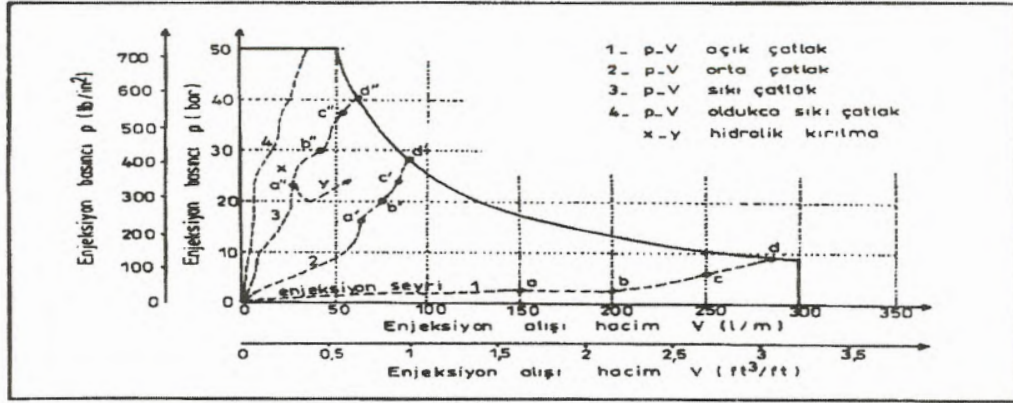
##### EYS sabiti kullanımının avantajları

EYS yönteminde öncelikle enjeksiyon yoğunluk seviyesinin seçilmesi gerekir (200 bar x l/m gibi) bu değer; düşük basınçlarda yüksek alışlar yapan, kolayca enjekte edilebilen çatlaklar ile oldukça yüksek basınçlarda düşük alış yapan ince çatlaklarda kullanılmalıdır. Böylelikle sabit bir EYS değeri kullanılmış olur.

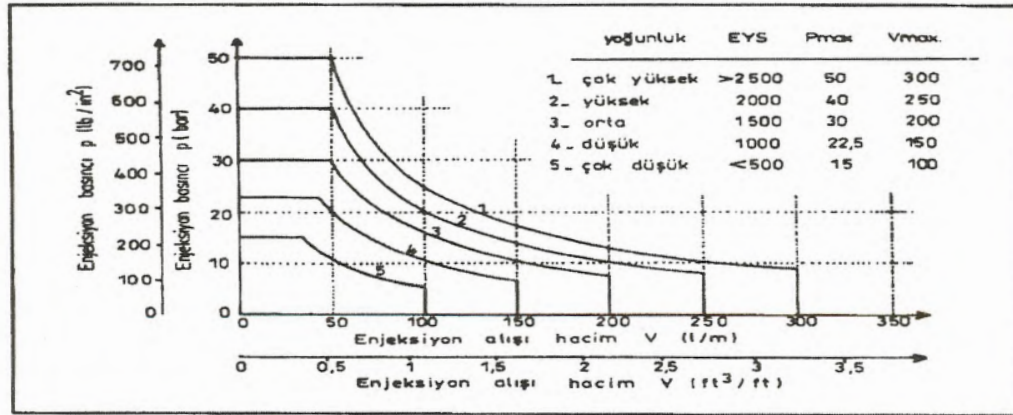
Bütün enjeksiyon aşamalarında EYS değerinin sabit tutulması ile enjeksiyona sabit bir yaklaşım sağlanır ve açık ve geniş çatlaklarda miktar otomatik olarak sınırlanırken, sıkı ve az enjekte edilebilir zonlarda ise basınç artırılır. Böylelikle büyük altkaldırma basınçları veya hidrolik ayırma kuvvetlerinin oluşmasını sağlayabilecek yüksek basınç ve yüksek alış kombinasyonları elemine edilmiş olunur. Benzer şekilde ince çatlakların uygun olmayan koşullarda enjekte edilmesini sağlayabilecek düşük basınç ve düşük alış kombinasyonları da elemine edilir.

Sabit bir EYS değeri; basınca karşılık gelen hacim grafiğine yerleştirildiğinde hiperbolik eğri oluşur. Enjeksiyon yoğunluğu veya EYS değerinin yüksekliği; eğrinin merkezden en uzak noktaya ulaşması sonucu verir. Böylelikle önceki bölümlerde tartışılan iki limiti birleştiren eksik faktörler tamamlanmış olmaktadır; hacim sınırlama hattı ve basınç sınırlama hattı. Bu üç





Şekil 1. Enjeksiyon seyri eğrilerinden örnekler.



Şekil 2. Enjeksiyon için sınırlama zarfları.

faktörün kombinasyonu enjeksiyon için bileşik sınırlama zarfını verir.

### Farklı enjeksiyon yoğunlukları için birleşik sınırlama zarfı

Şekil 1'de üç tip çatlakın p-V seyri verilmiştir. 1 nolu eğri basınçtaki az yükselmeye karşılık yüksek alışı sonuçlanan bir açık çatlak gösterir. 2 nolu eğri basıncın dereceli artımına karşılık alışı miktarında artan orta çatlak gösterir. Ancak, a' noktasından sonra basınç hızlı bir şekilde artarken enjeksiyon sokulumuna karşı direncin artışı arasında ters orantı vardır. 3 nolu eğri enjeksiyon alışının az olduğu ve basıncın hızlı artmasına neden olan sıkı çatlakı temsil etmektedir. Benzer olarak 4 nolu eğri ise çok az alışı ve yüksek refü basıncını gerektiren oldukça sıkı çatlakı temsil eder.

Şekil 2 farklı enjeksiyon yoğunlukları için önerilen 5 sınırlama zarfını göstermektedir. Basıncı ve hacimi sınırlayan EYS değeri; gerçekte enjeksiyon için sınırlama zarflarını belirleyen üçten fazla veya az parametredir. Önerilen tanımlamada bu değerler birbirleriyle ilişkili gibi görünse de gerçekte değildirler. En üst zarf

EYS= 2500 bar x l/m; 50 bar'lık çok yüksek sınırlama basıncı ve 300 l/m'lik çok yüksek sınırlama hacmine karşılık gelen; çok yüksek yoğunluktaki enjeksiyonu temsil etmektedir. En alt zarf ise 500 bar x l/m'lik EYS değeri ile minimum basınç olarak 15 bar ve sınırlama hacmi olarak 100 l/m'lik çok düşük yoğunluklu enjeksiyonu temsil etmektedir. Bir çok durum için yazarlar; EYS= 1500 bar x l/m, sınırlama basıncı olarak 30 bar ve sınırlama hacmi olarakta 200 l/m olan orta yoğunluktaki zarfı önerirler.

Jeolojik olarak kritik olan bölgelerde (yüzeğe yakın veya dik eğimli) çok düşük yoğunluklu eğri (Şekil 2 No. 5) uygulanabilir. Şekil 1 ve 2'nin kombinasyonundan kolaylıkla anlaşılacaktır ki; enjeksiyon işlemi seçilen enjeksiyon zarfına bağlı olarak farklı noktalarda durdurulacaktır.

Şekil 1'deki 1 nolu eğride enjeksiyon işlemine 150 l/m'lik hacim sınırlamasına 3 bar basınçta ulaşılan a noktasında ara verilebilir. Bununla birlikte projeci orta yoğunluktaki zarfı seçmiş ise 200 l/m'lik hacme 3 bar basınçta ulaşılan b noktasına kadar enjeksiyon sürdürülecektir. 250 l/m'lik sınırlama hacmine 6 bar'da ula-

şan c noktasına kadar enjeksiyona devam edilebilmesi için yüksek yoğunluklu enjeksiyon seçilmelidir. Sonuçta eğer çok yüksek yoğunluk seçilmiş ise enjeksiyon d noktasına kadar devam edecektir. İşlem EYS= 2500 eğrisini kesmedikçe yalnızca hacim sınırlaması nedeniyle durdurulmamalıdır. Eğriyi kestiği d noktasında enjekte edilen miktar 285 l/m ve nihai basınç ise 9 bar olacaktır. Tanımlanan EYS'ye göre miktar 150 - 285 l/m arasında değişirken, basınç 3 - 9 bar arasında olacaktır.

Şekil 1'deki 2 nolu eğride a noktasındaki miktar 60 l/m ve basınç 13 bar civarında olacaktır. Enjeksiyon d'ye kadar sürdürülseydi çok yüksek yoğunluklu enjeksiyona ( $p \times V = 2500$ ) karşılık gelecekti; ancak enjeksiyon alışı 90 l/m'ye yükselirken basınç 28 bar gibi sınırlama basınç değeri 50 bar'dan oldukça az bir noktaya çıkacaktı. Benzer olarak 3 nolu eğride seçilmiş EYS kriterine ve basınç 28 bar gibi sınırlama basınç değeri 50 bar'dan oldukça az bir noktaya çıkacaktı. Benzer olarak 3 nolu eğride seçilmiş EYS kriterine ve basınç sınırlamasına bağlı olarak enjeksiyon a" ve d" noktaları arasında sürdürülecekti. x-y parçası ise; bir çatlak veya tabakalanma düzleminin bir güçle aniden açılarak; ani basınç düşmesi ve yüksek alışı neden olan hidrolik kırılma veya hidrolik ayrılmanın sonucudur. Düşük oranlarda ise; seçilmiş EYS eğrisine ulaşıncaya kadar enjeksiyon sürdürülebilir fakat basınç artarsa aynı basınçta veya çok az üzerinde hidrolik kırılma olayı ile karşılaşılabilir. Böyle durumlarda enjeksiyona devam edilip edilmemesi konusunda tereddütler vardır. Bununla birlikte çoğunlukla herhangi büyük bir problemle karşılaşılmaz. Sınırlama çizgisine ulaşmanın hemen öncesinde veya hemen sonrasında enjeksiyon durdurulmalıdır.

## EYS değerinin seçimi

Baraj projecileri ve projecinin jeoteknik ve enjeksiyon uzmanları, enjeksiyon perdesi için EYS değerini seçmelidirler. Yazarlar jeolojik koşullar, gelecekteki su kayıplarının miktarı ve su tutma sonrası oluşacak altkaldırma basınçlarını gözönünde bulundurarak, başlangıç olarak 1500 bar x l/m gibi ortalama değeri önerirler. Özel durumlarda projeci ve arazi kontrol mühendislerine; üst basınç sınırı ve üst miktar sınırı değiştirilenebilir. Sınırlama enjeksiyon zarfını seçmeden önce muhtemelen en iyi yaklaşım bir veya iki enjeksiyon testi yapmaktır.

Rezervuar derinliklerinin farklılığından ötürü, yamaçlardaki basınç sınırlaması vadi tabanına oranla daha az olabilir. Kıymete değer bir amaç olarak sınırlama basıncı rezervuar basıncının en azından iki katı olmalıdır. Fakat bu durumda istenmeyen hidrolik kırılmaları önlemek zor olabilir.

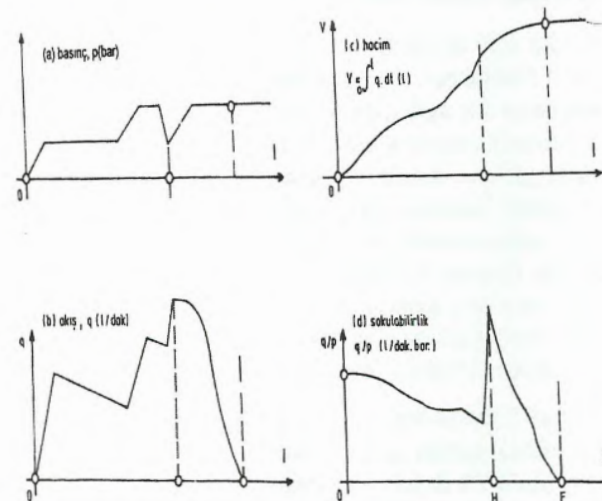
## Bilgisayar kontrollu enjeksiyon

Enjeksiyon sahalarında kişisel bilgisayarların kolayca yerleştirilmesi ve kullanılabilmesi; bilgisayarların enjeksiyon işleminde anında kontrolü (real - time controlling) yapabilmelerini olanaklı kılmıştır. Bilgisayar tarafından yalnızca gerçek enjeksiyon basıncı (p) ve akış oranı (q) değerlerinin sürekli okunması gerekir. q değeri birim uzunluğa enjekte edilen toplam hacim V değerinden yararlanılarak elde edilir. Eğer istenirse toplam enjekte edilen miktar (V) doğrudan ve akış oranı ise dönüştürülerek ölçülebilir.

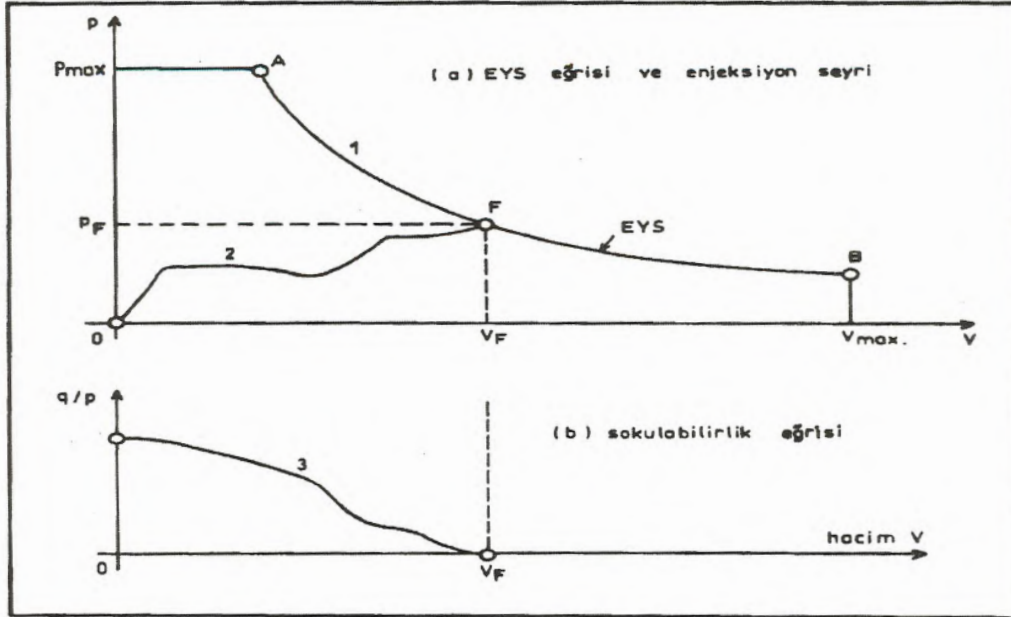
Ölçülen p ve q değerlerinden yararlanarak ekranda bir çok zaman grafiği (basınç, akış oranı, toplam miktar ve sokulabilirliğin zamana karşı grafikleri gibi) çizdirilir. Şekil 3 bu tür grafiklerden örnekleri göstermektedir. Özgül akışın ( $q / p$ ) veya sokulabilirliğin (akış oranının basınca bölümü) zaman karşı durumunu gösteren (d) grafiği incelendiğinde; eğriden bariz olarak çatlakların enjeksiyonla doluşu ve çatlaklardaki enjeksiyon direncinin artışı görülür. Bu direnç; enjeksiyon akışının tahrip edici kuvvetinin çatlak boyunca daha da ilerlemesiyle oluşmaktadır. Grafikteki ani sıçrama ise; hidrolik kırılma veya hidrolik kaldırmaya karşılık gelir.

## Pratik enjeksiyon kontrolü olarak EYS ve sokulabilirlik - hacim eğrileri

Şekil 4 bilgisayarın çizebileceği ana kontrol eğrilerini göstermektedir. Bu eğriler enjeksiyon işleminin kontrolünde kullanılabilir. Şekil 4(a) sınırlama basıncı  $p_{max}$ , birim uzunluktaki sınırlama hacmi  $V_{max}$  ve seçilmiş EYS hiperbolik eğrisi ile birlikte bir proje veya



Şekil 3. Tek kademenin enjeksiyon işlemi (a) basınç, (b) akış, (c) hacim ve (d) sokulabilirliğin zamana karşı eğrileri. O: başlangıç, H: hidrolik kaldırma, F: enjeksiyon bitişi.



Şekil 4. Tipik bir kademe enjeksiyonu 1: basınca karşılık alıç sınırlama eğrisi, 2: basınca karşılık alışı gösteren enjeksiyon seyri, 3. sokulabilirliğe (q/p) karşılık enjeksiyon alışı, F: enjeksiyon bitiş noktası,  $P_F$ : nihai basınç,  $V_F$ : nihai alıç.

projenin bir bölümü için seçilen sınırlama enjeksiyon zarfını göstermektedir. Bu zarf bilgisayarın hafızasına yerleştirilir ve istenildiği anda ekrana yansıtılır. Bu sınırlama zarf eğrilerine EYS eğrilerine denilir. Şekil 4 (a)'daki 2 nolu düzensiz eğri enjeksiyon işleminin sonucunu (enjeksiyonun seyrini) göstermektedir. Şekildeki enjeksiyon seyri; birim uzunluktaki toplam enjeksiyon miktarına karşılık; o andaki enjeksiyon basıncı küçük zaman artımlarıyla çizilmiştir. Bu eğri, EYS eğrisi ile F noktasında kesişir. Enjeksiyon F noktasında sıfır akış oranı,  $p_F$  nihai basıncı ve  $V_F$  toplam enjekte edilen miktar değerleri ile durdurulur.

Şekil 4(b)'deki ise önemli bir işlem anı (real - time) gözleme eğrisidir. Burada sokulabilirliğe (q / p) karşılık, toplam miktar (V) çizilmiştir. Benzer tipte eğriler olmasına karşın zamana karşı çizilen Şekil 3(d)'deki eğriye nazaran daha çok tercih edilen eğri çeşididir. Eğri incelendiğinde sokulabilirlikteki azalışla birlikte enjeksiyonun etkisinin de azaldığı anlaşılmaktadır. Sabit bir basınçta akış oranı azalmakta veya sabit bir akış oranına ulaşıldığında (hemen hemen sonda) ise enjeksiyon basıncı yükselmektedir. Hangisi uygulanırsa uygulansın bu kombinasyonlar pompa tipine ve enjeksiyon işleminin detaylarına (boru, valf) bağlıdır.

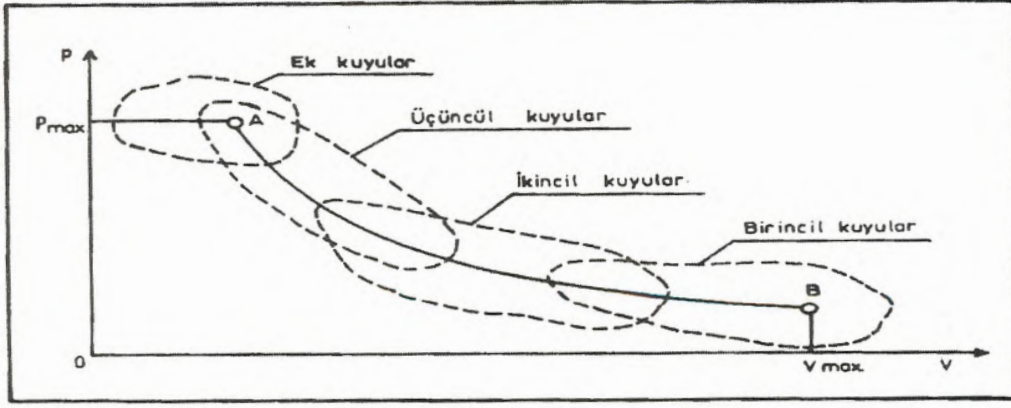
Sokulabilirlik - miktar eğrisindeki bir azalış enjeksiyon işleminin normal olarak ilerlediğini gösterir. Enjeksiyon basıncı sürekli olarak gözlenmeli ve EYS eğrisinin belirlediği sınırlarda durdurulmalıdır.

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi işlemin sonuç

eğrisi (enjeksiyonun seyri) kaya çatlak açıklığının bir sonucu olarak EYS eğrisi ile farklı noktalarda kesişirler. Örneğin Şekil 4(a)'da dar çatlaklar A noktası, geniş çatlaklar ise B noktası yakınlarında eğriyle kesişirler. Sonuç eğrisi EYS eğrisine doğru yaklaşırsa; enjeksiyon sokulumu devam etse bile (örneğin 500 l/h gibi) pompalama debisi olabildiğince düşük tutulmalıdır. Deneyimler enjeksiyon işleminin sürekli ve etkin kontrolünde bu tür çeşitli çizimlerin büyük yararları olduğunu göstermiştir.

## Yöntemin enjeksiyon perdelerine uygulanması

EYS yöntemi öncelikle yukarıda anlatıldığı gibi enjeksiyonun bir aşaması veya bir kademesinde göz önünde bulundurulacak hususlarla uğraşır. Yöntem aynı zamanda bir kuyunun bütün kademelerine ve araya girmeli birincil kuyulara uygulanır. Katı teorik gerekçelerle tek sıralı perdelerde araya girme yönteminin etkili olduğu kanıtlanmıştır. Lav akıntıları, bazı kireçtaşı ve kumtaşları gibi boşluklu veya yüksek geçirimli kaya ortamlarında 3 sıralı perde inşa edilmiştir. Burada öncelikle mansap, sonra memba ve daha sonrada orta sıra kuyuları enjekte edilmektedir. Dış sıralar bir bariyer olarak kabul edilirler ve genellikle bu sıraların birincil ve ikincil kuyuları büyük çatlaklar ve boşlukları kabaca doldurmak için kullanılır. Daha sonra orta sıra ise tek sıralı perde işleme tutulurlar. Birinciden üçüncül kuyulara ve hatta gerekirse dördüncül veya beşincil kuyular da açılırlar.



Şekil 5. Enjeksiyon perdesinden bütün enjeksiyon aşamalarının nihai durumunu gösteren bir örnek.

Araya girme yönteminde birincil kuyular en geniş çatlakları kısmen veya tamamen doldurarak tıkarlar. ikincil kuyular ise birinciller tarafından doldurulamayanlar ile diğerlerini doldururlar. Şekil 5'te birincil, ikincil, üçüncül ve ek kuyuların (dördüncül veya kontrol) olası sonuç pozisyonları EYS eğrisi üzerinde gösterilmiştir. Ortalama enjeksiyon basınçları seriden seriye geçerken azalırken refü basınçları artmaktadır. Böyle bir durumla EYS yöntemi uygulanırsa otomatik olarak karşılaşılanır.

Birincil kuyu aralığı 10 ile 12 m arasında olursa muhtemelen 2. ve 3. seri kuyulara da gereksinim duyulur. Üçüncül kuyular komşu kuyudan 2.5 - 3 m uzaklıkta olur. Bu kuyular jeolojik koşullar ve ikincil kuyu sonuçlarına göre daha kısa açılabilir.

Dördüncül kuyular açılabilir veya açılmayabilir. En azından bir kısmı Lugeon testi yapmak amacıyla açılmalıdır. Böylece enjekte edilen kayada kabul edilebilir bir geçirimsizliğin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiş olunur. Geçirimsiz bir perde için yapılan su testlerinde, en katı kurallarda %90'ı 1 veya daha az Lugeon değeri ile sonuçlanmalıdır. Ayrıca 3 Lugeon'dan daha yüksek değer olmamalıdır.

### EYS ile kuyu aralığı arasındaki ilişki

İstenilen EYS değeri ile kuyu aralığı arasında bir ilişki olduğu açıktır. Örneğin birincil kuyuların aralığı çok fazla, EYS değeri çok az ise ikincil ve hatta üçüncül kuyularda bile enjeksiyon alışında birincil kuyulara nazaran belirgin bir azalış olmayacaktır. Bu gibi durumlarda delgi ve enjeksiyon harcamaları öngörüleni çok aşsa bile perdede başarılı olduğu söylenemez.

Eğer kuyu aralığı az ve EYS değeri çok yüksek ise iki seri kuyudan sonra bile alışlar çok azalacak ve üçüncül kuyular boşu boşuna açılacaktır. EYS değeri ile kuyu aralığı arasında oluşturulan perdenin kalınlığı nedeniyle ilişki vardır. Çünkü perdenin kalınlığını enjeksiyonun yayılım uzaklığı belirlemektedir.

Baş parmak kuralı kullanılarak EYS değeri ve kuyu aralığı seçilir. Böylece bir seriden diğerine enjekte edilen kademenin her bir metresi için alış miktarı %50 oranında azalır (gerçekte %25 - %75 arasında). Böyle bir sonuç oluşturulan perdede gelişen bir kapanmanın olduğunu gösterebilir. İdeal birincil kuyu aralıklarını ve EYS değerini belirlemek için inşaatın başlangıcında veya proje aşamasında bir veya daha fazla test sahasında deneme enjeksiyonları yapılmalıdır.

### Kapanış kriteri

Son serideki kuyunun enjeksiyon seyri EYS'nin üst sınırlama basıncına ulaşmamış ise bu kuyunun her iki yanına ilave kuyular açılmalıdır. Böylece, perdenin bütün parçaları; sınırlama basıncında, göreceli az enjeksiyon alışına (örneğin 25 kg/m'den az alış gibi) karşılık gelen bir miktarla enjekte edilmiş olur. Uygun olmayan kuyu aralığı seçildiğinde, en azından belli bir kesime kadar amaçlanan enjeksiyon yöntemi kendi kendini düzenleyen bir işlem olur. Bu durum araya girme yönteminin (EYS eğrisi) ve son seri kuyularda sınırlama basıncında az enjeksiyon alış gerekliliğinin doğal bir sonucudur.

Sonuç olarak; yukarıda anlatılan kurallar takip edilirse toplam enjeksiyon miktarının çok az kısmı hariç enjeksiyon perdesi boyunca yayılması sağlanacaktır. İşlem kaya kütlelerinin jeolojik şartlar nedeniyle oluşan süreksizliklerini otomatik olarak dikkate almaktadır. Böylebir uygulama ile enjeksiyon perdesinin yarar - bedel oranı en üst düzeye çıkarılmış olur.

### EYS yönteminin ana hususları

EYS'nin enjeksiyon işlemine uygulanmasındaki kabul ve işlemleri oldukça basittir. Bu hususlar aşağıda 4 ana başlık altında özetlenmiştir.

#### 1. Temel kabuller

a. Çökelmeyi azaltarak bloklamayı önlemek ve yo-

ğun, dirençli ve sertleşmiş enjeksiyon elde etmek amacıyla nispeten kalın, duraylı karışımlar kullanılır.

b. Özellikleri bilinen tek bir Bingham akışkanı sağlamak ve enjeksiyon işlemini basitleştirerek etkinliği arttırmak ve yanlışlıkları önlemek amacıyla işlemin tamamında tek karışım kullanılır.

c. Gereken yerlerde yüksek basınç kullanmak ve yüksek basıncın zararlı olabileceği yerlerde ise azaltmak için EYS eğrisi kullanılır ve bu eğri işlem sırasında gözlenir.

d. Basınç ve akış oranını anında takip etmek, seçilmiş EYS eğrisi üzerinde p-V enjeksiyon seyrini çizmek ve p-V enjeksiyon seyri ve sokulum - hacim eğrilerini kullanarak enjeksiyonun tamamlandığını belirtmek amacıyla enjeksiyon işlemi arazi bilgisayarları aracılığı ile takip edilir.

## 2. Karışımın Belirlenmesi

1- a. Kohezyon ve viskozitesini azaltan akışkanlaştırıcı kullanarak enjeksiyonun sokulumu artırılmalı ve b. sıkışma sırasında su kaybını önleyici su tutucu katkı kullanarak arzulanan enjeksiyon özellikleri sağlanmalıdır.

2- Ağırlıkça oranı 0.7:1'den 1:1'e değişen bir çok enjeksiyon karışımı üzerinde karşılaştırmalı bir seri test yapılmalıdır. Bu karışımlarda a. farklı incelikteki çimentolar ve b. farklı yüzdelerdeki karışımlar kullanılmalı; yapılan testler ile birim ağırlık, Marsh hunisi görünür viskozitesi, 2 saat sonraki çökeltme, kohezyon, priz başlangıç ve bitiş süreleri, karışımın 7 ve 28 günlük mukavemetleri ve sıkıştırma testi ile su kaybı miktarı gibi özellikleri belirlenmelidir.

## 3. Kuyu Paterni

1- Birincil kuyulardan üçüncül veya dördüncül kuyulara kadar a. askari üniformluğu her alanda sağlamak ve b. enjeksiyon sonuçlarının ve jeolojik koşulların belirlediği bölgelerde daha yakın kuyu aralığı sağlayabilmek için normal araya girme yöntemi uygulanmalıdır.

2- Kati proje veya inşaatın başlangıç aşamasında enjeksiyon testleri yapılmalıdır. a. Bu test sahaları vadi tabanı ve yamaçlar gibi farklı topoğrafik ve jeolojik koşullar içermeli, b. testlerde; enjeksiyon alışında bir sonraki seride %25 veya %75 arasında azalmayı sağlayıcı birincil kuyu aralıkları tespit edilmeli (10 - 12 m aralık gibi) ve c. her bir enjeksiyon aşamasının enjeksiyon seyrini; beklenen enjeksiyon yoğunluğuna veya birinci hatta ikinci hidrolik kırılmaya kadar olan p-V eğrilerini çizen farklı EYS eğrileri test edilmelidir.

