



JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını

Mayıs- Kasım 1994 Sayı 44-45

ISSN 1016-9172



- ▶ Petroloji
- ▶ Jeostatistik
- ▶ Maden Yatakları
- ▶ Çevre Jeolojisi
- ▶ Hidrojeoloji
- ▶ Mühendislik Jeolojisi
- ▶ Jeofizik

TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI

YÖNETİM KURULU

Hikmet TÜMER	Başkan
M.Yüksel BARKURT	İkinci Başkan
Tahir ÇEBİ	Yazman
Erçin TÜRKEL	Sayman
Dr. Zeynel DEMİREL	Mesleki Uygulamalar Üyesi
Erdem ÇÖREKÇİOĞLU	Yayın Üyesi
Yakup ÖZÇELİK	Sosyal İlişkiler Üyesi

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ YAYIN KURULU

Editörler

Dr. Kemal TÜRELİ - Taner İRKEÇ
Saim KALE

Teknik Yönetmen

Semih GÜRSU

MAKALELERİ İNCELEYENLER (Sayı 44-45)

Dr. Jerf ASUTAY (MTA)	Sabri KARAHAN (COMINCO)
Tahir ÇEBİ (İller Bankası)	Salih KONYA (MTA)
Behiç ÇONGAR (SİAL)	Ferda ÖNER (MTA)
Dr. Zeynel DEMİREL (MTA)	Vedat OYGÜR (MTA)
Yrd. Doç. Dr. Yurdal GENÇ (H. Ü)	Tuğru! TOKGÖZ (MTA)
Ali İhsan GEVREK (MTA)	Doç. Dr. Reşat ULUSAY (MTA)

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 Kapak (Renkli).....	10.000.000 TL.
Arka Dış Kapak (S/B).....	7.000.000 TL.
Arka İç Kapak (Renkli).....	8.000.000 TL.
Arka İç Kapak (S/B).....	5.000.000 TL.
İç Sayfa (S/B).....	4.000.000 TL.
1/2 Sayfa (S/B).....	2.000.000 TL.
1/4 Sayfa (S/B).....	1.000.000 TL.
Özel Renk.....	1.000.000 TL.
Renk Süzümü.....	1.000.000 TL.

Tescilli bürolara ve sürekli reklam yayımlanması isteminde % 10 indirim yapılır. Bu sayı 3500 adet basılmıştır.

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayımıdır. Yılda iki kez yayımlanır. 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

Mayıs- Kasım 1994 Sayı 44-45

ISSN 1016-9172

İÇİNDEKİLER

- | | | | |
|----|---|-----|--|
| 1 | Granitoid petrojenezinde mağma mingling/
mixing kavramı
<i>Sabah YILMAZ, Durmuş BOZTUĞ</i> | 67 | Çevre jeolojisi ve gelişmekte olan ülkelerle
işbirliği
<i>Mesude AYDAN</i> |
| 21 | Maden yataklarının değerlendirilmesinde je-
oistatistiksel simülasyon yöntemlerinin kulla-
nılması
<i>Cem SARAÇ</i> | 70 | Yeraltısuyundan içme ve kullanma suyu te-
min amaçlı kuyularda tasarım teknikleri
<i>Tahir ÇEBİ</i> |
| 27 | Duraylı izotoplar jeokimyasının maden ya-
taklarına uygulanması
<i>Vedat OYGÜR</i> | 88 | İçmesuyu kuyusu ve borulannın dezenfeksiyonu
<i>Necla AKÇA</i> |
| 39 | Mineral kaynaklarının uluslararası pers-
pektifi
<i>Taner İRKEÇ</i> | 91 | Kaya mekaniği öğretimine ilişkin rapor
<i>Mustafa KARABIYIKOĞLU</i> |
| 50 | Altın; Ekonomik yataklanma tipleri, arama
safhaları ve maliyet
<i>Koray KİRİŞ</i> | 102 | Log korelasyon teknikleri ve jeolojide kullanımı
<i>Aynur GEÇER</i> |
| 62 | Çöp depolama alanlarında oluşan gazın (deponi
gazi) çevresel etkileri ve ekonomik potansiyeli
<i>İlker ŞENGÜLER, Hazım YILMAZ</i> | 107 | Volkanik kökenli gaz çalışması temel tek-
nikleri: İzleme ile bütünleşmiş bir yaklaşım
<i>Haydar İLKER</i> |

kapak fotoğrafı
Üst Kretase kireçtaşlarından bir görünüm (Kekova).

teknik hazırlık
nitelik reklam 419 35 46

YEREL YÖNETİMLER, ÇEVRE VE 50. ULUSLARARASI ÇEVRE-JEOLOJİ KURULTAYI (İSTANBUL-1997)

Ülkemizdeki siyasal ve ekonomik belirsizlikler her geçen gün hızlı bir ivme ile düzensiz ve beklenmeyen bir biçimde yer değiştirmeye devam ederken, yerel yönetimlerin güçlendirilmesi, katılımcı, yaptırımcı ve demokratik gücü olan yerel yönetim modelinin biran önce yaşama geçirilmesi gerçeği giderek haklılık kazanmaktadır. Yerel yönetimler, seçildikleri sürelerde siyasal ve ekonomik belirsizliklerden olabildiğince az etkilenmelidirler ki, direk hizmet üreten bu yönetim biçimleri halkın gereksinimlerini zamanında ve doğru bir biçimde karşılayabilsinler. Belediye yönetimleri her ne kadar bir siyasi görüşün temsilcileri iseler de, Belediye öncelikle hizmet üreten bir kuruluştur. Politik nedenlerle hareket etmemelidirler. Ne yazık ki ülkemizde seçilen, özellikle Refah Partili belediye başkanları sokak, park adı değiştirmeyi, sanata tükürmeyi ve cami açmakla uğraşmayı daha çok seviyorlar.

Başlatılmış projelerin doğru olanları, fizibil olanları hiç zaman geçirilmeksizin devam ettirilmeli, yeni projeler ise, kendilerinden sonra gelecek yönetimlerce fazlaca tartışmaya neden olmayacak projeler olmalıdır. Örneğin İstanbul için Melen Çayı, Yeşil Çay Su Projeleri, Metro Projesi, Ankara için Bakay Projesi, Metro-Ankaray Projeleri , İzmir için, Büyük Kanal Projesi ve Hızlı Tramvay Projesi gibi daha birçok projelerin her ne koşul olursa olsun devam ettirilmesi gerekmektedir.

Bu konularda yapılacak spekülâtif davranışların hiç kimseye bir faydası olmayacağı gibi büyük kentlerimize ve ülkemize büyük zararı olur. Yine büyük kentlerimizde özellikle İstanbul'da su kirliliği, hava kirliliği, çöp, trafik gibi sorunlar için başlatılmış projelere ara vermeksizin devam edilmeli, projelerin önü açılmalıdır. Bu sorunların günlük çözümlerinin yanında orta ve uzun vadedeki çözümleri içinde Yerel Yönetimler, Merkezi Yönetimler ilgili meslek oda ve dernekleri ile bilimsel kuruluşlar ve kurumlarla eşgüdömlü olarak master projeler hazırlamalıdır. Bu projeler için gerekli finans kaynakları da kesintiye uğramayacak şekilde temin edilmelidir. Aksi davranışlar ise bu gün özellikle İstanbul'un yaşadığı su krizinden daha kötü sonuçları doğurabileceği gibi, çöp, hava, su kirliliğinde ve diğer çevre konularında da çok daha ciddi sorunların yaşanacağı kesindir. Durum böylesine vahimken Yerel Yönetimler gelecekte ileriye sürecekleri nedenlerle inandırıcı olamazlar.

Yerel Yönetimler, günümüzün çağdaş kent kavramını oluşturan insanca yaşanabilir bir kentte standart bir yaşamı temin için, Mimari bozulma, gıda kirlenmesi , su kirlenmesi, hava kirlenmesi, gürültü kirliliği, çöp sorunu yerleşim düzeni, trafik anarşisi gibi büyük kentlerin her gün giderek artan sıkıntılarına kalıcı ve gerçekçi çözümler bulmak zorundadırlar. Bu çözümlere, önerilere, yaşadıkları kente, ülkeye ve insanlara ellerinden gelen gayreti göstermek Yerel ve Merkezi Yönetimlerin yapacağı projelere katkı koymak meslek odalarının da görevi ve sorumluluğudur. Bu anlayışla odamız 48.si 20-24 Şubat 1995'de Ankara'da yapılacak Türkiye Jeoloji Kurultayı'nın 50.sini Uluslararası nitelikte Çevre ve Jeoloji başlığı altında İstanbul'da 2-6 eylül 1997'de gerçekleştirecektir. Bu anlamda Prof. Dr. Muharrem SATIR Başkanlığında oluşturulan Düzenleme Kurulu çalışmalarını hızla sürdürmektedir. Gerçekleştirilecek bu etkinlik tüm üyelerimizin, üniversitelerimizin diğer meslek oda ve kuruluşlarının Yerel ve Merkezi Yönetimlerin katılımı ve destekleri ile yaşama geçirecektir.

Yerel yönetimler, kentin tüm hizmetlerinde ve özellikle de çevre ile ilgili sorunların tesbiti ve çözümlerinde başlatılmış olan demokratik ve katılımcı çalışmaları arttırdıkça hem ülkesine hem insanlığa, hem de siyasi görüşlerine yeni ufuklar açacaktır.

Saygılarımızla,
YÖNETİM KURULU

Granitoyid Petrojenezinde Magma Mingling/Mixing Kavramı

Sabah YILMAZ

C.Ü. Jeoloji Müh. Bölümü, 58140, SİVAS

Durmuş BOZTUĞ

C.Ü. Jeoloji Müh. Bölümü, 58140, SİVAS

1. GİRİŞ

Hemen hemen tüm yer bilimciler tarafından kabul edildiği gibi, granitoyidler, yer gezegeninin petrolojik ve yapısal evriminde en karakteristik kayaç grubunu oluşturmaktadır. Örneğin çok uzun zamanlar boyunca, kıtasal kabuğun ortalama bileşiminin granite eşdeğer olduğu kabul edilmiştir. Günümüzde yapılan çalışmalara göz atıldığında ise granitlerin, kıtasal kabuğun ana bileşeni olduğu ve kabuğun oluşumunda ve yeniden çevrimlenmesinde (recycling) çok önemli roller oynadıkları görülmektedir. Granitoyidler sokulum yaptıkları derinlikler sedimanter kayaçların bulunduğu sığ derinliklerden-granulit fasiyesi koşullarındaki metamorfizmanın geliştiği derinliklere kadar değişmekle birlikte, genel olarak kabuğun orta kesimlerindeki derinliklerde daha boldur. Kıtasal kabuğun orta derinlikteki kesimlerinin yüzeylendiği ve eski orojenik dönemlere ait kayaçları içeren bölgelerde yapılan çalışmalarda granitoyidler yayılımlarının çok değişik olduğu gözlenmektedir. Örneğin, Batı Avrupa'daki Hersiniyen kuşakta bol miktarda granitoyid bulunurken (Fransız Masif Santrallerinin % 50'nden fazlasının granit olduğu bilinmektedir), Kaledoniyen ve Alpin kuşaklarda ise bağıl olarak daha azdırlar. Hatta bu ilişkiyi göz önüne alarak, granitik kayaçların sadece anateksi süreci ile oluşabileceğini ileri süren bazı araştırmacılar, çeşitli orojenik bölgelerdeki granitoyidler bolluğuna dayanarak bu bölgelerdeki metamorfizmaya yaklaşımda bulunmaya çalışmışlardır (Hall, 1973; Didier ve Barbarin, 1991a'dan). Oysa günümüzde granitoyidler jenezi ko-

nusunda yapılan çalışmalarda, granitoyidler oluşumunda metamorfizmanın rolünün ikincil önemde olduğu, daha etkin rol oynayan faktörlerin ise jeodinamik ortam (Pitcher, 1993; Lameyre, 1988; Barbarin, 1990) ile kabuğun özelliklerinin (Chappel ve White, 1974; White ve Chappel, 1977; Vilzeuf ve diğ., 1990) olduğu belirtilmektedir (Didier ve Barbarin, 1991a). Örneğin, Kuzey ve Güney Amerika Kordiyer kuşaklarında okyanusal kabuğun sürekli dalması ile çok geniş alanlarda yayılım gösteren granitik magmatizma oluşmaktadır. Kabuğun özelliklerine bağlı olarak gelişen granitoyid oluşumuna gelince, Hersiniyen çarpışma kuşağında çok büyük hacimlerde birikmiş olan yaş-pelitik sedimentler, granitik eriyiklerin türemesine uygun bir ortam oluştururken; Alpin ve Kaledoniyen kuşaklarda önceden mevcut olan kuru-kristalin temel kayaçları ise (Alpin kuşakta Hersiniyen temel, Kaledoniyen kuşakta Prekambriyen temel) yeteri kadar fazla granitik eriyiğin üretilmesi için uygun ortamları oluşturamışlardır (Didier ve Barbarin, 1991a).

Görüldüğü gibi, dar anlamda granitoyidler jenezini, geniş anlamda da kabuğun petrolojik ve yapısal evrimini anlamaya yönelik çalışmalar, mikroskopik düzeydeki gözlemlerin yanısıra, birkaç 10 ppm miktarındaki eser element içeriğinden kıtasal ölçeklerdeki bölgesel jeolojik yorumlara kadar değişmektedir. Bu çalışmalar içerisinde güncel literatürde önemli bir yeri olan ve eşyaşlı mafik ve felsik magmaların homojen karışımı anlamındaki magma mixing kavramı ile bu magmaların heterojen karışımı anlamına gelen magma mingling kavramı son derece önemli bir yer tutmak-

tadır. Bunlardan magma mixing olayı, kayaç oluşturu-
cu mineraller arasında gelişen bazı özel dokular ile ka-
rakterize edilmekte ve mikroskopik çalışmalar ile ta-
nımlanabilmekte iken; magma mingling olayı ise felsik
granitoyidler içerisinde hapsedilmiş ve boyutları genel
olarak birkaç cm'den - dm'ye ve hatta ender olarak met-
reye kadar değişebilen mikrogranüler dokulu mafik
magmatik enklavlar (MME) ile karakterize edilmekte ve
yegane şekilde arazide başlayan gözlemlerin laboratu-
varda mineralojik-petrografik ve jeokimyasal inceleme-
si şeklinde devam etmesi ile tanımlanabilmektedir.

Magma mixing-minling konusunda oldukça güncel
bir çalışma olan Didier ve Barbarin (1991a) ya dayandı-
rılan bu derleme çalışmasında konunun ana hatları-
nın verilmesinin yanısıra, ülkemizdeki granitoyid plü-
tonlarından bazılarında yazarlar tarafından gözlenen
magma mixing/minling örneklerinden de kısaca bahse-
dilmesi amaçlanmıştır.

2. TANIMLAR

Giriş bölümünde de belirtildiği gibi, granitoyidlerin
jenezini çözümlmek için yapılan çalışmalar mikrosko-
pik ölçekteki dokusal özelliklerden başlayarak birkaç
10 ppm düzeyindeki eser element içeriğine, mostra dü-
zeyindeki jeolojik gözlemlere ve nihayet kıtasal ölçek-
lerdeki bölgesel jeolojik yorumlara kadar uzanan bir
yelpaze içinde toplanmaktadır. Bu bakımdan, ölçek ola-
rak çok küçükmiş gibi görünen ve magma mixing ola-
yı sonucu gelişen mikroskopik dokular ile boyutları ge-
nelde birkaç cm'den - dm'ye kadar değişebilen ve
magma mingling olayı sonucu gelişen MME'lerin suna-
bilecekleri genetik bilgiler, bunların boyutları ile hiç de
doğru orantılı olmayacak biçimde önemli olabilmekte-
dir.

2.1. MAGMA MIXİNG VE MAGMA MİNGLING KAVRAMLARININ TANIMI

Eşyaşlı mafik ve felsik magmaların homojen karı-
şımı anlamına gelen magma mixing olayında, her iki
magma da viskozite özellikleri bakımından "Newtoni-
an" davranış aşamasında iken (bkz. 3. Bölüm) karış-
maktadır. Böyle bir karışım, oldukça derinlerde, olası-
lıkla ilksel magma oluşum ortamlarında
gerçekleşmekte ve her iki magma da kendi özelliklerini
kaybederek ortaya yeni bir hibrid magma çıkmaktadır.
Diğer bir deyişle, daha basite indirgenirse, siyah ve be-
yaz boyaların aynı kapta karışmaları sonucunda, ortaya
gri renkli bir boyanın çıkması sonucu gibi düşünülebi-

lir. Eşyaşlı mafik ve felsik magmaların heterojen karı-
şımı anlamına gelebilecek olan magma mingling ola-
yında ise, eşyaşlı magmalardan mafik olanı viskozite
bakımından "Visko-plastik" evrede, felsik olanı ise,
"Newtonian" evrede iken karışmaktadır. Böyle bir
karışım, magmaların diyapirik olarak yükselmeleri sı-
rasında meydana gelebilmektedir. Bu durumda, zaten
yarı katı-yarı sıvı durumunda olan mafik magma, tama-
men sıvı durumunda olan felsik magmanın içinde çabu-
cak katı hale geçerek, felsik ana kayaçlar içinde yakla-
şık olarak yuvarlağımsı-elipsoyidal biçimli mafik
magma damlacıkları/kabarcıkları şeklinde yorumlana-
bilecek olan mikrogranüler dokulu MME'leri oluşturu-
maktadır. Böyle bir karışım sırasında, mafik magma ile
felsik magma arasında birtakım element/kristal göçü ol-
makla birlikte, özellikle mafik magma damlacıkları/
kabarcıkları kendi fiziksel-kimyasal özelliklerini geniş
ölçüde korumaktadır. Diğer bir deyişle, beyaz ve siyah
renkli boyaların bir kapta karıştırılmaları sonucunda;
siyah boyanın, beyaz boya içinde, kendi özelliklerini
koruyarak siyah renkli damlacıklar/kabarcıklar şeklinde
görülmesi olarak basite indirgenebilir.

2.2. ENKLAVLARIN TANIMI

2.2.1. Tarihçe

Jeoloji literatüründe enklav teriminin ilk kez Hutton
(1795) tarafından İskoçya'daki granitlerde tanımlandığı
ve bunların granitlerin kökeninin magmatik olabileceği
şeklindeki düşünceye kanıt olarak kullanıldıkları bilin-
mektedir (Didier ve Barbarin, 1991b). Daha sonra Lac-
roix (1893, 1898, 1900a) tarafından çeşitli volkanik ve
granitik kayaçlardaki enklavların çok ayrıntılı minera-
lojik-petrografik tanımlamaları yapılmıştır. Aynı dö-
nemde, Phillips (1880), Sollas (1894) ve Holland (1900)
tarafından da enklavlar üzerinde araştırmalar yapıldığı
görülmektedir. 20. yüzyılın ilk yarısında, enklavlar üze-
rinde gerçekleştirilmiş olan çalışmaların önemli olan-
ları ise Pabst (1928) tarafından Sierra Nevada batolitini-
de (ABD); Thomas ve Campbell-Smith (1931)
tarafından da Ploumanac'h masifinde (Fransa) gerçek-
leştirilmiştir.

Sonraki dönemlerde, özellikle mikrogranüler dokulu
mafik magmatik enklav (MME) tanımının da yapıldığı
en kapsamlı çalışmanın Didier (1964) tarafından yapıldığı
görülmektedir. Aynı anda, Blake ve diğ. (1965) ta-
rafından da enklavlar konusunda önemli bir çalışma
gerçekleştirilmiştir.

Didier ve Barbarin (1991a) tarafından editörlüğü yürütülen "Enclaves and Granite Petrology" kitabından önceki en etkin eseri ise yine Didier (1973) tarafından yayınlanan "Granites and Their Enclaves: The Bearing of Enclaves on the Origin of Granites" isimli kitap olduğu bilinmektedir.

2.2.2. Enklavların Sınıflandırılması

İlk kez Fransız araştırmacı Lacroix (1890) tarafından tanımlanan "enkav" terimi, homojen magmatik kayalarda içerilen değişik kayaç parçalarını tanımlamak için kullanılmıştır. Boyutları ne olursa olsun (birkaç mikrondan - birkaç yüz metreye kadar), enklavlar, içerildiği ana kayaç tarafından tamamen çevrelenmiş durumdadır. Enklavların büyük bir çoğunluğu çeşitli minerallerden meydana gelmiş olmakla birlikte, bazı enklavlar tek tip kristallerden de oluşabilmektedir. Özellikle tek tip minerallerden meydana gelme durumunda bunların enklav olarak isimlendirilmesi güçleşmektedir. Öncele ri yapılmış bazı çalışmalarda, enklavlar, taşıyıcı kayaktan daha yaşlı olarak değerlendirilmekle birlikte, bazı güncel çalışmalar, durumun daima böyle olmadığını göstermiştir. Örneğin, bazı enklavların magma karışması ile (magma mingling) oluştuğunu; yani taşıyıcı granitoidlerle eşyaşlı (coeval) olduğunu göstermiştir.

Lacroix (1890)'dan beri Fransızca literatürde enklav ve inklüzyon terimleri tamamen farklı anlamlarda kullanılmıştır. "Enklav" terimi, herhangi bir kayaç içerisinde gözlenen kayaç parçalarını tanımlarken; "İnküzyon" terimi ise, tek bir kristal içerisinde içerilen mineral tanesi, sıvı veya gaz oluşuğunu tanımlamak için kullanılmıştır. Oysa İngilizcede böyle bir farklılık bulunmamaktadır. Diğer bir deyişle, inklüzyon terimi her iki durumda da kullanılmaktadır. Bununla birlikte, İngilizce literatürün hemen hemen tamamına yakınında enklav terimi kullanılmaktadır.

İnküzyon terimi dışında, çeşitli enklav tiplerini tanımlamak için daha değişik terimler kullanılmıştır. Örneğin Lacroix tarafından kullanılan enklav ve inklüzyon terimlerinin dışında "enallojen enklavlar", "homojen enklavlar", "polijen enklavlar" ve "pnömatojen enklavlar" tanımlanmıştır. Lacroix (1890, 1893, 1901, 1904) tarafından ileri sürülen terminoloji çok kompleks görüldüğü için, pek çok jeolog tarafından kullanılmamıştır.

İngiliz ve Amerikalı jeologlar, madenciler tarafından tanımlanan birçok terimi kullanmışlardır. Bu terim-

ler kuşatma (enclosure), düğüm (knot), siyah nokta (black spot), salkım/demet (bunch) ve mineral yuvalanması (nest of minerals) gibi enklav tanımlamalarıdır. Buna karşın inklüzyon sık sık kalıntı yerine kullanılmıştır. Bazı yazarlar, "eşkökenli inklüzyonlar (cognate inclusions)" veya "endojen inklüzyonlar" olarak da tanımlanabilen enklavları, Lacroix tarafından "homojen enklavlar" ve enallojen enklavlar" olarak tanımlanmış olan enklavlardan ayrı olarak değerlendirmişlerdir.

Diğer terimler açık bir şekilde genetik bir ilişki gösterirler. "Otolit" (Holland, 1900), etrafındaki kayaçlar ile benzer bir enklav iken, "ksenolit" (Sollas, 1894) bilinen çevre kayaçların bir enklavı olarak tanımlanmaktadır. Otolit ve ksenolit, sırasıyla, Lacroix'nın "homojen enklavlar" ve "enallojen enklavları" ile eşdeğer olarak kabul edilmektedir. "Ksenokristal" (Sollas, 1894) yalnız bir kristalden oluşan ksenolit olarak sınırlanmaktadır. Ksenokristal magmatik kayaçlar içerisinde ayrılmış kristallerden oluşan ortama yabancı malzemedir. "Skialith" (Goodspeed, 1947) kısmen grayzenleşmiş ksenolitlerin kalıntıları olarak tanımlanmaktadır. Bu terim bir magmada gömülü halde yabancı kayaç parçaları olarak bulunan ksenolitlerden ayrılan artıklardan oluşmaktadır. Skialith, Lacroix'nın "polijenik enklavlar"ının eşdeğeridir.

Alman yazarlar kristallerdeki inklüzyonların ve kayalardaki enklavların her ikisini de "Einschlüsse" olarak isimlendirmişlerdir. Bunlar eksojen enklavlardan, endojen enklavları ayırmışlardır. Derecelenmiş kenarlara, uzanmış minerallere sahip enklavları da "şiliren" olarak isimlendirmişlerdir.

2.2.3. Didier ve Barbarin (1991b) Tarafından Önerilen Güncel Enklav Tanımı

Enklavlar konusunda şimdiye kadar anlatılan tüm tanımlama ve kavramları dikkate alan Didier ve Barbarin (1991b), Çizelge 1 de görülen güncel tanımlamayı önermişlerdir. Birçok eski terim açık bir şekilde tanımlanamadığı için, enklavlar daha genel bir takım olarak kullanılmaktadır. Çünkü, kökensel hipotezler genel olarak hayalidir. Enklav ve inklüzyon terimleri kayalarda enklavlar ve kristallerde inklüzyonlar olarak Lacroix (1890) tarafından tanımlandığı gibi kullanılmaktadır.

Ksenolit ve ksenokristal terimleri (Sollas, 1894), sırasıyla yabancı kayaç parçaları veya magma içinde izole edilmiş yabancı kristaller olarak tanımlanmaktadır. Birçok durumda ksenolitler kolayca tanımlanır. Kseno-

Çizelge 1. Didier ve Barbarin (1991b) tarafından önerilen güncel enklav tanımı.

	Terim	Bulunuş Şekli	Sınır İlişkisi	Biçim	Karakteristik Özellikler
E	Ksenolit	Yan Kayaç Parçaları (Hornfels)	Keskin	Köşeli	Kontakt Metamorfizma Dokusu ve Mineralleri
	Kseno-kristal	İzole Edilmiş Yabancı Kristaller	Keskin	Küresel	Korozyon Reaksiyon Kuşağı
N	Mikamsı Enklav	Erime Kalıntısı (Restit)	Keskin (Özellikle Biotit Kabuk ile Keskinleşmiş)	Merceksi	Metamorfik Doku, Mikalar ve Al'ca Zengin Mineraller
	Şiliren	Düzensizleştirilmiş Enklav	Dereceli	Elipsoyidal	Düzensel Yapılar
K	Felsik Mikrogranüler Enklav (FMIE)	Düzensizleştirilmiş İnce Taneli Kenar	Keskin veya Dereceli	Yuvarlağımsı -Elipsoyidal	İnce Taneli Magmatik Doku
	Mafik Mikrogranüler Enklav (MIME)	Eşyaşlı Mafik Magma Damlacığı	Çoğunlukla Keskin	Yuvarlağımsı -Elipsoyidal	İnce Taneli Magmatik Doku
A	Kümülat Enklav (Otolit)	Düzensizleştirilmiş Kümülat	Çoğunlukla Dereceli	Yuvarlağımsı -Elipsoyidal	İri Taneli Kümülat Dokusu

litler, granitoyidler ile köşeli ve keskin kontaklar gösterirler ve dokuları kuvvetli kontakt metamorfizma nedeniyle rekristalizasyonu yansıtır. Gabro türü yan kayaçlardan magma odasına düşen bir gabro ksenoliti, eşyaşlı mafik ve felsik magmaların karışımı (magma mingling) sonucu oluşan ve gabro bileşimine sahip olan mikrogranüler dokulu mafik magmatik enklavdan kolayca ayırt edilebilir. Çünkü, ksenolitler Goldschmidt (1911) ve Harker (1939) tarafından ayrıntılı olarak tanımlanmış olan kontakt metamorfik kayaçlara eşdeğer dokusal özellik ve mineralojik bileşim gösterirler. Diğer taraftan, ksenolitler, çoğunlukla intrüzyonların kenarlarında ve özellikle çatı kısımlarına yakın yerlerde bol miktarda bulunurlar. Ksenolitler gibi ksenokristaller de tamamen veya kısmen rekristalizasyona uğramış olarak görülebilirler. Bunlar magma tarafından kemirilmiş olduklarından dolayı hiçbir zaman özşekilli olarak gözlenemezler. Tamamen asimile olamadıklarında reaksiyonel hale ile çevrelenmiş olarak görülebilirler.

Mikamsı (surmicaceous) enklav terimi (Lacroix, 1933b), birçok intrüzyonda ve özellikle de yaygın olarak migmatitler ile birlik oluşturan anateksitik granitlerde oluşan bir enklav tipi olarak tanımlanır. Mikamsı enklavlar genellikle küçük boyutlarda (birkaç cm uzunluğunda) ve merceksi biçimlere sahip olarak görülürler. Bunlar genellikle biyotitten oluşur ve çoğunlukla muskovit ve Al'ca zengin diğer bazı mineralleri (sillimanit, andaluzit, kordiyerit, korund, spinel, granat) içerirler.

Mikamsı enklavlarda biyotitik bir kabuk olduğu için arazide ana granitoyidlerden kolayca ayrılabilirler. Refrakter minerallerce zengin olmalarından dolayı mikamsı enklavlar, Mehnert (1968) tarafından tanımlanan "restit" ve Montel ve diğ. (1991) tarafından tanımlanan "erime kalıntısı" malzemelerin eşdeğerleri olarak değerlendirilebilirler (Didier ve Barbarin, 1991b).

Tamamen morfolojik bir terim olan şiliren, kısmen derecelenmiş kenarlara sahip olup, mercek veya uzamış enklavlar şeklinde tanımlanabilir. Şiliren, enklavların ve kümülatların (Didier, 1973) magma odalarındaki konveksiyon nedeniyle bozunmaları sonucu oluşmaktadır. Şiliren, sıg yerleşimli granitik intrüzyonlardan ziyade; daha çok, derin yerleşimli ve migmatitik kompleksler ile birlik oluşturan anateksitik granitlerde görülür. Şilirene benzer şekilde görülen biyotit ve diğer mafik mineral zenginleşmeleri kümülasyon süreçleri sonucu meydana gelebilmektedir. Bunlar genellikle "tabakalanma" olarak isimlendirilmektedir.

Ksenolitler, şiliren ve mikamsı enklavlar, anateksitik granitler hariç, diğer intrüzyonlarda ender olarak görülürler. Granitoyidlerdeki enklavların birçoğu taşıyıcı ana magmatik kayaçlardan ince taneli (yaklaşık 1mm) olmaları ile ayrılırlar ve "mikrogranüler enklavlar" olarak tanımlanırlar (Didier ve Roques, 1959). Mikrogranüler enklavların boyutları değişiktir. Birkaç cm'den birkaç dm'ye kadar olmakla birlikte bazıları 1 m veya daha büyük de olabilirler. Ana granitoyidler ile mikrogranüler enklavların kontakları genellikle keskindir. Taşıyıcı ana granitoyidler ile aynı anda kristalleşen bazı enklavlar biyotitce zengin bir kenar zonu da içermemelerinden dolayı ana granitoyidlerden kolayca ayırt edilemezler. Bazı mineraller ve özellikle iri K-feldispat kristalleri enklavlar ile ana kayaç arasındaki kontakt boyunca gelişebilirler. Bu tür megakristallerin, öncekleri, granitoyidlerdeki enklavlarda meydana gelen metasomatizma ile oluştuğu ileri sürülmüştür. Güncel çalışmalar ise, bu tür megakristallerin oluşumunda eşyaşlı (coeval) mafik ve felsik iki magmanın karışması (magma mingling) esnasında magmalar arasında meydana gelebilecek kristal transferinin etkili olduğunu ileri sürmektedir (Barbarin, 1991; Bussy, 1991).

Mikrogranüler enklavlar daha çok elipsoyidal biçimlidir. Bunlar arazide yuvarlağımsı veya oval görünürler. Bu biçimsel özellik bunların ilksel fiziksel özelliklerinden ve magmatik hareketlenme kabiliyetlerinden kaynaklanır. Magma mingling olayının meydana geldiği

yerlerin yakınlarında oluşan enklavların büyük bir bölümü düzensiz biçimli, loblu (yuvarlak kısımları olan) ve ince taneli kenarlara sahip olarak gözlenirken; oldukça uzaklara göç etmiş enklavlarda ise bu özel karakteristikler gözlenmez. Enklavların bu elipsoidal biçimlerinin, granitik magmanın yerleşmesi sırasında enklavlarda meydana gelebilecek hareketlenmeye bağlı deformasyon ve erozyondan kaynaklanabileceği ileri sürülmektedir (Didier, 1987).