## 4. Arazi Kontrolü

1- Test enjeksiyonu sonuçlarına göre EYS eğrilerinin kontrol unsunları özel mühendislik, kaya mekaniği veya jeolojik kabuller gibi belirlenmelidir. Bu amaçla; a. mevcut jeolojik koşullara bağlı olarak basınç ve hacim sınırlarının gerçekçi olduğundan emin olunmalı ve b. farklı arazi bölümlerinde kullanılacak farklı EYS değerleri belirtilmelidir.

2- Başlangıçta, test bölgeleri hariç, her dört birincil kuyudan birisi a. yeraltı jeolojik koşulları ve yeraltısu-yu şartlarını belirleyebilmek için gelecekteki rezervuar yüksekliğine eşit derinlikte, karotlu ve Lugeon testli araştırma kuyusu olarak, b. diğer kuyuların nihai derinliklerini saptamak için geriye kalan birincil kuyular gelecekteki rezervuar derinliğinin  $0.5 \times h - 0.8 \times h'$  derinliğinde açılmalıdır ve c. seçilen EYS eğrisinin uygunluğundan emin olunmalıdır.

3- EYS ve sokulabilme eğrileri kullanılarak arazide bilgisayarlar ile enjeksiyon işlemi kontrol edilmelidir. Böylelikle a. enjeksiyon seyrinin gerçek - zaman (real time, anlık) gözleminden ve b. azalan sokulabilme eğrisi ve kontrol EYS eğrisine, p'ye karşılık V enjeksiyon seyrinin yaklaşmasından (EYS eğrisinin hacim ve basınç sınırlamalarını da dikkate alarak) kabul edilebilir bir sonuca ulaşıldığı düşüncesiyle enjeksiyonun tamamlandığına karar verilir.

4- Karışımın ilksel tıkanma sırasında su kaybetmesini azaltmak amacıyla enjeksiyondan önce su tablasının üstündeki kademelerde su ile yıkama yapılmalıdır.

5- Enjeksiyondan önceki ve sonraki geçirimsizlik değerlerini kıyaslayabilmek amacıyla araştırma ve kontrol kuyularında Lugeon testleri yapılmalıdır.

6- Kaya çatlaklarının gelişen kapanırlığı ve kalıcı geçirimsizliğin kabul edilebilir oldukları istatistiksel ve grafiksel yöntemler kullanılarak gösterilmelidir.

## Örnek

Geçmiş on yılda bu yöntem Arjantin, Avusturya, Ekvator, Meksika, İsviçre ve Türkiye'de uygulanmış ve yakın gelecekte de çeşitli ülkelerde planlanan birçok projede kullanılacaktır.

Meksika Aquamilpa barajında halen yürütülen enjeksiyon çalışmaları bu yöntemle bir örnek olarak verilebilir. 180 m yükseklikte ve Comision Federal de Electricidad'a ait olan beton yüzölçümlü kaya dolgu tipinde dünyanın en yüksek barajı olacaktır. Su tutma işlemine 1993 yılında başlanacaktır.

EYS yöntemi beton yüzey temel eteğinin konsolidasyon ve derin perde enjeksiyonunda kullanılmaktadır.

Yoğun labaratuvar ve arazi testlerinden sonra "normal" karışım adıyla tek bir karışım seçilmiştir. Özellikleri;

Çimento :5 100 cm<sup>2</sup>/g özgül yüzeyli, ince puzzolan

S/Ç oranı: 0.9:1 (bazen yüksek Blain değeriyle daha düşük)

Akışkanlaştırıcı: Çimentonun ağırlıkça %1.6'sı oranında Sikament NZ

Yoğunluk : 1.5 ile 1.55 g/cm<sup>3</sup>

Su bırakma: 2 h sonra %4

Marsh Hunisi akış: 28 - 32 s

Bağlı kohezyonu (C/γ) : 0.08 ile 0.2 mm, 2h sonra 0.2 ile 0.3

Mukavemet: 9-10 MPa 7 gün, 13-17 MPa 28 gün olan karışım ilk bir saat içerisindeki yüksek sokulum özelliği ve mekanik ve yıkanmaya karşı yüksek dirençlilik özellikleri ile duraylı fakat çok akışkan bir karışımı temsil eder.

Perde enjeksiyonu için aşağıdaki kurallar uygulanmıştır.

- Kademe boyu 5 m ve enjeksiyon aşağıdan yukarı doğrudur.

- Birincil kuyu aralığı 24 m'dir ve diğer serilerde araya girilmiştir.

- İlave yüksek seri numaralı kuyular alış 25 l/m'yi aşınca açılmıştır.

- YAS üstündeki kuyularda ön yıkama 2 bar basınç altında ve 1h süre ile enjeksiyondan hemen önce yapılmıştır.

- Enjeksiyon yoğunluğu 2 500 bar x l/l'dir. Beton yüzey eteğinde bu değer 1 500 bar x l/m'ye düşürülmüştür.

- En yüksek basınç 40 bar'dır ve 20 m'den sonra uygulanmıştır. Basınç satha yaklaştıkça 10 bar'a düşürülmüştür.

- En yüksek alış sınırı 400 l/m'dir. Bu miktar 5 m'lik kademede 2 000 l/m'ye karşılık gelir. Bazı bölümlerde sınır 300 l/m'ye düşürülmüştür.

- Refü kriteri; refü basıncındaki alış 3 l/m'den az olacaktır.

Yukarıdaki kurallar özellikle tek karışım kullanıldığından arazide kolayca uygulanabilmiştir.

Bir örnek olarak Şekil 6'da beton yüzey eteğindeki konsolidasyon enjeksiyonundaki enjeksiyon seyri veril-

miştir. Okumalar, arazi bilgisayarı yok ise 5 dakika aralıklar ile yapılmıştır. Şekil 6a'da p basıncı ve q akış oranı V enjeksiyon alış hacmine karşılık çizilmiştir. Basınç eğrisi EYS sınırlama sınırları ile karşılaştırılabilmektedir.

Enjeksiyon hedefi 1 500 bar x l/m idi ve sınırlama basıncı 300 l/m'yi biraz aşınca 2 510 bar x l/m'lik bir yoğunluğa ulaşıldı. Bu sonuç enjeksiyon noktası ile pompa operatörü arasındaki iletişim gecikmesinden kaynaklanmıştır. Bu durum işlem anının sürekli gözlenmesi isteğini ve bir PC aracılığı ile gösterilmesini; diğer yandan kontrol EYS eğrisine ulaşıldığında pompanın otomatik olarak kapatılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Şekil 6b'de sokulabilirlik V alış hacmine karşılık çizilmiştir. İşlemin başlangıcında kaya kütlesi süreksizliklerinin süregelen açılımı nedeniyle sokulabilirlik 0.2 den 0.5 l/dak x m x bar'a yükselmiştir. 200 l/m'lik bir alıştan sonra sokulabilirlik 320 l/m'den düzenli olarak sifıra düşmüştür. Gerçekte enjeksiyon bu değere ulaşılmadan hemen önce durdurulmuştur.

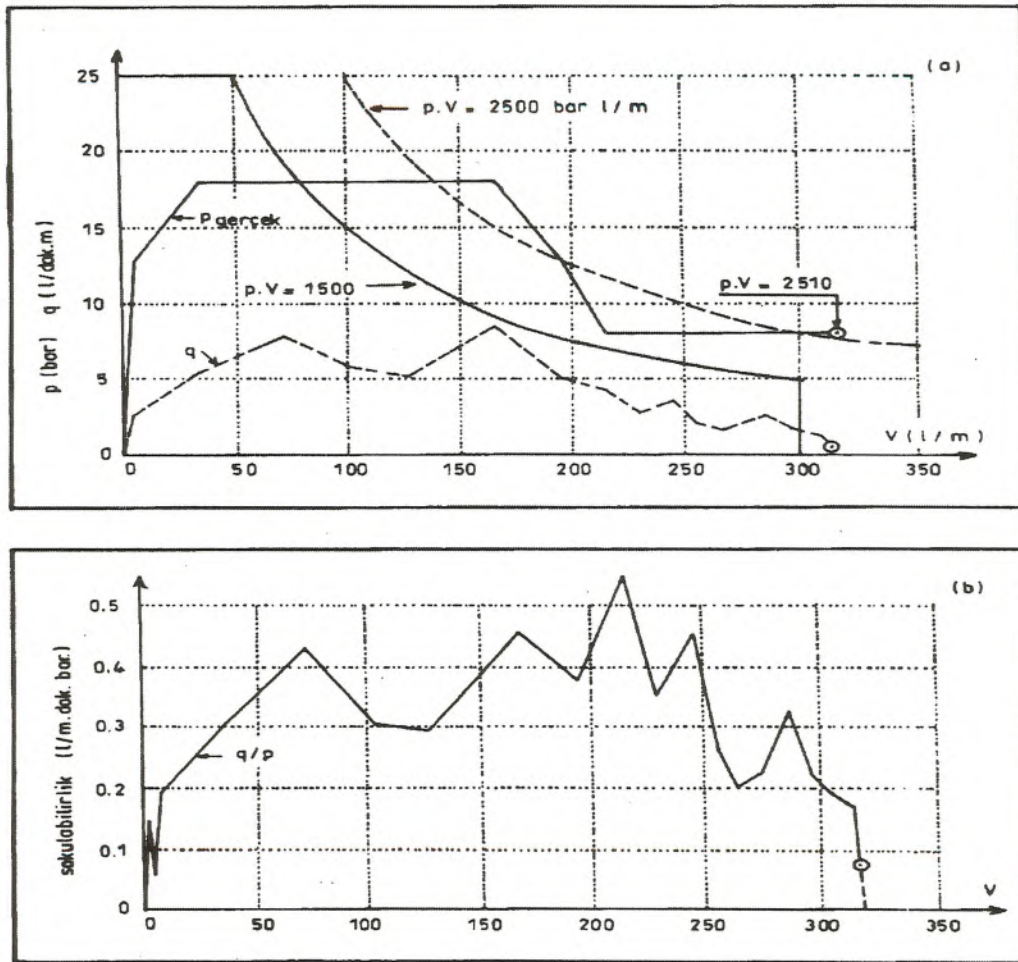
Sokulabilirlik eğrisi üzerindeki bazı düzensizliklerin operatörün bazı okumaları yinelemesinden olduğu düşünülmüştür. Aynı zamanda bu düzensizlik okumalar arasında fark edilemeyen iki veya daha fazla hidrolik kırılma nedeniyle de oluşabilir.

## Normal enjeksiyon işlemiyle karşılaştırma

Alışlagelen işlem; enjeksiyon basıncı ve oldukça az S/Ç oranlı farklı karışımların (4:1, 3:1, 2:1, 1:1 ve diğerleri) kullanılmasının belirlenmesinden oluşmaktadır. Karışım değişikliği kuyunun aldığı karışım miktarının belirli bir hacme ulaşmasından sonra yapılır. Karışımın kohezyonu birinden diğerine artacak ve bazı noktalarda akışa ve sokulabilirliğe karşı artan kohezyon direnci enjeksiyonun durmasına neden olacaktır.

EYS yönteminde tek karışım kullanıldığından kohezyon sabittir. Karışım çatlaklar boyunca yayıldığında karışımla çatlak duvarları arasındaki yüzey ve akışa karşılık toplam kohezyon direnci de artacaktır. Sonuç olarak; akış direncini aşabilmek için daha yüksek pompalama basıncı kullanılacaktır. Bu durum normaldir ve fiziksel olarak ta beklenen bir olgudur. EYS yöntemi; sınırlama basıncı, sınırlama miktarı veya belirlenen p-V eğrisi ile tanımlanan basınç - hacim kombinasyonları gibi üç sınırlama değerinden bir tanesine ulaşılan kadar göreceli olarak artan enjeksiyon basıncı altında enjeksiyonun sürdürülmesidir.

Alışlagelen yöntem ile EYS arasındaki mevcut di-



Şekil 6. Aquamilpa barajı, Mexico. Kuyu No : 674 P, kademe 17-22 m. (a) basınç p ve akış oranı q, hacim ve enjeksiyon sınırlama hattına karşılık (b) sokulabilirlik (q/p) hacmine karşılık.

ğer farklılıklar ise şunlardır. EYS yöntemi daima; mukavemet, dayanıklılık, büzülme ve yıkanmaya karşı direnç özellikleri göz önünde bulundurulduğunda yalnızca en iyi karışımı sürekli kullanır. EYS, ince karışımındaki yüksek miktardaki suyun kayaya enjekte edilmesinden sakınır. Hidrolik kırılma nedeniyle kayanın fazlaca örselenmesi duraylı karışımlar kullanılarak önlenir. İşlem sabit ve hızlı olup uygulama hataları en aza indirilmiştir. Karışım değişikliği nedeniyle oluşabilecek zaman kayıpları önlenir.

## Özet ve sonuçlar

Enjeksiyon işlemi; karışımın düzenli olarak düşük - orta pompalama oranında pompalanmasını ve kaya kütlesi içine sokulması sırasında basıncın yavaş bir şekilde artırılması ile ilgilidir. Bir kademede refü basıncına ulaşılırken belirlenen miktarda karışım kayaya basılmış ise veya saptanmış enjeksiyon yoğunluğunun önceden seçilen EYS eğrisi gözönünde bulundurulurken sınırlama basınç ve miktarından daha az bir pozisyona ulaşırsa enjeksiyon durdurulur.

Eğrinin orijinden uzaklığı tüketilen enerjinin bir fonksiyonudur. Çok azdan çok yükseğe değişen aralıkta farklı enjeksiyon yoğunluklarına karşılık gelen bir grup eğri hazırlanabilir. Bir proje için bir adet veya vadi tabanında yüksek yoğunluklu; yamaçlarda, sığ derinliklerde veya jeolojik olarak zayıf zonlarda ise düşük yoğunluklu iki veya daha fazla eğri kullanılabilir.

Böylece komple sınırlama zarfı; sınırlama basıncı (15 -50 bar), sınırlama miktarı (her kademe için 100 - 300 l/m) ve iki sınırlama hattına (500 - 2 500 bar x l/m gibi çok azdan yükseğe değişen seçilmiş EYS değerli) bağlı olarak seçilmiş EYS eğrisinden oluşur.

EYS yöntemi enjeksiyonun; basınç - zaman, akış oranı - zaman, toplam akış-zaman, dönüştürülmüş sokulabilirlik (q/p)-zaman gibi PC ile oluşturulan grafikler yardımıyla yakın gözlemini gerektirir. Bahsedilen son eğri refüye yaklaşıldığında veya en azından alış azaldığında özel öneme sahiptir. EYS yöntemi enjeksiyon projelendirilmesi ve kontrolünde yararlı bir araç olduğunu kanıtlamıştır. Hidrolik yapılarda enjeksiyonun

kullanılmasının artışı bu yöntemin gelişmesini sağlayacaktır. Yöntem basınç ve miktar sınırlaması ile ulaşılabilecek EYS değerleri hususlarında katı kurallar içermemektedir. Büyük bir olasılıkla mevcut ve gelecekteki projelerde kullanılmasıyla daha da gelişecektir.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

- Houlsby, A.C., 1992, "Construction and design of cement grouting", John Wiley and Sons Inc, New York / Chichester.
- Weaver, K., 1988, "Dam foundation grouting", American Society of Civil Engineering, New York, USA.
- Nonweiller, E., 1988, "Grouting theory and practice", Elsevier, New York, USA.
- Ewert, F.K., 1985, "Rock grouting with emphasis on dam sites", Springer - Verlag, Berlin, Germany.
- Deere, D. and Lombardi, G., 1985, "Grout slurries - Thick or thin?", Issues in Dam Grouting, Proceedings of the session sponsored by the Geotechnical Engineering Division of the American Society of Civil Engineers in conjunction with the ASCE, Convention in Denver, Colorado; April.
- Lombardi, G., 1985, "The role of the cohesion in cement grouting of rock", Q58 R13, 15th ICOLD Congress, Lausanne, Switzerland.
- Lombardi, G., 1987, "Incection des massifs rocheux", Societe, Suisse de Mecanique des Sols et des Roches, Journee de printemps, No. 115; May.
- Lombardi, G., "La roca y el macizo rocoso-Leyes constitutivas", Academia Nacional da Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales, Buenos Aires, Argentina, Sesiones Cientificas, "Ing. Francisco Garcia Olano", La Mecanica de Rocas en la Ingenieria Civil; 12 December 1987, May 1989 edition.
- Lombardi, G., 1990, "La permeabilite et l'incetabile des massifs rocheux fissures", Reveu Française Geotechnique, No. 51 April.
- Lombardi, G., 1991, "Stoffgesetze für Feldfundationen von Betonsperren", 39 Geomechanik-Kolloquium, Salzburg, Austria, October 1990, Oesterreichische Gesellschaft für Geomechanik Felsbau, Jahrgang 9, No. 2.
- Lombardi, G., 1992, "The FES rock mass model-Part 1", Dam Engineering, Vol. III, Issue 1; February 1992; and, "The FES rock mass model-Part 2", Dam Engineering, Vol. III, Issue 3; August 1992.
- Lombardi, G., 1991, "Kölnbrein dam: An unusual solution for an unusual problem", Water Power and Dam Construction; June 1991.
- Oesterreichische Draukraftwerke AG, Klagenfurt Carithia / Austria, "Remedial project for Kölnbrein arch dam", Design and Construction; June 1991.



# Jeoloji Panorama

Hazırlayanlar : *Engin Öncü Sümer*<sup>1</sup>, *Mine Sümer*<sup>1</sup> ve *Sefer Örcen*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe-06532 Ankara

<sup>2</sup>MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Ankara

## Dünya Periyodiklerinden Yeni Makaleler

### "Geologische Rundschau"

Haziran 1996, cilt 85, no.2

Yiğitbaş, E., Yılmaz, Y., 1996, *New evidence and solution to the Maden complex controversy of the southeast Anatolia orogenic belt (Turkey)*: Geologische Rundschau 85, 2, 250-263.

Sofferl, H.C., Davoudzadeh, M., Rolf, C., Schmidt, S., 1996, *New paleo-magmatic data from Central Iran and Triassic paleorecon struction*: Geologische Rundschau 85, 2, 293-302.

De Wever, P., Baudin, F., 1996, *Paleogeography of radiolarite and orogenic-rich deposits in Mesozoic Tethys*: Geologische Rundschau 85, 2, 310-326.

### "Geologische Rundschau"

Aralık 1996, cilt 85, no.4

Parlah, O., Delaloye, M., Bingöl, M., 1996, *Mineral Chemistry of Ultramafic and Mafic cumulated as an indicator of the arc-related origin of the Mersin ophiolite (Southern Turkey)*: Geologische Rundschau, 85, 4, 647-661.

Görür, N., Okay, A.I., 1996, *A fore-arc origin for the Thrace Basin, NW Turkey*: Geologische Rundschau, 85, 4, 662-668.

Çiner, A., Dleynoux, M., Koşun, E., 1996, *Cyclicity in the Middle Eocene Yamak turbidite complex of the Haymana basin, Central Anatolia, Turkey*: Geologische Rundschau, 85, 4, 669-682.

"Geological Magazine" Temmuz 1995, cilt 132, no.4

Hamdi, B., Rozanov, A.Yu and Zhuravlev, A. Yu., 1995, *Latest Middle Cambrian metazoan reef rfrom north Iran*: Geological Magazine, 132, 4, 367-373.

Segev, A., Idalicz, L., Steintz, G. and Long, B., 1995, *Post-depositional processes on a buried Cambrian sequence in southern Israel, North Arabian Massif: evidence from new K-Ar dating of Mn-nodules*: Geological Magazine, 132, 4, 375-385.

Görür, N., Şengör, A.M.C., Sakıncı, M., Tüysüz, O., Akkök, R., Yiğitbaş, E., Ersoy, Ş., Algan, O., Güneysu, C. and Aykol, A., 1995, *Rift formation in the Gökova region, southwest Anatolia: Implication for the opening of the Aegean Sea*: Geological Magazine, 132, 4, 673-650.

"Geological Magazine" Mart 1996, cilt 133, no.2

Danelian, T., Robertson, A.H.F. and Dimitriandis, S., 1996, *Age and significance of radiolaria sediments within basic exrussives of the marginal basin Guevgueli Ophiolite (Northern Greece)*: Geological Magazine, 133, 2, 127-136.

Dastanpour, M., 1996, *The Devonian System in Iran: A review*: Geological Magazine, 133, 2, 159-170.

"Geological Magazine" Mayıs 1996, cilt 133, no.3

Katzir, Y., Matthews, A., Garfunhel, Z., Schliested, M. and Avigad, D., 1996, *The tectono-metamorphic evolution of dismembered ophiolite (Tinos, Cyclades, Greece)*: Geological Magazine, 133, 3, 237-254.

Richardson-Bunbury, J.M., *The Kula Volcanic field, western Turkey: the development of a Holocene alcali bazalt province and the adjacent normal-faulting graben*: Geological Magazine, 133, 3, 275-283.

Wagreich, M., Paulopolas, A., Faupl, P. and Migiros, G., 1996, *Age and sigmificance of Upper Cretaceous siliciclastic turbidites in the central Pihdos Mountains, Greece*, Geological Magazine, 133, 3, 325-331.

"Geological Magazine" Temmuz 1996, cilt 133, no.4

Hetzel, R. and Reischmann, T., 1996, Intrusion age of Pan-African augen gneiss in the southern Menderes Massif and the age of cooling after Alpine ductile extensional metamorphism, *Geological Magazine*, 133, 4, 565-572.

"**Geological Magazine**" Kasım 1996, cilt 133, no.6

Mukhin, P., 1996, *The metamorphosed olistostromes and turbidites of Andres Island, Greece and their tectonic significance*: *Geological Magazine*, 133, 6, 697-711.

## Dünya Periyodiklerinden CD-Tarama GEO-REF (1983-1993)

Hazırlayanlar : *Engin Öncü Sümer ve Mine Sümer*

"*Jeoloji Panorama*" da bu ve bundan sonraki sayılarda dünya jeoloji periyodiklerinde belirli konularda yayınlanmış bazı makalelerin bibliyografyası "*Jeoloji Mühendisliği*" okurlarına sunulacaktır.

Bu amaçla, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kütüphanesinde CD-yayın tarama bölümünde bulunan **GEO-REF 1983-1993 CD-diski** ve **Earth Science CD-disklerinde yer alan çeşitli konulara yönelik anahtar sözcüklerle jeoloji ile ilgili referans taraması yapılmıştır.** İlerideki sayılarda da farklı konu ve başlıklar altında yayın taraması sürdürülecektir. Bu bölümle ilgili istek, görüş ve önerilerinizi bekler, bu çalışmanın araştırmalarınıza katkıda bulunmasını dileriz.

**Bölgesel Metamorfik Kayaçlarda Ortaya Çıkan Bazı Mineral ve Mineral Toplulukları** : klorit, muskovit, kloritoyid, biyotit, stavrolit, kordiyorit, andaluzit, sillimanit, disten

Kısaltmalar

**TI** = başlık

**AU** = Yazar(lar)

**OS** = Yazarların adresleri

**SO** = Yayınlandığı yer, cilt, sayfa

**AB** = Yayının özeti

**YR** = Yayınlandığı yıl

**LA** = Yayının yazıldığı dil

**DE** = Yayının anahtar sözcükleri

**TI: A petrogenetic grid for the KFMASH system.**

AU: Dickenson-M-P; Hess-P-C

OS: Brown Univ., Dep. Geol. Sci., Providence, RI, United-States

SO: Eos,-Transactions,-American-Geophysical-Union. 62. (17). p. 421 YR: 1981 LA: English

DE: data-processing; petrology-; phase-equilibria; silicates-; FeO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O; KFMASH-; graphic-display; shale-; clastic-rocks; chemography-; topology-;aluminosilicates-; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; staurolite-; chloritoid-; biotite-; mica-group; sheet-silicates; chlorite-; chlorite-group; cordierite-; ring-silicates

**TI: Uni- and divariant equilibria between staurolite, chloritoid, garnet, chlorite, biotite and medium pressure meta-acidites from Lorient-Concarneau area (South Brittany, France).**

AU: Triboulet-C

OS: Univ. P. M. Curie, lab. petrol., Paris Cedex 75230, France

SO: Contributions-to-Mineralogy-and-Petrology. 82. (2-3). p. 195-204.YR: 1983

DE: France-; petrology-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; phase-equilibria; metamorphism-; P-T-conditions; high-temperature; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; chloritoid-; garnet-group; chlorite-group; sheet-silicates; biotite-; mica-group; phengite-; geologic-thermometry; correlation-; high-pressure; Silurian-; Devonian-; Morbihan-; Finistere-; Western-Europe; Europe-; Lorient-Concarneau

**TI: Local and regional differences in the chemical potential of water in amphibolite grade pelitic rocks.**

AU: Dickenson-M-P

OS: Harvard Univ., Dep. Geol. Sci., Cambridge, MA, United-States

SO: The Geological Society of America, 97th annual meeting. Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 16. (6). p. 488 YR: 1984

DE: metamorphic-rocks; geochemistry-; water-of-crystallization; New-Hampshire; petrology-; Moosilauke-Quadrangle; New-England; Eastern-U.S.; United-States; pelitic-texture; amphibolite-facies; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; Gibbs-technique; chloritoid-; biotite-; mica-group; sheet-silicates; chlorite-; chlorite-group; staurolite-; andalusite-; iron-; magnesium-; phase-equilibria; chemical-analysis

**TI: Garnet and associated minerals in the southern margin of the Menderes Massif, Southwest Turkey.**

AU: Ashworth-J-R; Evirgen-M-M

OS: Univ. Aston, Dep. Geol. Sci., Aston, United-Kingdom; Hacettepe Univ., Turkey

SO: Geological-Magazine. 121. (4). p. 323-337. YR: 1984

AB: Assemblages with muscovite+quartz show a regular increase in grade from the Chlorite Zone at the base of the Lycian Nappe Complex to the Garnet Zone within the structurally underlying Menderes Massif. Biotite enters before garnet, which precedes oligoclase. Garnet-bearing assemblages in pelites are compared with those in re-equilibrated quartzofeldspathic gneisses, where garnet is unusually calcic (in one case approaching Gross<sub>50</sub> Alm<sub>50</sub>). Garnet zoning, with Mn decreasing outwards, is interpreted as growth zoning; Ca decreases outwards in pelite garnets but shows the reverse effect in the gneisses. Chloritoid is common but rarely coexists with biotite, and garnet+chlorite+paragonite is found rather than chloritoid+albite. Garnet-biotite geothermometry, corrected for the effect of Ca in garnets with up to 29 mole% grossular, indicates temperatures of 530+ or -50 degrees C near the garnet isograd. Muscovite-paragonite geothermometry gives an anomalous result. Metamorphic pressure is considered in the light of (i) Mn/Fe partition between garnet and biotite, (ii) Ca content of garnet coexisting with plagioclase+muscovite+biotite, (iii) Na in actinolite coexisting with albite+chlorite+magnetite, and (iv) celadonite content of muscovite which, however, shows variation due to disequilibrium within a specimen and does not provide an accurate geobarometer. Comparisons with published studies indicate a strong similarity to the Barrovian Dalradian of Scotland and lead to a tentative pressure estimate of approximately 5 kbar.--Modified journal abstract.

DE: Turkey-; petrology-; metamorphic-rocks; metamorphism-; P-T-conditions; isograds-; gneisses-; Middle-East; Asia-; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; mineral-assemblages; southwestern-Turkey; Menderes-Massif; grade-; chlorite-zone; Lycian-Nappe-complex; biotite-; mica-group; sheet-silicates; oligoclase-; plagioclase-; feldspar-group; framework-silicates; shale-; clastic-rocks; quartzofeldspathic-gneisses; zoning-; retrograde-metamorphism; geologic-thermometry; complexes-; chloritoid-; chlorite-; chlorite-group; paragonite-; muscovite-; celadonite-; pressure-; composition-

**TI: Uebersicht ueber Geologie und Mineralgehalt in einem Querprofil von Altkristallin zur**

JEOLÖJİ MÜHENDİSLİĞİ, Sayı 49

**Kalkalpenbasis (Triebenauer Tauernpass - Flitzenschlucht, Paltental, Steiermark, Oesterreich). Translated title: Geology and mineral composition in a cross-section of the old crystalline Limestone Alps base; Triebenau Tauernpass, Flitzenschlucht, Paltental, Styria, Austria.**

AU: Ratschbacher-L; Klima-K

SO: Jahrbuch-der-Geologischen-Bundesanstalt-Wien. 128. (1). p. 151-173. YR: 1985 LA: German LS: English

DE: Austria-; petrology-; metamorphic-rocks; composition-; mineral-composition; absolute-age; dates-; Ordovician-; Silurian-; Alpine-Orogeny; graywacke-; clastic-rocks; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; biotite-; mica-group; sheet-silicates; garnet-; Permian-; Triassic-; metamorphism-; North-Austrian-Alps; Alps-; Central-Austrian-Alps; Styria-; Central-Europe; Europe-; K/Ar-

**TI: Reversals in Fe-Mg partitioning between chloritoid and staurolite.**

AU: Grambling-J-A

OS: Univ. N.M., Dep. Geol., Albuquerque, NM, United-States

SO: American-Mineralogist. 68. (3-4). p. 373-388. YR: 1983

AB: Chloritoid and staurolite coexist with Al silicate, chlorite, or garnet + or - biotite in Precambrian quartzite and schist from northern New Mexico. The observed Fe-Mg reversal is not related to variable P, T, or minor element content, including Fe(3+). However, it could arise from any of three factors: (1) Fe and Mg may occur on several crystallographic sites in one or both minerals; (2) some Mg may not be exchangeable with Fe in staurolite; or (3) Fe and Mg may mix non-ideally in one or both phases.--Modified journal abstract.