Mikrogranüler dokulu enklavlar, taşıyıcı ana kayalar ile karşılaştırıldığında, ana kayaktan daha mafik veya daha felsik bir bileşim sunarlar. Enklavların bu iki tipinin kaynakları kolayca ayrılabilir. Mafik mikrogranüler enklavlar (MME), mafik ve felsik magmalar arasındaki mingling olayının ürünleridir. Nadir olarak görülen felsik mikrogranüler enklavlar (FME) ise granitik magmaların yükselişi sırasında erken soğumuş olan kenar zonlarının parçalanması ile meydana gelirler. MME'ler granitik intrüzyonların büyük bir kısmında gözlenirken; FME'ler ise, daha çok, sıg yerleşimli intrüzyonların üst kesimlerinde gözlenmektedir. Diğer taraftan belirtilmesinde yarar görülen bir diğer nokta da; MME ve FME'lerin sadece granitoidlerde değil de; aynı zamanda, siyenit ve nefelin siyenitlerde de bulunabilirliği (Didier ve Barbarin, 1991b).

Mikrogranüler enklav (Didier, 1973) veya mikrogranitoid enklavı (Vernon, 1983, 1984) olarak tanımlanan enklavlar tipik olarak mikrogranüler dokuya sahiptirler ve granitoid bileşimindedirler. Diğer taraftan, Barbarin (1988) bu enklavların daima mikrogranüler dokulu olmadığını, zaman zaman 2-3 mm boyutunda mineraleri de içerebildiğini, yani porfirik dokulu da olabildiklerini ileri sürerek mikrogranüler enklav veya mikrogranitoid enklavı yerine mafik magmatik enklav (MME) teriminin kullanılmasını önermiştir. Didier ve Barbarin (1991b) tarafından belirtildiğine göre bu terim de doğrudur, ancak bu enklavlar daima taşıyıcı ana kayacık olan granitoidlerden daha ince tanelidirler. Bu ince taneli olma özelliği daha soğuk olan felsik magmalar içerisine karışmış olan mafik magmaların hızlı soğumasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, mafik magmatik enklav (MME) terimi kümülat kayaların enklavları için de kullanılmaktadır. Bu tip enklavlar nadir olarak gözlenmektedirler ve bu nedenle bunlar üzerindeki çalışmalar azdır (Frost ve Mahood, 1987; Dorais ve diğ., 1990; Barbarin, 1991).

Kümülat enklavlar daha çok mafiktir ve granitoid

bileşimli ana kayalarda erken kristallenmiş minerallerce zenginleşmişlerdir. Bunlar, ana kaynak kayalar ile aynı tane boyuna sahip olmaları ve kümülat dokusu göstermeleri nedeniyle mafik mikrogranüler enklavlardan ayrılırlar.

Mafik mikrogranüler enklavlar granitoid plütonlarında genel olarak dağılmış bir durumda bulunsalar da bazen lokal olarak enklav karmaşıkları (swarm) halinde de bulunabilirler. Enklav karmaşıklarının kaynakları değişik olabilmektedir. Örneğin, değişik mekanizmaların birlikte etkin olmasıyla meydana gelen ve ksenolit+mikamsı enklav+MME gibi değişik tip enklavları içeren ve bu nedenle "polijenik karmaşıklar" olarak tanımlanan enklav karmaşıklarının yanısıra daha çok magma mingling olaylarının geliştiği ortamların yakınında görülen (Barbarin, 1991) "monojenik karmaşıklar" da tanımlanmıştır (Didier ve Barbarin, 1991b).

Mikrogranüler, mikrogranitoid veya magmatik enklav gibi her üç terim de güncel olarak kullanılmakta ve bunların tümü için MME kısaltmasının kullanılması önerilmektedir (Didier ve Barbarin, 1991b). Böylece, MME kısaltması hem Mafik Mikrogranüler Enklav, hem Mafik Mikrogranitoid Enklavı ve hem de Mafik Magmatik Enklav terimlerinin kısaltması olarak kullanılmış olabilecektir (Didier ve Barbarin, 1991b). Ancak, bu derlemelerin yazarları, Türkçe kullanımda MME terimi Mafik Magmatik Enklav sözcüklerinin kısaltması olarak önermekte ve mikrogranüler dokulu MME veya porfirik dokulu MME terimlerinin kullanılmasını önermektedirler (bkz. Bölüm 4).

3. EŞYAŞLI (COEVAL) MAFİK VE FELSİK MAGMALARIN BAĞIL REOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE ETKİLEŞİM SÜREÇLERİ

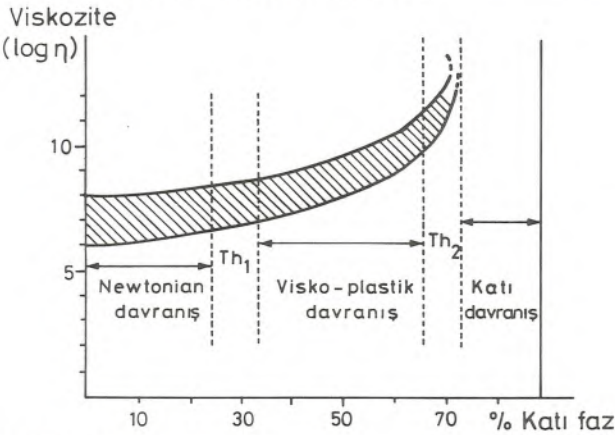
Eşyaşlı mafik ve felsik magmaların homojen karışımı (magma mixing) ve heterojen karışımı (magma mingling) süreçlerindeki etkili faktör, magmaların bağıl bileşimleri ve sıcaklıkları arasındaki farklılıkların doğal sonucu olan bağıl viskozite farklılığıdır. Bu bakımdan, magmaların bağıl reolojik özelliklerinin incelenmesinde yarar görülmektedir.

3.1. Magmalarda Viskozite-Katı Faz İlişkisi

Herhangi bir magmanın viskozitesi ile içerisindeki katı faz miktarı incelendiğinde (Şekil 1), magmanın üç ayrı davranışa ve bu üç davranış biçimi arasında da iki ayrı eşik değerine sahip olduğu görülmektedir. Diğer

bir deyişle, her bir eşik değeri, magmanın değişik davranış biçimlerini birbirlerinden ayırt etmektedir.

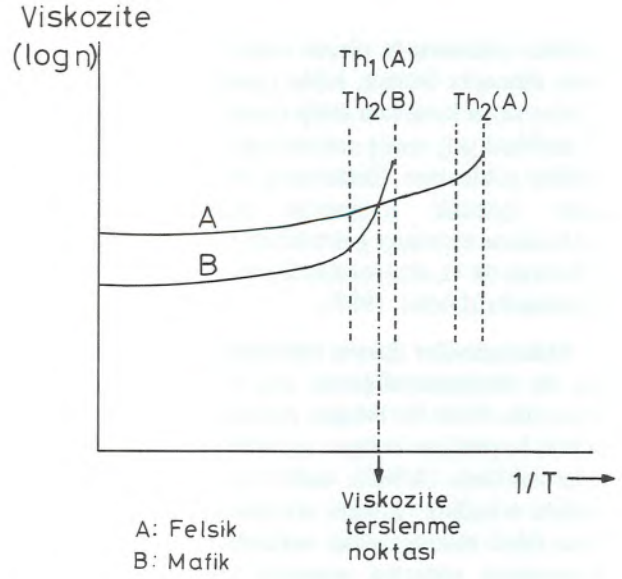
Şekil 1'den de görüleceği gibi, herhangi bir magma, içindeki katı faz % 30'a gelinceye kadar "Newtonian" davranış sergilemektedir. Katı faz % 30'a ulaştığında I. eşik değerine ulaşmış olmaktadır ki, katı faz % 70'e ulaşıncaya kadar söz konusu magma "Visko-Plastik" davranış göstermektedir. Magma içindeki katı fazın % 70'e ulaşması durumunda ise, II. eşik değere ulaşılmış olmaktadır ki, bu eşik değerden itibaren söz konusu magma artık "Plastik" bir davranış sergilemeye başlayacaktır (Fernandez ve Barbarin, 1991).



Şekil 1. Magma sisteminde viskozite-katı faz yüzdesine bağlı davranış biçimleri. Th1, I. eşik değeri; Th2, II. eşik değeri (Fernandez ve Barbarin, 1991)

3.2. Eşyaşlı (Coeval) Mafik ve Felsik Magmalardaki Viskozite Terslenmesi Kavramı

Eşyaşlı mafik ve felsik iki magma sistemi ele alındığında, bunlardan felsik olanı Newtonian davranış aşamasında iken, diğer bir deyişle içindeki katı faz % 30'dan az iken, yani henüz I. eşik değere ulaşmamışken; bu felsik magmanın içine visko-plastik davranış aşamasındaki bir mafik magma - diğer bir deyişle içindeki katı faz içeriği % 30-70 arasında olan yani I. eşik değerini geçmiş olan bir mafik magma - karıştırdığında, mafik magma daha çabuk soğuyarak hemen II. eşik değerine ulaşacak ve plastik davranış göstermeye başlayacaktır. Mafik magmanın II. eşik değere ulaştığı bu noktada, felsik magma ancak I. eşik değere ulaşmış olacaktır ki, işte bu noktaya "viskozite terslenme noktası" denilmektedir (Şekil 2). Viskozite terslenme noktası denilmesinin nedeni ise, bu noktadan itibaren, mafik magmanın plastik davranış aşamasına geçtiğinden felsik magmaya göre daha yüksek değerlerde viskozite göstermesidir.



Şekil 2. Eşyaşlı mafik ve felsik magma karışımında viskozite terslenme noktasını gösteren diyagramı (Fernandez ve Barbarin, 1991). Th1 (A), felsik magmanın I. eşik değeri; Th2 (B), mafik magmanın II. eşik değeri; Th2 (A), felsik magmanın II. eşik değeri

3.3. Eşyaşlı Mafik ve Felsik Magmaların Etkileşim Süreçleri

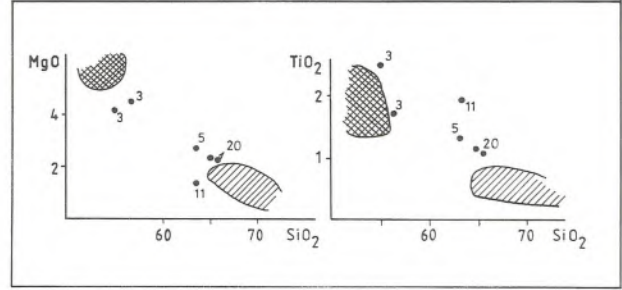
Yukarıda anlatılanlardan kolayca anlaşılacağı gibi, eşyaşlı mafik ve felsik magmaların her ikisi de Newtonian davranış aşamasında iken karışmışlarsa, homojen bir karışma şeklinde tanımlanabilecek magma mixing olayı gerçekleşmektedir. Fernandez ve Barbarin (1991) tarafından belirtildiğine göre, bu tür bir karışım ancak yerkabuğunun derinliklerinde, olasılıkla ilksel magma oluşum ortamlarında meydana gelebilmektedir. Söz konusu eşyaşlı mafik ve felsik magmalar arasındaki karışma, kabuğun kısmen daha üst kesimlerinde, yani magmaların diyapirik olarak yükselmeye başladığı ortamlarda gelişmişse, diğer bir deyişle felsik magma yine Newtonian evrede, mafik magma ise visko-plastik evrede iken karışım meydana gelmişse, heterojen karışım anlamına gelebilecek olan magma mingling olayı meydana gelmektedir. Bu karışım sırasında, felsik magmanın yükselme hızı 10 cm/yıl'dan (Fernandez ve Barbarin, 1991) - 145 cm/yıl'a (Mahon ve diğ., 1988) kadar değişen bir hıza sahipken, felsik magmaya karışmış visko-plastik davranışlı ve çapı yaklaşık 10 cm olan mafik bir magma damlacığının gömülme hızı ise 2000-3000 yıl/cm arasında değişen hızlarda gerçekleşmektedir (Fernandez ve Barbarin, 1991). Bunun nedeni

ise, viskozite terslenmesinden dolayı daha viskoz özellik kazanan magma damlacığının, viskozitesi daha düşük olan felsik magma içinde kolayca gömülebilme yeteneğine sahip olmasıdır. Böylece, mafik magma damlacığı çabuk bir şekilde katılarak, felsik kayalar içinde korunmuş ve mikrogranüler dokulu MME'lerin oluşumunu sağlamış olmaktadır.

Magma mingling olayı sırasında, felsik magma ile mafik magma damlacığı arasındaki bileşimsel farklılık fazla değilse (örneğin tonalitik bileşimli felsik magma içinde diyorit bileşimli mafik magma damlacığının bulunması durumunda), mikrogranüler dokulu MME'lerin ilksel küremsi şekilleri fazlaca deforme olmamaktadır. Ancak, felsik magma ile mafik magma damlacığı arasındaki bileşimsel farklılık büyük ise, mikrogranüler dokulu MME'lerin ilksel küremsi şekilleri deforme olmakta ve daha çok elipsoidal biçimler almaktadır. Ancak, vurgulanmasında yarar görülen hususlar, her iki durumda da, MME'ler ile taşıyıcı felsik kayalar arasında keskin bir sınırın olduğu, MME'lerde herhangi bir kontakt metamorfizma etkisinin gelişmediği ve MME'lerin kesinlikle magmatik katılmanın göstergesi olan mikrogranüler doku göstermeleridir (Fernandez ve Barbarin, 1991)

Mikrogranüler dokulu MME'lerin gelişimi sırasında, haliyle mafik ve felsik magma sistemleri arasında çeşitli kimyasal madde alış-verişi de gerçekleşmektedir. Örneğin, çapı daha büyük olan mafik magma damlacıkları, küçük olanlara göre, felsik magma ile daha uzun süre ve daha fazla yüzeyler boyunca temas halinde olacağından, felsik magmadan çeşitli elementleri bünyesine alabilecektir. Örneğin, Fernandez ve Barbarin (1991) tarafından Velay lökograditi içinde görülen Peyron diyoriti ile, Peyron diyoritinin mafik magma damlacıklarını karakterize eden mikrogranüler dokulu MME'lerin SiO_2 içeriğine karşı MgO ve TiO_2 değerleri incelenmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, MME'lerin çapları küçüldüğünde, bileşim, Peyron diyoritine yaklaşırken; çaplar büyüdüğünde bileşim, Velay lökograditine doğru yaklaşmaktadır.

Magma mingling sırasında felsik ve mafik magmalar arasında elementer göçün bir başka şekli ise, MME'lerin çevresinde gelişen ve felsik hale olarak isimlendirilen kesimlerin meydana gelişidir (Şekil 4). Bussy (1991) tarafından belirtildiğine göre, mafik magma damlacığındaki silisin dışarıya doğru göçü ile MME'nin çevresinde kuvars ve feldispatça zengin bir



Şekil 3. Velay plajinjetik lökograditi (tek çizgiyle taralı) içerisindeki Peyron diyoriti (çapraz taralı) ve mikrogranüler dokulu MME (içi dolu noktalar) örneklerinin % SiO_2 içeriklerine karşılık % MgO ve TiO_2 içeriklerinin değişim diyagramları. MME örneklerinin üzerindeki rakamlar cm cinsinden çapları gösterir (Fernandez ve Barbarin, 1991)

felsik hale meydana gelebilmektedir. Doğu Karadeniz bölgesindeki Kaçkar batolitinin biyotit-granitoid fasiyesindeki kayaları içerisinde, Çamlıhemşin (Rize)-Ayder Yaylası arasında felsik haleye sahip olan mikrogranüler dokulu bir MME örneği gözlenmiştir (Şekil 4).

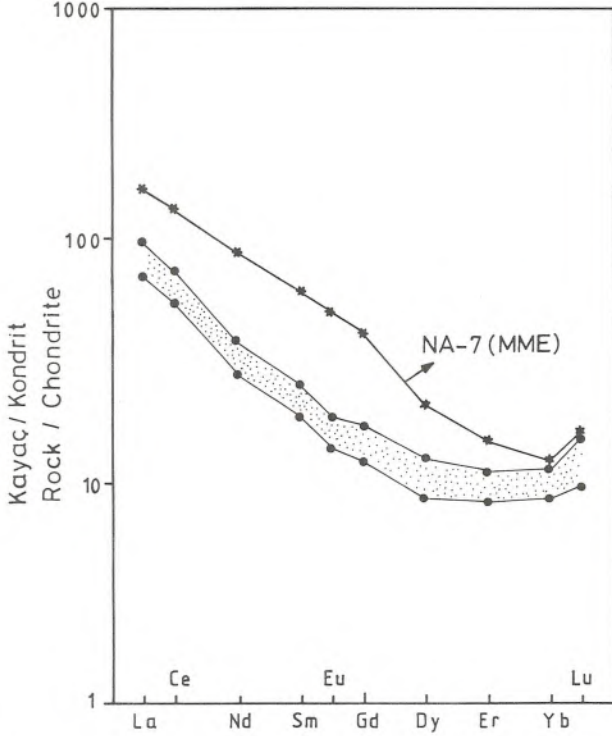


Şekil 4. Kaçkar batolitinde biyotit-granitoidler içerisindeki mikrogranüler dokulu bir MME'nin çevresinde gelişmiş felsik hale (Fotoğraf Ayder Yaylası'nın (Çamlıhemşin-Rize) yaklaşık 5 km kuzeyinde yol yarmasının doğu yanından alınmıştır).

Bu sürecin sonucu olarak, MME'lerin kendilerinin en dış kesimlerinde silis bakımından fakirleşme nedeniyle daha koyu renkli bir kesim meydana gelebilmektedir. Diğer taraftan felsik ana kayalar ile MME'ler arasındaki kimyasal element göçü sırasında, MME'lerin başlıca alkaliler, Ba, Ti, Zr, Y ve REE bakımından zenginleşebileceği de belirtilmektedir (Bussy, 1991).

MME'lerin, taşıyıcı ana kayalara göre REE bakımından zenginleşebilme özelliği, ülkemizde, Çaltı plü-

tonunda (Avcı ve Boztuğ, 1993) çarpıcı bir şekilde gözlenmektedir (Şekil 5).

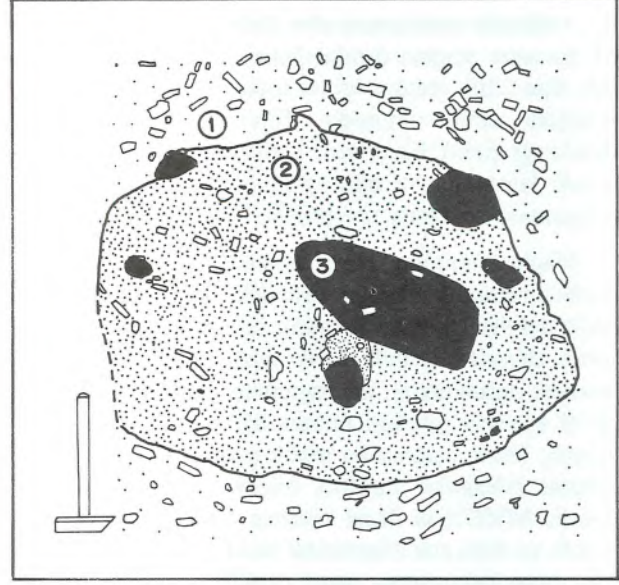


Şekil 5. Granodiyorit-tonalit bileşimli kayalardan oluşan Çaltı plütonu içerisinde bulunan kuvars-diyorit bileşimindeki mikrogranüler dokulu bir MME örneğinin (NA-7 no'lu örnek), taşıyıcı ana kayalara göre REE bakımından zenginleşmesi (Avcı ve Boztuğ, 1993'ten alınmıştır).

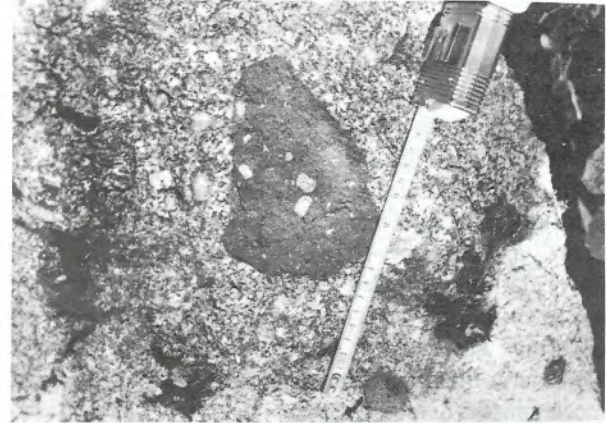
Felsik ana kayacık ile MME arasındaki diğer bir önemli malzeme alışverişi de, özellikle iri K-feldispat megakristalleridir. Bu tür megakristalleri içeren ana felsik magmadaki K-feldispat kristal çekirdekçikleri, aynı zamanda MME'lerin içerisine nüfuz edebilmekte ve daha sonra felsik sistemden beslenen uygun elementler ile MME içerisinde tıpkı felsik ana kayacığına benzer iri K-feldispat megakristalleri büyüyebilmektedir (Şekil 6). Bu şekilde büyüyen K-feldispat megakristalleri, ülkemizde, Kaçkar batolitinde de gözlenmektedir (Şekil 7).

4.EŞYAŞLI MAFİK VE FELSİK MAGMALARIN HETEROJEN KARIŞIMI (MAGMA MINGLING)

Eşyaşlı mafik ve felsik magmaların heterojen karışımı (magma mingling) olayı, arazi çalışmaları sırasında mostra düzeyinde gözlenen ve boyutları genel olarak cm-dm ve hatta yer yer m düzeyinde gelişmiş olan mikrogranüler dokulu mafik magmatik enklavların (MME) varlığı ile karakterize edilmektedir (Şekil

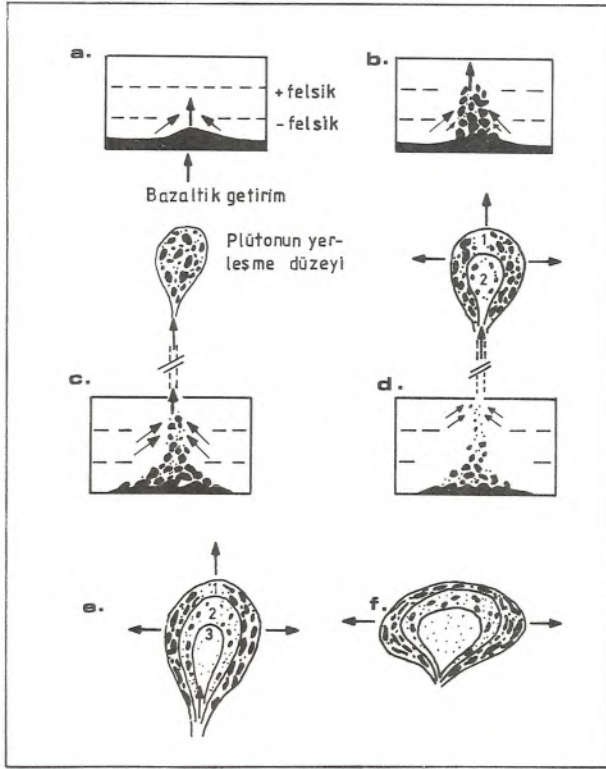


Şekil 6. K-feldispat megakristalleri içeren Shap graniti (1) (Cumbria, İngiltere) içinde görülen mikrogranüler dokulu ve kuvars-diyorit bileşimli bir MME (2) ile bunun içerisinde yer alan mikrodiorit bileşimli MME (3) içinde gelişen K-feldispat megakristalleri (Pitcher, 1993)



Şekil 7. Kaçkar batolitinde K-feldispat megakristalleri içeren granitoidler içerisindeki mikrogranüler dokulu bir MME'de kristal çekirdekçigi ve elementer göç yoluyla gelişmiş K-feldispat megakristalleri (Fotoğraf Ayder-Kavrun Yaylaları, Çamluhemşin-Rize, arasından alınmıştır)

8). Sierra Nevada batolitinde bulunan MME'ler üzerinde yapılan ayrıntılı çalışmalarda (Barbarin, 1991), çeşitli MME türleri tanımlanmıştır. Bazıları ülkemizdeki granitoid plütonlarında da görülebilen bu MME'lerin özellikleri şöyle özetlenebilir.

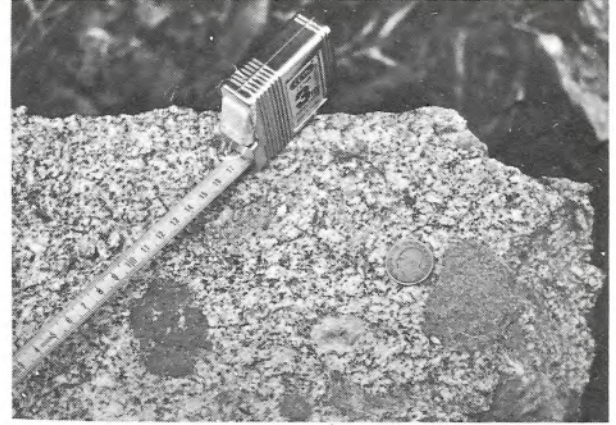


Şekil 8. Zorpi ve diğ. (1989) tarafından zonlanma gösteren plütonlar için önerilen (Pitcher, 1993'ten) magma mingling modeli.

a. Kendi içerisinde felsik bileşenlerce tüketilmiş ve zenginleşmiş olarak bileşimsel zonlanmaya uğramış bir asidik magmaya bazik magma getirimi; b. Bazaltik getirim azalan bir şekilde devam ederken, asidik magma odasının taban kesimindeki malzemeye karışma (mingling) başlamaktadır; c. Asidik magma odasının taban kesiminden beslenen ilk magmatik yerleşim, aynı anda orta kesimden itibaren ikinci beslenme başlamıştır; d. Asidik magma odasının orta kesiminden beslenen ikinci magmatik yerleşim, aynı anda üst kesimden üçüncü beslenme başlamıştır; e. Asidik magma odasının üst kesiminden beslenen üçüncü magmatik yerleşim; f. Tüm magmatik yerleşimlerinin hep birlikte lateral gelişimlerine (ballooning) devam etmeleri.

4.1. Mikrogranüler Dokulu Mafik Magmatik Enklavlar (MME)

Magma mingling olayı sonucu en fazla bulunan ve en karakteristik olan enklav tipi, mikrogranüler dokulu mafik magmatik enklavlardır (MME). Daha önce de belirtildiği gibi, felsik ana kayaç içerisine karışmış ancak bağıl viskozite farklılığı nedeniyle daha hızlı bir şekilde soğumuş mafik magma damlacıkları/kabarcıkları olarak değerlendirilmektedir (Şekil 9). Herhangi bir kontakt metamorfizma etkisi göstermedikleri gibi, kesinlikle magmanın katılması sonucu gelişmiş mikrogranüler dokuya sahiptirler (Şekil 10).



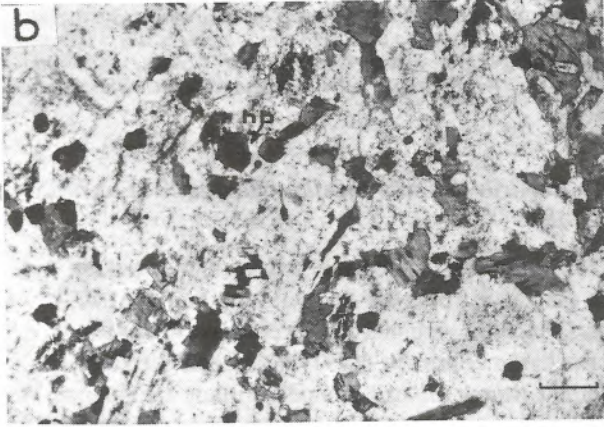
Şekil 9. Felsik granitoidler içerisinde magma mingling olayı sonucu gelişen mafik magmatik enklavların (MME) genel görünümü. Sağ taraftaki MME örneği mikrogranüler doku gösterirken, sol taraftaki ise iri K-feldispat megakristalleri içerdiği için porfirik doku göstermektedir (Kaçkar batolitiinde Ayder-Kavrun Yaylaları, Çamlıhemşin-Rize, arasından alınmıştır).

4.2. Porfirik Dokulu Mafik Magmatik Enklavlar (MME)

Oluşum şekli tamamen mikrogranüler dokulu mafik magmatik enklavlar ile aynı olan bu tür MME'lerin tek farkı, mikrogranüler doku yerine porfirik doku göstermeleridir. Barbarin (1991) tarafından Sierra Nevada Batoliti Mount Givens granodiyoritinde tanımlanan bu tür mafik magmatik enklavlar, aynı zamanda mikrogranüler dokulu MME'de içerdiğinden kompozit MME olarak da tanımlanabilmektedir (bkz.Barbarin,1991;Şekil 2).

4.3. Kümülat Enklavlar

Barbarin (1991) tarafından Sierra Nevada batoliti Half Dome granodiyoriti ile Mount Givens granodiyoritinin Courtright Intrüzif Zonunda tanımlanan bu tür enklavlar tipik olarak kaba taneli diyorit veya gabro bileşimi gösterirler. Kabaca yuvarlağimsı ve elipsoidal biçimler gösteren bu enklavlar karakteristik olarak 1 cm'ye kadar ulaşabilen boyuna sahip hornblend kristalleriyle belirginleşen magmatik doku göstermektedirler (bkz. Barbarin, 1991; Şekil 1 G.H). Araştırmacı tarafından belirtildiğine göre, bu enklavların taşıyıcı granodiyorit ile olan dokanakları kısmen keskin olup, ince taneli kenar zonları gelişmemiştir. Daha önceki araştırmacılar tarafından bu enklavların aynı zamanda "gabroyik kapanımlar" (Frost ve Mahood, 1987) ve "gabroyik enklavlar" (Dorais ve diğ., 1990) olarak isimlendirildikleri de bilinmektedir.



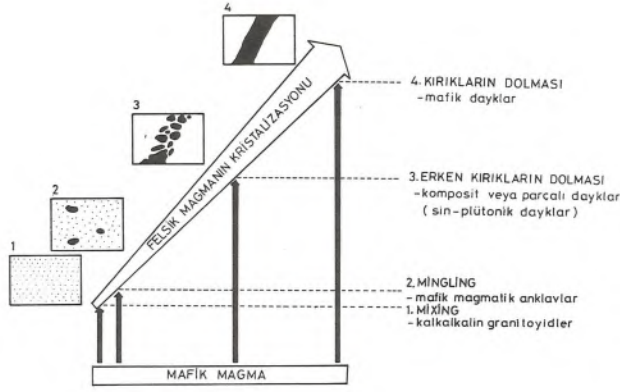
Şekil 10. Diyorit bileşiminde mikrogranüler dokulu bir MME örneğinin a. çift nikolde, b. tek nikolde genel görünümü. Aynı MME örneğinin, granodiyorit bileşimli taşıyıcı ana kayalık ile olan dokunağı ise c' de sol alt köşede görülmektedir. hb, hornblend; kf, K-feldispat (çizgisel ölçek 0.25 mm).

Barbarin (1991), Sierra Nevada batolitinde gözlediği bu tür kümülat enklavların oluşumunu şu şekilde açıklamaktadır: Muhtemelen üst mantodan türemiş mafik magma, altı kıtasal kabuğa sokulum yaparak, kıtasal kabuğun alt kesimlerinin de erimesine yol açmaktadır. İlk sel magma oluşum ortamları derinliğinde gelişen bu olaylar sonucunda, mantodan türemiş ve daha sıcak olan mafik magma ile alt kabuktan türemiş ve daha soğuk olan felsik magma homojen bir şekilde karışarak (magma mixing) yeni bir hibrid magma kaynağı meydana getirmektedirler. Bu hibrid magma katılaşmaya başlar başlamaz, ilk oluşan mineraller gravitatif ayrımına yoluyla tabana çökerek kümülat dokulu kesimlerin oluşumuna neden olmaktadır. Bu sırada magma devamlı olarak yukarıya doğru hareketine devam ettiği için, erken evrede oluşan kümülat dokulu kesimleri parçalayabilmekte ve böylece felsik granodiyoritler içerisinde hapsedilmiş kümülat enklavların oluşumunu sağlamaktadır. Burada, kümülat dokulu kesimlerin, tam plastik davranış gösteren katı kayalardan ziyade, visko-plastik davranış gösteren yani yarı katı - yarı sıvı özelliğe sahip oluşumlar olduğu unutulmamalıdır.

4.4. Sin-Plütonik Dayklar

Fernandez ve Barbarin (1991) tarafından belirtildiğine göre, felsik bileşimli magma katılaşmaya yüz tuttuğunda, diğer bir deyişle visko-plastik evrede iken yani henüz II. eşik değere ulaşmamışken, bünyesinde meydana gelebilecek erken evre kırıkları Newtoniyan davranış gösteren mafik magma ile doldurulduğunda, felsik magmanın hareketliliği ile, mafik magmanın oluşturduğu dayk kırılmakta, parçalanmakta ve her bir parçanın arası yine felsik magma malzemesi ile doldurulmaktadır. Böylece, felsik kayalar içerisinde, belirli zonlarda dizilim gösteren, irili-ufaklı mikrogranüler dokulu mafik magmatik enklavların (MME) varlığı ile karakteristik olan sin-plütonik daykların oluşumu gerçekleşmiş olmaktadır (Şekil 11). Ülkemizde, Kaçkar batolitinin granodiyorit fasiyesi içerisinde, Çamlıhemşin (Rize) güneyindeki Şenyuva köyü yöresinde sin-plütonik dayk oluşumu gözlenebilmektedir (Şekil 12).