DE: New-Mexico; petrology-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; phase-equilibria; minerals-; partitioning-; nesosilicates-; chloritoid-; crystal-chemistry; iron-; geochemistry-; magnesium-; Rio-Arriba-County; Mora-County; Southwestern-U.S.; United-States; Sangre-de-Cristo-Mountains; Truchas-Range; coexisting-minerals; orthosilicates-; silicates-; staurolite-; quartzites-; schists-; textures-; reversals-; aluminosilicates-; electron-probe-data; Precambrian-

**TI: Allochemical retrograde metamorphism in shear zones; an example in metapelites, Virginia, USA.**

AU: Gates-A-E; Speer-J-A

SO: Journal-of-Metamorphic-Geology. 9. (5). p. 581-604. YR: 1991

DE: metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; metapelite-; Virginia-; petrology-; mineral-deposits;

genesis-; processes-; syngensis-; minerals-; sheet-silicates-; chlorite-group; occurrence-; nesosilicates-; chloritoid-; staurolite-; metamorphism-; retrograde-metamorphism-; shear-zones-; Southeastern-U.S.; Eastern-U.S.; United-States; diagenesis-; mineral-deposits,-genesis; orthosilicates-; silicates-; chlorite-; sheet-silicates,-chlorite-group; chemical-composition

**TI: Les facies a carpholite-chloritoide dans la couverture Brianconnaise des Alpes Ligures: un temoin de l'histoire tectono-metamorphique regionale.**

Translated title: Carpholite-chloritoid facies in the Brianconnaise cover of the Ligurian Alps; evidence of regional tectonometamorphic history.

AU: Goffe-B

SO: Memorie-della-Societa-Geologica-Italiana. 28. p. 461-479. YR: 1984 LA: French LS: English

DE: Italy-; structural-geology; tectonics-; metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; paragenesis-; Ligurian-Alps; Maritime-Alps; carpholite-; chain-silicates; silicates-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; greenschist-facies; major-elements; electron-probe-data; Alpine-Orogeny; structural-analysis; Liguria-; orogeny-; Southern-Europe; Europe-; Brianconnaise-Zone

**TI: Rock pressures vs. fluid pressure as a controlling influence on mineral stability; an example from New Mexico.**

AU: Holdaway-M-J; Goodge-J-W

SO: American-Mineralogist. 75. (9-10). p. 1043-1058.

YR: 1990 LA: English

DE: New-Mexico; petrology-; metamorphism-; P-T-conditions; pressure-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; phase-equilibria; metasedimentary-rocks; stability-; minerals-; silicates-; Taos-County-New-Mexico; Ortega-Group; Rinconada-Formation; Southwestern-U.S.; United-States; north-central-New-Mexico; Picuris-Range; fluid-pressure; quartzites-; schists-; solid-phase; Proterozoic-; upper-Precambrian; Precambrian-; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; sillimanite-; andalusite-; chloritoid-; staurolite-; geologic-barometry

**TI: A petrogenetic grid for metamorphosed aluminous Witwatersrand shales.**

AU: Wallmach-T; Meyer-F-M

OS: South-African-Journal-of-Geology. 93. (1). p. 93-102. YR: 1990 LA: English

DE: South-Africa; petrology-; metamorphism-; P-T-conditions; interpretation-; phase-equilibria; metasedimentary-rocks; Witwatersrand-System; shale-;

clastic-rocks; mineral-assemblages; Jeppeshtown-Shales; Southern-Africa; Africa-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; migration-of-elements; pyrophyllite-; sheet-silicates; genesis-

**TI: Les metapelites a phengite-chloritoide-grenat-staurotide-disthene de la klippe de Najac-Carmaux; nouveaux marqueurs d'un metamorphisme de haute pression varisque en Rouergue occidental.**

Translated title: Phengite-chloritoid-garnet-staurolite-kyanite bearing metapelites of the Najac-Carmaux klippe; new evidence for Variscan high-pressure metamorphism in western Rouergue.

AU: Delor-C; Burg-J-P; Guiraud-M; Leyreloup-A

SO: Sciences-de-la-Terre. 305. (7). p. 589-595 YR: 1987 LA: French LS: English

DE: France-; petrology-; metamorphism-; P-T-conditions; high-pressure; metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; metapelite-; phengite-; mica-group; sheet-silicates; silicates-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; garnet-group; staurolite-; kyanite-; Caledonian-Orogeny; Rouergue-; Aveyron-; Tarn-; Western-Europe; Europe-; Central-Massif; Najac-Carmaux

**TI: Chloritoid-paragonite-pyrophyllite and stilpnomelane-bearing rocks near Blackwater Mountain, western Rocky Mountains, British Columbia.**

AU: Ghent-Edward-D; Stout-Mavis-Z; Ferri-Filippo

SO: The-Canadian-Mineralogist. 27. (1). p. 59-66. YR: 1989

DE: British-Columbia; petrology-; metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; mineral-assemblages; metamorphism-; P-T-conditions; interpretation-; Western-Canada; Canada-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; paragonite-; mica-group; sheet-silicates; pyrophyllite-; stilpnomelane-; Blackwater-Mountain; Canadian-Rocky-Mountains; Middle-Cambrian; Cambrian-; Chancellor-Formation; petrography-; X-ray-diffraction-spectra

**TI: Sudoite, a rock-forming mineral in Verrucano of the Northern Apennines (Italy) and the sudoite-chloritoid-pyrophyllite assemblage in prograde metamorphism.**

AU: Franceschelli-M; Mellini-M; Memmi-I; Ricci-C-A

SO: Contributions-to-Mineralogy-and-Petrology. 101. (3). p. 274-279. YR: 1989

DE: minerals-; sheet-silicates; chlorite-group; sudoite-; metamorphism-; prograde-metamorphism; mineral-assemblages; Italy-; petrology-; sheet-silicates,-chlorite-

group; silicates-; pyrophyllite-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; muscovite-; mica-group; paragonite-; chemical-composition; Tuscany-; Emilia-Romagna; Apennines-; Southern-Europe; Europe-; Verrucano-

**TI: Transmission electron microscopy of chloritoid; intergrowth with sheet silicates and reactions in metapelites.**

AU: Banfield-Jillian-F; Karabinos-Paul; Veblen-David-R

SO: American-Mineralogist. 74. (5-6). p. 549-564.

YR: 1989

DE: Vermont-; petrology-; metamorphic-rocks; minerals-; nesosilicates-; chloritoid-; crystal-growth; metasedimentary-rocks; metapelite-; Rutland-County-Vermont; Windham-County-Vermont; TEM-data; intergrowths-; orthosilicates-; silicates-; sheet-silicates; ultrastructure-; natural-materials; Green-Mountains; Taconic-Allochthon; Jamaica-Vermont; Rutland-Vermont; New-England; Eastern-U.S.; United-States; southern-Vermont

**TI: Chloritoid, staurolite and gedrite of the high-alumina hornfels of the Karatash Pluton.**

AU: Likhanov-I-I

SO: International-Geology-Review. 30. (8). p. 868-877.- YR: 1988

DE: metamorphic-rocks; hornfels-; mineral-composition; USSR-; petrology-; intrusions-; plutons-; aureoles-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; gedrite-; orthoamphibole-; amphibole-group; chain-silicates; staurolite-; mineral-assemblages; Karatash-Pluton; P-T-conditions; Bateni-Ridge; Kuznetsk-Alatau; Russian-Republic; West-Siberia

**TI: A chloritoid-bearing paragenesis in the Macduff Slates of central Buchan.**

AU: Leslie-A-G

SO: Scottish-Journal-of-Geology. 24. (3). p. 223-232. YR: 1988 LA: English

DE: Scotland-; petrology-; metamorphic-rocks; slates-; P-T-conditions; structural-geology; tectonics-; paragenesis-; Great-Britain; United-Kingdom; Western-Europe; Europe-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; phengitic-muscovite; muscovite-; mica-group; quartz-; silica-minerals; framework-silicates; opaque-minerals; facies-; Macduff-Slate; Inch-; folds-; overprinting-; Aberdeenshire-; Dalradian-; Kincardineshire-; Buchan-

**TI: Experimental study of carboirite and related phases in the system GeO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO-H<sub>2</sub>O at P upto 2 kbar.**

AU: Julliot-J-Y; Volfinger-M; Robert-J-L

SO: Mineralogy-and-Petrology. 36. (1). p. 51-69. YR: 1987 LA: English LS: French

DE: minerals-; oxides-; germanates-; crystal-chemistry; phase-equilibria; GeO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO-H<sub>2</sub>O-; experimental-studies; brunogeierite-; synthesis-; stability-; X-ray-data; infrared-spectra; solid-solution; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; germanium-; metals-; silicon-; aluminum-; iron-; water-; geochemistry-; P-T-conditions; carboirite-

**TI: The occurrence and chemical composition of chloritoid in the metamorphic rocks of the Coast plutonic-metamorphic complex near Juneau.**

AU: Himmelberg-Glen-R; Ford-Arthur-B; Brew-David-A

SO: U.-S.-Geological-Survey-Circular. p. 99-102. YR: 1986

DE: southeastern-Alaska; Alaska-; petrology-; metamorphic-rocks; facies-; greenschist-facies; minerals-; nesosilicates-; chloritoid-; Western-U.S.; United-States; Atlin-Quadrangle; chemical-composition; orthosilicates-; silicates-; Coast-Complex; Coast-Mountains; formula-; Juneau-region; mineral-assemblages; regional-metamorphism; metamorphism-; USGS-

**TI: Chloritoid from low-grade pelitic rocks in North Wales.**

AU: Brearley-Adrian-J

SO: Mineralogical-Magazine. 52 (Part 3). (366). p. 394-396. YR: 1988

DE: Wales-; petrology-; metamorphic-rocks; slates-; mineral-assemblages; Rhyd-Ddu; Snowdonia-; Gwynedd-; northern-Wales; Great-Britain; United-Kingdom; Western-Europe; Europe-; Ordovician-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; aluminosilicates-; low-grade-metamorphism; metamorphism-

**TI: Widespread fluid infiltration during metamorphism of the Witwatersrand goldfields; generation of chloritoid and pyrophyllite.**

AU: Phillips-G-N

SO: Journal-of-Metamorphic-Geology. 6. (3). p. 311-332. YR: 1988

DE: South-Africa; petrology-; metamorphism-; evolution-; mineral-assemblages; Southern-Africa; Africa-; Witwatersrand-; genesis-; Archean-; Precambrian-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; pyrophyllite-; sheet-silicates

**TI: Garnet-chloritoid equilibria in eclogitic pelitic rocks from the Sesia Zone (Western Alps); their bearing on phase relations in high pressure metapelites.**

AU: Vuichard-J-P; Ballevre-M

SO: Journal-of-Metamorphic-Geology. 6. (2). p. 135-157. YR: 1988

DE: Alps-; petrology-; metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; metapelite-; Europe-; Western-Alps; Sesia-; phase-equilibria; minerals-; P-T-conditions

**TI: Cr-rich Mg-chloritoid, a first record in high-pressure metagabbros from Monviso (Cottian Alps), Italy.**

AU: Kienast-J-R; Messiga-B

SO: Mineralogical-Magazine. 51 (Part 5). p. 681-687. YR: 1987

DE: Italy-; mineralogy-; nesosilicates-; minerals-; chloritoid-; Southern-Europe; Europe-; Cottian-Alps; Monviso-; metagabbro-; metaigneous-rocks; high-pressure; orthosilicates-; silicates-; metatroctolite-; chromium-; magnesium-

**TI: Chloritoid-hornblende assemblages in quartz-muscovite pelitic rocks of the Central Metasedimentary Belt, Grenville Province, Canada.**

AU: Thompson-P-H; Leclair-A-D

SO: Journal-of-Metamorphic-Geology. 5. (3). p. 415-436. YR: 1987

DE: Canadian-Shield; petrology-; metamorphic-rocks; schists-; mineral-assemblages; phase-equilibria; metamorphism-; P-T-conditions; Grenville-Province; North-America; pelitic-texture; Central-Metasedimentary-Belt; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates; muscovite-; mica-group; sheet-silicates; hornblende-; clinoamphibole-; amphibole-group; chain-silicates; petrography-; Flinton-Group; Grenville-Supergroup

**TI: Metamorphism of the Witwatersrand gold fields; conditions during peak metamorphism.**

AU: Phillips-G-Neil

SO: Journal-of-Metamorphic-Geology. 5. (3). p. 307-322. YR: 1987

DE: South-Africa; economic-geology; gold-ores; mineral-deposits; genesis-; metamorphic-processes; Southern-Africa; Africa-; Transvaal-; Witwatersrand-; metal-ores; metamorphism-; greenschist-facies; metapelite-; metasedimentary-rocks; regional-

metamorphism; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; pyrophyllite-; sheet-silicates; mineral-deposits,-genesis; Jeppetown-Shale; Booyens-Shale; Precambrian-; P-T-conditions

**TI: Chloritoids; dependence of the optical properties upon chemical variation and polytypic intergrowth.**

AU: Cooper-Brian-J

OS: Sam Houston State Univ., Geol. Prog., Huntsville, TX, United-States

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 18. (6). p. 571 YR: 1986

DE: chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; optical-properties; polytypism-; intergrowths-

**TI: The tectonic implications of high-pressure metamorphism in the western Alps.**

AU: Fry-N; Barnicoat-A-C

SO: Journal-of-the-Geological-Society-of-London. 144. (4). p. 653-659. YR: 1987

DE: Alps-; petrology-; metamorphism-; P-T-conditions; high-pressure; Europe-; Western-Alps; tectonics-; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; chloritoid-; eclogite-; lawsonite-; sorosilicates-; ophiolite-; ultramafics-

**TI: Chloritoid-bearing rocks associated with blueschists and eclogites, northern New Caledonia.**

AU: Ghent-Edward-D; Stout-Mavis-Z; Black-P-M; Brothers-R-N

SO: Journal-of-Metamorphic-Geology. 5. (2). p. 239-254. YR: 1987

DE: New-Caledonia; petrology-; metamorphic-rocks; facies-; blueschist-facies; metamorphism-; P-T-conditions; indicators-; northern-New-Caledonia; Melanesia-; eclogite-; mineral-assemblages; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; metasedimentary-rocks; Tertiary-; glaucophane-; clinoamphibole-; amphibole-group; chain-silicates; phase-equilibria; geologic-thermometry; geologic-barometry; garnet-group

**TI: Evidence for a Variscan suture zone in the Vendee, France; a petrological study of blueschist facies rocks from Bois de Cene.**

AU: Guiraud-M; Burg-J-P; Powell-R

SO: Journal-of-Metamorphic-Geology. 5. (2). p. 225-237. YR: 1987

DE: France-; tectonophysics-; plate-tectonics; metamorphic-rocks; facies-; blueschist-facies; metamorphism-; retrograde-metamorphism; high-pressure; Vendee-; Western-Europe; Europe-; Bois-de-

Cene; suture-zones; glaucophane-; clinoamphibole-; amphibole-group; chain-silicates; silicates-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; schists-; mineral-assemblages; P-T-conditions

**TI: Chloritoid-pyrophyllite-rectorite facies rocks from Brittany, France.**

AU: Paradis-S; Velde-B; Nicot-E

SO: Contributions-to-Mineralogy-and-Petrology. 83. (3-4). p. 342-347. YR: 1983

DE: metamorphic-rocks; facies-; pseudomorphism-; France-; petrology-; pyrophyllite-; sheet-silicates; silicates-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; rectorite-; clay-minerals; Paleozoic-; low-temperature; black-shale; clastic-rocks; chlorite-group; stability-; electron-probe-data; shale-; Armorican-Massif; Finistere-; Brittany-; sedimentary-rocks; Western-Europe; Europe-

**TI: Garnet and staurolite producing reactions in a chlorite-chloritoid schist.**

AU: Karabinos-Paul

SO: Contributions-to-Mineralogy-and-Petrology. 90. (2-3). p. 262-275. YR: 1985

DE: Jamaica-; petrology-; metamorphism-; prograde-metamorphism; phase-equilibria; schists-; reactions-; metamorphic-rocks; chlorite-schist; garnet-; crystal-zoning; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; textures-; chemical-composition; Greater-Antilles; West-Indies; chemical-reaction

**TI: Chloritoid-sillimanite assemblage from North Carolina.**

AU: Milton-Daniel-J

SO: American-Mineralogist. 71. (7-8). p. 891-894. YR: 1986

DE: North-Carolina; petrology-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; phase-equilibria; aluminosilicates-; stability-; minerals-; Mecklenburg-County; Southeastern-U.S.; Eastern-U.S.; United-States; Piedmont-; Charlotte-Belt; western-North-Carolina; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; sillimanite-; electron-probe-data; experimental-studies; quartzites-; P-T-conditions

**TI: Condizioni termobariche dell'evento statico a cloritoide e staurolite in Aspromonte.**

**Translated title: Pressure-temperature conditions of the static event in chloritoid and staurolite in Aspromonte.**

AU: Ioppolo-S; Pezzino-A; Puglisi-G

SO: Rendiconti-della-Societa-Geologica-Italiana. 6. (Suppl.). p. 3-4. YR: 1983

DE: Italy-; petrology-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; phase-equilibria; metamorphism-; P-T-conditions; mesozonal-metamorphism; paragenesis-; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; chloritoid-; paragonite-; mica-group; sheet-silicates; electron-probe-data; Hercynian-Orogeny; Calabria-; Apennines-; Southern-Europe; Europe-; orogeny-; structural-geology; South-Apennines; Aspromonte-

**TI: Margarite and chloritoid from staurolite-kyanite zone rocks of the Hoosac Formation, SE Vermont.**

AU: Downie-E-A

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 15. (3). p. 190 YR: 1983

DE: Vermont-; petrology-; metamorphic-rocks; schists-; composition-; metamorphism-; grade-; indicators-; inclusions-; mineral-inclusions; P-T-conditions; phase-equilibria; interpretation-; Hoosac-Formation; New-England; Eastern-U.S.; United-States; southeastern-Vermont; Chester-gneiss-dome; mineral-assemblages; chemical-composition; prograde-metamorphism; retrograde-metamorphism; textures-; alteration-; coexisting-minerals; reactions-; ion-exchange

**TI: Il cloritoide nelle Alpi Apuane; un probabile indicatore della esistenza di un metamorfismo pre-alpino.**

**Translated title: Chloritoid of Apuan Alps; probable indicator of existence of pre-alpine metamorphism.**

AU: Rettignieri-M; Tucci-P

SO: Periodico-di-Mineralogia. 52. (1). p. 83-96.

YR: 1983 LA: ItalianLS: English

DE: Italy-; petrology-; metamorphic-rocks; schists-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; major-elements; textures-; metamorphism-; kinematics-; Paleozoic-; Apuane-Alps; Tuscany-; Southern-Europe; Europe-

**TI: Local and regional differences in the chemical potential of water in amphibolite grade pelitic rocks.**

AU: Dickenson-M-P

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 16. (6). p. 488 YR: 1984

DE: metamorphic-rocks; geochemistry-; water-of-crystallization; New-Hampshire; petrology-; Moosilauke-Quadrangle; New-England; Eastern-U.S.; United-States; pelitic-texture; amphibolite-facies; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; Gibbs-technique; chloritoid-; biotite-; mica-group; sheet-silicates; chlorite-; chlorite-group; staurolite-; andalusite-; iron-; magnesium-; phase-equilibria; chemical-analysis

**TI: Metamorphic transformations of an Al-Mg gabbro into a talc + kyanite + garnet + chloritoid + jadeite-bearing paragenesis, Val d'Aosta, Italy.**

AU: Kienast-J

SO: Terra-Cognita. 2. (3). p. 307 YR: 1982

DE: Italy-; petrology-; metamorphic-rocks; facies-; eclogite-facies; Southern-Europe; Europe; Valle-d'Aosta; genesis-; gabbro-; gabbros-; ultramafics-; high-pressure; P-T-conditions; pyroxene-group; chain-silicates; silicates-

**TI: High resolution electron microscopy of chloritoid minerals from different geological milieu.**

AU: Subbanna-G-N; Anantha-Iyer-G-V

SO: Proceedings-of-the-Indian-Academy-of-Sciences:-Chemical-Sciences. 91. (1). p. 47-56. YR: 1982

DE: India-; mineralogy-; sheet-silicates; chlorite-group; minerals-; electron-microscopy-data; sheet-silicates;-chlorite-group; Karnataka-; Indian-Peninsula; Asia-; Haute-resolution; Tumkur-; Hassan-

**TI: Chloritoid and staurolite stability; implications for metamorphism in the Archaean Yilgarn Block, Western Australia.**

AU: Bickle-M-J

SO: Journal-of-the-Geological-Society-of-London. 141. (6). p. 1075 YR: 1984

DE: Western-Australia; petrology-; metamorphism-; P-T-conditions; amphibolite-facies; Australia-; Australasia-; Yilgarn-Block; Archaean-; Precambrian-; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; chloritoid-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates; almandine-; garnet-group; cordierite-; ring-silicates; andalusite-; mineral-assemblages; aureoles-; high-grade-metamorphism; low-grade-metamorphism

**TI: Conditions of formation of garnet and staurolite in a chloritoid schist from VT.**

AU: Karabinos-P

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 15. (3). p. 140 YR: 1983 LA: English

DE: Vermont-; petrology-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; genesis-; metamorphism-; evolution-; effects-; phase-equilibria; P-T-conditions; Pinney-Hollow-Formation; New-England; Eastern-U.S.; United-States; Jamaica-; Greater-Antilles; West-Indies; Taconic-Orogeny; Acadian-Phase; prograde-metamorphism; retrograde-metamorphism; textures-; zoning-; reactions-; stability-

**TI: Chloritoid and staurolite stability; implications for metamorphism in the Archaean Yilgarn Block, Western Australia.**

AU: Bickle-M-J; Archibald-N-J

SO: Journal-of-Metamorphic-Geology. 2. (3). p. 179-203. YR: 1984 LA: English

DE: metamorphism-; P-T-conditions; regional-metamorphism; paragenesis-; processes-; Western-Australia; petrology-; metamorphic-rocks; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; staurolite-; crystal-chemistry; phase-equilibria; Archaean-; Precambrian-; Yilgarn-Block; Australia-; Australasia-; geologic-thermometry; geologic-barometry; geothermal-gradient; Pioneer-Dome; Lake-Zot; Kalgoorlie-Norseman-Greenstone; interpretation-; amphibolite-facies; granite-greenstone-terraces; models-; mineral-assemblages

**TI: A unique magnesiochloritoid-bearing, high-pressure assemblage from the Monte Rosa, Western Alps; petrologic and (40)Ar-(39)Ar radiometric study.**

AU: Chopin-C; Monie-P

SO: Contributions-to-Mineralogy-and-Petrology. 87. (4). p. 388-398. YR: 1984 LA: English

DE: Alps-; petrology-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; absolute-age; dates-; Italy-; Switzerland-; Monte-Rosa; Western-Alps; Europe-; Ar/Ar-; phengite-; mica-group; sheet-silicates; silicates-; talc-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; kyanite-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates; magnesium-; P-T-conditions; Southern-Europe; Central-Europe

**TI: Electron microprobe analyses of rock-forming minerals from the Sanbagawa metamorphic rocks, Shikoku; Part III, Nakatsu-Nanokawa and Yanadani-Mikawa areas.**

AU: Aiba-K; Higashino-T; Sakai-C; Banno-S

SO: Science-Reports-of-the-Kanazawa-University. 29. (1). p. 65-90. YR: 1984

DE: Japan-; petrology-; metamorphic-rocks; composition-; chemical-composition; Far-East; Asia-; Sanbagawa-; electron-probe-data; Nakatsu-Nanokawa; Yanadani-Mikawa; Chichibu-Belt; mafic-composition; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; metamorphism-; Shikoku-; actinolite-facies; prehnite-pumpellyite-facies; instruments-; petrography-; mineral-composition

**TI: Moessbauer and infrared spectroscopic studies of Belgian chloritoids.**



AU: DeGrave-E; Vanleeberghe-R; Verdonck-L; de Geyter-G

OS: Rijksuniv. Gent, Ghent, Belgium

SO: *Physics-and-Chemistry-of-Minerals*. 11. (2). p. 85-94. YR: 1984

AB: Chloritoid samples from the Stavelot Massif and the Serpont Massif have been characterized by chemical analyses and differential X-ray diffraction. Moessbauer spectra at temperatures between 78 and 360 K and in external magnetic fields were obtained for a triclinic and for a monoclinic specimen. The spectra show a superposition of a weak Fe(3+) doublet (less than 10%) and an intense Fe(2+) doublet. A decomposition of the ferrous adsorption into two distinct quadrupole doublets leads to smaller deviations between experimental and calculated line shapes, especially at low temperatures. This suggests that Fe(2+) is present in both cis and trans O<sub>2</sub> (OH)<sub>4</sub> octahedral positions in the trioctahedral layer. Structural data derived from the temperature dependence of isomer shifts and quadrupole splittings, are found to be inconsistent with known crystallographic data. It is therefore concluded that Fe(2+) is present in only one type of lattice site and that the numerically imposed decomposition into two ferrous doublets is merely an artifact due to thickness saturation effects and to the distributive character of the hyperfine parameters. The negative sign of the electric field gradient further confirms the assignment of the Fe(2+) doublet to a cis octahedral configuration. Only minor differences exist between the Moessbauer results for the triclinic and monoclinic chloritoid. The infrared absorption spectra of the four samples are almost identical except in the region around 600 cm<sup>-1</sup> at which the monoclinic phase exhibits two absorption bands instead of one band for the triclinic samples. All absorption bands can be well assigned to the different vibrations. Inter-layer hydrogen bonding is evidenced by the occurrence of two ν<sub>OH</sub> absorption bands.--Modified journal abstract.

DE: crystal-structure; nesosilicates-; chloritoid-; crystal-chemistry; minerals-; Belgium-; mineralogy-; orthosilicates-; Western-Europe; Europe-; mossbauer-spectra; spectroscopy-; infrared-spectroscopy; Stavelot-Massif; Serpont-Massif; X-ray-data; chemical-composition; silicates-; lattice-

**TI: Garnet and associated minerals in the southern margin of the Menderes Massif, Southwest Turkey.**

AU: Ashworth-J-R; Evirgen-M-M

SO: *Geological-Magazine*. 121. (4). p. 323-337. R: 1984

AB: Assemblages with muscovite+quartz show a regular increase in grade from the Chlorite Zone at the base of the Lycian Nappe Complex to the Garnet Zone

within the structurally underlying Menderes Massif. Biotite enters before garnet, which precedes oligoclase. Garnet-bearing assemblages in pelites are compared with those in re-equilibrated quartzofeldspathic gneisses, where garnet is unusually calcic (in one case approaching Gross50 Alm50). Garnet zoning, with Mn decreasing outwards, is interpreted as growth zoning; Ca decreases outwards in pelite garnets but shows the reverse effect in the gneisses. Chloritoid is common but rarely coexists with biotite, and garnet+chlorite+paragonite is found rather than chloritoid+albite. Garnet-biotite geothermometry, corrected for the effect of Ca in garnets with up to 29 mole % grossular, indicates temperatures of 530+ or -50 degrees C near the garnet isograd. Muscovite-paragonite geothermometry gives an anomalous result. Metamorphic pressure is considered in the light of (i) Mn/Fe partition between garnet and biotite, (ii) Ca content of garnet coexisting with plagioclase+muscovite+biotite, (iii) Na in actinolite coexisting with albite+chlorite+magnetite, and (iv) celadonite content of muscovite which, however, shows variation due to disequilibrium within a specimen and does not provide an accurate geobarometer. Comparisons with published studies indicate a strong similarity to the Barrovian Dalradian of Scotland and lead to a tentative pressure estimate of approximately 5 kbar.--Modified journal abstract.

DE: Turkey-; petrology-; metamorphic-rocks; metamorphism-; P-T-conditions; isograds-; gneisses-; Middle-East; Asia-; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; mineral-assemblages; southwestern-Turkey; Menderes-Massif; grade-; chlorite-zone; Lycian-Nappe-complex; biotite-; mica-group; sheet-silicates; oligoclase-; plagioclase-; feldspar-group; framework-silicates; shale-; clastic-rocks; quartzofeldspathic-gneisses; zoning-; retrograde-metamorphism; geologic-thermometry; complexes-; chloritoid-; chlorite-; chlorite-group; paragonite-; muscovite-; celadonite-; pressure-; composition-

**TI: Mineral parageneses and metamorphic reactions in metasedimentary enclaves from the Archaean Gneiss Complex of North-west India.**

AU: Sharma-R-S; Windley-B-F

SO: *Mineralogical-Magazine*. 48 (Part 2). (347). p. 195-209.

YR: 1984

AB: Three metasedimentary enclaves. Banded Gneissic Complex (>2580Ma). The kyanite-chloritoid-muscovite schist with quartz or corundum, and kyanite-fuchsite-corundum+ or -diaspore was metamorphosed under lower amphibolite conditions, and is thus not isofacial with the surrounding schists and gneisses (of the

"basement" complex) which reached sillimanite-grade metamorphism in the last orogenic cycle (Aravalli: 1650-950Ma Orogeny) in Rajasthan. A calc-silicate rock occurs as a small lens. The presence of two generations of wollastonite which formed during different metamorphic events in the calcite-quartz-grossularite-anorthite-clinopyroxene assemblage indicates polymetamorphism. A metabasic rock records a complete polymetamorphic history in discontinuous zones in garnet coexisting with hornblende-chlorite-plagioclase-quartz+ or -epidote. The mineralogy of the calc-silicate and metabasic enclaves gives a recrystallization temperature of c. 700 degrees C and a pressure in the range of 8-3 kbar during the second metamorphism.--Modified journal abstract.