Pitcher (1993)'e göre eşyaşlı mafik ve felsik magmaların heterojen karışımları (magma mingling) sırasında oldukça değişik faktörlerin sonucunda gelişebilen sin-plütonik daykların (Şekil 13) en güzel örnekleri ABD'nin batısında, Peru'da, Güney Korsika'da, Sinai'de ve Malay Peninsula'da gözlenmektedir. Hill (1988) tarafından Güney Kaliforniya'daki San Jacinto kompleksin-



Şekil 11. Felsik bir magmanın katılaşması sırasında, farklı kristalleşme evrelerinde, mafik magma karışması sonucu meydana gelebilecek etkileşimler ve ürünler. Felsik magmanın kristalleşme derecesi arttıkça, eş yaşlı mafik ve felsik magmalar arasındaki etkileşim tedrici olarak azalmaktadır (Fernandez ve Barbarin, 1991).

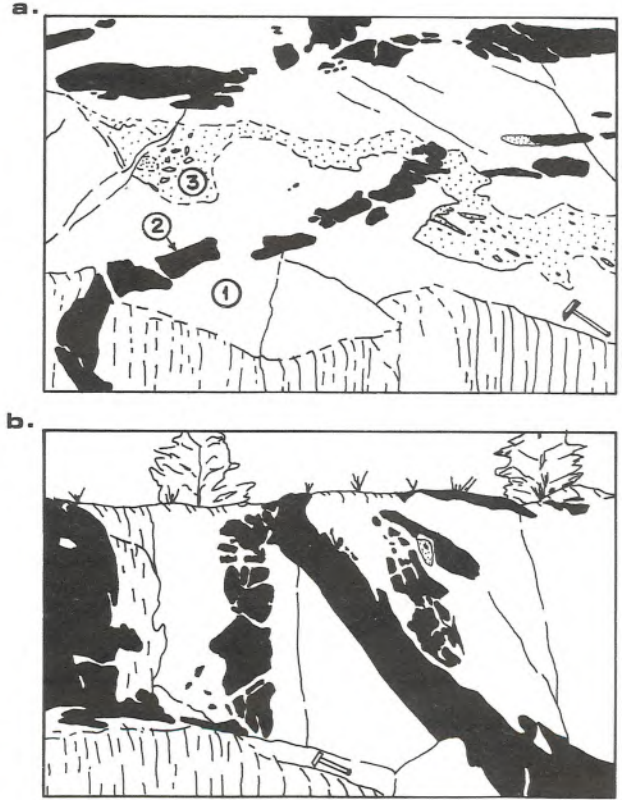
deki sin-plütonik daykların oluşumuna ilişkin önerilen modelin (Şekil 14), şimdiye kadar önerilenlerin en iyilerinden birisi olduğu belirtilmektedir (Pitcher, 1993).

5. EŞYAŞLI MAFİK VE FELSİK MAGMALARIN HOMOJEN KARIŞIMI (MAGMA MİXİNG)

Hibbard (1991) tarafından belirtildiğine göre, eş yaşlı mafik ve felsik magmaların her ikisi de reolojik özellikleri bakımından henüz "Newtonian" davranış aşamasında iken karıştıklarında meydana gelen homojen magma karışımı (magma mixing) olayı, ancak mikroskopik olarak tanınabilecek bazı dokusal özellikler yardımıyla tanımlanabilmektedir. Bu dokusal özellikle-



Şekil 12. Kaçkar batolitindeki granodiyoritler içerisinde gelişmiş bir sin-plütonik dayk oluşumu (Çamlıhemşin güneyindeki Şenyuva Köyü yöresi).



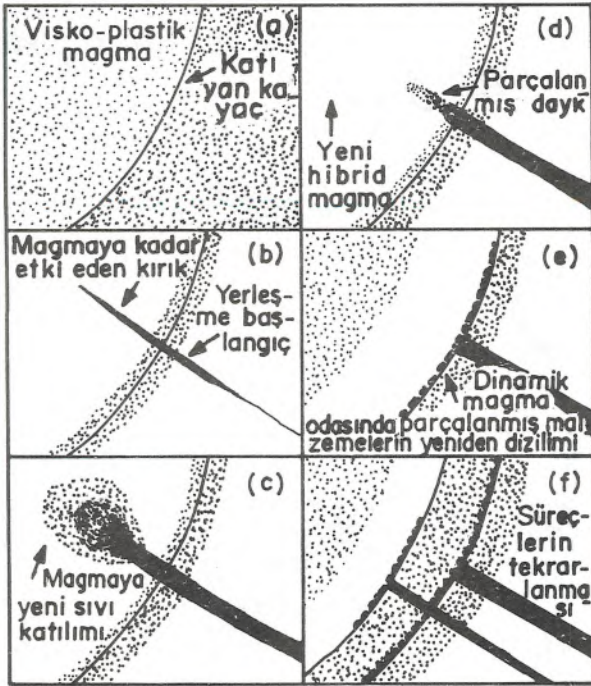
Şekil 13. Granitik ana kayalar (1) içerisindeki mafik bileşimli sin-plütonik dayk (2) oluşumunun; oblik (a) ve yarma düzleminde (b) görünümü. Noktalarla taralı olarak gösterilen kesimler (3) diyoritik bileşimli olup, kısmen özümsemiş bazik enklavlar içermektedir (Cortes Island, British Columbia, Canada; Pitcher, 1993'ten alınmıştır).

rin ortaya çıkmasında etkin olan süreçler, Hibbard (1991) tarafından şu şekilde özetlenmiştir.

1. Mafik sistemin felsik sisteme ısı vererek soğuması sonucu çekirdeklenme ve kristallenme oranlarının bağıl olarak daha yüksek olmasına neden olması.

2. Mafik sistemden ısı alınması sonucu sıcaklığı oldukça artan felsik sistem içerisinde, mixing öncesinde oluşmuş kristallerin kısmi erimeye uğraması veya kısmen çözünmesi.

3. Mafik ve felsik magma sistemleri, henüz mixing olayına maruz kalmadan önce, çeşitli nedenlerle 1. ve 2. maddelerde belirtilen yeniden ısıl dengelenmelere maruz kaldıklarında; 1. ve 2. maddelerde verilen süreçler, mixing olayından önce de her bir magma sisteminde bağımsız şekilde meydana gelebilmektedir.



Şekil 14. Eşyaşlı mafik ve felsik bileşimli magmalar arasındaki magma mingling olayı sonucu gelişen mafik bileşimli sin-plünotik dayk oluşumu için Hill (1988) tarafından önerilen model (Pitcher, 1993'ten).

a. Herhangi bir ortama yerleşerek katılmaya başlayan felsik magmanın viskozite bakımından visko-plastik evredeki durumu; b. Visko-plastik özellikli felsik magma odasına kadar etkiyen erken evre kırıklarının mafik magma ile doldurulmaya başlaması; c. Erken evre kırığının mafik magma ile doldurulması sırasında felsik magmanın hibridleşmeye başlaması; d. Felsik magmanın hibridleşme süreci devam ederken, erken evre kırığının içinde oluşan mafik daykın magma odasında kalan kesiminin kısmen parçalanması; e. Magma odasının dinamiğinden dolayı, parçalanmış mikrogranüler dokulu MME'lerin yeniden dizilmesi ve sin-plünotik daykın oluşumu; f. Aynı süreçlerin tekrar etmesi.

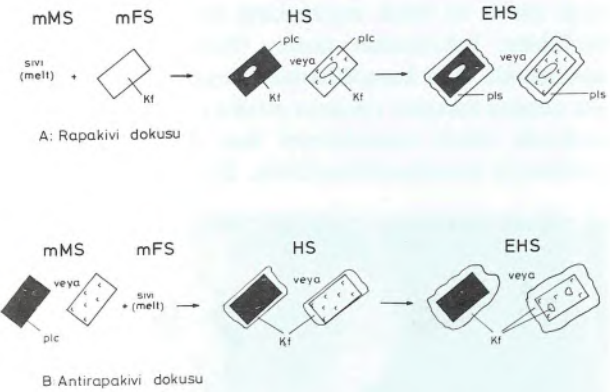
4. Mixing olayına katılan sistemlerin en bol bulunan bileşenleri yeni bazı minerallerin oluşmasına neden olmaktadır (örneğin Fe/Mg içeren magmanın, K içeren magma ile karışmasında hidrojenik biyotitin oluşması gibi).

5. Mixing olayının en son evreleri termal dengelenme ile karakterize edilir. Burada yaklaşık olarak homojen bir tek eriyiğin kristalizasyonu söz konusudur ki, bu tür sistemlere dengelenmiş hibrid sistemler (EHS) denilir.

Mixing olayına maruz kalmış magmatik sistemlerde, bu beş sürecin çerçevesinde meydana gelebilecek dokusal özellikler şu şekilde özetlenebilir;

5.1. Rapakivi Dokusu: K-feldispatın plajiyoklaz tarafından mantolanmasıdır. Burada mafik magma eriyik halde iken, felsik magmada K-feldispat kristalleri bulunmaktadır. İki magma, mixing olayına uğradığında, felsik magmadaki K-feldispat kristalleri kalsik plajiyoklazlar için bir kristallenme çekirdeği oluşturmaktadır. Böylece kalsik plajiyoklaz tarafından mantolanmış K-feldispatlar ortaya çıkmaktadır. Daha ileri evrede ise, yani dengelenmiş hibrid sistem (EHS) evresinde ise kalsik plajiyoklazın çevresinde yeni bir sodik plajiyoklaz mantosu meydana gelmektedir (Şekil 15a).

5.2. Antirapakivi Dokusu: Burada mafik sistem içerisinde katılmış plajiyoklaz kristalleri, felsik sistemdeki eriyik ile karşılaştığında, kalsik plajiyoklaz K-feldispat tarafından mantolanmaktadır. Daha ileri evrede (EHS) ise, K-feldispat mantosunun boyutları büyümekte veya çekirdeklerdeki kalsik plajiyoklazın içinde zaman zaman K-feldispat gelişimi ortaya çıkmaktadır (Şekil 15b). Antirapakivi dokusu, ülkemizdeki granitoid plütonlarından Köseadağ (Boztuğ ve diğ., 1993), Çaltı (Avcı ve Boztuğ, 1993), Hasançelebi (Yılmaz ve diğ., 1993) ve Divriği (Sivas) yöresi plütonları (Boztuğ ve diğ., 1992) ile Şebinkarahisar-Dereli (Giresun) arasındaki plütonlarda yaygın şekilde gözlenmektedir (Şekil 16).



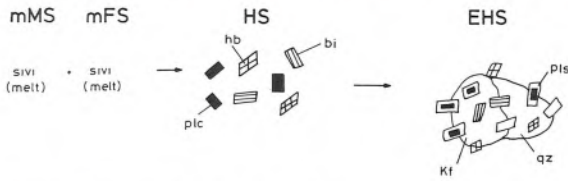
Şekil 15. Hibbard (1991) tarafından tanımlanan rapakivi (a) ve antirapakivi (b) dokularının gelişimi. mMS, daha mafik magma sistemi; mFS, daha felsik magma sistemi; HS, hibrid sistem; EHS, dengelenmiş hibrid sistem, kf, K-feldispat; plc, kalsik plajiyoklaz; pls, sodik plajiyoklaz.

5.3. Poikilitik Kuvars ve K-feldispat Oluşumu: Mafik ve felsik sistemlerin her ikisi de eriyik halde karşılaştıklarında, mafik sistemden itibaren birbirinden ayrı şekilde duran birçok küçük taneli kalsik plajiyoklaz, hornblend ve biyotit kristalleri oluşmaktadır. Daha ileri

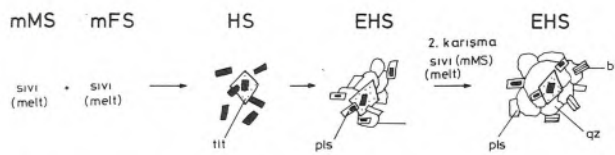


Şekil 16. Antirapakavi dokusunun genel görünümü (Şebinkarahisar-Dereli arasındaki granitoyid plütonundan alınan DŞ-69 no'lu kayaç örneği, çift nikol, çizgisel ölçek 0.25 mm) kf, K-feldispat; pl, plajiyoklaz.

evrede ise, önceden oluşmuş bu küçük mineralleri kapamılar halinde içeren kuvars ve K-feldispat mineralleri ortaya çıkmaktadır (Şekil 17a). Şebinkarahisar-Dereli arasında yüzeylenen granitoyidlerde gözlenen poikilitik K-feldispat oluşumu Şekil 18'de görülmektedir.



A: Poikilitik kuvars ve K-feldispat dokusu

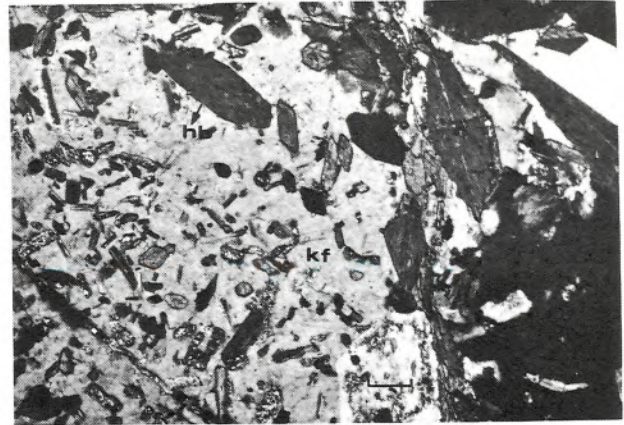


B: Titanit-feldispat gözlü (ocellar) dokusu

Şekil 17. Hibbard (1991) tarafından tanımlanan poikilitik kuvars ve K-feldispat dokusu (a) ile titanit-feldispat gözlü (ocellar) dokusunun (b) gelişimi, hb, hornblend; bi, biyotit; qz, kuvars; tit, titanit (diğer açıklamalar için Şekil 15'e bakınız).

5.4. Titanit-Feldispat Gözlerinin (Ocellar) Oluşumu: Yine mafik ve felsik sistemler eriyik olarak karşılaştıklarında, mafik sistemden itibaren özşekilli titanit

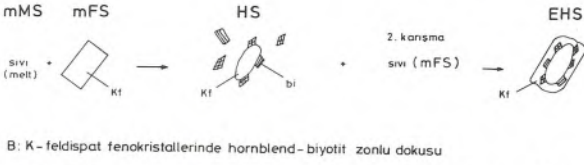
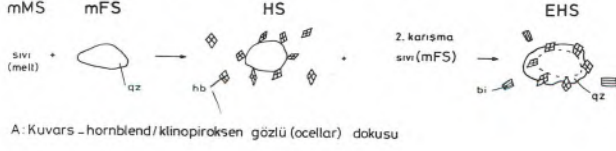
kristalinin çevresinde kalsik plajiyoklazlar kristallenmektedir. Burada biyotit ve hornblend görülmemektedir. Daha ileri evrede ise, titanitlerin ve küçük kalsik plajiyoklazların gözler (ocellar) halinde oluşturduğu beraberlik, felsik magmadan itibaren gelişen kuvars ve K-feldispat mineralleri ile çevrelenmekte ve aynı zamanda, küçük kalsik plajiyoklazlar sodik plajiyoklaz tarafından mantolanmaktadır. Çok ender olarak rastlanan bazı durumlarda ise mafik sistemin eriyik kısmı ile ikinci kez tekrar karışan bu titanit-feldispat gözlerinin çevresinde, hidrojenik biyotit ve sodik plajiyoklaz büyüme-leri ve ayrıca kuvars - K-feldispat büyümeleri gelişmektedir (Şekil 17b).