DE: India-; petrology-; metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; metamorphism-; polymetamorphism-; evolution-; paragenesis-; Indian-Peninsula; Asia-; northwestern-India; Archean-; Precambrian-; gneisses-; amphibolite-facies; prograde-metamorphism; retrograde-metamorphism; regional-metamorphism; mineral-assemblages; chemical-composition

**TI: Mineral chemistry of regional chloritoid assemblages in the Chlorite Zone, Lycian Nappes, South-west Turkey.**

AU: Ashworth-J-R; Evirgen-M-M

OS: Univ. Aston in Birmingham, Dep. Geol. Sci., Birmingham, United-Kingdom; Hacettepe Univ., Ankara, Turkey

SO: Mineralogical-Magazine. 48 (Part 2). (347). p. 159-165. YR: 1984

AB: Mn and inferred Fe(3+) contents of chloritoid are low. Chloritoid+quartz occur rather than the more hydrous equivalent pyrophyllite+chlorite, Fe/(Fe+Mg) values in chlorite ranging down to 0.27. Calcite and dolomite, which coexist with chloritoid and pyrophyllite, give a temperature estimate of 350+ or -30 degrees C, implying moderate to high activities of water for pyrophyllite stability. Intensity of color in chloritoid correlates with inferred Fe(3+) content, which decreases outwards in grains showing prograde growth zoning.--Modified journal abstract.

DE: Turkey-; petrology-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; chloritoid-; manganese-; geochemistry-; iron-; minerals-; nesosilicates-; Middle-East; Asia-; southwestern-Turkey; Lycian-Nappes; orthosilicates-; silicates-; paragonite-; mica-group; sheet-silicates; pyrophyllite-; calcite-; carbonates-; dolomite-; hematite-; oxides-

**TI: Andalusitic and kyanitic facies series in the central Menderes Massif, Turkey.**

AU: Evirgen-M-M; Ashworth-J-R

OS: Hacettepe Univ., Hidrojeol. Muehendisligi Bolumu, Ankara, Turkey; Univ. Aston, United-Kingdom

SO: Neues-Jahrbuch-fuer-Mineralogie,-Monatshefte. 1984. (5). p. 219-227. YR: 1984

AB: Coexisting with biotite+muscovite+quartz, both the facies series have chloritoid and staurolite zones. In one case these are succeeded by andalusite+staurolite, in the other case by kyanite+staurolite with sillimanite at some localities. The kyanite facies series is intermediate in pressure-type between the Barrovian and Stonehavian of Scotland. The andalusitic facies series is intermediate between the Stonehavian and classical lower-pressure sequences with cordierite. The coexistence chloritoid+biotite is a useful indicator of medium pressure in regional metamorphism.--Modified journal abstract.

DE: Turkey-; petrology-; metamorphism-; regional-metamorphism; facies-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; Middle-East; Asia-; Menderes-Massif; andalusite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; kyanite-; Anatolia-; chloritoid-; staurolite-; petrography-

**TI: Spectroscopic studies on natural chloritoids.**

AU: Haalenius-U; Annersten-H; Langer-K

SO: Physics-and-Chemistry-of-Minerals. 7. (3). p. 117-123. YR: 1981

DE: minerals-; nesosilicates-; chloritoid-; crystal-chemistry; orthosilicates-; silicates-; absorption-spectroscopy; polarization-; Mossbauer-spectra; iron-; electron-probe-data; X-ray-powder-diffraction; cell-dimensions; geochemistry-

**TI: New ways of characterizing layered silicates and their intercalates.**

AU: Thomas-J-M

SO: Philosophical-Transactions-of-the-Royal-Society-of-London,-Series-A:-Mathematical-and-Physical-Sciences. 311. (1517). p. 271-285.

YR: 1984

DE: clay-mineralogy; experimental-studies; methods-; X-ray-analysis; applications-; spectroscopy-; minerals-; sheet-silicates; mineral-data; photoelectron-methods; X-ray-diffraction-analysis; X-ray-spectroscopy; nuclear-magnetic-resonance; silicates-; aluminum-; isotopes-; silicon-; Si-29; Al-27; serpentine-; serpentine-group; smectite-; clay-minerals; kandite-; vermiculite-;

chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; zeolite-group; framework-silicates

**TI: Contrasted metamorphic evolutions in thrust cover units of the Briançonnais Zone (French Alps); a model for the conservation of HP-LT metamorphic mineral assemblages.**

AU: Goffe-B; Velde-B

SO: Earth-and-Planetary-Science-Letters. 68. (2). p. 351-360. YR: 1984

AB: The evolution of organic matter, silicate and fluid phases in cover units of the three structural zones of the Vanoise area allows one to distinguish different P-T cooling paths. All units first underwent a common high pressure, low-temperature (HP-LT) metamorphic stage (300 degrees C; 6 kbar) of blueschist type (Fe/Mg carpholite-chloritoid facies). The cover units transported on the external, colder zone (coal measure series metamorphosed in albite-chlorite facies), preserved their HP mineralogy (Fe/Mg carpholite, lawsonite) and organic matter content (oils, wet gases and kerogen) while the unit which remained in contact with its more thermally conductive basement (polymetamorphic) now shows extensive greenschist facies overprinting (breakdown of Fe/Mg carpholite and lawsonite, appearance of chlorite, pyrophyllite, chloritoid and clinozoisite; absence of oils and wet gases).

DE: France-; petrology-; metamorphism-; evolution-; mineral-assemblages; Western-Europe; Europe-; Alps-; French-Alps; Briançonnais-Zone; P-T-conditions; Vanoise-; organic-materials; silicates-; blueschist-; schists-; basement-; greenschist-facies

**TI: Metamorphism in chloritoid and staurolite schists of the Hastings metamorphic low, southeastern Ontario.**

AU: Leclair-A-D

SO: Program-with-Abstracts-Geological-Association-of-Canada. 8. p. A41 YR: 1983

DE: Ontario-; petrology-; metamorphic-rocks; schists-; phase-equilibria; SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO-MgO-K<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O-; metamorphism-; temperature-; Eastern-Canada; Canada-; southeastern-Ontario; Hastings-metamorphic-low; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; staurolite-; grade-; geologic-thermometry

**TI: Chloritoid through sillimanite zone metamorphism of high-alumina pelites from the Hoosac Formation, western Massachusetts.**

AU: Cheney-J-T

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 12. (7). p. 401 YR: 1980

DE: Massachusetts-; petrology-; metamorphism-; polymetamorphism-; isograds-; New-England; Eastern-U.S.; United-States; western-Massachusetts; Hoosac-Formation; schists-; mineral-assemblages; inclusions-; zoning-; muscovite-; mica-group; sheet-silicates; silicates-; Acadian-Phase; Taconic-Orogeny; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; sillimanite-

**TI: Chloritoid amphibolites from the Pamur area, Andhra Pradesh, southern India.**

AU: Reddy-D-S; Murty-M-S

SO: The-Canadian-Mineralogist. 21 (Part 4). p. 661-664. YR: 1983

DE: India-; petrology-; metamorphic-rocks; amphibolites-; minerals-; nesosilicates-; chloritoid-; Indian-Peninsula; Asia-; Andhra-Pradesh; southern-India; Prakasam-; Pamur-; orthosilicates-; silicates-; greenschist-facies; marl-; clastic-rocks; chemical-composition

**TI: Reversals in partitioning of Fe and Mg between coexisting staurolite and chloritoid.**

AU: Grambling-J-A

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 13. (7). p. 463 YR: 1981

DE: New-Mexico; petrology-; phase-equilibria; iron-; geochemistry-; nesosilicates-; magnesium-; minerals-; crystal-chemistry; partitioning-; Southwestern-U.S.; United-States; northern-New-Mexico; orthosilicates-; silicates-; staurolite-; chloritoid-; Truchas-Range; Precambrian-; quartzite-; schists-; stability-; regression-analysis; statistical-analysis; P-T-conditions

**TI: Notes on petrography and rock-forming mineralogy; (12), Chloritoid-bearing rocks from the pumpellyite-actinolite facies region of the Sanbagawa metamorphic belt in western central Shikoku.**

AU: Aiba-K

SO: Ganseki-Kobutsu-Kosho-Gakkaishi. 77. (1). p. 18-22. YR: 1982

DE: Japan-; petrology-; metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; metapelite-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; Sambagawa-Belt; Shikoku-; Far-East; Asia-; pumpellyite-actinolite-facies; pumpellyite-facies; actinolite-; clinoamphibole-; amphibole-group; chain-silicates; Chichibu-Zone; Nakatsu-District; Kochi-Prefecture

**TI: Chloritoid through sillimanite zone metamorphism of high-alumina pelites from the Hoosac Formation, western Massachusetts.**

AU: Cheney-J-T

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 12. p. 401 YR: 1980

DE: Massachusetts-; petrology-; metamorphic-rocks; schists-; mineral-composition; metamorphism-; grade-; high-grade-metamorphism; Hoosac-Formation; New-England; Eastern-U.S.; United-States; western-Massachusetts; Gassetts-Schist; Cambrian-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; sillimanite-; shale-; clastic-rocks; mineral-assemblages; garnet-group

**TI: Reversals in Fe-Mg partitioning between chloritoid and staurolite.**

AU: Grambling-J-A

SO: American-Mineralogist. 68. (3-4). p. 373-388 YR: 1983

AB: Chloritoid and staurolite coexist with Al silicate, chlorite, or garnet + or - biotite in Precambrian quartzite and schist from northern New Mexico. The observed Fe-Mg reversal is not related to variable P, T, or minor element content, including Fe(3+). However, it could arise from any of three factors: (1) Fe and Mg may occur on several crystallographic sites in one or both minerals; (2) some Mg may not be exchangeable with Fe in staurolite; or (3) Fe and Mg may mix non-ideally in one or both phases.--Modified journal abstract.

DE: New-Mexico; petrology-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; phase-equilibria; minerals-; partitioning-; nesosilicates-; chloritoid-; crystal-chemistry; iron-; geochemistry-; magnesium-; Rio-Arriba-County; Mora-County; Southwestern-U.S.; United-States; Sangre-de-Cristo-Mountains; Truchas-Range; coexisting-minerals; orthosilicates-; silicates-; staurolite-; quartzites-; schists-; textures-; reversals-; aluminosilicates-; electron-probe-data; Precambrian-

**TI: Monoclinic chloritoid; calculations of unit cell volumes and densities in the pseudo-ternary system Fe-Ctd-Mn-Ctd-Mg-Ctd.**

AU: Haalenius-U

SO: Lithos. 15. (3). p. 249-251. YR: 1982

DE: minerals-; nesosilicates-; chloritoid-; crystal-structure; density-; volume-; unit-cell; orthosilicates-; silicates-; regression-analysis; statistical-analysis; monoclinic-system; mineralogy-

**TI: Chloritoid-bearing schists around Adyal, Bhandara District, Maharashtra.**

AU: Bhaskar-Rao-B; Ramanathan-R-M

SO: Journal-of-the-Geological-Society-of-India. 22. (7). p. 351-353. YR: 1981

DE: India-; petrology-; metamorphic-rocks; schists-; P-T-conditions; metamorphism-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; quartzites-; Maharashtra-; major-elements; Indian-Peninsula; Asia-; Adyal-; Bhandara-

**TI: Ferroglaucophane- and chloritoid-bearing metapelites from the phyllite series, southern Peloponnese, Greece.**

AU: Katagas-C

SO: Mineralogical-Magazine. 43. (332). p. 975-978. YR: 1980

DE: Greece-; petrology-; metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; metapelite-; Southern-Europe; Europe-; Peloponnesus-; mineral-assemblages; phyllites-; petrography-; chemical-composition; electron-probe-data; coexisting-minerals

**TI: Chloritoid stability in very iron-rich altered pillow lavas.**

AU: La-Tour-T-E; Kerrich-R; Hodder-R-W; Barnett-R-L

SO: Contributions-to-Mineralogy-and-Petrology. 74. (2). p. 165-173. YR: 1980

DE: isotopes-; oxygen-; O-18/O-16; metasomatism-; processes-; hydrothermal-alteration; Ontario-; petrology-; metasomatic-rocks; geochemistry-; lava-; pillow-structure; Eastern-Canada; Canada-; metavolcanic-rocks; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; Archean-; Precambrian-; Wawa-; Helen-Formation; stable-isotopes; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; quartz-; silica-minerals; framework-silicates; ilmenite-; oxides-; causes-

**TI: Kyanite and chloritoid phyllites from the chlorite zone of the SW Scottish Highlands.**

AU: Burgess-J-G; Graham-C-M; Harte-B

SO: Journal-of-the-Geological-Society-of-London. 138 (Part 5). p. 634 YR: 1981

DE: Scotland-; petrology-; metamorphism-; regional-metamorphism; low-grade-metamorphism; metamorphic-rocks; phyllites-; mineral-composition; Great-Britain; United-Kingdom; Western-Europe; Europe-; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; mineral-assemblages; Northern-Highlands; Grampian-Highlands

**TI: Chloritoid.**

AU: Ribbe-P-H

SO: Ribbe, P. H. Orthosilicates. Va. Polytech. Inst. State Univ., Dep. Geol., Blacksburg, VA, United-States. Reviews-in-Mineralogy. 5. p. 155-169.

YR: 1980

DE: minerals-; orthosilicates-; chloritoid-; silicates-; crystal-structure; crystal-chemistry; nesosilicates-

**TI: Lower Paleozoic chloritoid-bearing rocks from South-east Ireland.**

AU: Shannon-P-M

SO: Ir.-Nat.-J. 19. (7). p. 222-227. YR: 1978

DE: Ireland-; petrology-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; chloritoid-; orthosilicates-; silicates-; slate-; slates-; schist-; schists-; andalusite-; occurrence-; Europe-; Ballylane-Shale; Cambrian-; Paleozoic-; Ordovician-; New-Ross; Oilgate-; Polldarrig-Formation; River-Slaney; Ballynamuddagh-Granite; composition-; geochemistry-; tectonics-; minerals-

**TI: Chloritoid rock, a possible metamorphosed aluminous laterite deposit from eastern Taiwan.**

AU: Pei-Yuan-Chen; Liou-J-G

SO: Alumina and Aluminum conference. Trav.-Com.-Int.-Etud.-Bauxites,-Alum.-Alum. (15). p. 223-235. YR: 1979

DE: Taiwan-; economic-geology; bauxite-; minerals-; orthosilicates-; chloritoid-; metamorphic-rocks; schists-; composition-; Asia-; silicates-; bauxitization-; geochemistry-

**TI: Chloritoid-forming reaction in the eastern Scottish Dalradian; a possibility.**

AU: Baltatzis-E

YR: 1980

DE: Scotland-; petrology-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; chloritoid-; metamorphism-; grade-; low-grade-metamorphism; Europe-; Stonehaven-; Dalradian-; Precambrian-; Cambrian-; Paleozoic-; retrograde-metamorphism; orthosilicates-; silicates-; kaolinite-; sheet-silicates; pyrophyllite; chemical-composition; schist-; schists-; Grampian-Highlands

**TI: Chloritoid-staurolite assemblages in central Perthshire; discussion.**

AU: Harte-B

SO: Geol.-Mag. 117. (6). p. 615-616. YR: 1980

DE: England-; petrology-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; evolution-; minerals-; orthosilicates-; staurolite-; Europe-; Perthshire-; chloritoid-; silicates-

**TI: Microscope-photometric methods for non-destructive Fe(2+)-Fe(3+) determination in chloritoids (Fe(2+), Mn(2+), Mg)2(Al, Fe(3+))4Si2O10(OH)4.**

AU: Haelenius-U; Langer-K

SO: Lithos. 13. (3). p. 291-294.

YR: 1980

DE: minerals-; orthosilicates-; chloritoid-; crystal-chemistry; mineralogy-; methods-; microscope-methods; crystallography-; spectroscopy-; Mossbauer-spectroscopy; silicates-; mineral-data; natural-materials; iron-; analysis-; Mossbauer-spectra; electron-probe-data; ferrous-iron; ferric-iron; experimental-studies; electron-probe; photometry-

**TI: The structure of triclinic chloritoid and chloritoid polymorphism.**

AU: Hanscom-R

SO: Am.-Mineral. 65. (5-6). p. 534-539. YR: 1980

DE: Quebec-; mineralogy-; orthosilicates-; minerals-; chloritoid-; crystal-structure; Canada-; Chibougamau-; silicates-; polymorphism-; triclinic-system; refinement-; bonding-; coordination-; natural-materials

**TI: Calculated mineral equilibria in the pelite system, KFMASH (K2O-FeO-MgO-Al2O3-SiO2-H2O).**

AU: Powell-Roger; Holland-Tim

SO: American-Mineralogist. 75. (3-4). p. 367-380. YR: 1990

DE: phase-equilibria; theoretical-studies; K2O-FeO-MgO-Al2O3-SiO2-H2O; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; metamorphism-; P-T-conditions; coexisting-minerals; minerals-; silicates-; aluminosilicates-; KFMASH-; thermodynamic-properties; pelitic-texture; metasedimentary-rocks; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; chloritoid-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; biotite-; mica-group; cordierite-; ring-silicates; garnet-group; andalusite-; sillimanite-; kyanite-; muscovite-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates

**TI: Metamorphic mineral assemblages of slightly calcic pelitic rocks in and around the Taconic Allochthon, southwestern Massachusetts and adjacent Connecticut and New York.**

AU: Zen-E-an

SO: U.-S.-Geological-Survey-Professional-Paper. 128 p. YR: 1981

AB: Slightly calcic pelitic rocks in the Taconic Allochthon of southwestern Massachusetts and adjoining New York and Connecticut were studied mineralogically and chemically. Microprobe as well as wet-chemical analyses of many samples of 12 different minerals provided the basis for a multisystematic analysis of the observed mineral assemblages. Observed mineralogical isograds were interpreted. Calcium is a significant element in almandinic garnet, chlorite, hornblende, epidote, and plagioclase; its essential role

in garnet provides the key to the interpretation of mineral assemblages that contain coexisting garnet, chlorite, chloritoid, biotite, muscovite, and quartz. Evidence is adduced that a Taconian regional metamorphism preceded the dominant Acadian metamorphism.--from New Publications of the Geological Survey, April 1981.

DE: Massachusetts-; petrology-; metamorphic-rocks; Connecticut-; New-York; mineral-assemblages; phase-equilibria; metamorphism-; polymetamorphism-; interpretation-; Acadian-Phase; allochthons-; calcic-composition; New-England; Eastern-U.S.; United-States; electron-probe-data; geochemistry-; isograds-; orogeny-; P-T-conditions; pelitic-texture; regional-metamorphism; Taconic-Allochthon; Taconic-Orogeny; USGS-

**TI: Andalusite in the metamorphic aureole of the Bushveld Complex.**

AU: Hammerbeck-E-C-I

SO: Anhaeusser, C. R., Maske, S. Mineral deposits of Southern Africa. p. 993-1004. YR: 1986

DE: South-Africa; economic-geology; ceramic-materials; Bushveld-Complex; andalusite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; contact-metamorphism; metamorphism-; Pretoria-Group; metamorphic-processes; mineral-deposits,-genesis; cordierite-; ring-silicates; biotite-; mica-group; sheet-silicates; host-rocks; alteration-; soils; Southern-Africa; Africa-; production-; stratigraphy-; distribution-; chemical-composition; qualitative-analysis; sillimanite-; chloritoid-; Transvaal-

**TI: Calculated mineral equilibria in the pelite system, KFMASH (K<sub>2</sub>O-FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O).**

AU: Powell-Roger; Holland-Tim

SO: American-Mineralogist. 75. (3-4). p. 367-380. YR: 1990

DE: phase-equilibria; theoretical-studies; K<sub>2</sub>O-FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; metamorphism-; P-T-conditions; coexisting-minerals; minerals-; silicates-; aluminosilicates-; KFMASH-; thermodynamic-properties; pelitic-texture; metasedimentary-rocks; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; chloritoid-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; biotite-; mica-group; cordierite-; ring-silicates; garnet-group; andalusite-; sillimanite-; kyanite-; muscovite-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates

**TI: Sudoite, a rock-forming mineral in Verrucano of the Northern Apennines (Italy) and the sudoite-**

**chloritoid-pyrophyllite assemblage in prograde metamorphism.**

AU: Franceschelli-M; Mellini-M; Memmi-I; Ricci-C-A  
SO: Contributions-to-Mineralogy-and-Petrology. 101. (3). p. 274-279.

YR: 1989

DE: minerals-; sheet-silicates; chlorite-group; sudoite-; metamorphism-; prograde-metamorphism; mineral-assemblages; Italy-; petrology-; sheet-silicates,-chlorite-group; silicates-; pyrophyllite-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; muscovite-; mica-group; paragonite-; chemical-composition; Tuscany-; Emilia-Romagna; Apennines-; Southern-Europe; Europe-; Verrucano-

**TI: A chloritoid-bearing paragenesis in the Macduff Slates of central Buchan.**

AU: Leslie-A-G

SO: Scottish-Journal-of-Geology. 24. (3). p. 223-232. YR: 1988

DE: Scotland-; petrology-; metamorphic-rocks; slates-; P-T-conditions; structural-geology; tectonics-; paragenesis-; Great-Britain; United-Kingdom; Western-Europe; Europe-; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; phengitic-muscovite; muscovite-; mica-group; quartz-; silica-minerals; framework-silicates; opaque-minerals; facies-; Macduff-Slate; Inch-; folds-; overprinting-; Aberdeenshire-; Dalradian-; Kincardineshire-; Buchan-

**TI: Petrogenetic implications of chloritoid-hornblende-muscovite pelitic rocks in the Central Metasedimentary Belt, SW Grenville Province.**

AU: Thompson-P-H; Leclair-Alain-D

SO: Program-with-Abstracts-Geological-Association-of-Canada;-Mineralogical-Association-of-Canada;-Canadian-Geophysical-Union,-Joint-Annual-Meeting. 12. p. 96 YR: 1987

DE: Canadian-Shield; petrology-; metamorphic-rocks; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; silicates-; hornblende-; clinoamphibole-; amphibole-group; chain-silicates; muscovite-; mica-group; slates-; schists-; Grenville-Province; Central-Metasedimentary-Belt; chemical-composition; mineral-composition; pelitic-texture; North-America; genesis-

**TI: Timing and conditions of deformation and metamorphism of the structural packages east of Harrison Lake, B.C.**

AU: Bennett-Jeffrey-D

OS: Western Washington University, United-States; Master's

YR: 1989

AB: Metamorphosed oceanic and arc-related lithologies of the Slollicum, Cogburn and Settler packages crop out to the east of Harrison Lake, B.C., within the southern Coast Plutonic Complex and represent the northern extension of the Cascade orogenic belt. The Cretaceous Spuzzum plutons intruded the packages in late syn- to post-metamorphic time, and several early Tertiary stocks intruded all units after deformation. The Slollicum package is dominated by graphitic to pelitic phyllite, and felsic to mafic arc volcanics intercalated with marble, conglomerate and quartzite. The sediments dominate western exposures, and eastern exposures are mainly volcanics. U-Pb analysis of zircon in a volcanic interbed gives a concordant 146 Ma depositional age for the Slollicum package. The Cogburn package is composed of structurally juxtaposed blocks of graphitic phyllite, mafic metavolcanics, banded chert and marble. Serpentinite is common. The Settler package is dominated by pelitic schist interlayered with quartzite, amphibolite and conglomerate. Foliations generally strike northwest, dip northeast and are accompanied by down-dip stretching lineations. Kinematic indicators show orogen-normal reverse-slip. Cleavage in the Slollicum package exhibits a strong influence of pressure solution. Cogburn and Settler packages each show two foliations, one preserved in poikiloblastic minerals and a dominant crenulation cleavage. The Harrison Lake shear zone is a late stage, right-lateral strike-slip shear zone that locally prints across the earlier fabrics after Spuzzum plutonism and prior to the intrusion of the early Tertiary stocks. Metamorphic grade increases eastward from the chlorite and biotite zones of the greenschist facies in the Slollicum package to the garnet zone of the greenschist facies and the oligoclase/hornblende zone of the amphibolite facies in the Cogburn package through the staurolite zone to the sillimanite zone of the amphibolite facies in the Settler package. Geothermobarometry indicates pressures of 3 to 4.5 kb in the biotite zone and 5.5 kb in the sillimanite zone. Temperatures in the sillimanite zone range up to approximately 750 degrees C. A poly-metamorphic history is indicated by pseudomorphs of kyanite after andalusite in the Settler package. Lineation-parallel slip on foliation planes, evidenced by augen-shaped and boudinaged metamorphic minerals indicates syn- to post-metamorphic deformation.

DE: British-Columbia; structural-geology; structural-analysis; foliation-; petrofabrics-; Western-Canada; Canada-; Harrison-Lake; Slollicum-Suite; Settler-

Schist; Cogburn-Suite; deformation-; age-; Coast-Plutonic-Complex

**TI: Kyanite paragneisses in the Dragsanu Group (Paring Mountains, South Carpathians).**

AU: Solomon-I

SO: Mineralogie-Petrologie-Geochemie. 70-71. (1). p. 339-343. YR: 1983 [1986]

LA: English LS: French; Romanian

DE: Romania-; petrology-; metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; paragneiss-; metamorphism-; prograde-metamorphism; amphibolite-facies; gneisses-; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; almandine-; garnet-group; staurolite-; mineral-assemblages; Paring-Mountains; Transylvanian-Alps; facies-; Carpathians-; Europe-; Southern-Europe; Dragsanu-Group

**TI: Metamorphic history in the Bergen Arcs, Norway, as determined from amphibole chemistry.**

AU: Fossen-H

SO: Norsk-Geologisk-Tidsskrift. 68. (4). p. 223-239. YR: 1988

DE: Norway-; petrology-; metamorphism-; evolution-; mineral-assemblages; Scandinavia; Western-Europe; Europe-; grade-; chemical-composition; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; staurolite-; paragenesis-; fabric-; electron-probe-data; amphibole-group; chain-silicates; garnet-group; Bergen-; Bergen-Arc

**TI: Intersecting isogrades, a possible way to find out the polymetamorphism; an example; the Somes series.**

AU: Hartopanu-I; Hartopanu-P

SO: Mineralogie-Petrologie-Geochemie. 70-71. (1). p. 291-299. YR: 1983 [1986]

LA: English LS: French

DE: Romania-; petrology-; metamorphism-; polymetamorphism-; isograds-; phase-equilibria; silicates-; experimental-studies; mineral-assemblages; biotite-; mica-group; sheet-silicates; chlorite-; chlorite-group; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; staurolite-; almandine-; garnet-group; crystallization-; polyphase-processes; new-methods; Apuseni-Mountains; Southern-Europe; Europe-; Gilau-Mountains; Somes-Series

**TI: Calculated mineral equilibria in the pelite system, KFMASH (K<sub>2</sub>O-FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O).**

AU: Powell-Roger; Holland-Tim

SO: American-Mineralogist. 75. (3-4). p. 367-380. YR: 1990

DE: phase-equilibria; theoretical-studies; K<sub>2</sub>O-FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; metamorphism-; P-T-conditions; coexisting-minerals; minerals-; silicates-; aluminosilicates-; KFMASH-; thermodynamic-properties; pelitic-texture; metasedimentary-rocks; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; chloritoid-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; biotite-; mica-group; cordierite-; ring-silicates; garnet-group; andalusite-; sillimanite-; kyanite-; muscovite-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates

**TI: Petrology of an andalusite-type regional metamorphism in Doda, Kashmir Himalaya, India.**

AU: Das-Brijraj-K

OS: Panjab Univ., Cent. Adv. Stud. Geol., Chandigarh, India; Univ. Delhi, Dep. Geol., Delhi, India

SO: Delhi, Dep. Geol., Delhi, India. 12. p. 17-41.

YR: 1989

DE: India-; petrology-; metamorphism-; regional-metamorphism; P-T-conditions; phase-equilibria; metamorphic-rocks; textures-; pelitic-texture; Himalayas-; Indian-Peninsula; Asia-; andalusite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; Doda-; Jammu-and-Kashmir; Kashmir-Himalayas; Salkhala-Group; Precambrian-; garnet-group; staurolite-; kyanite-; electron-probe-data; zoning-; chemical-composition; interpretation-

**TI: A petrogenetic grid for pelitic schists in the system SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO-MgO-K<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O.**

AU: Spear-Frank-S; Cheney-J-T

SO: Contributions-to-Mineralogy-and-Petrology. 101. (2). p. 149-164. YR: 1989

DE: metamorphic-rocks; schists-; phase-equilibria; SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO-MgO-K<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O; metapelite-; metasedimentary-rocks; silicon-; aluminum-; metals-; iron-; magnesium-; alkaline-earth-metals; potassium-; alkali-metals; oxygen-; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; biotite-; mica-group; cordierite-; ring-silicates; staurolite-; talc-; kyanite-; andalusite-; sillimanite-; pyrophyllite-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates; muscovite-; K-feldspar; alkali-feldspar; feldspar-group; thermodynamic-properties; geochemistry-; properties-

**TI: An early Proterozoic P-T(t) path from a metapelite, Black Hills, South Dakota.**

AU: Terry-M-P; Friberg-L-M

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 21. (4). p. 49 YR: 1989

DE: South-Dakota; petrology-; metamorphism-; Harney-Peak-Granite; Proterozoic-; upper-Precambrian; Precambrian-; P-T-conditions; metapelite-; metasedimentary-rocks; metamorphic-rocks; Midwest-; United-States; Black-Hills; southwestern-South-Dakota; electron-probe-data; inclusions-; zoning-; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; mineral-assemblages; tectonics-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates; staurolite-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; oligoclase-; plagioclase-; feldspar-group; biotite-; mica-group; muscovite-; kyanite-; sillimanite-; intrusions-

**TI: Mineral assemblages and compositional variations, Barrovian metamorphic sequence, near Juneau.**

AU: Himmelberg-G-R; Ford-A-B; Brew-D-A

SO: U.-S.-Geological-Survey-Professional-Paper. p. 80 YR: 1982 [1983]

DE: southeastern-Alaska; Alaska-; petrology-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; interpretation-; Western-U.S.; United-States; Barrovian-metamorphic-zone; biotite-; mica-group; sheet-silicates; silicates-; Blackerby-Ridge; cartography-; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; isograds-; Juneau-; kyanite-; mineralogy-; research-; sillimanite-; staurolite-; USGS-

**TI: Experimental studies on metamorphism of crustal rocks under mantle pressures.**

AU: Schreyer-Werner

SO: Mineralogical-Magazine. 52 (Part 1). (364). p. 1-26. YR: 1988

DE: metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; metapelite-; phase-equilibria; silicates-; MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O; metamorphism-; P-T-conditions; experimental-studies; mineral-assemblages; geologic-thermometry; geologic-barometry; sudoite-; chlorite-group; sheet-silicates; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; yoderite-; staurolite-; pumpellyite-; sorosilicates-; ellenbergite-; talc-; phengite-; mica-group; kyanite-; pyrope-; garnet-group; carpholite-; chain-silicates; chlorite-; K-feldspar; alkali-feldspar; feldspar-group; framework-silicates; mantle-; crust-; partial-melting

**TI: The case for retrograde chlorite in staurolite-garnet-two-mica schist.**

AU: Holdaway-M-J; Geving-R-L; Goodge-J-W; Dickerson-R-P; Dutrow-B-L

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 19. (7). p. 705 YR: 1987



DE: metamorphic-rocks; schists-; mineral-composition; retrograde-metamorphism; metamorphism-; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; sheet-silicates-; mica-group; orthosilicates,-garnet-group; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; sillimanite-; kyanite-; P-T-conditions; Maine-; New-England; Eastern-U.S.; United-States; Nevada-; Western-U.S.; Hampton-Creek; Snake-Range; New-Mexico; Southwestern-U.S.; Picun's-Range

**TI: Kyanite-staurolite-biotite-garnet in pelitic schists; extra components and implications for buffering of fluid.**

AU: Giaramita-M-J; Day-Howard-W

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 19. (7). p. 675 YR: 1987

DE: metamorphic-rocks; schists-; mineral-assemblages; mineral-composition; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; staurolite-; biotite-; mica-group; sheet-silicates; orthosilicates,-garnet-group; isograds-; amphibolite-facies; KFMASH-; data-processing; Fortran-; computer-programs; phase-equilibria; buffers-

**TI: Evidence from garnet zoning for over-thrusting in the eastern Maryland Piedmont.**

AU: Lang-Helen-M

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 19. (1). p. 24 YR: 1987

DE: Maryland-; petrology-; metamorphic-rocks; Baltimore-Gneiss; Eastern-U.S.; United-States; eastern-Maryland; Piedmont-; Phoenix-Nappe; thrust-faults; faults-; mineral-assemblages; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; Hunt-Valley-Mall; biotite-; mica-group; sheet-silicates; staurolite-; kyanite-; sillimanite-

**TI: Pressure, temperature, and structural evolution of the Orfordville Belt, west-central New Hampshire.**

AU: Spear-Frank-S; Rumble-Douglas III

SO: Journal-of-Petrology. 27. (5). p. 1071-1093. YR: 1986

DE: New-Hampshire; petrology-; metamorphism-; P-T-conditions; interpretation-; metamorphic-rocks; amphibolites-; mineral-assemblages; phase-equilibria; inclusions-; mineral-inclusions; garnet-group; paragenesis-; Littleton-Formation; Partridge-Formation; Bethlehem-Gneiss; Ammonoosuc-Volcanics; Alber-Formation; Oliverian-Gneiss; Orfordville-Belt; west-central-New-Hampshire; New-England; Eastern-U.S.; United-States; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; kyanite-; staurolite-; cooling-; deformation-; geologic-thermometry; geologic-

barometry; Mount-Cube-Quadrangle; Hanover-Quadrangle; Paleozoic-; plagioclase-; feldspar - group; framework - silicates; zoning-; foliation-

**TI: Regression modelling of metamorphic reactions in metapelites, Snow Peak, northern Idaho.**

AU: Lang-Helen-M; Rice-Jack-M

SO: Journal-of-Petrology. 26. (4). p. 857-887. YR: 1985

DE: Idaho-; petrology-; metamorphism-; regional-metamorphism; P-T-conditions; metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; metapelite-; Clearwater-; Shoshone-; Belt-Supergroup; Prichard-Formation; Wallace-Formation; Snow-Peak; northern-Idaho; Idaho-Batholith; Clearwater-County; Shoshone-County; Western-U.S.; United-States; mineral-assemblages; chlorite-group; sheet-silicates; silicates-; biotite-; mica-group; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; kyanite-; staurolite-; zoning-; prograde-metamorphism; ilmenite-; oxides-; statistical-analysis; models-; dehydration-; Bathtub-Mountain

**TI: Metamorphic reactions in the kyanite and sillimanite zones of the Barrovian type area.**

AU: McLellan-Eileen

SO: Journal-of-Petrology. 26. (4). p. 789-818. YR: 1985

DE: Scotland-; petrology-; metamorphism-; regional-metamorphism; P-T-conditions; metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; mineral-assemblages; inclusions-; mineral-inclusions; staurolite-; Barrovian-; Tay-Nappe; Dalradian-; Caledonian-Orogeny; Grampian-Highlands; Great-Britain; United-Kingdom; Western-Europe; Europe-; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; sillimanite-; biotite-; mica-group; sheet-silicates; muscovite-; garnet-group; Ben-Lui-Schist; Pitlochry-Schist; zoning-; dehydration-; ion-exchange; geologic-thermometry; geologic-barometry

**TI: Heat capacities and entropies of sillimanite, fibrolite, andalusite, kyanite, and quartz and the Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> phase diagram.**

AU: Hemingway-Bruce-S; Robie-Richard-A; Evans-Howard-T Jr; Kerrick-Derrill-M

SO: American-Mineralogist. 76. (9-10). p. 1597-1613. YR: 1991

DE: geochemistry-; properties-; thermodynamic-properties; phase-equilibria; aluminosilicates-; experimental-studies; minerals-; nesosilicates-; sillimanite-; andalusite-; kyanite-; framework-silicates; silica-minerals; quartz-; crystal-growth; entropy-; heat-capacity; equations-; low-temperature; mineral-data; silicates-; orthosilicates-; polymorphism-; Montana-

Western-U.S.; United-States; framework-silicates; silica-minerals; natural-materials; crystal-structure

**TI: Precise determinations of the equilibria kyanite - sillimanite and kyanite-andalusite and a revised triple point for  $Al_2SiO_5$  polymorphs.**

AU: Bohlen-Steven-R; Montana-Art; Kerrick-Derrill-M  
SO: American-Mineralogist. 76. (3-4). p. 677-680. YR: 1991

DE: minerals-; nesosilicates-; andalusite-; sillimanite-; kyanite-; aluminosilicates-; phase - equilibria; experimental - studies; polymorphism-; silicates-; orthosilicates - ; P-T-conditions; natural-materials

**TI: Static lattice energy minimization and lattice dynamics calculations on aluminosilicate minerals.**

AU: Winkler-Bjorn; Dove-Martin-T; Leslie-Maurice  
SO: American-Mineralogist. 76. (3-4). p. 313-331. YR: 1991

DE: minerals-; aluminosilicates-; crystal-structure; lattice-; crystallography-; theoretical-studies; silicates-; energy-; crystal-field; thermodynamic-properties; coordination-; order-disorder; polymorphism-; static-lattice-energy; harmonic-lattice-dynamics; numerical-models; models-; andalusite-; nesosilicates-; orthosilicates-; sillimanite-; kyanite-; diopside-; clinopyroxene-; pyroxene-group; chain-silicates; cordierite-; ring-silicates; gehlenite-; melilite-group; sorosilicates-; leucite-; framework-silicates; orthoZOisite-; grossular-; garnet-group; pyrope-

**TI: Control of material transport and reaction mechanism by metastable mineral assemblages; an example involving kyanite, sillimanite, muscovite and quartz.**

AU: Foster-C-T Jr  
OS: Canada. Special-Publication-Geochemical-Society. 2. p. 121-132. YR: 1990

DE: geochemistry-; processes-; ion-exchange; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; reactions-; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; sillimanite-; muscovite-; mica-group; sheet-silicates; quartz-; silica-minerals; framework-silicates; thermodynamic-properties; transport-; P-T-conditions; crystal-growth; phase-equilibria; high-temperature; high-pressure; systems-; equilibrium-; buffers-

**TI: Exhumed lower crust in NW Ireland, and a model for crustal conductivity.**

AU: Sanders-I-S  
SO: Journal-of-the-Geological-Society-of-London. 148 (Part 1). p. 131-135. YR: 1991

DE: Ireland-; petrology-; metamorphism-; retrograde-metamorphism; models-; Western-Europe; Europe-; northwestern-Ireland; crust-; gneisses-; granulite-facies; Ox-Mountains; imbricate-tectonics; Highland-Boundary-Fault; Clew-Bay; terranes-; decompression-; sillimanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; kyanite-; cooling-; continental-crust; shear-zones; hydration-; amphibolite-facies; saturation-; halite-; chlorides-; halides-; precipitation-; electrical-conductivity; tectonophysics-; cratonization-; Sliswood-; temperature-

**TI: Rock pressures vs. fluid pressure as a controlling influence on mineral stability; an example from New Mexico.**

AU: Holdaway-M-J; Goodge-J-W  
SO: American-Mineralogist. 75. (9-10). p. 1043-1058. YR: 1990

DE: New-Mexico; petrology-; metamorphism-; P-T-conditions; pressure-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; phase-equilibria; metasedimentary-rocks; stability-; minerals-; silicates-; Taos-County-New-Mexico; Ortega-Group; Rinconada-Formation; Southwestern-U.S.; United-States; north-central-New-Mexico; Picuris-Range; fluid-pressure; quartzites-; schists-; solid-phase; Proterozoic-; upper-Precambrian; Precambrian-; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; sillimanite-; andalusite-; chloritoid-; staurolite-; geologic-barometry

**TI: Calculated mineral equilibria in the pelite system, KFMASH ( $K_2O-FeO-MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ ).**

AU: Powell-Roger; Holland-Tim  
SO: American-Mineralogist. 75. (3-4). p. 367-380. YR: 1990

DE: phase-equilibria; theoretical-studies;  $K_2O-FeO-MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ ; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; metamorphism-; P-T-conditions; coexisting-minerals; minerals-; silicates-; aluminosilicates-; KFMASH-; thermodynamic-properties; pelitic-texture; metasedimentary-rocks; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; chloritoid-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; biotite-; mica-group; cordierite-; ring-silicates; garnet-group; andalusite-; sillimanite-; kyanite-; muscovite-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates

**TI: Large andalusite crystals from Campbell County, Virginia; their alteration to kyanite and sillimanite and their other associated minerals.**

AU: Mitchell-Richard-S; Giannini-William-F; Penick-D-Allen Jr

SO: Rocks-and-Minerals. 63. (6). p. 446-453. YR: 1988  
DE: Virginia-; mineralogy-; nesosilicates-; minerals-; andalusite-; Campbell-County-Virginia; Southeastern-U.S.; Eastern-U.S.; United-States; orthosilicates-; silicates-; kyanite-; sillimanite-; crystal-form; Altavista-; Lynch-Station; paramorphs-; alteration-; popular-geology; collecting-; Piedmont-

**TI: A petrogenetic grid for pelitic schists in the system SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO-MgO-K<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O.**

AU: Spear-Frank-S; Cheney-J-T

SO: Contributions-to-Mineralogy-and-Petrology. 101. (2). p. 149-164. YR: 1989

DE: metamorphic-rocks; schists-; phase-equilibria; SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO-MgO-K<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O; metapelite-; metasedimentary-rocks; silicon-; aluminum-; metals-; iron-; magnesium-; alkaline-earth-metals; potassium-; alkali-metals; oxygen-; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; biotite-; mica-group; cordierite-; ring-silicates; staurolite-; talc-; kyanite-; andalusite-; sillimanite-; pyrophyllite-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates; muscovite-; K-feldspar; alkali-feldspar; feldspar-group; thermodynamic-properties; geochemistry-; properties-

**TI: Polyphase metamorphism and deformation in the eastern Blue Ridge, NE Georgia.**

AU: McClellan-Elizabeth-A

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 21. (3). p. 49 YR: 1989

DE: Georgia-; petrology-; metamorphism-; Corn-Ridge-Formation; Coweeta-Group; Tallulah-Falls-Quartzite; Southeastern-U.S.; Eastern-U.S.; United-States; northeastern-Georgia; polymetamorphism-; Blue-Ridge-Mountains; tectonostratigraphic-units; mineral-assemblages; overprinting-; folds-; retrograde-metamorphism; metasomatism-; biotite-; mica-group; sheet-silicates; silicates-; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; chlorite-; chlorite-group; muscovite-; sillimanite-; kyanite-; Swallow-Creek-Fault; Chunky-Gal-Mountain-Fault; Shope-Fork-Fault; tectonics-; faults-

**TI: An early Proterozoic P-T(t) path from a metapelite, Black Hills, South Dakota.**

AU: Terry-M-P; Friberg-L-M

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 21. (4). p. 49 YR: 1989

DE: South-Dakota; petrology-; metamorphism-; Harney-Peak-Granite; Proterozoic-; upper-Precambrian; Precambrian-; P-T-conditions; metapelite-;

metasedimentary-rocks; metamorphic-rocks; Midwest-; United-States; Black-Hills; southwestern-South-Dakota; electron-probe-data; inclusions-; zoning-; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; mineral-assemblages; tectonics-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates; staurolite-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; oligoclase-; plagioclase-; feldspar-group; biotite-; mica-group; muscovite-; kyanite-; sillimanite-; intrusions-

**TI: The case for retrograde chlorite in staurolite-garnet-two-mica schist.**

AU: Holdaway-M-J; Geving-R-L; Goodge-J-W; Dickerson-R-P; Dutrow-B-L

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 19. (7). p. 705 YR: 1987

DE: metamorphic-rocks; schists-; mineral-composition; retrograde-metamorphism; metamorphism-; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; sheet-silicates-; mica-group; orthosilicates-; garnet-group; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; sillimanite-; kyanite-; P-T-conditions; Maine-; New-England; Eastern-U.S.; United-States; Nevada-; Western-U.S.; Hampton-Creek; Snake-Range; New-Mexico; Southwestern-U.S.; Picun's-Range

**TI: Toward a solution of the staurolite enigma.**

AU: Dutrow-Barbara-L; Holdaway-M-J

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 19. (7). p. 649 YR: 1987

DE: minerals-; nesosilicates-; staurolite-; orthosilicates-; silicates-; mineral-assemblages; sillimanite-; kyanite-; phase-equilibria; geologic-thermometry; geologic-barometry; experimental-studies; thermodynamic-properties

**TI: Granulite metamorphism, fluid buffering, and dehydration melting in the Madras charnockites and metapelites.**

AU: Bhattacharya-A; Sen-S-K

SO: Journal-of-Petrology. 27. (5). p. 119-1141. YR: 1986

DE: India-; petrology-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; interpretation-; metamorphism-; grade-; granulite-facies; phase-equilibria; P-T-conditions; Madras-; Indian-Peninsula; Asia-; facies-; metacharnockite-; metapelite-; metasedimentary-rocks; high-pressure; geologic-thermometry; geologic-barometry; biotite-; mica-group; sheet-silicates; silicates-; phlogopite-; melting-; dehydration-; thermodynamic-properties; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; sillimanite-

**TI: Metamorphic reactions in the kyanite and sillimanite zones of the Barrovian type area.**

AU: McLellan-Eileen

SO: *Journal-of-Petrology*. 26. (4). p. 789-818. YR: 1985

DE: Scotland-; petrology-; metamorphism-; regional-metamorphism-; P-T-conditions-; metamorphic-rocks-; metasedimentary-rocks-; mineral-assemblages-; inclusions-; mineral-inclusions-; staurolite-; Barrovian-; Tay-Nappe-; Dalradian-; Caledonian-Orogeny-; Grampian-Highlands-; Great-Britain-; United-Kingdom-; Western-Europe-; Europe-; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; sillimanite-; biotite-; mica-group-; sheet-silicates-; muscovite-; garnet-group-; Ben-Lui-Schist-; Pitlochry-Schist-; zoning-; dehydration-; ion-exchange-; geologic-thermometry-; geologic-barometry

**TI: Mineral chemistry and metasomatic growth of aluminous enclaves in gedrite-cordierite-gneiss from southwestern New Hampshire, USA.**

AU: Schumacher-John-C; Robinson-Peter

SO: *Journal-of-Petrology*. 28. (6). p. 1033-1073. YR: 1987

DE: New-Hampshire-; petrology-; metamorphic-rocks-; gneisses-; mineral-assemblages-; phase-equilibria-; interpretation-; P-T-conditions-; metasomatism-; Cheshire-; Ammonoosuc-Volcanics-; Cheshire-County-; Keene-gneiss-dome-; southwestern-New-Hampshire-; New-England-; Eastern-U.S.-; United-States-; Middle-Ordovician-; Ordovician-; Acadian-Phase-; cordierite-; ring-silicates-; silicates-; sillimanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; kyanite-; corundum-; oxides-; staurolite-; sapphirine-; spinel-; gedrite-; orthoamphibole-; amphibole-group-; chain-silicates-; muscovite-; mica-group-; sheet-silicates-; textures-; pressure-

**TI: Pressure, temperature and evolution of fluid compositions of Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>-bearing rocks, Mica Creek, B.C., in light of fluid inclusion data and mineral equilibria.**

AU: Stout-M-Z; Crawford-M-L; Ghent-E-D

SO: *Contributions-to-Mineralogy-and-Petrology*. 92. (2). p. 236-247. YR: 1986

DE: British-Columbia-; petrology-; metamorphic-rocks-; metasedimentary-rocks-; fluid-inclusions-; P-T-conditions-; interpretation-; metapelite-; sillimanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; kyanite-; andalusite-; quartz-; silica-minerals-; framework-silicates-; phase-equilibria-; uplifts-; Western-Canada-;

Canada-; tectonics-; structural-geology-; Mica-Creek-; mineral-composition

**TI: A contribution to the geology of the Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt; Part 2, Mineralogy of the Upper Cretaceous clastics.**

AU: Ismail-M-M; El-Nozahy-F-A; Sadeek-K-N

SO: *GeoJournal*. 19. (2). p. 221-229. YR: 1989

DE: Egypt-; sedimentary-petrology-; sedimentary-rocks-; clastic-rocks-; mineral-composition-; North-Africa-; Africa-; Western-Desert-; Bahariya-Oasis-; Cretaceous-; Upper-Cretaceous-; zircon-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; tourmaline-; ring-silicates-; rutile-; oxides-; staurolite-; kyanite-; sandstone-; siltstone-; claystone-

**TI: Mg- and Cr-rich staurolite and Cr-rich kyanite in high-pressure ultrabasic rocks (Cabo Ortegal, northwestern Spain).**

AU: Gil-Ibarguchi-Jose-I; Mendia-Miren; Girardeau-Jacques

SO: *American-Mineralogist*. 76. (3-4). p. 501-511. YR: 1991

DE: Spain-; geochemistry-; trace-elements-; minerals-; nesosilicates-; staurolite-; kyanite-; metamorphic-rocks-; mineral-assemblages-; phase-equilibria-; crystal-chemistry-; rare-earths-; metamorphism-; temperature-; high-pressure-; P-T-conditions-; chromium-; Iberian-Peninsula-; Southern-Europe-; Europe-; northwestern-Spain-; La-Coruna-Province-; Cabo-Ortegal-; orthosilicates-; silicates-; magnesium-; alkaline-earth-metals-; metals-; substitution-; eclogite-; granulites-; major-elements-; ultramafic-composition

**TI: Rock pressures vs. fluid pressure as a controlling influence on mineral stability; an example from New Mexico.**

AU: Holdaway-M-J; Goodge-J-W

SO: *American-Mineralogist*. 75. (9-10). p. 1043-1058. YR: 1990

DE: New-Mexico-; petrology-; metamorphism-; P-T-conditions-; pressure-; metamorphic-rocks-; mineral-assemblages-; phase-equilibria-; metasedimentary-rocks-; stability-; minerals-; silicates-; Taos-County-New-Mexico-; Ortega-Group-; Rinconada-Formation-; Southwestern-U.S.-; United-States-; north-central-New-Mexico-; Picuris-Range-; fluid-pressure-; quartzites-; schists-; solid-phase-; Proterozoic-; upper-Precambrian-; Precambrian-; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; sillimanite-; andalusite-; chloritoid-; staurolite-; geologic-barometry

**TI: Metamorphism in Alabama; a review.**

AU: Moore-W-B; Steltenpohl-M-G

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 19. (7). p. 777 YR: 1987

DE: Alabama-; petrology-; metamorphism-; Southern-U.S.; United-States; Appalachians-; North-America; Piedmont-; Talladega-Front; Blue-Ridge-Province; Pine-Mountain-Window; Uchee-Belt; isograds-; grade-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; silicates-; sillimanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; staurolite-; kyanite-; mineral-assemblages; Brevard-Fault; Towaliga-Fault; Goat-Rock-Fault; Georgia-; Southeastern-U.S.; Eastern-U.S.; Allegheny-Orogeny; Acadian-Phase; South-Carolina; Silurian-; Devonian-; Carboniferous-

**TI: A petrogenetic grid for pelitic schists in the system SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO-MgO-K<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O.**

AU: Spear-Frank-S; Cheney-J-T

SO: Contributions-to-Mineralogy-and-Petrology. 101. (2). p. 149-164. YR: 1989

DE: metamorphic-rocks; schists-; phase-equilibria; SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO-MgO-K<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O; metapelite-; metasedimentary-rocks; silicon-; aluminum-; metals-; iron-; magnesium-; alkaline-earth-metals; potassium-; alkali-metals; oxygen-; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; biotite-; mica-group; cordierite-; ring-silicates; staurolite-; talc-; kyanite-; andalusite-; sillimanite-; pyrophyllite-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates; muscovite-; K-feldspar; alkali-feldspar; feldspar-group; thermodynamic-properties; geochemistry-; properties-**TI: Tectonothermal evolution of the SW North Carolina Blue Ridge in the Noland Creek-Wayah amphibolite/granulite transition.**

AU: Eckert-James-O Jr

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 21. (3). p. 13-14 YR: 1989

DE: North-Carolina; petrology-; metamorphism-; Southeastern-U.S.; Eastern-U.S.; United-States; Blue-Ridge-Province; Franklin-North-Carolina; Macon-County-North-Carolina; southwestern-North-Carolina; Noland-Creek-Wyah-Transition; granulite-facies; amphibolite-facies; P-T-conditions; burial-metamorphism; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; zoning-; kyanite-; grade-; staurolite-; hornblende-; clinoamphibole-; amphibole-group; chain-silicates; Taconic-Orogeny; pelitic-texture; geothermal-gradient; tectonics-; regional-metamorphism

**TI: An early Proterozoic P-T(t) path from a metapelite, Black Hills, South Dakota.**

AU: Terry-M-P; Friberg-L-M

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 21. (4). p. 49 YR: 1989

DE: South-Dakota; petrology-; metamorphism-; Harney-Peak-Granite; Proterozoic-; upper-Precambrian; Precambrian-; P-T-conditions; metapelite-; metasedimentary-rocks; metamorphic-rocks; Midwest-; United-States; Black-Hills; southwestern-South-Dakota; electron-probe-data; inclusions-; zoning-; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; mineral-assemblages; tectonics-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates; staurolite-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; oligoclase-; plagioclase-; feldspar-group; biotite-; mica-group; muscovite-; kyanite-; sillimanite-; intrusions-

**TI: Variation in metamorphic temperature and pressure within the Baltimore gneiss terrane, Maryland.**

AU: Lang-Helen-M

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 20. (1). p. 31 YR: 1988

DE: Maryland-; petrology-; metamorphism-; Baltimore-Gneiss; terranes-; Eastern-U.S.; United-States; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; P-T-conditions; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; kyanite-; sillimanite-; zoning-; nappes-; geologic-thermometry; geologic-barometry; metapelite-; metasedimentary-rocks

**TI: Experimental studies on metamorphism of crustal rocks under mantle pressures.**

AU: Schreyer-Werner

SO: Mineralogical-Magazine. 52 (Part 1). (364). p. 1-26. YR: 1988

DE: metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; metapelite-; phase-equilibria; silicates-; MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O; metamorphism-; P-T-conditions; experimental-studies; mineral-assemblages; geologic-thermometry; geologic-barometry; sudoite-; chlorite-group; sheet-silicates; chloritoid-; nesosilicates-; orthosilicates-; yoderite-; staurolite-; pumpellyite-; sorosilicates-; ellenbergite-; talc-; phengite-; mica-group; kyanite-; pyrope-; garnet-group; carpholite-; chain-silicates; chlorite-; K-feldspar; alkali-feldspar; feldspar-group; framework-silicates; mantle-; crust-; partial-melting**TI: The case for retrograde chlorite in staurolite-garnet-two-mica schist.**

AU: Holdaway-M-J; Geving-R-L; Goodge-J-W; Dickerson-R-P; Dutrow-B-L

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 19. (7). p. 705 YR: 1987

DE: metamorphic-rocks; schists-; mineral-composition; retrograde-metamorphism; metamorphism-; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; sheet-silicates-; mica-group; orthosilicates,-garnet-group; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; sillimanite-; kyanite-; P-T-conditions; Maine-; New-England; Eastern-U.S.; United-States; Nevada-; Western-U.S.; Hampton-Creek; Snake-Range; New-Mexico; Southwestern-U.S.; Picun's-Range

**TI: Kyanite-staurolite-biotite-garnet in pelitic schists; extra components and implications for buffering of fluid.**

AU: Giaramita-M-J; Day-Howard-W

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 19. (7). p. 675 YR: 1987

DE: metamorphic-rocks; schists-; mineral-assemblages; mineral-composition; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; staurolite-; biotite-; mica-group; sheet-silicates; orthosilicates,-garnet-group; isograds-; amphibolite-facies; KFMASH-; data-processing; Fortran-; computer-programs; phase-equilibria; buffers-

**TI: Alleghanian strain partitioning in the Southern Appalachians, Virginia.**

AU: Gates-A

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 20. (4). p. 266 YR: 1988

DE: Virginia-; structural-geology; deformation-; Allegheny-Mountains; strain-; Appalachians-; North-America; Southeastern-U.S.; Eastern-U.S.; United-States; shear-; faults-; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; kyanite-; greenschist-; schists-; Bowens-Creek; Carboniferous-; Permian-; Paleozoic-

**TI: Conditions in the metamorphic transition from the staurolite-kyanite zone to the hornblende granulite facies core near Franklin, North Carolina; petrologic evidence for a continuous Paleozoic progression.**

AU: Eckert-J; Mohr-D

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 20. (4). p. 262 YR: 1988

DE: North-Carolina; petrology-; metamorphism-; metamorphic-processes; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; minerals-; kyanite-; hornblende-; clinoamphibole-; amphibole-group; chain-silicates; granulites-; Franklin-; Southeastern-U.S.; Eastern-U.S.; United-States; Paleozoic-; mineral-

composition; transition-zone; plate-tectonics; Hayesville-fault; faults-; P-T-conditions

**TI: Evidence from garnet zoning for over-thrusting in the eastern Maryland Piedmont.**

AU: Lang-Helen-M

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 19. (1). p. 24 YR: 1987

DE: Maryland-; petrology-; metamorphic-rocks; Baltimore-Gneiss; Eastern-U.S.; United-States; eastern-Maryland; Piedmont-; Phoenix-Nappe; thrust-faults; faults-; mineral-assemblages; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; Hunt-Valley-Mall; biotite-; mica-group; sheet-silicates; staurolite-; kyanite-; sillimanite-

**TI: Pressure, temperature, and structural evolution of the Orfordville Belt, west-central New Hampshire.**

AU: Spear-Frank-S; Rumble-Douglas III

SO: Journal-of-Petrology. 27. (5). p. 1071-1093. YR: 1986

DE: New-Hampshire; petrology-; metamorphism-; P-T-conditions; interpretation-; metamorphic-rocks; amphibolites-; mineral-assemblages; phase-equilibria; inclusions-; mineral-inclusions; garnet-group; paragenesis-; Littleton-Formation; Partridge-Formation; Bethlehem-Gneiss; Ammonoosuc-Volcanics; Alber-Formation; Oliverian-Gneiss; Orfordville-Belt; west-central-New-Hampshire; New-England; Eastern-U.S.; United-States; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; kyanite-; staurolite-; cooling-; deformation-; geologic-thermometry; geologic-barometry; Mount-Cube-Quadrangle; Hanover-Quadrangle; Paleozoic-; plagioclase-; feldspar-group; framework-silicates; zoning-; foliation-