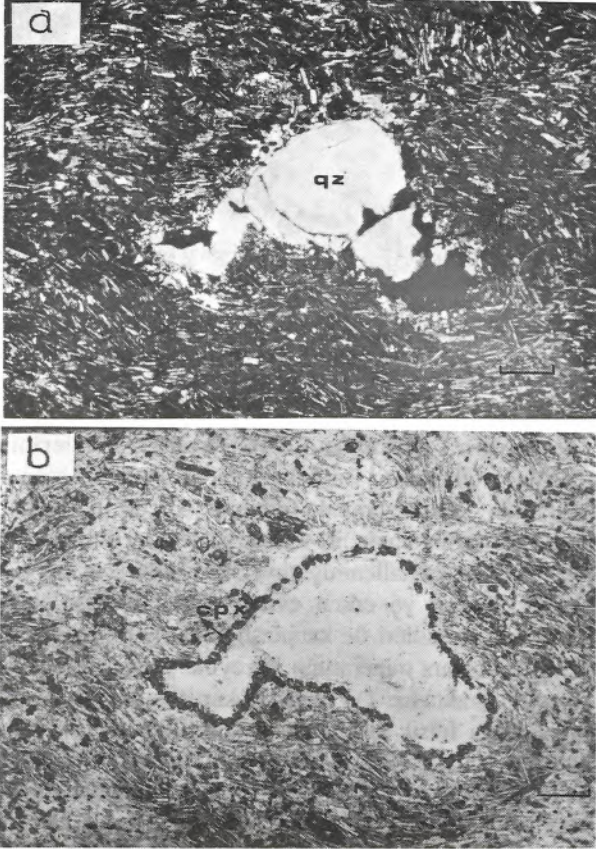
Şekil 18. Poikilitik doku gösteren K-feldispat mineralinin genel görünümü (Şebinkarahisar-Dereli arasındaki granitoyid plütonundan alınan DŞ-17711 no'lu kayaç örneği, çift nikol, çizgisel ölçek 0.225 mm). kf, K-feldispat; hb, hornblend.

5.5. Kuvars - Hornblend/Klinopirosken Gözlerinin (Ocellar) Oluşumu: Bu dokuda bağıl olarak iri kuvars kristalinin kenar zonunda dizilmiş küçük hornblend kristalleri bulunmaktadır. Felsik sistemde bulunan ve erken evrede kristallenmiş kuvars kristalleri, mafik sistemde bulunan ve erken evrede kristallenmiş küçük hornblend kristalleri ile karşılaştığında, hornblend kristalleri iri kuvars mineralinin yüzeyine yapışık vaziyette konumlanmaktadır. Daha sonra karışmanın ileri evresinde, daha felsik sistemden gelen silika fazlalığı, bu ilksel iri kuvars mineralinin etrafında tekrar bir zon halinde, önceden iri kuvarsa yapışmış hornblendlerle kenetlenerek büyümektedir. Böylece içte iri bir kuvars, çevresinde ince taneli mafik mineraller ve en dış zonda tekrar kuvarsin yer aldığı kuvars-hornblend/klinopirosken gözlü dokusu ortaya çıkmaktadır (Şekil

19a). Bu doku, ülkemizde, Hekimhan (KB Malatya) yöresindeki Neojen yaşlı Koçasar volkanitinde (Yılmaz ve diğ., 1993) gözlenmektedir (Şekil 20).



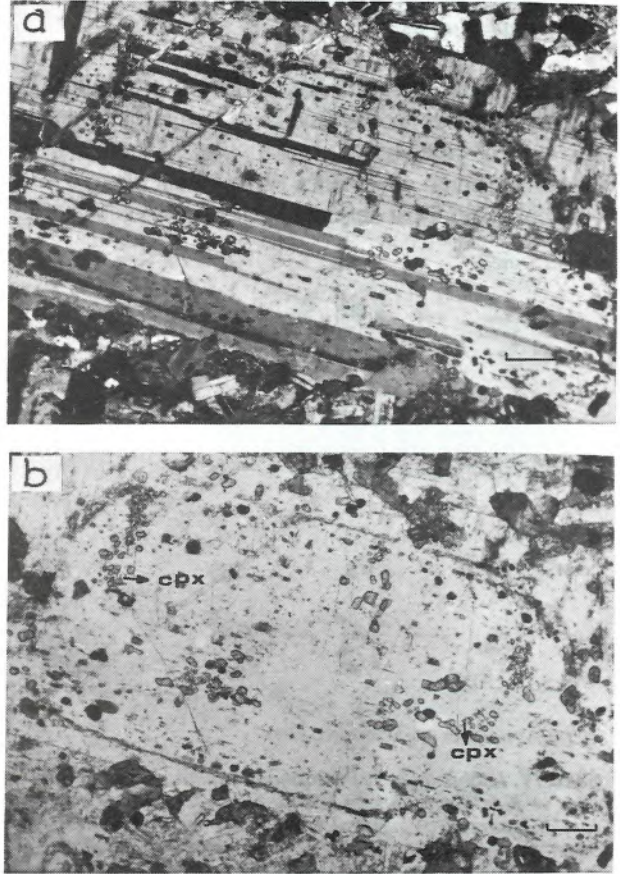
Şekil 19. Hibbard (1991) tarafından tanımlanan kuvars-hornblend/clinopiroksen gözlü (ocellar) dokusu (a) ile K-feldispat fenokristallerinde hornblend-biyotit zonlu dokusunun (b) gelişimi (diğer açıklamalar için Şekil 15 ve 17'ye bakınız)



Şekil 20. Kuvars-clinopiroksen gözlü dokusunun genel görünümü (Hekimhan/KB Malatya yöresindeki Koçasar volkaniti, SY-645 no'lu kayaç örneği, a. çift nikol, b. tek nikol, çizgisel ölçek 0.2 mm). qz, kuvars; cpx, clinopiroksen.

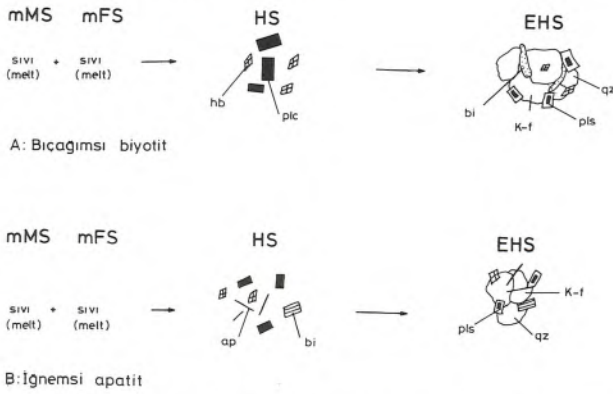
5.6.K-feldispat Fenokristallerinde Hornblend-Biyotit Zonlarının Gelişimi: Kuvars-hornblend gözlü dokusuna benzer şekilde gelişen bu dokuda, daha felsik sistemde önceden kristalleşmiş K-feldispat mineralinin çevresine, mafik sistemden itibaren kristalleşen ince taneli hornblend ve biyotit kristalleri kenetlenmektedir. Karışmanın ileri evresinde, felsik sistemden beslenen K fazlalığı ile K-feldispat büyümesine devam etmektedir. Böylece iri K-feldispat fenokristalleri içerisinde düzenli bir şekilde dizilmiş hornblend-biyotit minerallerinin bulunduğu zonlar ortaya çıkmaktadır (Şekil 19b).

Ülkemizdeki granitoyid plütonlarından Şebinkarahisar-Dereli arasında yüzeylenenlerinde görülen benzer dokusal özellikte ise K-feldispat yerine, iri plajiyoklaz mineralleri içerisinde dizilmiş clinopiroksen ve biyotit mineralleri görülmektedir (Şekil 21).

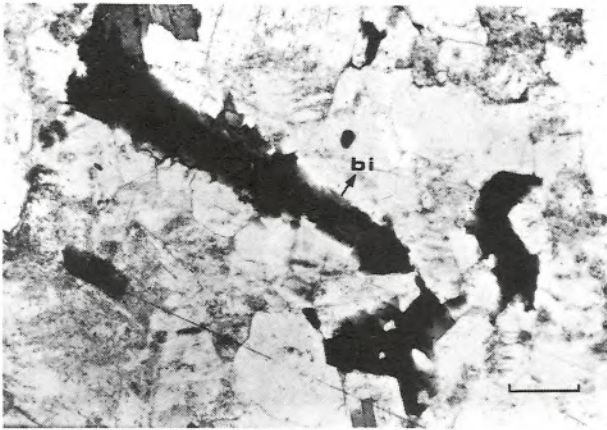


Şekil 21. Plajiyoklaz minerali içindeki clinopiroksen kapamalarının dizilimi (Şebinkarahisar-Dereli arasındaki granitoyid plütonundan alınan DŞ-392 no'lu kayaç örneği, a. çift nikol, b. tek nikol çizgisel ölçek 0.175 mm). cpx, clinopiroksen.

5.7. Bıçağımsı Biotit Oluşumu: Mg ve Fe bakımından zengin alümino silikatlı bir magma, K bakımından zengin diğer bir magma ile karıştığında hidrojenik biyotitin kristalizasyonu başlamaktadır. Bu durumda daha önceden oluşmuş kristalin fazlar, biyotit büyümesini fiziksel olarak engeller ise biyotitin bazis yüzeyleri (dilinim içermeyen, c-eksenine dik yüzeyleri) tipik altıgenimsi-levha yerine, bıçağımsı biçimlerde gelişmektedir. Bu özellik, ince kesitlerde, bir yönde uzamış bıçağımsı biçimli biyotit bazis yüzeylerinin varlığı ile karakterize olmaktadır (Şekil 22a). Bıçağımsı biyotit oluşumu, ülkemizdeki granitoyid plütonlarından Çaltı (Avcı ve Boztuğ, 1993), Köseadağ (Boztuğ ve diğ., 1993) ve Şebinkarahisar-Dereli yöresindeki granitoyidlerde (Şekil 23) görülmektedir.

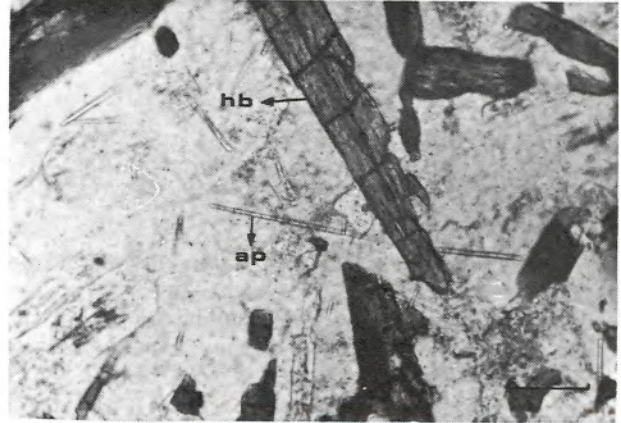


Şekil 22. Hibbard (1991) tarafından tanımlanan bıçağımsı biyotit (a) ve iğnemsî apatit (b) minerallerinin oluşumu (diğer açıklamalar için Şekil 15 ve 17'ye bakınız).



Şekil 23. Bıçağımsı biyotit mineralinin genel görünümü (Şebinkarahisar-Dereli arasındaki granitoyid plütonundan alınan DŞ-29 no'lu kayaç örneği, tek nikol, çizgisel ölçek 0.275 mm). bi, biyotit

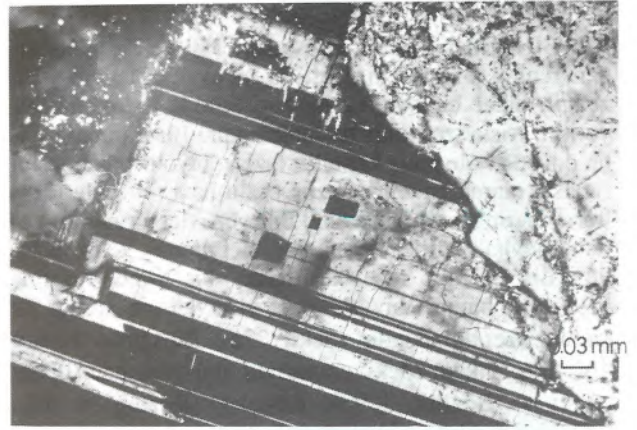
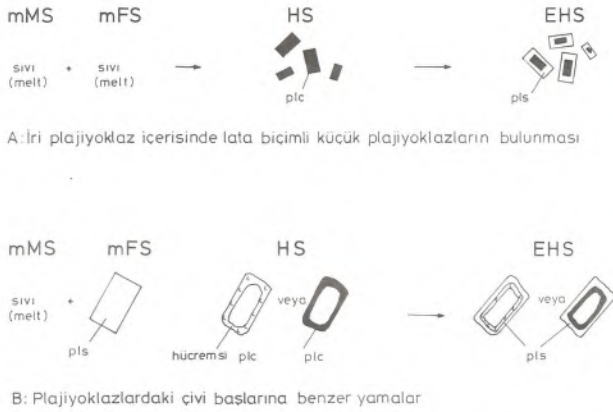
5.8. İğnemsî Apatit Oluşumu: Eriyik haldeki mafik ve felsik sistemler birbirleriyle karıştıklarında, mafik magmanın sıcaklığının aniden düşmesi sonucunda, küt-prizmatik biçimli apatit kristalleri yerine iğnemsî biçimli apatitler oluşmaktadır (Şekil 22b). İğnemsî apatit oluşumu, ülkemizde, Çaltı, Divriği (Sivas) yöresi plütonları, Köseadağ ve Şebinkarahisar-Dereli arasındaki plütonlarda (Şekil 24) görülmektedir.



Şekil 24. İğnemsî apatit mineralinin genel görünümü (Şebinkarahisar-Dereli arasındaki granitoyid plütonundan alınan DE-3901 no'lu kayaç örneği, tek nikol, çizgisel ölçek 0.15 mm). ap, apatit; hb, hornblend.

5.9. İri Plajiyoklaz İçerisinde Lata Biçimli Küçük Plajiyoklazların Bulunması: Eriyik haldeki mafik ve felsik sistemler karıştıklarında, erken evrede çekirdeklenme kabiliyeti yüksek olan kalsik plajiyoklazlar küçük latalar şeklinde kristallenmektedir. Bu küçük plajiyoklaz lataları, karışmanın ileri evresinde sodik plajiyoklaz tarafından kuşatılarak; özşekilli veya yarı-özşekilli iri sodik plajiyoklaz içerisinde, özşekilli küçük kalsik plajiyoklaz latalarının varlığı ile karakteristik olan bir dokunun oluşumunu sağlamaktadır (Şekil 25a). Elektron mikroprop analiz (EMA) yöntemiyle test edilmesi gereken bu tür dokusal özellikler, ülkemizde, Çaltı ve Şebinkarahisar-Dereli arasındaki plütonlarda (Şekil 26) görülmektedir.

5.10. Plajiyoklazlardaki Çivi Başlarına Benzer Yamalar: Sodik plajiyoklazın katlaşmış olduğu felsik sistem ile eriyik haldeki mafik sistem karıştıklarında, bu sodik plajiyoklazın çevresi kalsik plajiyoklaz tarafından kuşatılır. Bu kuşatılma düzgün yüzeyli kristaller halinde olabildiği gibi, çivi başlarına benzer yama biçimli kalsik plajiyoklazların kuşatması ile meydana gelen hücre-

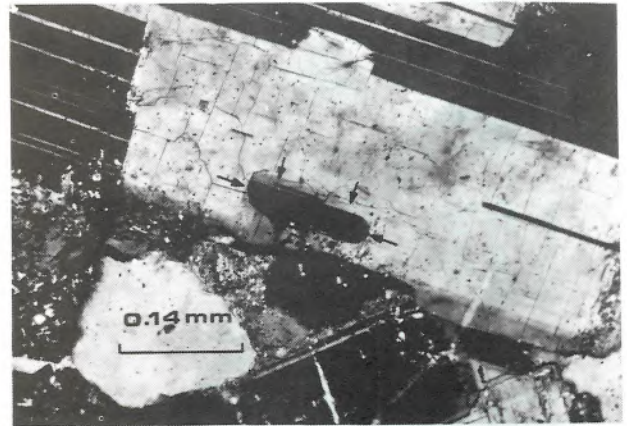
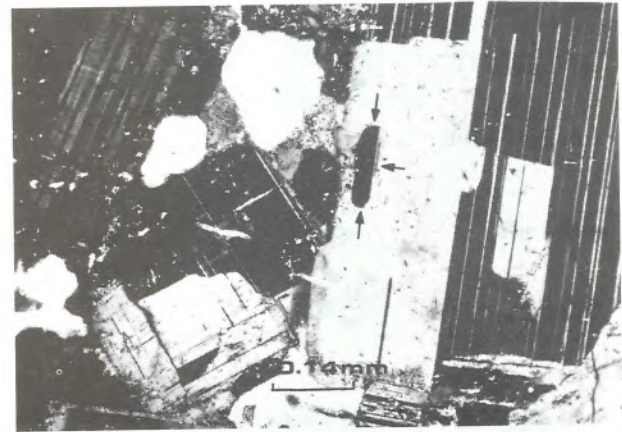


Şekil 25. Hibbard (1991) tarafından tanımlanan iri plajiyoklaz içerisinde lata biçimli küçük plajiyoklazların (a) ve çivi başlarına benzer yamaların (b) gelişimi (diğer açıklamalar için Şekil 15 ve 17'ye bakınız).