**TI: Regression modelling of metamorphic reactions in metapelites, Snow Peak, northern Idaho.**

AU: Lang-Helen-M; Rice-Jack-M

SO: Journal-of-Petrology. 26. (4). p. 857-887. YR: 1985

DE: Idaho-; petrology-; metamorphism-; regional-metamorphism; P-T-conditions; metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; metapelite-; Clearwater-; Shoshone-; Belt-Supergroup; Prichard-Formation; Wallace-Formation; Snow-Peak; northern-Idaho; Idaho-Batholith; Clearwater-County; Shoshone-County; Western-U.S.; United-States; mineral-assemblages; chlorite-group; sheet-silicates; silicates-; biotite-; mica-group; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; kyanite-; staurolite-; zoning-; prograde-metamorphism;

ilmeneite-; oxides-; statistical-analysis; models-; dehydration-; Bathub-Mountain

**TI: Metamorphic reactions in the kyanite and sillimanite zones of the Barrovian type area.**

AU: McLellan-Eileen

SO: *Journal-of-Petrology*. 26. (4). p. 789-818. YR: 1985

DE: Scotland-; petrology-; metamorphism-; regional-metamorphism-; P-T-conditions; metamorphic-rocks; metasedimentary-rocks; mineral-assemblages; inclusions-; mineral-inclusions; staurolite-; Barrovian-; Tay-Nappe; Dalradian-; Caledonian-Orogeny; Grampian-Highlands; Great-Britain; United-Kingdom; Western-Europe; Europe-; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; sillimanite-; biotite-; mica-group; sheet-silicates; muscovite-; garnet-group; Ben-Lui-Schist; Pitlochry-Schist; zoning-; dehydration-; ion-exchange; geologic-thermometry; geologic-barometry

**TI: Mineral chemistry and metasomatic growth of aluminous enclaves in gedrite-cordierite-gneiss from southwestern New Hampshire, USA.**

AU: Schumacher-John-C; Robinson-Peter

SO: *Journal-of-Petrology*. 28. (6). p. 1033-1073. YR: 1987

DE: New-Hampshire; petrology-; metamorphic-rocks; gneisses-; mineral-assemblages; phase-equilibria; interpretation-; P-T-conditions; metasomatism-; Cheshire; Ammonoosuc-Volcanics; Cheshire-County; Keene-gneiss-dome; southwestern-New-Hampshire; New-England; Eastern-U.S.; United-States; Middle-Ordovician; Ordovician-; Acadian-Phase; cordierite-; ring-silicates; silicates-; sillimanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; kyanite-; corundum-; oxides-; staurolite-; sapphirine-; spinel-; gedrite-; orthoamphibole-; amphibole-group; chain-silicates; muscovite-; mica-group; sheet-silicates; textures-; pressure-

**TI: Petrology of a Georgia Blue Ridge amphibolite unit with hornblende + gedrite + kyanite + staurolite.**

AU: Helms-Thomas-S; McSween-Harry-Y Jr; Labotka-Theodore-C; Jarosewich-Eugene

SO: *American-Mineralogist*. 72. (11-12). p. 1086-1096. YR: 1987

DE: phase-equilibria; amphibolites-; P-T-conditions; metamorphism-; amphibolite-facies; metamorphic-rocks; facies-; Georgia-; petrology-; Rabun-; Laurel-Creek-Complex; Southeastern-U.S.; Eastern-U.S.; United-States; northeastern-Georgia; Blue-Ridge-

Mountains; Rabun-County; Southern-Appalachians; Appalachians-; stability-; electron-probe-data; grade-; mineral-assemblages

**TI: Heat capacities and entropies of sillimanite, fibrolite, andalusite, kyanite, and quartz and the Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> phase diagram.**

AU: Hemingway-Bruce-S; Robie-Richard-A; Evans-Howard-T Jr; Kerrick-Derrill-M

SO: *American-Mineralogist*. 76. (9-10). p. 1597-1613. YR: 1991

DE: geochemistry-; properties-; thermodynamic-properties; phase-equilibria; aluminosilicates-; experimental-studies; minerals-; nesosilicates-; sillimanite-; andalusite-; kyanite-; framework-silicates; silica-minerals; quartz-; crystal-growth; entropy-; heat-capacity; equations-; low-temperature; mineral-data; silicates-; orthosilicates-; polymorphism-; Montana-; Western-U.S.; United-States; framework-silicates-; silica-minerals; natural-materials; crystal-structure

**TI: Static lattice energy minimization and lattice dynamics calculations on aluminosilicate minerals.**

AU: Winkler-Bjorn; Dove-Martin-T; Leslie-Maurice

SO: *American-Mineralogist*. 76. (3-4). p. 313-331. YR: 1991

DE: minerals-; aluminosilicates-; crystal-structure; lattice-; crystallography-; theoretical-studies; silicates-; energy-; crystal-field; thermodynamic-properties; coordination-; order-disorder; polymorphism-; static-lattice-energy; harmonic-lattice-dynamics; numerical-models; models-; andalusite-; nesosilicates-; orthosilicates-; sillimanite-; kyanite-; diopside-; clinopyroxene-; pyroxene-group; chain-silicates; cordierite-; ring-silicates; gehlenite-; melilite-group; sorosilicates-; leucite-; framework-silicates; orthoZOisite-; grossular-; garnet-group; pyrope-

**TI: Exhumed lower crust in NW Ireland, and a model for crustal conductivity.**

AU: Sanders-I-S

SO: *Journal-of-the-Geological-Society-of-London*. 148 (Part 1). p. 131-135. YR: 1991

DE: Ireland-; petrology-; metamorphism-; retrograde-metamorphism; models-; Western-Europe; Europe-; northwestern-Ireland; crust-; gneisses-; granulite-facies; Ox-Mountains; imbricate-tectonics; Highland-Boundary-Fault; Clew-Bay; terranes-; decompression-; sillimanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; kyanite-; cooling-; continental-crust; shear-zones; hydration-; amphibolite-facies; saturation-; halite-; chlorides-; halides-; precipitation-; electrical-conductivity; tectonophysics-; cratonization-; Sliswood-; temperature-

**TI: Rock pressures vs. fluid pressure as a controlling influence on mineral stability; an example from New Mexico.**

AU: Holdaway-M-J; Goodge-J-W

SO: American-Mineralogist. 75. (9-10). p. 1043-1058. YR: 1990

DE: New-Mexico; petrology-; metamorphism-; P-T-conditions; pressure-; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; phase-equilibria; metasedimentary-rocks; stability-; minerals-; silicates-; Taos-County-New-Mexico; Ortega-Group; Rinconada-Formation; Southwestern-U.S.; United-States; north-central-New-Mexico; Picuris-Range; fluid-pressure; quartzites-; schists-; solid-phase; Proterozoic-; upper-Precambrian; Precambrian-; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; sillimanite-; andalusite-; chloritoid-; staurolite-; geologic-barometry

**TI: Alumino-silicate minerals; refractories steel the show.**

AU: McMichael-Bruce

SO: Industrial-Minerals. 277. p. 27, 29-30, 32, 35, 37-38, 41, 43 YR: 1990

DE: ceramic-materials; production-; refractory-materials; aluminosilicates-; silicates-; andalusite-; nesosilicates-; orthosilicates-; South-Africa; Southern-Africa; Africa-; France-; Western-Europe; Europe-; kyanite-; mullite-; markets-; sillimanite-; synthetic-materials; India-; Indian-Peninsula; Asia-; China-; Far-East; Virginia-; Southeastern-U.S.; Eastern-U.S.; United-States; Australia-; Australasia-; Brazil-; South-America; Sweden-; Scandinavia-

**TI: Metabasites; an indicator of late Archean geologic history in the Tobacco Root Mountains, Madison County, Montana.**

AU: Hess-David-F; Vitaliano-Charles-J

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 22. (5). p. 13 YR: 1990

DE: Montana-; petrology-; metamorphic-rocks; metaigneous-rocks; metabasite-; Madison-County-Montana; Tobacco-Root-Mountains; Western-U.S.; United-States; Archean-; Precambrian-; environmental-analysis; nappes-; ultramafics-; arcuate-faults; faults-; clinopyroxene-; pyroxene-group; chain-silicates; silicates-; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; sillimanite-; garnet-group; hornblende-; clinoamphibole-; amphibole-group; plagioclase-; feldspar-group; framework-silicates; quartz-; silica-minerals; P-T-conditions; aluminosilicates-; mafic-composition; southwestern-Montana

**TI: Calculated mineral equilibria in the pelite system, KFMASH (K<sub>2</sub>O-FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O).**

AU: Powell-Roger; Holland-Tim

SO: American-Mineralogist. 75. (3-4). p. 367-380. YR: 1990

DE: phase-equilibria; theoretical-studies; K<sub>2</sub>O-FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O; metamorphic-rocks; mineral-assemblages; metamorphism-; P-T-conditions; coexisting-minerals; minerals-; silicates-; aluminosilicates-; KFMASH-; thermodynamic-properties; pelitic-texture; metasedimentary-rocks; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; chloritoid-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; biotite-; mica-group; cordierite-; ring-silicates; garnet-group; andalusite-; sillimanite-; kyanite-; muscovite-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates

**TI: Large andalusite crystals from Campbell County, Virginia; their alteration to kyanite and sillimanite and their other associated minerals.**

AU: Mitchell-Richard-S; Giannini-William-F; Penick-D-Allen Jr

SO: Rocks-and-Minerals. 63. (6). p. 446-453. YR: 1988

DE: Virginia-; mineralogy-; nesosilicates-; minerals-; andalusite-; Campbell-County-Virginia; Southeastern-U.S.; Eastern-U.S.; United-States; orthosilicates-; silicates-; kyanite-; sillimanite-; crystal-form; Altavista-; Lynch-Station; paramorphs-; alteration-; popular-geology; collecting-; Piedmont-

**TI: A petrogenetic grid for pelitic schists in the system SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO-MgO-K<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O.**

AU: Spear-Frank-S; Cheney-J-T

SO: Contributions-to-Mineralogy-and-Petrology. 101. (2). p. 149-164. YR: 1989

DE: metamorphic-rocks; schists-; phase-equilibria; SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO-MgO-K<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O; metapelite-; metasedimentary-rocks; silicon-; aluminum-; metals-; iron-; magnesium-; alkaline-earth-metals; potassium-; alkali-metals; oxygen-; garnet-group; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; chlorite-; chlorite-group; sheet-silicates; biotite-; mica-group; cordierite-; ring-silicates; staurolite-; talc-; kyanite-; andalusite-; sillimanite-; pyrophyllite-; quartz-; silica-minerals; framework-silicates; muscovite-; K-feldspar; alkali-feldspar; feldspar-group; thermodynamic-properties; geochemistry-; properties-

**TI: Polyphase metamorphism and deformation in the eastern Blue Ridge, NE Georgia.**



AU: McClellan-Elizabeth-A

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 21. (3). p. 49

YR: 1989

DE: Georgia-; petrology-; metamorphism-; Corn-Ridge-Formation-; Coweeta-Group-; Tallulah-Falls-Quartzite-; Southeastern-U.S.-; Eastern-U.S.-; United-States-; northeastern-Georgia-; polymetamorphism-; Blue-Ridge-Mountains-; tectonostratigraphic-units-; mineral-assemblages-; overprinting-; folds-; retrograde-metamorphism-; metasomatism-; biotite-; mica-group-; sheet-silicates-; silicates-; garnet-group-; nesosilicates-; orthosilicates-; chlorite-; chlorite-group-; muscovite-; sillimanite-; kyanite-; Swallow-Creek-Fault-; Chunky-Gal-Mountain-Fault-; Shope-Fork-Fault-; tectonics-; faults-

**TI: UV to NIR spectra of silicate minerals obtained by microscope spectrometry and their use in mineral thermodynamics and kinetics.**

AU: Langer-K

SO: Mathematical-and-Physical-Sciences. 225. p. 639-685. YR: 1987

DE: geophysics-; experimental-studies-; kinetics-; spectra-; silicates-; thermodynamic-properties-; crystals-; equations-; entropy-; garnet-group-; nesosilicates-; orthosilicates-; enthalpy-; kyanite-; sillimanite-; andalusite-

**TI: The case for retrograde chlorite in staurolite-garnet-two-mica schist.**

AU: Holdaway-M-J; Geving-R-L; Goodge-J-W; Dickerson-R-P; Dutrow-B-L

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 19. (7). p. 705 YR: 1987

DE: metamorphic-rocks-; schists-; mineral-composition-; retrograde-metamorphism-; metamorphism-; staurolite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; sheet-silicates-; mica-group-; orthosilicates-; garnet-group-; chlorite-; chlorite-group-; sheet-silicates-; sillimanite-; kyanite-; P-T-conditions-; Maine-; New-England-; Eastern-U.S.-; United-States-; Nevada-; Western-U.S.-; Hampton-Creek-; Snake-Range-; New-Mexico-; Southwestern-U.S.-; Picun's-Range

**TI: Pressure-temperature and evolution of fluid compositions of Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>-bearing rocks, Mica Creek, British Columbia, in light of fluid inclusion data and mineral equilibria.**

AU: Stout-M-Z; Crawford-M-L; Ghent-E-D

SO: Mathematical-and-Physical-Sciences. 218. p. 758 YR: 1987

DE: British-Columbia-; petrology-; fluid-inclusions-; P-T-conditions-; schists-; Western-Canada-; Canada-;

evolution-; Mica-Creek-; pelitic-texture-; sillimanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; kyanite-; fibrolite-; andalusite-; quartz-; silica-minerals-; framework-silicates-; mineral-composition-; density-; composition-; gases-; carbon-dioxide-; methane-; hydrocarbons-; organic-materials

**TI: Mineral chemistry and metasomatic growth of aluminous enclaves in gedrite-cordierite-gneiss from southwestern New Hampshire, USA.**

AU: Schumacher-John-C; Robinson-Peter

SO: Journal-of-Petrology. 28. (6). p. 1033-1073. YR: 1987

DE: New-Hampshire-; petrology-; metamorphic-rocks-; gneisses-; mineral-assemblages-; phase-equilibria-; interpretation-; P-T-conditions-; metasomatism-; Cheshire-; Ammonoosuc-Volcanics-; Cheshire-County-; Keene-gneiss-dome-; southwestern-New-Hampshire-; New-England-; Eastern-U.S.-; United-States-; Middle-Ordovician-; Ordovician-; Acadian-Phase-; cordierite-; ring-silicates-; silicates-; sillimanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; kyanite-; corundum-; oxides-; staurolite-; sapphirine-; spinel-; gedrite-; orthoamphibole-; amphibole-group-; chain-silicates-; muscovite-; mica-group-; sheet-silicates-; textures-; pressure-

**TI: Kyanite in the mainland Lewisian complex.**

AU: Barnicoat-A-C; Cartwright-I; O'Hara-M-J

SO: Scottish-Journal-of-Geology. 23 (Part 2). p. 209-213. YR: 1987

DE: Scotland-; petrology-; metamorphism-; P-T-conditions-; kyanite-; minerals-; nesosilicates-; Great-Britain-; United-Kingdom-; Western-Europe-; Europe-; Lewisian-; Precambrian-; orthosilicates-; silicates-; Badcallian-; northwestern-Scotland-; sillimanite-; Achiltibuie-; Drumbeg-; Scourie-; Saint-Stoer-; Badcall-

**TI: Araguaia-Tocantins fold belt, Brazil; a Brasiliano-Panafrican cycle (600Ma) reactivated geosuture.**

AU: Hasui-Y; Herz-N; Matta-M-A

SO: Abstracts-with-Programs-Geological-Society-of-America. 18. (6). p. 630-631 YR: 1986

DE: Brazil-; petrology-; metamorphism-; Araquaiia-Tocantins-Fold-belt-; fold-belts-; South-America-; suture-zones-; Paleozoic-; Parnaiba-Basin-; Brazilian-Cycle-; grade-; cratons-; Amazonian-Craton-; Jequie-Cycle-; Transamazonian-Cycle-; granites-; Goias-; Baixo-Araquaiia-Supergroup-; amphibolites-; schists-; phyllites-; metalimestone-; metasedimentary-rocks-; Colmeia-Complex-; kyanite-; nesosilicates-; orthosilicates-; silicates-; sillimanite-

## Özler / Abstracts

J.D.A. Piper, Joanna M. Moore, O. Tatar, H. Gursoy and R.G. Park, 1996, *Paleomagnetic study of crustal deformation across an intracontinental transform: the North Anatolian Fault Zone in North Turkey*: Geol. Soci. Special Publ., 105, 299-310.

**Abstract:** Eocene volcanic rocks spanning the North Anatolian Fault Zone in north central Turkey have a common reversed polarity and appear to record a short term volcanic episode useful for identifying subsequent tectonic rotations. Although regional differences are present, no distributed clockwise rotation caused by dextral motion across the fault zone since mid-Miocene times are found. Instead variable anticlockwise block rotation demonstrated that this fault system does not obey theoretical models for crustal behaviour across continental transforms. Deformation is found to be highly inhomogeneous with a narrow zone of intense clockwise rotation recognised within blocks bounded by strike-slip fault above, and parallel to, the fundamental lineament. Further from the lineament no systematic rotations with respect to the major bounding plates are detected. A zone of c. 30° anticlockwise rotation in the east may be either a consequence of emplacement of the Pontides or an ongoing consequence of continental collision. Slightly larger rotation south of the fault probably record block rotation south into Anatolian as this region is being extruded westwards by continuing impingement of Afro-Arabia into the Eurasian Plate.

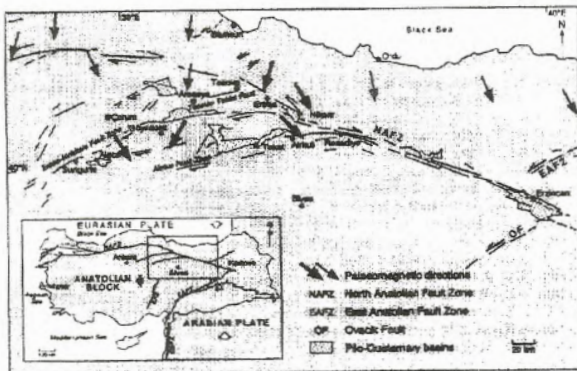


Fig. 1. The major tectonic divisions and distribution of major lineaments in Anatolia and adjacent regions. The large open arrows show relative motions of the plates and the smaller half arrows are directions of movement on major strike-slip faults.

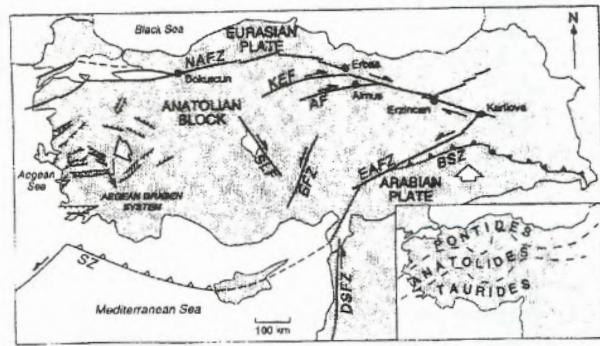


Fig. 2. Distribution of paleomagnetic sampling sites of this study in the central part of the North Anatolian Fault Zone; the distribution of major faults in this region is also shown. The locations of previous paleomagnetic studies shown by the stars are referred to in the text. The inset shows the regional location within the tectonic framework of the Eastern Mediterranean.

Bora Rojay, 1995, *Post-Triassic Evolution Of Central Pontides: Evidence from Amasya Region, Northern Anatolia*: Geologica Romana, 31, 329-350.

**Abstract:** The central Pontides is an orogenic belt evolved since Triassic by the progressive closure of Paleo- and Neo-Tethys ocean, which is bounded by the Izmir-Ankara-Erzincan Suture (Northern Neotethyan Suture) from the south.

The post-Triassic Neo-Tethyan evolution in Amasya region started with Liassic transgression on the rifted pre-Liassic basement rocks. Later, the initial rifting failed and the platform was uplifted. The Uplifted platform turned into an open-marine depositional realm as recorded by the deposition of Callovian Ammonitico Rosso facies. The open-marine to deep sea deposition period was followed by a regressive platform carbonate deposition during Cenomanian deep-sea pelagics and turbidites. The passive margin was already destructed and turned into an active continental margin as a result of northward subduction of northern branch of the Neo-Tethyan oceanic crust during post-Cenomanian - pre-Campanian interval. Thermal doming beneath the future magmatic arc to the north and tectonic transportation of mobile accretionary prism towards south, resulted in the development of constructive forearc basin during mid Campanian-Maestrichtian. Ongoing emergence in the Amasya region and the cumulative amalgamation of the accretionary prism were followed by a newly arising extensional regime during Lutetian. The retrocharriage of accreted melange onto Lutetian peripheral passive rift basin units from

south to north, was followed by the dacitic intrusion which were probably the result of thickening of continental crust in the region. The entire region emerged under the control of a N-S directed compressional contractional regime until the initiation of compressional-extensional tectonic regime (North Anatolian Fault System).

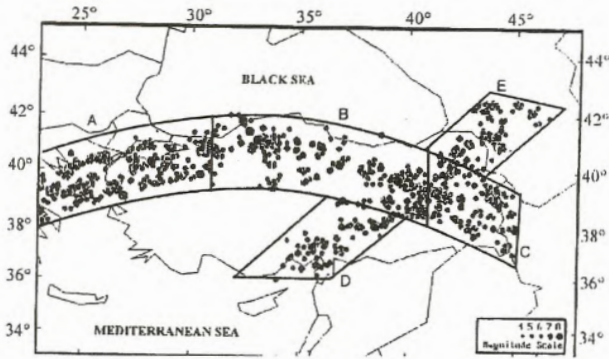


Fig. 2. Simplified tectonostratigraphic columnar section of the Amasya Region. NAOM, North Anatolian Ophiolitic Melange, DC, Devecidag Complex (Modified from Rajoy, 1993).

Ali Osman Öncel, Ian Main, Ömer Alptekin, Patience Cowie, 1996, *Spatial variations of the fractal properties of seismicity in the Anatolian fault zones: Tectonophysics*, 257, 189-202.

**Abstract:** The Anatolian fault zones are seismically active strike-slip fault zones transcending the Anatolian plate in E-W and N-S directions. We investigate the spatial variations of seismicity along these zones in an attempt to investigate fault complexity along strike, quantified by the Gutenberg-Richter b-value and the fractal (correlation) dimension of earthquake epicentres, using the maximum likelihood method and the correlation integral, respectively. The investigation covers instrumentally recorded earthquakes of magnitude  $M > 4.5$  occurring between 1900 and 1992. We find systematic spatial variations which may be related to structural or mechanical variability along strike. In particular the large change in strike at the northern apex of the North Anatolian Fault Zone is associated with the highest correlation dimension and lowest b-value for seismicity this century. The correlation dimension and b-value show a negative correlation with respect to each other, similar to results reported in other regional studies of Japan and southern California. This statistical correlation is stronger when more objective seismic zoning is carried out (based on number of events) rather

than more subjective seismotectonic zoning in common use in seismic hazard analysis.

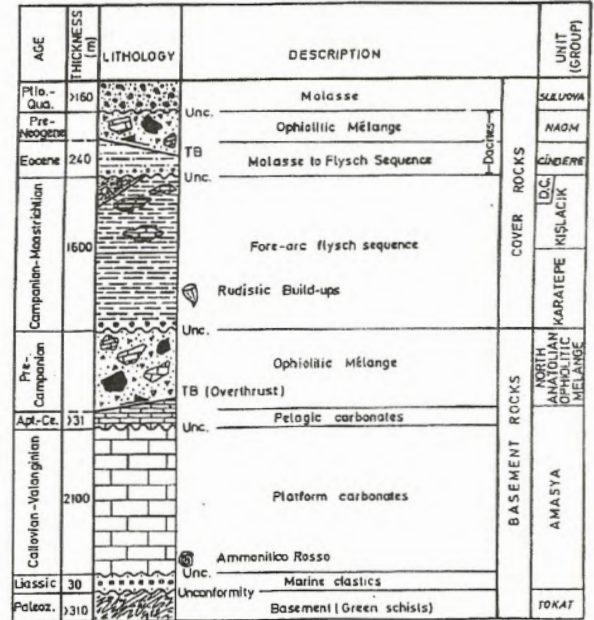


Fig. 2. Map showing the epicentre distribution of earthquakes which occurred between 1900 and 1992 in Turkey. The data are split into five seismotectonic zones, labelled A-E. Justification for this structural zoning are given in the main text, section 3.

## Sempozyum, Seminer, Konferans

### GEOENV '97 ULUSLARARASI JEOLJİ VE ÇEVRE SEMPOZYUMU 1-5 EYLÜL 1997, İSTANBUL

Türkiye Mühendislik ve Mimarlık Odaları Birliği Jeoloji Mühendisliği Odası, 50. Jeoloji Kongresi 'ni 1-5 Eylül 1997 tarihleri arasında İstanbul 'da Uluslararası Jeoloji ve Çevre Sempozyumu kapsamında yapacaktır. Sempozyum Cumhurbaşkanı Sayın Süleyman Demirel tarafından başlatılacaktır.

İkinci Duyuru sempozyum programı, sosyal aktiviteler, teknik geziler ve sempozyum sonrası kısa seyahatleri kapsayan bilgileri içermektedir.

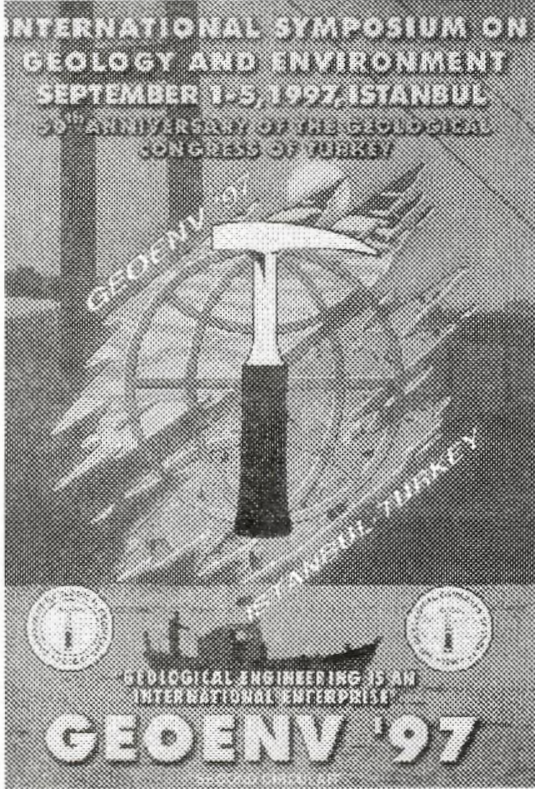
Sempozyum etkinlikleri ile ilgili detay bilgiler Sempozyum Sekreterleri İ.Yılmaz ve C. Saraç'tan temin edilebilir.

**İ. Yılmaz ve C.Saraç Sempozyum Sekreterleri**

Bayındır Sok. 7/1 Yenişehir 06410, Ankara

Tel : 435 07 17 Fax : 434 23 88

e-mail: tmmobj-o@servis2.net.tr



Sempozyumun resmi dili İNGİLİZCE 'dir.

Sempozyum bildiri ve poster sunumu şeklinde organize edilecektir. Sempozyuma katılmak isteyenler anabашlıklar altında verilen adreslere bildiri özlerini ve özgeçmişlerini gönderebilirler. Kabul edilen bildirimler tüm metin halinde özel beş ayrı sette yayınlanacak ve **Science Citation Index** 'de bildiri özleri olarak yer alacaktır.

Sempozyumda ele alınacak anabашlıklar ve içerikleri aşağıda verilmektedir.

**1. ÇEVRESEL JEOLJİ, JEOFİZİK VE JEOKİMYA**

**1.1. Çevresel Jeoloji**

**R.L. Brenner**

Department of Geology, The University of Iowa, Iowa City, Iowa, 52242, USA

Tel : 1-319-355-1818 Fax : 1-319-355-1821

İnsanoğlunun varlığı doğal kaynaklara bağlıdır. Deprem, sel, fırtına, volkanik etkiler ve yer kaymaları gibi jeolojik süreçler doğal felaketlerdir. Felakete yol açan jeolojik süreçlerinin etkilerinin hafifletilmesi ve doğal kaynakların araştırılması, üretimi, taşınması ve doğal kaynakların tüketimi konularında görüşlere yer verilecektir.

**1.2. Çevresel Jeofizik**

**M.Meju**

Department of Geology, University of Leicester, Leicester LE1 7RH, UK.

Tel : 44-116-252-3628 Fax : 44-116-252-3918

Yüzey, kuyu ve jeofizik tekniklerinin uygulamaları ile çevresel problemler üzerinde yoğunlaşmıştır. Doğal kirlilikler ve atık depolama alanlarının araştırılması ve yeraltı suyu kaynakları ve akiferlerin tesbiti, yeraltı suyunun haritalanması gibi alt konu başlıklarını içermektedir.

**1.3. Çevresel Jeokimya**

**A.Kılıç**

Department of Geology, University of Cincinnati, Cincinnati, Ohio, 45221-0013, USA

Tel: 1-513-556-3732 Fax: 1-513-556-6931

Çevresel jeokimya geniş bir yelpaze içinde kimyasal süreçlerin etkilendiği çevre ile ilgilenmektedir. Jeokimyasal modelleme, izotop jeokimyası, jeomikrobiyoloji, volkanik gazın çevre etkisinin jeokimyasal ve organik jeokimya ve paleoçevre konuları yer almaktadır. Bununla birlikte, iki yeni başlık ise, "21. yüzyılda çevresel jeokimya eğitimi" ve "Çevresel düzenlemesinde jeokimyasal boyutlar" konularındaki görüşler çevresel jeokimya bölümüne ilave edilmiştir.

**1.4. Su-Kayaç Etkileşimi**

**U.Dogan**

Department of Geological Engineering, Ankara University, 06100, Ankara, TURKEY or Department of Geology, The University of Iowa, Iowa City, Iowa, 52242, USA

Tel: 90-312-235-2979 Fax: 90-312-235-2979 1-319-335-1821

Su-kayaç etkileşimi oldukça düşük sıcaklıklardaki sularda, sıvı ve mineral etkileşimi şeklindedir. Jeologlar, organik ve inorganik jeokimyacılar, kimyacılar, hidrojeologlar, toprak bilimciler, kil mineralojistleri, elektron mikroskop çalışanlar ve diğer bilim dallarıyla ilgilenenler karmaşık ve birçok bileşenli reaksiyonlarda kütle transferi, reaksiyon kinetiği, katı çözelti arayüzey kimyası, hidrotermal akış reaksiyonu, diyajenetik reaksiyonlar ve su-kayaç veya

sıvı mineral etkileşimi konularında görüşler belirtecektir.

### 1.5. Uzaktan Algılama ve Çevre

#### A. Sesören

İstanbul Mühendislik Ltd. 2. Arsu Apt. 7/35, Akatlar 80630, İstanbul, TURKEY.

Tel: 90-212-275-5549 Fax: 90-212-257-1369

Üç ana konu başlığı sunulacaktır.

#### 1. Haritalama

- deniz kıyısı, sahil, göl, akarsu, gölet alanları,
- orman, otlak, çalılık gibi yeşil bitki örtüsü,
- ekilebilir alanlar, dağlık bölgeler, bataklıklar,
- endüstriyel bölgeler ve
- diğerleri

#### 2. Çevresel sorunların belirlenmesi,

- deniz, göl, akarsu, hava kirliliği
- erozyon, sel, toprak kaymaları gibi doğal afetler,
- kanuna aykırı inşaatların belirlenmesi,

#### 3. Çevresel zenginliklerin devamlı kontrolü

- çevresel zenginliklerin devamlı kontrol gerekmeden korunamaması,
- Yer yüzü doğası ve insanlar tarafından oluşturulan yapılar hakkında bilgi sağlamak amacı ile sürekli kontrollerin uzaktan algılama yöntemi ile elde edilmesi.

## 2. ÇEVRESEL BİLİM VE TEKNOLOJİ

### 2.1. Mühendislik Jeolojisi ve Çevre

#### E. Yüzer

Department of Geological Engineering, Mining Faculty, İstanbul Technical University Ayazağa, İstanbul, 80626, TURKEY

Tel: 90-212-285-6146 Fax: 90-212-285-6146

"Çevre Mühendisliği" terimi 1970 'li yılların başında ortaya çıkmış ve mühendislik eğitim programında son yıllarda yer almıştır. "Mühendislik ve Çevre" yerkabuğundan, tıp bilimine kadar birçok alanla ilişkilidir. Mühendislik planları, kavramları, dizaynı ve uygulamalı konularda çalışanlar bu alt başlıkta değerlendirilecektir. Konular şu başlıklarda yoğunlaşmaktadır.

- Çeşitli metod ve uygulamalar,
- Mühendislik ve çevre konularında öneriler,
- Mühendislik ve çevre uygulamalarında ilerlemenin sağlanması,
- Bilim adamları, teknikerler ve endüstride çalışanlar arasında ilişkilerin sağlanması.

### 2.2. Kent Jeolojisi ve Çevre Planlaması

#### P. Marinos

Faculty of Civil Engineering, Geotechnical Department, National Technical University of Athens, 106 82 Athens, GREECE

Tel: 30-1-3813-900 Fax: 30-1-3813-900

Jeoloji, kent planlaması ve dizaynında önemli rol oynamaktadır. Yerleşim yerlerine duyulan ihtiyacın artması, yerleşim yeri seçiminde farklı alanların kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Erozyon, yer kayması, heyelan, sel baskını ve deprem gibi doğal yer hareketleri, yerleşim yerleri seçiminde göz önüne alınması gereken durumlardır. Problem kentleşmenin gelişimi ile ilişkilidir. Kentleşmenin gelişimi için detay haritalamalar ve özel teknikler gerekmektedir. Yeraltı suyunun yerleşim yerleri üzerinde ve şehirlerin yeraltı suyu üzerindeki etkisi değişkendir. Bugün yapılan çalışmalarla şehirlerin ve çevresinin haritalanması jeologlar tarafından yapmakta ve çevre planlığına katkıda bulunmaktadır.

### 2.3. Doğal Enerji ve Çevre

#### M. Hayashi

Kyushu Sangyo University, 1-2-3 Matsugadai, Fukuoka 813, JAPAN

Tel: 81-92-673-5883 Fax: 81-92-673-5899

Bu bölüm doğal enerji kaynaklarının ve çevrenin incelenmesi, gelişimi ve üretimi ile ilgilidir. Ana tema, jeotermal enerjinin bilimsel ve teknolojik problemleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ancak fosil yakıtlar, rüzgar etkisi, gel-git gücü, dalga-enerjisi, okyanus-termal enerjisi, güneş enerjisi, su gücü konuları da bu bölüm altında ele alınacaktır.

### 2.4. Madencilik ve Çevre

#### A.D. Paktunç

Mineral Science Laboratories, Canada Centre for Mineral and Energy Technology, 555 Booth Street, Ottawa K1A 0G1, CANADA

Tel: 1-613-947-7061 Fax: 1-613-996-9673

Bu konu başlığı altında, madencilik ve çevredeki yeni gelişmeler üzerinde durulacaktır. Madencilikte pasa ve atık kayaların saha ve laboratuvar çalışmaları, asit kayaçların üzerinde kimyasal ve matematiksel metodlar. Çevrenin madencilik faaliyetleri ile kirlenmesinin önlenmesi ve kirlilik kontrolü üzerindeki yeni teknoloji ve uygulamaların bu sorunlar gündeme getirilecektir.

### 2.5. Jeolojik ve Tarihi Eserlerin Korunması

#### L. Lazzarini

Laboratorio di Analisi Dei Materiali Antichi, Dipartimento di Storia dell' Architettura (I.U.A.V.) S. Polo 2554-1-30125 Venezia, ITALY.

Tel: 39-41-719-153 Fax: 39-41-715-449

Sosyoloji, politika ve ekonomi ile ilgili, ülkeler için önemli tarihi ve kültürel mirasın korunması konu alınmıştır.

Geçmişte yapı malzemesi kaya veya biriket ve kil, kireçtaşı ve jips gibi doğal ürünlerden sağlanmaktaydı.

Jeoloji ve ilişkili bilimler bu materyallerin bilinmesi için temel katkıda bulunmaktadır.

Bu konu başlığı altında, eskiden kullanılan materyaller ve bunların kaynaklarının saptanması, bozulma nedenleri ve mekanizmaları ve eserlerin korunması için materyal ve metodların geliştirilmesi için jeoloji bilimi (jeoloji, mühendislik jeolojisi, petrografi, jeokimya vb.) katkı sağlayacaktır.

## 2.6. Minerallerin biyoişlevi

### N.Kuyucak

Water and Earth Science Associates Ltd., Box 430, Carp, Ontario, K0A 1L0, CANADA

Tel: 1-613-839-3053 Fax: 1-613-839-5376

Günümüzde çevre ve ekonomik ihtiyaçlar, ürün ve geri dönüşlü mineral ve atıklar yeni tekniklerin ve mineral endüstrisinin doğmasına neden olmuştur. Mineralleri filtreleme ve fosil yakıt bölgelerindeki biyoteknoloji ticari duruma ulaşmıştır. Ticari tecrübe ve bilgi akımı, biyo-işlevlerin uygulanma risklerini aza indirmektedir.

## 3. ÇEVRE KİRLİLİĞİ

### 3.1. Hava Kirliliği

#### K. Curi

Department of Civil Engineering, Boğaziçi University, Istanbul, TURKEY

Tel: 90-212-263-1500 Fax: 90-212-265-8488

Hava kirliliği gelişmiş bazı ülkelerde çok önemli sağlık problemlerine yol açmaktadır. Bununla birlikte, çevre kirliliğine de yol açmaktadır. Bu problemler farklı başlıklar altında ele alınacaktır. Esas olarak kirliliğin yayılımı ve önlenmesine yönelik çalışmalara yer verilecektir.

### 3.2. YüzeY Suyu Kirliliği

#### H. Hoetzl

Department of Applied Geology, Karlsruhe University, Kaiserstr, 12, D-76128, Karlsruhe, GERMANY

Tel: 49-721-608-3096 Fax: 49-721-606-279

Yaşadığımız ekosistem içindeki yüzeY suyu (göller, nehirler vb.) birçok tehlikelere maruz kalmaktadır. Su kalitesi biyolojik etkilerce ve kanalizasyonlarla değişir. Kirlenmenin esas kaynağı endüstri ve yerel yönetim kanalizasyon sistemlerinde işlemden geçirilmiş ve geçirilmemiş atıklardır. Doğal sistemdeki kirlilik limitlerinin göstergesi olan atıkları mümkün olduğunca saflaştırmak gereklidir. YüzeY suyu kirliliği, ekosistemin (yeraltı suyu, sedimanlar) diğer bölümlerine de etki eder. Nehir ve göllerdeki sedimanlar kirlenmiş çökeller için yeni riskler ve gelecekteki kirlenmeler için kaynak oluşturmaktadır.

### 3.3. YeraltısuY kirliliği

#### A. Pekdeğer

Freie Universität Berlin, FRR Rostroff ve Umweltgeologie, Malteserstr, 74-100, D-12249, Germany

Tel: 49-30-779-2612 Fax: 49-30-776-1779

Bu bölümde yeraltısuY kirliliğine değinilecektir. Organik ve inorganik kirlenmelerin taşınabilmesi ve yerdeğiştirmesi ve kirlilik taşınma modellenmesi incelenecektir. DoYgun ve doYgun olmayan zonlarda kirlenme taşınmasının en önemli faktörüdür. Yeraltı suyunun korunmasında ve öneminde teorik ve pratik bilgiler önemli olacaktır.

### 3.4. Denizel Kirlenme

#### V. Yanko

Institute for Nature Conservation Research, Faculty of Life Science, Tel Aviv University, Tel Aviv 69978, ISRAEL

Tel: 972-3-640-7772 Fax: 972-3-640-7304

Bu bölüm endüstriyel ve yerel atıklar tarafından deniz ortamının kirlenmesi üzerine odaklanmıştır. Denizel ortamın jeokimyasal, biyokimyasal, fiziksel, oşinografik, mineralojik, sedimantolojik ve biyolojik özellikleri, kirlilik dağılımı (örneğin, ağır metal, PAH (s), bakteriler, atık külleri, hampetrol, deterjan ve gübreler) özellikle kirliliğe neden olmaktadır. Bu başlık altında tartışılacak konular aşağıda verilmektedir.

- Denizel sulardaki kirlilik birikiminin kimyasal süreçleri
- Foto- ve zooplanktonlarla kirlilik birikimi
- Foto- ve zooplanktonların uzaktan algılama metoduyla kontrolü ve kirlilik yayılımı
- Su çevrimi ve sedimanların taşınması ve kirliliği
- Minerallerin tutucu özellikleri
- Sedimanlardaki kirlilik sorunları, kirlenmenin jeokronolojisi
- Kirlilik izlenmesinin anlamı ve yeni metodlar.

### 3.5. Tarım ve Toprak Kirlenmesi

#### R. Rajagopal

Department of Geography, The University of Iowa, Iowa City, Iowa, 52242, USA

Tel: 1-319-335-0160 Fax: 1-319-335-2725

Tarımsal etkinlikler sonucunda çevresel kirlenmenin çeşitli yönleri tartışılacaktır. Tarımsal etkinlikten doğan toprak erozyonu gibi fiziksel kirlenmeler, gübreleme ile meydana gelen kimyasal, hayvansal atıklarla oluşan biyolojik kirlenmeler gibi konuları kapsayan araştırmalar, özellikle kirlilik izlenmesi ve tayini, modelleme, önlenme yolları, kontrollü bir şekilde yasal uygulamaları kapsamaktadır.

### 3.6. Radyoaktif Atıkların Depolanması

#### N.Chapman

QuantiSci Ltd/University of Sheffield, Melton Mowbray, Leicestershire LE13 1AF, UK

Tel: 44-1664-411-445 Fax: 44-1664-411-402

Bu bölüm uzun zamanlar radyoaktif atık olarak kullanılan jeolojik oluşumlar üzerine odaklanmıştır. Özellikle, yer seçimindeki karakteristik teknikler, yeraltı araştırma laboratuvarları ve kayaç karakteristiği tesisleri, yeraltı suyu modellemesi ve farklı jeolojik oluşumlarda kirliliğin taşınması, zamana bağlı iklim etkilerinin hesaplanması ve yeraltı sularındaki jeolojik oluşumlar ve kayaç gerilim sistemleri, hidrokimyasal tanımlamalar ve paleohidroloji ve jeolojik verilerin radyolojik güvenliği konuları tartışılacaktır.

### 4. ÇEVRE SAĞLIĞI, YÖNETİMİ, POLİTİKASI VE KANUNLAR

#### 4.1. Çevre ve Sağlık

##### R.Wallace

Preventive Medicine and Internal Medicine, Cancer Center, University of Iowa, Iowa City, Iowa 52242-1009, USA

Bu bölümde, fiziksel çevrenin insanlarda görülen kanser hastalıklarının bir nedeni olduğu dikkat çekilmektedir. Özellikle jeolojik yapılar üzerinde yürütülen çalışmalarla bu hastalıklara maruz kalan kişilerde kanser oluşum riskleri anlatılacaktır. Bununla birlikte, hem yeni araştırma programları hem de kanserin önlenmesinde yeni metodlardan bahsedilecektir. Soluma ile bünyeye alınan mineraller ve kanser risklerinin hangi jeolojik formasyonlarla ilişkili olduğu tartışılacaktır.

#### 4.2. İlaç Sanayii ve Çevre

##### M. Çelik

Department of Pharmaceutics, College of Pharmacy, The State University of New Jersey RUTGERS, Piscataway, New Jersey, 08855-0789, USA.

Tel: 1-908-445-2669 Fax: 1-908-874-7236

Son 30 senedir düşünülen ilerleme, ilaç üretiminin gelişimi ve imalinin çevreye etkilerinin anlaşılmasına harcanmıştır. Çevreyi kirleten bazı kirlilik faktörleri vardır. "İlaç sanayi ve çevre" başlığı altında bu kritik faktörlerden bazıları (kaplama, paketlenme maddeleri ve kimyasal materyalin rolü gibi) tartışılacaktır.

#### 4.3. Çevre Yönetimi

##### A. Robertson

Robertson Geoconsultants Inc., Suite 902, 580 Hornby Street, Vancouver, B.C., V6C 3B6 CANADA

Tel: 1-604-684-8072 Fax: 1-604-681-4166

Çevresel faktörler ve sorumluluklar, mineral kaynaklarının araştırılmasındaki en büyük ilgi ve harcamaları oluşturmaktadır. Harcamalar sadece doğrudan çevre koruması, temizliği ve düzenlenmesi ile ilgili değildir. Bunların yanısıra potansiyel çevre etkilerinin araştırılması, ruhsat verilmesi, düzen kontrolü, izleme ve araştırıcı ilişkileri ve finans sektörü ile bağların kurulması önemlidir. Risk yönetimi, mineral ve maden araştırma projeleriyle aynı zamanda başlatılmıştır. Gelecekte, çevresel etki yaratan projeler elenerek düzenlemeler getirilecektir. Böylece "Kapama dizaynı" adında bir kavram doğmuştur. Bu bölüm çevre yönetimi, riskleri ve sorumluluklarını kapsamaktadır.

#### 4.4. Çevresel Politika ve Kanunlar

##### A.I. Johuson

AIJ Inc., Water and Soil Engineering Consulting, 7474 Upham Court, Arvada, Colorado 80003 USA

Tel: 1-303-425-5610 Fax: 1-303-425-5610

"Çevre Politikası ve Kanunlar" sempozyum programının önemli bölümlerinden biri olacaktır. Günümüzde ve gelecekteki düzenlemeler ve kanunlara bağlı düşüncelerin, katı düzenlemeleri ve konuların geliştirilmesi ve su, toprak, tarım ve insan ile diğer yaşayan canlıların çevresel yönünün ülke ekonomisine sağladığı endüstriyen gelişimin önemi belirtilecektir.

#### 4.5. Su Kaynaklarının Korunması

##### W.P. Balderer

Engineering Geology, Geological Institute, Federal Institute of Technology, ETH-Zurich/Honggerberg, CH 8093, Zurich, SWITZERLAND

Tel: 41-1-633-2743 Fax: 41-1-633-1108

Yeraltı suyu yönetiminin kantitatif yönü, deniz suyu girişi, hidrolik boşlukların azaltılması ile işletilebilmektedir. Yeraltı suyunun kirlenmesi, su çevrimi ile sağlanmaktadır.

- atmosferik emisyonun kontrolü

- yeraltı su kaynaklarının korunması, korunan alanların yönetimi ve kirlilik risklerinin kontrolü

- İçme suyu sağlanması, sulama ve jeotermal enerjinin üretilmesi gibi diğer aktiviteler su kaynaklarının işletilmesi için önemlidir. Gelecekte yürütülecek çalışmalar yeraltı su kalitesinin ve miktarının için teknik modellemeleri getirecektir.

#### 4.6. Çevresel-Simulasyon

##### M.M. Aral

School of Civil and Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, 30332 USA

Tel: 1-404-894-2243 Fax: 1-404-894-5111

İnsanları yaşadığı çevre, çevresel, jeokimyasal, biyolojik çevrenin değişik süreçlerinin anlaşılması hakkındaki temel sorunlarla karşılaşmaktadır. Toksik

maddeler, yukarıda isimleri açıklanan ortamlarda yaygındır. Bununla birlikte, bilimadamları çevrenin bir bütün olarak düşünülmesini ve bilim ve düzenleyici uygulamaların, multimedya ve intermedya yolları arasındaki karmaşık etkileşimin beraber olası görüşünü benimsemişlerdir. Çevrede açığa çıkan kirlilik, karmaşık fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler sonucu olarak hava, su, toprak, bitkilendirme gibi bazı çevresel ortamlarda dağılmış olduğunu ve böylece çevresel kirliliğin multimedya problemi birlikte vergi kapsamına alınması gerekmektedir. Ortamdaki kirliliğin taşınması ve biriktirilmesi çok dikkatli olarak düşünülmeli ve değerlendirilmelidir. Bu bölümde bu karmaşık karakteristik problemler simulasyon tekniği ile açıklanmaya çalışılacaktır.

## 5. YÜZEY VE YÜZEYE YAKIN BİLİMLER VE TEKNOLOJİLERİ

### 5.1. Yüzey mikroskopisi ve mikroanaliz

#### R. Avcı

Department of Physics, Montana State University, Bozeman, Montana 59717-03550 USA

Tel: 1-406-994-4199 Fax: 1-406-994-6165

Materyallerin yüzeyleri, kütlesi, fiziksel özellikleri ve kimyasal reaksiyonlarla meydana gelecek durumları farklıdır. Birçok kimyasal reaksiyon, yüzeyin en üst tabakasında (0-50Å) moleküler veya atomlar tarafından kuşatılmaktadır. Materyalin toplam kütlesinden türeyerek meydana gelen korezyon gibi tüm kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar materyalin yüzeyinde başlamaktadır.

Bu toplantı süresince hassas yüzey analizleri ihtiyaç duyulan birçok konu tartışılacaktır. Biyofilm ve bunların yüzeye olan etkileşimleri, kayaç iz element analizleri, toprak ve bitkiler konusundaki problemlerle ilgili araştırmacılara çağrıda bulunmaktadır. Esas konu hassas yüzey analizlerinin ve bunların çevresel ve jeoloji ile olan ilgileri hakkındaki problemlere uygulamalı çözümler getirmektir. Bu konu ile ilgili teknikler (belli bir sınırlama yoktur) küçük-spot-x-ışınları, fotoelektron spektroskopisi, taramalı Auger elektron spektroskopisi, imaging time-to-flight secondary ion mass spektroskopisi ve atomik force mikroskopisi analizlerine yer verilecektir.

### 5.2. Taramalı Elektron Mikroskopisi ve Mikroanaliz

#### D. Joy

Department of Biochemistry and Cellular and Molecular Biology, College of Arts and Sciences, Division of Biology, The University of Tennessee, Knoxville, Tennessee 37996-0830 USA

Tel: 1-423-974-5158 Fax: 1-423-974-6306

Taramalı elektron mikroskopisi ve mikroanalizler, çevre biliminde özel bir konuma sahiptir. Sempozyumda bu başlık altında sunulacak konular

- çevresel taramalı mikroskopisi
- düşük vakumlu sistemlerde mikroanaliz
- düşük voltajlı taramalı mikroskopisi ve mikroanaliz
- araştırma ve öğrenme amaçlı bilgisayar kontrollü SEM 'ler
- elektron ışınli aletlerin kullanımı, pratik uygulamalar ve problemlere çözüm bulmak amaçlanmaktadır.

### 5.3. Transmission Elektron Mikroskopisi ve Mikroanalizler

#### S.Seraphin

Department of materials of Science and Engineering, The University of Arizona, Tucson, Arizona 85721 USA

Tel: 1-520-621-6075 Fax: 1-520-621-8059

Konular, transmission ve scanning-transmission elektron mikroskopisi, convergent-beam electron diffraction, selected-area elektron diffraction, x-ışınları spektroskopisi ve elektron energy loss spektroskopisinin jeoloji ve çevre bilimlerinde uygulanabilirliğidir. Materyallerin yapısal ve kompozisyonel parametrelerinin mikroanaliz teknikleri ile uygulanabilirliği bu bölümün genel konusunu teşkil etmektedir.

### 5.4. Materyaller ve Laser Confocal Light Microscopi ile Biyomedikal Uygulamalar

#### K.C. Moore

Central Microscopy Research Facility, The University of Iowa, Iowa city, Iowa 52242-1101 USA.

Tel: 1-319-335-8142 Fax: 1-319-335-8049

Araştırmacıların sunacağı konular, Laser Scanning ve Disc Scanning Confocal Microscopy yöntemleri, tarihsel perspektif ve teorilerle birlikte genel bilgileri kapsayacaktır. Bu yeni teknolojilerin yaygın olarak uygulama alanı Lazerli Taramalı Confocal Mikroskopisi (LSCM) ve bunların biyoloji ve eczacılığa uygulanmasıdır. Bununla birlikte, LSCM 'nin kullanılmasının daha iyi anlaşılması için günümüz jeolojik materyalleri kapsayan materyal bilimciler tarafından artan kullanım alanları konu alınmaktadır. Disc Scanning Confocal Microscopi (DSCM) yaklaşık 20 yıldan beri LSCM olarak materyaller için uygulanmaktadır.

### 5.5. İmaj Analizleri

#### J.K. Beddow

Department of Chemical and Biochemical Engineering, The University of Iowa, Iowa City, Iowa 52242 USA.



**Tel:** 1-319-337-2474 **Fax:** 1-319-337-2474

Konular, optik veya elektron imaj veya bu konularla ilgili kullanılan veya gelişmiş imaj analiz metodları hakkındadır. Konular aşağıdaki kapsam içindedir;

- Ölçülebilir imaj özelliklerinin teorik görünüşleri,
- Sedimanter çökellerin davranışları,
- Jeolojik kesitlerin hazırlanmasında mikro-yapısal analizler,
- Fotograf veya dijital imajlardaki özelliklerin imaj analizleriyle, uzay veya yüksek bölgelerden alınması.

## PANELLER

### Gelecekteki Çevre

#### G.Teutsch

Geologisches Instute, Universtaet Tuebingen, Sigwarstr, 10, Tubingen, 72076, GERMANY

**Tel:** 49-7071-296-468 **Fax:** 49-7071-5059

Panel konuları, çevrenin korunması ve çevre kirliliğinin önlenmesi üzerine yapılacak olan sunumları ve yerbilimleri açısından tatışmaları kapsayacaktır. Sunumlar aşağıdaki başlıklar altında yapılacaktır.

- İnsanoğlunun yarattığı kirliliklerin tanzim edilmesi, riskleri ve teknolojileri
- toprak ve yeraltı suyunun korunması, sınırlandırılması ve perspektifi
- su ve hava kirliliği, izlenmesi ve anlaşılması,
- çevresel standartlar

### 2000 'li Yıllarda Yerbilimlerinde Eğitim

#### M. Doğan

Department of Geological Engineering, Hacettepe University, Ankara, TÜRKİYE

**Tel:** 90-312-235-2979 **Fax:** 90-312-235-2979

Panel, üniversitelerin 2000 'li yıllardaki jeoloji eğitimi ile ilgili yerbilimleri, yaşam bilimleri, mühendislik, hukuk ve politika gibi birbiriyle ilişkili dallarda bilimsel konular birlikte ve çevre bilimleri gibi yeni programları kapsamaktadır.

### Yuvarlak Masa Toplantısı

#### Üniversite-Endüstri Etkileşimi

#### K.C. Moore

Central Microscopy Research Facility, The University of Iowa, Iowa city, Iowa 52242-1101 USA.

**Tel:** 1-319-335-8142 **Fax:** 1-319-335-8049

## KISA KURSLAR

### S-1. Asit-Maden Drenajı

#### N.Kuyucak

Water and Earth Science Associates Ltd., Box 430, Carp, Ontario, K0A 1L0, CANADA

**Tel:** 1-613-839-3053 **Fax:** 1-613-839-5376

Madenciliğin çevreye olan etkileri, asit madenciliği, drenajı (AMD), sülfür mineral artıklarının oksidasyonu, madencilik endüstrisi konuları işlecektir.

### S-2. Toprak Kaymaları ve Çevre İle İlişkisi

#### M.E. Popescu

Department of Soil Mechanics and Foundation Engineering, University of Civil Engineering, P.O. Box: 2-45, 78172, Bucharest 2, ROMANIA

**Tel:** 40-1-657-2375 **Fax:** 40-1-312-2720

Toprak kaymaları doğal veya suni materyallerin aşağılara doğru kayma ve yerdeğiştirmesi ile ilgili işlevler olarak kullanılır. Düşme, akma ve kayma gibi üç esas mekanizma vardır.

Toprak kaymaları maddi ve manevi kayıplara neden olmakta ve şehir gelişimi ve bölgesel kullanımlarda değişiklik yaratan bir problemdir.

Bunların etkilerinin ölçülmesi, aşağıda detaylıca verilen jeomorfolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik özelliklerin planlanarak esas mekanizmaları ve neden olduğu faktörlere bağlıdır.

Kurs kapsamında, mühendislik jeolojisi, jeoloji, jeoteknik mühendisliği ve jeomorfoloji konularında çalışanlara yeni veya oluştuğu bilinen özellikler hakkında bilgi verilecek, toprak kaymalarının kontrolü ve önlenmesi tartışılacaktır.

### S-3. Çevre Bilimleri ve Teknolojisindeki Elektron Mikroskobu teknikleri

#### D.Joy\*, K.C. Moore, U. Doğan and S. Seraphin

\*Department of Biochemistry and Cellular and Molecular Biology, College of Arts and Sciences, Division of Biology, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee 37996-830 USA.

**Tel:** 1-423-974-5158 **Fax:** 1-423-974-6306

Kurs kapsamındaki konular;

- Elektron mikroskobunun temel teorisi
- SEM ve TEM 'in pratik kullanımı
- dijital görüntüleme, görüntü analizi ve teknolojisi
- SEM ve TEM 'deki mikroanalizlerdir (EDS ve WDS).

### S-4. İmaj Analizlerinde Yeni Strateji ve Taktikler

#### J.K.Beddow

Department of Chemical and Biochemical Engineering, The University of Iowa, Iowa City, Iowa 52242, USA

**Tel:** 1-319-337-2474 **Fax:** 1-319-337-2474

Ticari imaj analizleri rutin işlerde kullanılır. Bu kurs kapsamındaki 1- imaj analiz teorisi, 2- profiller, flaksler ve fiberler, 3- boyut, doku, mikroyapı ve yüzey hakkında bilgiler verilecektir.

### S-5. Elektrik ve Elektro-manyetik Metodların Çevreye olan etkilere Uygulanması

#### M.Meju

Department of Geology, University of Leicester,  
Leicester, LE1 7Rh UK

Tel: 44-116-252-3628 Fax: 44-116-252-3918

Yeraltı hakkındaki bilgiler jeofizik ölçümler ile anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, elektrik ve elektromanyetik yeraltı resistivite metodları, jeolojik ve çevresel araştırmalarda oldukça kullanılan bir metottur. Kursta, elektrik ve elekto-manyetik metodlarındaki yeni gelişmeler ve jeoloji ve antropolojik saptamalarda resistivite karakterleri, optimum yüzey planlaması, GEM ölçümlerinde uzaysal-zaman ilişkileri ve arazi verilerinin ayrımsal karakteri konuları ele alınacaktır.