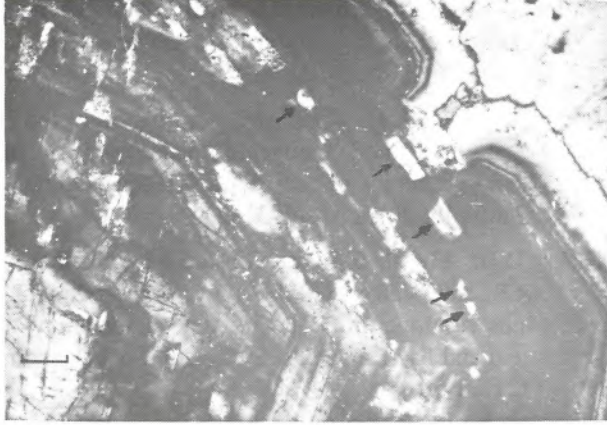
li yapıya sahip bir kuşak olarak da gelişebilir. Karışmanın ileri evresinde, Ca'ca zengin bu kuşağın tekrar sodik plajiyoklaz tarafından kuşatılması mümkün olabilir. Mikroskop altında, içte düzenli bir sodik plajiyoklaz çekirdeği; dışta ise, düzenli veya çivi başına benzer yamalardan oluşan hücreli yapıya sahip ve Ca'ca zengin bir plajiyoklaz kuşağı ve en dışta da düzenli bir yapıya sahip sodik plajiyoklaz mineralinin varlığı ile tanınan bu dokusal özellik, aynı zamanda, EMA yöntemiyle de test edilmelidir (Şekil 25b).

Şebinkarahisar-Dereli arasındaki plütonlarda gözlenen bu tür dokusal özellik Şekil 27'de verilmiştir.

5.11. Prizmatik-Hücremsi Biçimli Plajiyoklaz Büyümesi: Eriyik haldeki mafik ve felsik sistemler karışıkları, bağıl olarak çekirdeklenmenin düşük ve büyümenin ise daha yüksek olduğu kristallenme koşullarında; özşekli, iri, prizmatik plajiyoklaz kristalleri gelişir. Bu gelişme sırasında mafik sistemden itibaren katılacak kalsik plajiyoklaz, daha felsik sistemdeki eriyik ile reaksiyona girerek prizmatik görünüm bozulur. Bunun yerine boşluklu-hücreli bir görünüm ortaya çıkar. Ancak bu boşluklu-hücreli görünümde prizma biçimli iskelet yapı kısmen korunmaktadır ve kalsik bileşime sahip plajiyoklazlardan oluşmaktadır. Bu yapının içerisinde yamalar halinde görülen plajiyoklazların ise sodik bileşimde olduğu bilinmektedir. Karışmanın ileri evrelerinde, prizmatik-hücreli yapıya sahip kalsik bileşimli bu plajiyoklaz, tekrar sodik plajiyoklaz tarafından kuşatılmaktadır. Bu dokusal özellik de yine EMA ile tespit edilmelidir (Şekil 28a). Ülkemizdeki plütonlardan Çaltı ve Şebinkarahisar-Dereli arasındaki plütonlarda (Şekil 29) gözlenmektedir.



Şekil 26. İri plajiyoklaz minerali içerisinde bulunan lata biçimli küçük plajiyoklaz minerallerinin (oklarla gösterilmektedir) genel görünümü (Şebinkarahisar-Dereli arasındaki granitoid plütonundan alınan DŞ-37 no'lu kayaç örneği, çift nikol).



Şekil 27. İri plajiyoklaz minerali içinde çivi başına benzer yamaların (oklarla gösterilmektedir) genel görünümü (Şebinkarahisar-Dereli arasındaki granitoid plütonundan alınan DŞ-48 no'lu kayaç örneği, çift nikol, çizgisel ölçek 0.2 mm).



A: Prizmatik hücremsi biçimli plajiyoklaz büyümesi

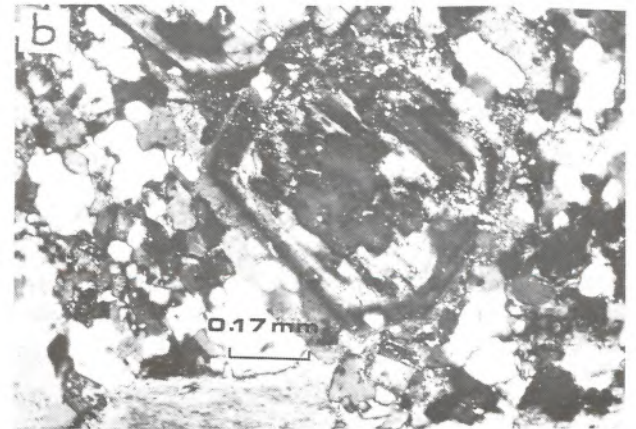
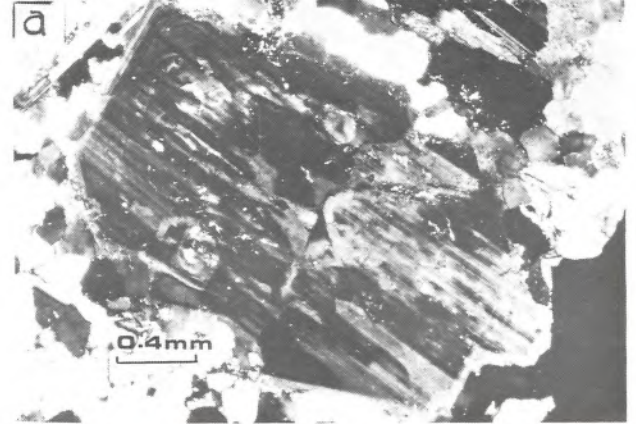


B: Süngerimsi hücreli plajiyoklaz oluşumu

Şekil 28. Hibbard (1991) tarafından tanımlanan prizmatik-hücremsi biçimli plajiyoklaz büyümesi (a) ile süngerimsi hücreli plajiyoklaz oluşumu (b) (diğer açıklamalar için Şekil 15 ve 17'ye bakınız).

5.12. Süngerimsi Hücreli Plajiyoklaz Oluşumu: Eriyik haldeki mafik sistem ile içerisinde sodik plajiyoklaz kristallerinin olduğu felsik sistem karışıtlarında; mafik sistemden - felsik sisteme transfer edilen ısı enerjisi nedeniyle, felsik sistemde önceden oluşmuş olan sodik plajiyoklaz kristalleri duraylılığını kaybederek erime ve/veya kısmi çözünme olaylarına maruz kalır. Bunun sonucunda, önceden oluşmuş özşekilli sodik plajiyoklaz yerine, bunun kalıntıları olarak özşekilsiz ve yama biçimli sodik plajiyoklaz parçacıkları ortaya çıkar.

Bu parçacıklar daha sonra özşekilli kalsik plajiyoklaz tarafından kuşatılır. Karışmanın daha ileri evresinde

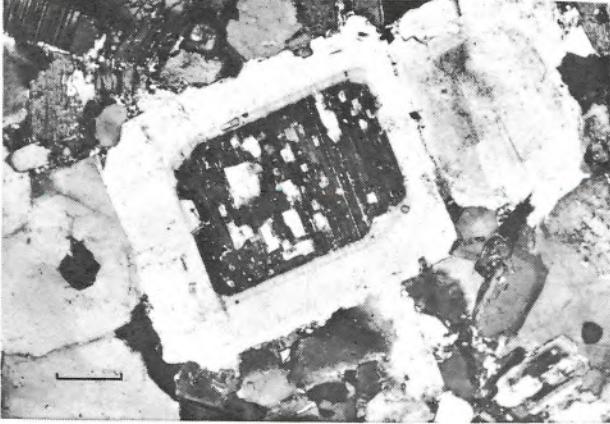


Şekil 29. Prizmatik hücremsi biçimli plajiyoklaz minerallerinin genel görünümü (Şebinkarahisar-Dereli arasındaki granitoid plütonundan alınan (a) DŞ-39 ve (b) DŞ-25 no'lu kayaç örnekleri, çift nikol).

de ise, felsik magmadan beslenen sodik plajiyoklaz gelişimi tüm bu oluşukları içine alacak şekilde kuşatır. Böylece; en dışta sodik plajiyoklaz kuşağı, içte kalsik plajiyoklaz kuşağı ve bu kalsik plajiyoklaz kuşağının içinde de yamalar halinde korunmuş sodik plajiyoklaz kalıntılarının (ilksel felsik sisteme ait özşekilli sodik plajiyoklaz kristallerinin kalıntıları) varlığı ile karakteristik olan bu dokunun da EMA ile test edilmesi gerekir (Şekil 28b).

Bu dokunun daha kompleks gelişenlerinde ise, ilksel felsik sistemde yer alan sodik plajiyoklazın iç kısmında özşekilli bir kalsik plajiyoklaz zonunun varlığı da muhtemeldir.

Şebinkarahisar-Dereli arasında yüzeylenen granitoid plütonlarında gözlenen süngerimsi hücreli plajiyoklaz oluşumu Şekil 30'da görülmektedir.



Şekil 30. Süngerimsi hücreli plajiyoklaz mineralinin genel görünümü (Şebinkarahisar-Dereli arasındaki granitoid plütö-nundan alınan DŞ-13 no'lu kayaç örneği, çift nikol, çizgisel ölçek 0.3 mm).

6. EŞYAŞLI MAFİK VE FELSİK MAGMALARIN KARŞILIKLI ETKİLEŞİM ÜRÜNLERİ

Buraya kadar anlatılanlardan kolayca görülebileceği gibi, eşyaşlı mafik ve felsik magma sistemleri herhangi bir şekilde karışma olayına maruz kaldıklarında; ilgili magmaların viskozite özellikleri dikkate alınarak, karışım tipinin ve ürünün aşağıdaki çizelgedeki gibi özetlenebileceği sonucuna varılmaktadır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Bu derlemelerin yazarları tarafından önerilen ve eşyaşlı (coeval) mafik ve felsik iki magmanın karışımı sırasında etkin olan süreçlerin ve karışım ürünlerinin topluca görünümü.

Mafik Magma Sisteminin Viskozite Özelliği	Felsik Magma Sisteminin Viskozite Özelliği	Karışım Tipi	Ürün
Newtonian	Newtonian	Magma mixing	Hibrid granitoidlerdeki mikroskopik dokular
Visko-plastik	Newtonian	Magma mingling	MME
Newtonian	Visko-plastik	Magma mingling	Sin-plütönik dayk
Newtonian	Plastik	-	Mafik dayk
Plastik	Newtonian	-	Felsik dayk

DEĞİNİLEN BELGELER

- Avcı, N. ve Boztuğ, D., 1993, Çaltı granitoidinin (İliç-Erzincan) Petrolojisi, Yerbilimleri (baskıda).
- Barbarin, B., 1988, Field evidence for successive mixing and mingling between the Piolard Diorite and the Saint-Julien-la-Vetre Monzogranite (Nord-Foréz, Massif Central, France), Can. J. Earth Sci., 25, 49-59.

- Barbarin, B., 1990, Granitoids: main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting, Geol. J., 25, 227-238.
- Barbarin, B., 1991, Contrasted origins for the "poligenic" and "monogenic" enclave swarms in some granitoids of the Sierra Nevada batholith, California, Terra Abstr., 3, 32.
- Blake, D.H., Elwell, R.W.D., Gibson, I.L., Skelhorn R.R. and Walker, G.P.L., 1965, Some relationships resulting from the intimate association of acid and basic magmas, Q.J. Geol. Soc. London, 121, 31-50.
- Boztuğ, D., Debon, F., İnan, S., Tutkun, S.Z., Avcı, N. and Kesgin, Ö., 1992, Comparative geochemistry of four plutons from the Cretaceous-Paleogene Central-Eastern Anatolian Alkaline Province (Divriği region, Turkey). International Workshop: Work in progress on the Geology of Türkiye, 9-10 April, Keele, England, Abs., 25-26.
- Boztuğ, D., Yılmaz, S. ve Kesgin, Y., 1993, İç Doğu Anadolu Alkalın Provensindeki Köseadağ Plütönu (Suşehri - KD Sivas) doğu kesiminin petrografisi ve Petrokimyası, 46. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri, s. 87.
- Bussy, F., 1991, Enclaves of the Late Miocene Monte Capanne granite, Elba Island, Italy, In: Didier, J. and Barbarin, B. (eds.), Enclaves and Granite Petrology: Developments in Petrology 13, 167-178.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1974, Two contrasting granite types. Pac. Geol., 8, 173-174.
- Didier, J., 1964, Etude petrographique des enclaves de quelques granites du Massif Central Français, Ann. Fac. Sci. Univ. Clermont-Ferrand, 23, 254 pp.
- Didier, J., 1973, Granites and Their Enclaves: The Bearing of Enclaves on the Origin of Granites, Development in Petrology, 3, Elsevier, Amsterdam, 393pp.
- Didier, J., 1987, Contribution of enclaves studies to the understanding of origin and evolution of granitic magmas, Geol. Rundsch., 76, 41-50.
- Didier, J. and Barbarin, B. (eds.), 1991a, Enclaves and Granite Petrology: Developments in Petrology, 13, Elsevier, Amsterdam, 625p.

- Didier, J. ve Barbarin, B., 1991b, The different types of enclaves in granites - nomenclature, In: Didier, J. ve Barbarin, B. (eds), Enclaves and Granite Petrology, Developments in Petrology, 13, Elsevier, 19-24.
- Didier, J. and Roques, M., 1959, Sur les enclaves des granites du Massif Central Français, C.R. Acad. Sci. Paris, 228, 1839-1841.
- Dorais, M.J., Whitney, J.A. and Roden, M.F., 1990, Origin of mafic enclaves in the Dinkey Creek pluton, central Sierra Nevada Batholith, California, J. Petrol., 31, 853-88.
- Fernandez, A.N. and Barbarin, B., 1991, Relative rheology of coeval mafic and felsic magmas: Nature of resulting interaction processes. Shape and mineral fabrics of mafic microgranular enclaves, In: Didier, J. and Barbarin, B. (eds.), Enclaves and Granite Petrology: Developments in Petrology, 13, Elsevier, 263-275.
- Frost, T.P. and Mahood, G.A., 1987, Field, chemical and physical constraints on mafic-felsic magma interaction in the Lamark Granodiorite, Sierra Nevada, California, Geol. Soc. Am. Bull., 99, 272-291.
- Goldschmidt, V.M., 1911, Die Kontakt metamorphose im Kristianagebiet, Dybwad, Oslo, 843pp.
- Goodspeed, G.E., 1947, Xenoliths and Skialiths. Am. J. Sci., 246, 515-525.
- Hall, A., 1973, Geochimie des granites varisques du Sud-Ouest de l'Angleterre, Bull. Soc. Geol. Fr., 7, XV, 229-237.
- Harker, A., 1939, Metamorphism, A study of the Transformation of Rock Mases, Methuen, London, 362pp.
- Hibbard, M.J., 1991, Textural anatomy of twelve magma mixed granitoid systems, In: Didier, J. and Barbarin, B. (eds.), Enclaves and Granite Petrology, Development in Petrology, 13, Elsevier, 431-444.
- Hill, R.I., 1988, Journal of Geophysical Research, 93, 10325-10348.
- Holland, T.H., 1900, The charnockite series, a group of hypersthenic rocks in peninsular India, Geol. Surv. India, Mem., 28, 215-218.
- Hutton, J. 1795, The Theory of the Earth, Edinburgh.
- Lacroix, A., 1890, sur les enclaves acides des roches volcaniques d'Auvergne, Bull. Serv. Carte Geol. Fr., 2, 25-56.
- Lacroix, A., 1893, Les enclaves des roches volcaniques, Protat, Macon, 770p.
- Lacroix, A., 1898, Le granite des Pyrenees et ses phenomenes de contact, I. Bull. Serv. Carte Geol. Fr., 10, 241-306.
- Lacroix, A., 1900, Le granite des Pyrenees et ses phenomenes de contact, II. Bull. Serv. Carte Geol. Fr., 11, 51-118.
- Lacroix, A., 1901, Sur deux nouveaux groupes d'enclaves de roches eruptives. Bull. Soc. Fr. Mineral., 24, 488-504.
- Lacroix, A., 1904, La Montagne Pelee et ses eruptions, Masson, Paris, 662pp.
- Lacroix, A., 1933, Sur quelques granites des environs de Porto. An. Fac. Cienc. Univ. Porto, 18, 43-48.
- Lameyre, J., 1988, Granite settings and tectonics, Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol., 43, 215-236.
- Mahon, K.I., Harrison, T.M. and Drew, D.A., 1988, Ascent of granitoid diapir in a temperature varying medium, J. Geophys. Res., 93, 1174-1188.
- Mehnert, K.R., 1968, Migmatites and the Origin of Granitic Rocks, Developments in Petrology, 1, Elsevier, Amsterdam, 393p.
- Montel, J-M., Didier, J. ve Pichavant, M., 1991, Origin of surmicaceous enclaves in intrusive granites. In: Didier, J. ve Barbarin, B. (eds.), Enclaves and Granite Petrology, Developments in Petrology, 13, 509-528.
- Pabst, A., 1928, Observations on inclusions in the granitic rocks of the Sierra Nevada, Univ. Calif. Publ., Dep. Geol. Sci., 17, 325-386.
- Phillips, J.A., 1880, On concretionary patches and fragments of other rocks contained in granite, Q. J. Geol. Soc. London, 141, 1-21.
- Pitcher, W.S., 1993, The Nature and Origin of Granite, Chapman and Hall, 321p.