### S-6 İnternette Madencilik, Yerbilimleri ve Çevre MÜhendisliği

**A.MacG. Robertson**

Robertson Info-Data Inc., Creators of the INFO-MINE,  
#902 - 580 Hornby St., Vaancouver, B.C., V6C 3B6  
CANADA

Tel: 1-604-684-6072 Fax: 1-604-681-4166

Kursla ilgili konular şu şekilde verilebilmektedir;

- Profosyonel iletişim
- İnternette uzaklık ve işbirliği
- teknoloji, servis ve yer seçimi
- maden, yerbilimleri ve çevresel yayınlar ve bilgi kaynakları
- maden, yerbilimleri ve çevresel bilgilerin internete geçirilmesi
- madencilik şirketleri veya çevre servislerinin organizasyonu vb.

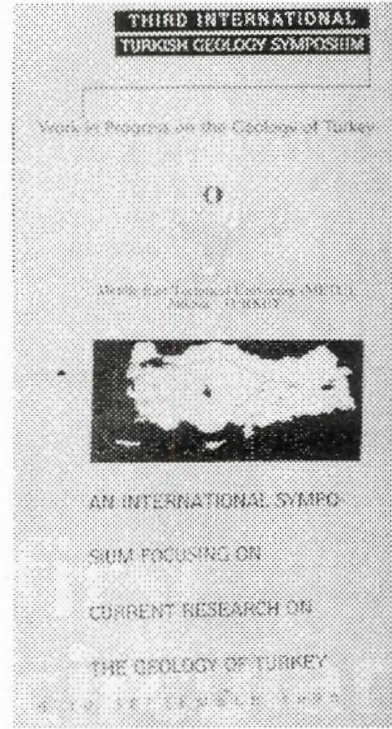
### THIRD INTERNATIONAL TURKISH GEOLOGY SYMPOSIUM

*Middle East Technical University (METU) -Ankara*

**Konular:**

- Paleo-tektonik (Geç Paleozoyik-Mesozoyik olaylar, şutur zonlar, Karakaya Problemi, riftler, basen oluşumu)
- Neotektonik (Türkiye 'nin ve komşu bölgelerin sismolojisi, Kuzey Anadolu Fay Zonu, Doğu Anadolu Fay Zonu, Batı Anadoluda sıkışma rejimi, Ege Bölgesi, Kuvaterner Jeolojisi, Basen dinamiği).
- Stratigrafi ve Paleontoloji (Karbonat platformu 'nun evrimi, Geç Paleozoyik, Tersiyer Evrimi, Stratigrafi birimleri, Uygulamalı paleontoloji, Deniz paleontolojisi).
- Sedimantoloji (mikrofasiyesler, diyajenez, sedimanter yapılar, paleoakıntı analizleri)
- Magmatizma (dalma-batma, çarpışma, gerilme ile ilişkili magmatizma ve ofiyolitler)

- Piroklastikler (yerdeğiştirme, tefrakronoloji)
- Çevre jeolojisi ve mühendislik uygulamaları (çevre kirliliğinin kimyasal boyutları, karst ve boşluklar, çevre jeolojisinin ilgi alanları, mühendislik jeolojisi, hidrojeoloji, şehir jeolojisi)
- Metamorfizma ve metamorfik kuşaklar (tektonik yerleşim, yeryüzüne yükselim)
- Mineral ve enerji kaynakları (metalik ve endüstriyel yataklar, kömür, petrol and jeotermal enerji)



- Uygulamalı mineraloji ve deneysel petroloji
- Uzaktan algılama ve jeolojide GIS uygulamaları
- Deniz jeolojisi
- Jeoarkeoloji

#### **Kongreler**

##### **Bilimsel,**

- Ankara melanji
- Ankara bölgesinde yay-önü sekanslar
- Ankara melanjında Rosso Ammonitico fasiyesler
- Galatean volkanikler
- Ankara melanjında bentonit yataklarının jeolojisi
- Boludağ tüneli: gezi yolu, ikili tüp otoyolu tüneli

##### **Sosyal,**

- Hattuşaş (Hititlerin Başkenti)
- Gordiyon (Eski Firigya kenti)

##### **Kongre Sonrası,**

- Kuzey Anadolu Fay Zonu
- Kapadokya jeolojisi

- Karakaya kayaç toplulukları

**Adres:** Dr.Erdin Bozkurt

Organizing Secretary

Third International Turkish Geology

Symposium

Department of Geological Engineering

Middle East Technical University

06531 Ankara, Türkiye

**Sempozyum tarihi :** 6-10 Eylül 1998

-Paleozoyik buzullanması ve bulgular,

- Son superkita 'nın parçalanması ve Kimmerit / alkali kompleksin kökeni, karasal bazaltların kaynağı.

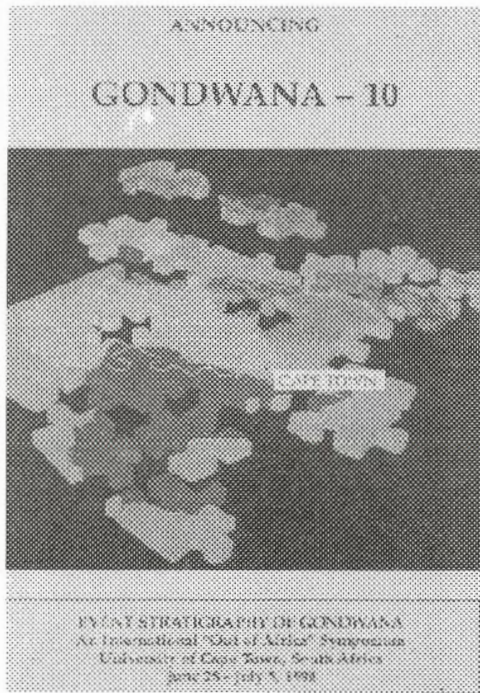
**Adres :** Department of Geological Sciences

University of Cape Town

Private Bag Rondebosch, 7700

South Africa

**Kongre tarihi :** 28-Haziran / 5-Temmuz-1998

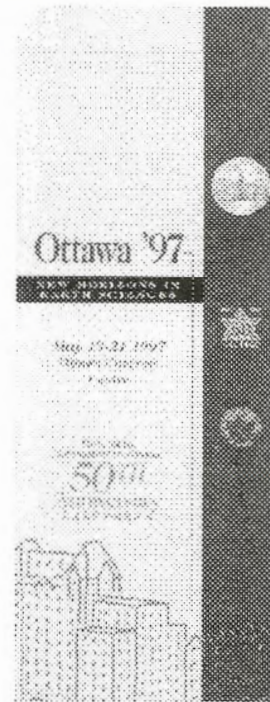


## GONDWANA - 10

### EVENT STRATIGRAPHY OF GONDWANA

#### Konular:

- Gondwana 'nın oluşumu ve Neo-Proterozoyik-Cambriyen 'deki olaylar
- Gondwana 'daki iklim değişiklikleri
- Gondwana karalarının gruplaşması
- Permo-Triyas sınırındaki global olaylar, global iklim değişiklikleri, superkita 'nın özellikleri,
- Kretase-Tersiyer 'deki olaylar
- Gondwana 'nın iç bölümleri ve dış çizgisi etrafında gelişen magmatik, tektonotermal ve mineralleşme olayları
- Gondwana 'nın parçalanma ve fragmanlara ayrılma süreci, epirojenez, morfolojik ve paleo-oşinografik değişimler
- Gondwana 'da dağ kuşaklarının metamorfik çekirdeklerindeki mineral büyümleri,
- Pan-Gondwana orojenik kuşaklar ve Prekambriyen-Cambriyen sınırı



## OTTAWA '97

### 50th ANNIVERSARY CELEBRATION

#### Konular:

- Metamorfik petrolojide mineral-ölçekleri
- Kanada Jeolojisi
- Bugünkü ve eski şevlerin jeolojisi
- Kıtasal yay-arkası riftlerinin tektonik, magmatik ve hidrotermal evrimi
- Batı Maritimes baseninin kökeni ve evrimi
- NATMAP kalkını projesi
- Radar uzaktan algılama ve RADARSAT
- Jeolojik data yöntemi ve GIS
- Kuvaterner sedimanlarındaki akifer hidrolojisi ve bölgesel Jeoloji
- Maden yatakları ve jeolojisi
- Batı superior LITHOPROBE ve NATMAP projesi
- Metamorfik harita alma
- Günümüz ve geçmişteki dökümanlarla çevresel değişim

- Grenville orojenezinin günümüzdeki etkileri

Adres : Ottawa '97

Geological Survey of Canada  
601 Booth Street,

Ottawa, Ontario, Canada K1A OES

İkinci duyuru tarihi : Mart-1997

Kongre tarihi : 19-21 Mayıs-1997



### EARTH SCIENCE INFORMATION CENTRE, CANADA

**Konular:**

-Jeoloji, jeokimya, jeokronoloji, jeofizik, mineral kaynakları, mineraloji, paleontoloji, petroloji, tektonik.

Adres: 601 Booth Street

Ottawa, Ontario CANADA K1A OE8

Tel: 613-996-3919

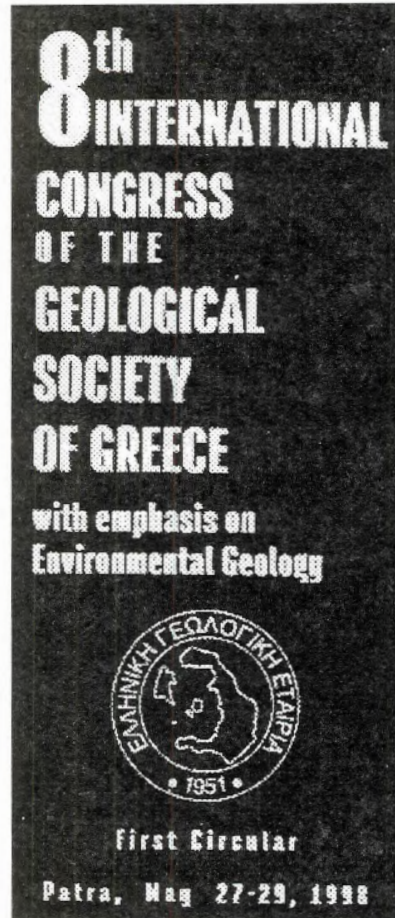
Fax: 613-943-8742

internet: Library@gsc.nrcan.gc.ca.

### 8th International Congress of the Geological Society of Greece

**Konular:**

Yunanistan ve Akdeniz Bölgesi 'nin jeolojisi ve çevre jeolojisi, Yapısal jeoloji, stratigrafi, paleontoloji, mineraloji-petrografi, maden yatakları, endüstriyel mineral ve kayaçlar, jeokimya, jeofizik, sismoloji,



neotektonik, jeotermik, mineral ve enerji kaynakları, jeokimya, hidrojeoloji, mühendislik jeolojisi, deniz jeolojisi, fiziksel coğrafya, uzaktan algılama, jeolojide bilgisayar uygulamaları, çevre jeolojisi

Adres: Mrs. D. Soldatou

University of Patra-Department of Geology

P.O. Box 1421-261 10 Patra-Greece

Bildirileri son gönderme tarihi : 31. Ocak. 1998

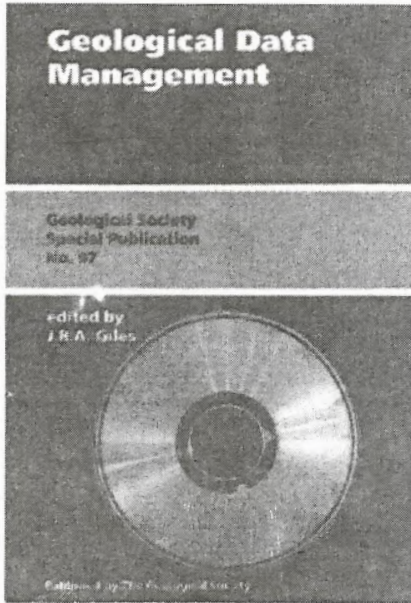
Sempozyum tarihi : 27-29.Mart.1998

### Yeni Yayınlar / Kitaplar

#### GEOLOGICAL DATA MANAGEMENT (JEOLÖJİK VERİ YÖNETİMİ)

J.R.A. Gilles, K. Rasmussen, K.J. Chew, J.S. Coast...

Bu kitap yaratıcılık, yöneticilik ve jeolojik veri tabanı kullanımı, jeolojik veri tabanı dizaynı ve yönetimindeki prensip ve pratik uygulamaları kapsamaktadır.



**İçindekiler:** Jeolojik veri yönetimi, veri tabanı, veri tabanı analizleri ve jeolojik sistemin oluşturulması, petrol jeolojisi veri tabanının genel modellenmesi, jeokimyasal veri tabanı dizaynı, BGS deneyleri, jeolojik harita verileri, jeolojik verilerin değerlendirilmesi, endüstri için veri modelleri, paleantoloji veri tabanının yaratılması, kaya mekaniği ve jeoteknik veri tabanı, veri yönetimi, jeolojik veri yönetimi, NERC deniz bilimlerinde uygulama ve araştırmaya yönelik veri tabanı, jeolojik veri değerleri ve petrol endüstrisinde yöneticilik, İngiltere ve Galler'deki yeraltı seviyesi, Honduras'daki hidrojeolojik veri tabanı, CD-ROM ve petrol endüstrisindeki uygulamaları.

Geological Society Special Publication No.97, 192 sayfa, ISBN 1-897799-39-X, ederi:55 sterlin, 91 dolar.

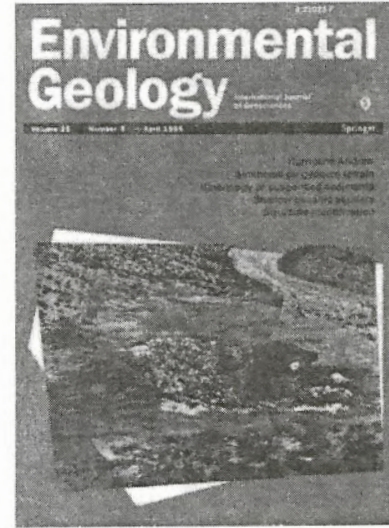
## ENVIRONMENTAL GEOLOGY (ÇEVRE JEOLJİSİ)

Editörler: P.E. LaMoreaux (Tuscaloosa-Almanya); A. McCarley (Tuscaloosa - Almanya); G. Dörhöfer (Hannover - Almanya)

- Endüstriyel aktivitelerle ortaya çıkan su ve toprak kirliliği
- Taşınma ile ilişkili çevre problemleri
- Jeolojik işlevler ve biyosistem ve insan
- İnsan ürünü veya jeolojik kirlenme

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ, Sayı 49

- Dünyadaki materyallerin yarattığı çevre problemleri

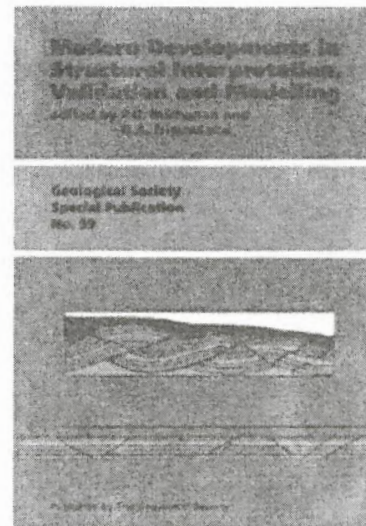


- Petrol, gaz, su ve enerji gibi endüstriyel mineral, kömür, madenlerin aktiviteleri sonucu ortaya çıkan çevre problemleri
- Kirliliğin yarattığı çevre etkileri
- Sosyo-politik bölge yöneticiliği
- Data-bank ve bilgi sistemleri ile çevre yöneticiliği

## EARLY PRECAMBRIAN PROCESSES (ERKEN PREKAMBRIYEN İŞLEVLER)

M.P. Coward, R.W. Nesbitt, M.J. de Wit, P. Choukroune, R.G. Park, T.J. Wynn,

Bu kitap Prof. John Sutton'un çalışmalarına itaf edilmiştir. Erken Prekambriyen döneme ait jeolojik problemler ve tarihsel jeolojisini kapsamaktadır.



**İçindekiler:** hidrosfer ve okyanussal kabuk arasındaki geçişler, ilk kıtasal kabuk, kabuk gelişimi, yüzey ve atmosferin evrimi, eski ekoloji, bakterilerin evrimine kanıtlar, büyük ölçekte biyosfer, greenstones kuşaklarının tektoniği, Arkean gelişimi, Zimbabve 'de Arkean deformasyonuna örnekler, Zimbabve kratonunda Arkean felsik sekansının zirkon jeokronolojisi, Arkean super kıta oluşumu, Yilgam kratonuna kanıtlar, Yilgam kratonundaki altın

yatakları, Arkean 'daki hidrotermal sistemler, Kuzey Atlantik ve Baltık kratonundaki Erken Protorezoik dayklar, Paleoproterozoyik Laurentia-Baltica ilişkisi, alt kıtasal kabuğun deformasyonu Geological Society Special Publication No.95, 308 sayfa, 149 şekil, ISBN 1-897799-36-5, 1995, ederi: 68 sterlin, 112 dolar.

## Jeoloji Takvimi

1997

Janvier 1997

Dindigul, Inde  
**Droughit, groundwater pollution and management.**  
— Managing director, Tamilnadu water supply and drainage board, TWAD House, Chempauk Madras 600 005, Inde.

\* 19-24 janvier 1997

Puerto Vallarta, Mexique  
**IAVCEI, general assembly.**  
— Organizing Committee, Instituto de Geofísica, UNAM Circuito exterior, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Maxique. D-F. Fax 5/550 24 86

\* 28-29 janv 1997

Oslø, Norvège  
**New Trends in Geoscience Computing.**  
— Norwegian Petroleum Society, Po Box 1897 Vika, N 0124 Oslo, Norvège. Tél. 47/22 43 00 50. Fax 47/22 55 45 30.

\* 5-6 mars 1997

Londres, G.-B.  
**Transresional and Transfensional Tectonics.**  
— Bob Holdsworth, Dept. of Geological Sciences, University of Durham, Durham DH1 3LE, G.-B. Fax 44/01 191 374 2510. E-mail: R.E.Holdsworth@durham.ac.uk

\* 8-13 mars 1997

Yaoundé, Cameroun  
**3<sup>e</sup> Colloque de stratigraphie et de paléogéographie de l'Atlantique sud, 13<sup>e</sup> Colloque africain de micropaléontologie et Conférence annuelle de l'IGCP n° 381.**  
— Société nationale des hydrocarbures, Comité d'organisation des Colloques, BP 956, Yaoundé, Cameroun. Tél. (237) 20 32 53. Fax (237) 20 46 51/20 98 69.

\* 20-22 mars 1997

Seville, Espagne  
**Colloque hispano-français : milieux carbonatés continentaux.**  
— J.-L. Guendon, CNRS, Centre Aixois de Géographie Physique, 29, Av. R.-Schuman, F 13621 Aix-en-Provence Cedex 1. Tél. 42 95 38 70. Fax 42 95 04 20.  
— F. Diaz Del Omo, Dept. Géographie Physique, Université de Seville, c/Maria de Padilla s/n, 41002 Seville, Espagne. Tél. 34/54 55 13 66. Fax 34/54 55 13 51.

\* 24-27 mars 1997

Braga, Portugal  
**The 4th All Portuguese Language Countries Geochemical Congress and the 10th Portuguese Geochemical week.**  
— Graçiele Dias, Dpt. Ciências da Terra, Univ. Minho, Campus de Guimar, 4709 Braga Codex, Portugal. Tél. 351/53 60 45 05. Fax 351/53 60 43 04. E-mail: geocquimica@ci.unhho.pt. UR: http://data.ci.unhho.pt/ct/port/homepage.html.

\* 9-11 avril 1997

Mons, Belgique  
**Géologie Régionale du Sud-Brabant aux collines de l'Artois.**  
— P. Doremus et M. Hennebert, Service de Géologie Fondamentale et Appliquée, Faculté Polytechnique de Mons, rue de Houdain, 9 - 7000 Mons, Belgique. Tél. 32/(0) 65 37 46 08. Fax 32/(0) 65 37 46 10. F-mail: ca@fpmis.fpmis.ac.be.

\* 13 avril - 3 mai 1997

Rabat, Maroc  
**5<sup>e</sup> Assemblée scientifique de l'IAISH : Symposiums et atelier Karst hydrologique.**  
— IAHS SAS-97 Organising Committee, Direction générale de l'hydraulique, Rabat-Chellah, Maroc. Tél. 212/7 76 90 09/77 87 42. Fax 2 12/7 76 86 96.

\* 14-17 avril '97

Montpellier, France  
**Congrès International : biochronologie mammalienne du Cénozoïque en Europe et domaines reliés.**  
— J.-P. Aguilar ou S. Legendre, Lab. de Paléontologie - CC24, Univ. Montpellier II, 34095 Montpellier Cedex 5, France. Tél. 33/67 14 32 51/54. Fax 33/67 14 36 10. E-mail: biochron@lsem.univ.montp2.fr.

\* 23 avril - 3 mai 1997

Rabat, Maroc  
**AISH'97 - 5<sup>e</sup> assemblée scientifique de l'Association International des Sciences Hydrologiques.**  
— IAISH'97 Organizing Committee, Directeur Général de l'Hydraulique, Casine Rabat-Chellah-Maroc. Tél. 212/(7) 77 90 08/77 87 42. Fax 212/(7) 77 86 96.

19-21 mai 1997

Ottawa, Canada  
**Ottawa'97, Réunion annuelle de l'Association géologique et de l'As-**

**sociation minéralogique du Canada.**

— Commission géologique du Canada, p.ecc /57, 601 rue Booth, Ottawa, Canada Ontario K1A 0G8. Tél. 1/813 947 76 49. Fax 1/813 947 76 50. E-mail: ottawa97@emr.ca.

25-30 mai 1997

Jérusalem, Israël  
**18th International Geochemical Exploration Symposium (AEG).**  
— IGES Secretariat, PO Box 50006, Tel-Aviv, 61500 Israël. Fax 972/3 514 00 77.

26-30 mai 1997

Genève, Suisse  
**European Assoc. of Geoscientists & Engineers (EAGE), 59th Conference.**  
— EAGE, E.H. Bornkamp, PO Box 298, NL 3700 AG Zelst, Pay-Bas. Tél. 31/3069 62 655. Fax 31/3069 62 640.

23-27 juin 1997

Athènes, Grèce  
**Symposium International sur la géologie de l'ingénieur et de l'environnement.**  
— IAEG, "Athens 97", P.O. Box 19 140 GR 117 10 Athènes, Grèce. Fax 30/1/924 25 70.

1<sup>er</sup> - 9 juillet 1997

Melbourne, Australie  
**1997 Joint assemblies of the International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences & International Association for Physical Sciences of the Ocean.**  
— IAMAS - IAPSO secretariat, Convention Network, 224 Rouse street, Port Melbourne Victoria 3207 Australie. Tél. 61/3 96 46 41 22. Fax 61/3 96 46 77 37. E-mail: mscarl@peg.epc.org.

10-12 juillet 1997

Vienna, Autriche  
**European Palaeontological Association, 2<sup>e</sup> Congrès européen de Paléontologie : climats, past, present, future.**  
— L. Urvogel-Stamm, Institut de Géologie, 1, rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex, France. Tél. 33/88 35 85 70. Fax 33/88 35 72 35.

\* 10-17 août 1997

La Chaux-de-Fonds (Neuchâtel), Suisse  
**12<sup>e</sup> Congrès international de spéléologie et 8<sup>e</sup> Colloque d'hydrologie en pays calcaire et en milieu fissuré.**

— Sublime, Case postale 4093, CH-2004, La Chaux-de-Fonds, Suisse. E-mail: congress.us97@chyn.unine.ch.  
**8<sup>e</sup> Colloque d'hydrologie en pays calcaire et en milieu fissuré, avec excursions (15-17 août), In n° 58.**  
— F. Zwahlen, Centre d'hydrogéologie, 11, rue Emile-Argand, Case postale 2, CH 2007, Neuchâtel, Suisse. Tél. 41/38 23 26 00. Fax 41/38 23 25 01. E-mail: congress.us97@chyn.unine.ch. Internet: http://www.unine.ch/us97/.

18-25 août '997

Thessalonique, Grèce  
**29th General Assembly of the International Association of seismology and physics of the Earth's interior.**  
— 29th IASPEI general assembly geophysical laboratory, University, GR - 54005, Thessaloniki, Grèce. Tél. 30/31 998 526. Fax 30/31 998 528. E-mail: iaspeiolymp.crf.auth.gr.

\* 28 août - 3 sept. 1997

Bologne, Italie  
**AIQ IVth International Conference on Geomorphology.**  
— Paolo Forti, Planning Congressi, via Crucialdi 2, I - 40138 Bologna, Italie. Fax 19/39/51 35 45 22.

1-5 sept. 1997

Istanbul, Turquie  
**Symposium International on Geology and environment. In n° 58.**  
— GEOENV'97, International symposium geoscience, PK 464 Yenisehir, 06444 Ankara, Turquie. Tél. 90/312 434 36 01. Fax 90/312 434 23 88. E-mail: jdogan@joo.hun.edu.tr.

\* 2-4 sept 1997

Londres, G.-B.  
**Tunnelling 97 (Conference and exhibition).**  
— The Conference Office, The Institution of Mining and Metallurgy, 44 Portland Place, Londres W1N 4B.H, G.-B. Tél. 44/17 15 80 38 02. Fax 44/17 14 36 53 88.

7-10 sept. 1997

Vienna, Autriche  
**AAPG - International Conference and exhibition.**  
— AAPG, Convention Dept., Box 979, Tulsa, OK 74101, USA. Tel 1/918 560 28 79, Fax 1/918 560 26 84.

21-27 sept 1997

Nottingham, G.-B.  
**Groundwater In the Urban Environment, XXVIII Congress of IAH.**

— Stephen Foster, Conference Nottingham, 3C9 Hayden Road, Nottingham VGS 'AZ, G.-B. Tél. 44/11 59 85 65 45. Fax 44/11 59 85 65 15.

\* 25-29 oct. 1997

Londres, G.-B.  
**Petroleum geology of NW Europe.**  
— CASIL, 4 Cavendish Square, Londres, W1M 0BX, G.-B. Tél. 44/17 14 99 09 00. Fax 44/17 16 29 32 33.

1998

\* 8-12 juin 1998

Leipzig, Allemagne  
**European Assoc. of Geoscientists & Engineers (EAGE), 60th Conference.**  
— EAGE, E.H. Bornkamp, PO Box 298, NL 3700 AG Zelst, Pay-Bas. Tél. 31/3069 62 655. Fax 31/3069 62 640.

29 juin - 18 juil. 1998

Johannesbourg, Afrique du Sud  
**8th International platinum symposium (IAGOD/CODMURI).**  
— CA \_se PO Box 68106, Bryanston, South Africa. Tél. 27/11 373 25 80. Fax 27/11 836 03 71.

9-15 août 1998

Toronto, Canada  
**International Mineralogical Association (IMA'98).**  
— A.J. Naldrett, Dept. Geology, University of Toronto, Canada M5S 3B1. Tél. 1/416 978 30 30. Fax 1/416 978 39 38. E-mail: imn38@quartz.geology.u.toronto.ca.

20-25 août 1998

Montpellier, France  
**18<sup>e</sup> Congrès mondial des Sciences du sol. In n° 57.**  
— ONEARC, 18<sup>e</sup> Congrès mondial de Science du sol, Av. d'Agropolis, D.P 50 98, Agropolis 34 394 Montpellier Cedex, France. Tél. 33/67 04 75 38. Fax 33/67 04 75 49. E-mail: iss5@agropolis.fr. Serveur www: http://www.cirad.fr/iss.html.

\* oct - nov. 1998

**Physical, chemical and biological aspects of aquifer-stream sediment interrelations, 28th IAH Congress.**  
— J. Rosenchem, USGS MS 414, National Center, Reston Va 22092, USA. Fax 1/703 648 57 22.

**TÜRKİYE  
JEOLOJİ  
ARAŞTIRMALARI  
ÖZLERİ**

**Abstracts of Geological  
Researches in Turkey**

ISSN 1300 - 3607

TMMOB  
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI  
Chamber of Geological Engineers of Turkey

**1990**

*Basım Yılı / Print Year:1994*

**TÜRKİYE  
JEOLOJİ  
ARAŞTIRMALARI  
ÖZLERİ**

**Abstracts of Geological  
Researches in Turkey**

ISSN 1300 - 3607

TMMOB  
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI  
Chamber of Geological Engineers of Turkey

**1991**

*Basım Yılı / Print Year:1995*

**TÜRKİYE  
JEOLOJİ  
ARAŞTIRMALARI  
ÖZLERİ**

**Abstracts of Geological  
Researches in Turkey**

ISSN 1300 - 3607

TMMOB  
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI  
Chamber of Geological Engineers of Turkey

**1992**

*Basım Yılı / Print Year:1995*

**TÜRKİYE  
JEOLOJİ  
ARAŞTIRMALARI  
ÖZLERİ**

**Abstracts of Geological  
Researches in Turkey**

ISSN 1300 - 3607

TMMOB  
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI  
Chamber of Geological Engineers of Turkey

**1993**

*Basım Yılı / Print Year:1996*

İsteme Adresi - Order Address : TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI P.K.464 Kızılay 06444 ANKARA-TURKEY

Tel: (312) 434 36 01 Fax: (312) 434 23 88

e-mail: tmmobj-o @ servis 2. net. tr

**INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON  
GEOLOGY AND ENVIRONMENT  
SEPTEMBER, 1-5 1997 ISTANBUL**



**"GEOLOGICAL ENGINEERING IS AN  
INTERNATIONAL ENTERPRISE"**

**GEOENV '97**