- Sollas, J.W., 1894, On the volcanic district of Carlingford and Slieve Gullion, Part I. On the relation of the granite to the gabbro of Barnavave, Carlingford, Trans. R. Irish Acad., 30, 477-512.
- Thomas, H.H. and Campbell-Smith, W., 1931, Xenoliths of igneous origin in the Tregastel-Ploumanac'h Granite, Cotes du Nord, France, Q.J. Geol. Soc. London, 88, 274-296.
- Vernon, R.H., 1983, Restite xenoliths and microgranitoid enclaves in granites, J. Proc. R. soc. N.S.W., 116, 77-103.
- Vernon, R.H., 1984, Microgranitoid enclaves in granites globules of hybrid magma quenched in a plutonic environment, Nature, 309, 438-439.
- Viezeuf, D., Clemens, J.D., Pin, C. and Moined, E., 1990, Granites, granulites, and crustal differentiation, In: D. Vielzeuf and P. Vidal (eds.), Granulites and Crustal Differentiation, NATO ASI Ser., Kluwer, Dordrecht, 1-25pp.
- Yılmaz, S., Boztuğ, D. and Öztürk, A., 1993, The geological setting, petrographical and geochemical characteristics of the Cretaceous and Tertiary Igneous rocks in the Hekimhan-Hasançelebi area, NW Malatya, Türkiye, Geological Journal, Special Issue for the International Workshop: Work in progress on the Geology of the Türkiye (in press).
- White, A.J.R. and Chappell, B.W., 1977, Ultramorphism and granitoid genesis, Tectonophysics, 43, 7-22.
- Zorpi, M.J., Coulon, C., Orsini, J.B. ve Cocirta, C., 1989, Magma mingling, zoning and emplacement in calc-alkaline granitoid plutons. Tectonophysics, 157, 315-329.

Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Simülasyon Yöntemlerinin Kullanılması

Usage Of The Geostatistical Simulation Methods In Mineral Deposit Evaluation

Cem SARAÇ

Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
06532 Beytepe ANKARA

ÖZ

Jeostatistiksel simülasyon yerbilimlerinde karşılaşılan problemlerin çözümünde etkin bir yöntem olarak son yıllarda çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Genel jeolojik özelliklerin saptanılmasında, litolojik birimler arasındaki kimyasal kompozisyonunu incelenmesinde, geçirgenlik ve gözeneklilik gibi hidrojeolojik parametrelerin belirlenmesinde, hidrojeolojik modellemelerde, maden işletme planlarının yapılmasında ve tenör-tonaj dağılımlarının saptanılmasında jeostatistiksel simülasyon etkin bir yöntem olarak karşınıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada jeostatistiksel simülasyon genel olarak verildikten sonra, koşullu-koşulsuz simülasyon ve değişik simülasyon yöntemlerine sırası ile değinilecektir. Araştırmada uygulama olarak Kızılyüksek-Yataardıç (Karsantı/Adana) krom cevherleşmesi incelenmiştir. Toplam uzunluğu 4772 metre olan 26 sondajdan elde edilen krom analiz değerleri kullanılarak veri analizi yapılmıştır. Veri analizi sonucunda % 4.40 ortalama, % 2.43 standart sapma ve 0.55 değişim katsayısı gösteren verilerde pozitif bir dağılım gözlenmiştir. Cevherleşmenin 3 temel yönünde variogramlar hesaplanarak, tenör dağılımı uzaklığa bağlı olarak modellenmiş ve model parametreleri de ayrıca modelin güvenilirliğinin saptanılması için geri kestirim yöntemi ile kontrol edilmiştir. Son aşamada da cevherleşme koşullu simüle edilerek, sonuçlar ve tenör-blok haritaları hazırlanmıştır.

ABSTRACT

The simulation approach to geological problems has received considerable attention the last few years. Applications include determination of major geologic patterns, chemical compositions of different lithological units, hydrogeological parameters such as porosity and permeability, hydrogeological modelling, determination of mine planning and grade-tonnage curves.

After a preliminary review of geostatistical simulation, conditional and non-conditional simulation and different simulation methods will be given. Kızılyüksek-Yataardıç (Karsantı/Adana) chromium mineralisation has been considered as a case study. The data is derived from 26 drillholes distributed over the area. The total depth of the 26 drillholes was 4772 m. Using a basic statistics treatment of data, a positive low skew distribution with the mean of 4.40%, the standard deviation of 2.43%, and the coefficient of variation of 0.55 has been observed. Experimental variograms representing three main directions were calculated, and the kriging back estimation technique. Finally, conditional simulation was done and the results and the simulation maps were prepared.

1. GİRİŞ

Simülasyon ilk defa, 1940 yılında John Neumann'ın Monte Carlo analiz yöntemini nükleer reaktörlerin yalıtımı ile ilgili problemlere uygulamasıyla kullanılmaya başlamıştır (Harbaugh and Bonham-Carter, 1970). Bundan önce simülasyon, bilinmeyen birşeyin ne olabileceğini tahmin etme olarak kullanılmaktaydı. Daha ileri

yıllarda yüksek kapasiteli, hızlı bilgisayarların gelişmesi ve ayrıca matematiksel modellemelerin önemi arttıkça, simülasyonun bir çok değişik alanda kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Bu araştırma da, simülasyonun yalnız yerbilimlerindeki önemine değinilecek ve maden yataklarının değerlendirilmesi açısından bir uygulama sunulacaktır.

2. SİMÜLASYON TANIMI VE SİMÜLASYON TEKNİKLERİ

Simülasyonun amacı, elimizdeki mevcut bilgilerden yararlanarak, bu bilgilere uygun veriler üretmektir. Bu araştırmada simülasyon tekniklerini koşullu ve koşulsuz simülasyon olarak genelde 2 kısma ayırabiliriz:

i) Koşulsuz simülasyon: İstenilen ortalama ve kovaryansda veri üretimidir.

ii) Koşullu simülasyon: Örnekleilmiş lokasyonlardaki verilerle aynı değerlere sahip veri üretimidir.

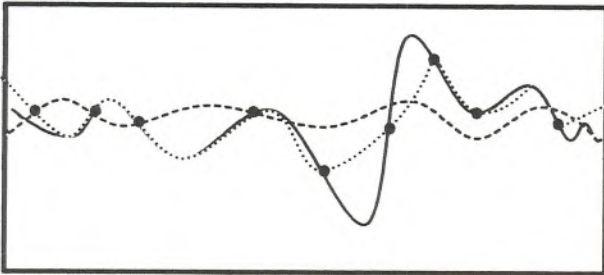
Simüle edilmiş bir maden yatağının göstereceği özellikleri aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

i) Gerçek verilerle aynı dağılıma sahiptirler (aynı histogram özelliği, eşit ortalama ve eşit varyans).

ii) Uzaklığa bağlı ilişki, gerçek verilerle aynıdır (aynı variogram özelliği).

iii) Örnekleilmiş lokasyonlarda gerçek değerlerle, simülasyon sonucu üretilen değerler tamamen eşit olacaktır.

Yukarıdaki özelliklerden 1. ve 2. maddeleri içeren teknik koşulsuz simülasyon, bütün özellikleri içeren simülasyon tekniği ise koşullu simülasyon olarak adlandırılır. Şekil 1' de koşullu ve koşulsuz simülasyon arasındaki fark gösterilmeye çalışılmıştır. Koşullu simülasyonda elde edilen sonuçlar, maden yatağında önceden örneklenip, gerçek değeri bilinen lokasyonlardaki sonuçlarla aynı değeri gösterirler. Yalnız, bu özelliğe dayanarak da, koşullu simülasyonun sadece veri ürettiğini söylemek yanlış olacaktır; örneklememiş lokasyonlarda gerçeğe yakın olası bir değer, örnekleilmiş lokasyonlarda ise gerçek değeri verdiği söylenebilir.



● Örnekleilmiş Gerçek Değer
 — Gerçek
 - - - - - Koşulsuz Simülasyon
 Koşullu Simülasyon

Şekil 1. Koşullu ve Koşulsuz Simülasyon

3. SİMÜLASYONUN MATEMATİKSEL İFADESİ

Maden yatağı MY simgesi ile gösterilirse, maden

yatağının her bir noktasındaki gerçek tenör değeri $z_q(x)$ $\{x \in MY\}$ olacaktır. Bu noktaların kestirim ile elde edilen değerleri de $z_k(x)$ ile gösterilebilir. Bu iki değer arasındaki fark, bilinmeyen bir kestirim hatasını verecektir.

$$\text{hata} = z_g(x) - z_k(x)$$

Buradan

$$z_g(x) = z_k(x) - \text{hata}$$

$$z_g(x) = z_k(x) - [z_g(x) - z_k(x)] \dots \dots \dots (1)$$

elde edilir.

Kestirim hatası, koşullu simülasyon teorisine anahtar olabilecek bir özelliğe sahiptir. Arzu edilen koşullu simülasyon, (1) nolu eşitlikteki bilinmeyen kestirim hatasını, aynı dağılımsal özelliklere sahip ve bağımsız kestirim hatası olan $[z_s(x) - z_{sk}(x)]$ ile yer değiştirerek bulunur.

$$z_{ks}(x) = z_k(x) + [z_s(x) - z_{sk}(x)]$$

Burada $z_{ks}(x)$, x noktasındaki koşullu simülasyon değerini, $z_s(x)$ aynı noktadaki koşulsuz simülasyon değerini ve $z_{sk}(x)$ ise yalnız koşulsuz simülasyon değerleri kullanılarak kestirilen, kestirim değerlerini göstermektedir.

Çeşitli yöntemler aracılığı ile yukarıdaki koşullu simülasyon eşitliğini kullanmamız mümkündür, yaygın olarak kullanılan simülasyon yöntemleri arasında: dönen bantlar metodu (Journel and Huijbregts, 1978), çok boyutlu spektral yöntemler (Mantoglou, 1987) kovaryans matrisi dekompozisyonu yöntemi (Davis, 1987), matrislerin halka dekompozisyonu yöntemi (Saraç and Dowd, 1993) ve Neural Networklere bağlı simülasyon yöntemi (Dowd and Saraç, 1993) örnek olarak verilebilir.

4. SİMÜLASYON VE KRİGİNG KESTİRİM TEKNİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

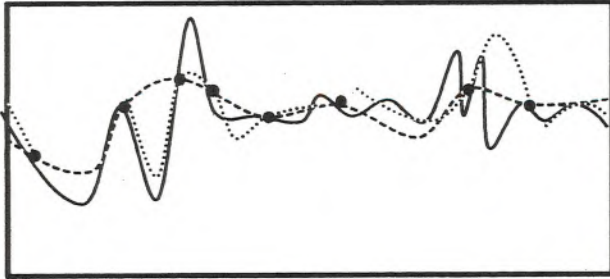
Bir maden yatağında, simülasyonla istenilen bütün lokasyonlardaki değerleri belirlemek mümkündür. Bu durumda "jeoistatistiksel olarak birçok kriging kestirim yöntemi varken, simülasyonu kullanmanın avantajı nedir ya da kriging kestirimi ile simülasyon arasında ne gibi bir fark vardır" şeklinde bir soru sorulabilir.

Buna verilebilecek en iyi yanıt aşağıdaki şekilde özetlenebilir: Kriging kestirim teknikleri ve simülasyonun değişik amaçları vardır. Her ikisinde amaçları farklıdır. Jeoistatistiksel kriging kestirim yöntemlerinin amacı, maden yataklarında istenilen her lokasyonda tenör değerini kestirmektir, yani bilinmeyen gerçek tenör

değerlerine en yakın değerleri saptarlar. Böyle bir kestirimin doğruluğu da karesel hata, yansızlık ve kestirim varyansı gibi parametrelerle ölçülebilir.

Simüle edilmiş bir maden yatağında ise, üretilen değerler, mevcut verilerle aynı variogram ve istatistiksel dağılım özelliklerine sahiptir.

Şekil 2' de simülasyonla, kriging tekniklerinin arasındaki fark gösterilmiştir. Devamlı eğriyle, maden yatağındaki gerçek tenör dağılımı şematize edilmiştir. Noktalar ise örnek aldığımız lokasyonlardaki tenör değerlerini temsil etmektedir. Kesikli eğriyle gösterilen kriging kestirim dağılımı, örnek alınan lokasyonlardaki tenör değerlerine uymasına rağmen, gerçek dağılımı yansıtmamaktadır. Bunun yanı sıra, noktalı eğri ile gösterilen simülasyon eğrisi, gerçeğe daha yakın bir dağılım göstermektedir. Anımsanması gereken bir önemli nokta da, pratikte gerçek tenör dağılımının sadece, örnek alınan noktalarda bilinmesidir.



● Örneklemiş Gerçek Değer
— Gerçek
- - - Kriging
..... Koşullu Simülasyon

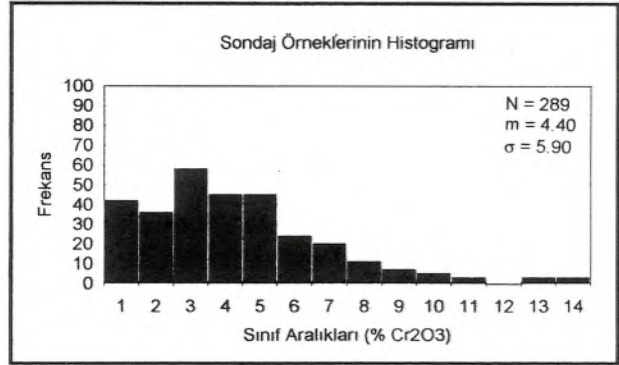
Şekil 2. Kriging ve Koşullu Simülasyon

5. UYGULAMA

Adana ili, Karsantı ilçesi, Darlık köyünün 2.5 km. kuzey batısında yer alan Karsantı krom cevherleşmesi, Pozantı-Karsantı ofiyolitik kompleksi içinde, kümülat dünitlerin en üst seviyesini oluşturur (Akin, 1987). Cevherleşme de MTA tarafından yapılmış olan 26 adet sondajın toplam uzunluğu 4772 metredir. Ortalama olarak sondajlar 160 metre derinliktedirler. Sondajlardan alınan örnekler % Cr₂O₃, % Fe₂O₃, % MgO, % Al₂O₃ ve % SiO₂ içeriği açısından analiz edilmişlerdir. Bu çalışmada yalnız Cr₂O₃ incelenmiştir.

Birinci adımda sondajlardan alınan örneklerin boyları eşitlenerek yani kompozit edilerek, 289 eş uzunluklu örnek elde edilmiştir. Örneklerin uzunluklarını eşitleme de dikkat edilen en önemli unsur ortalama karot uzunluğudur.

289 örneğin tenör değerleri, pozitif yönlü bir dağılım göstermektedir (Şekil 3). Bu dağılım % 4.40 ortalama-maya, % 2.43 standart sapmaya ve 0.55 değişim katsayısına sahiptir.



Şekil 3. Sondaj Örneklerinin Histogramu

Cevherleşmenin 3 temel yönünde variogramlar hesaplanarak, cevherleşme uzaklığa bağlı olarak modellenmiştir. Elde edilen variogramlar genel olarak % 5.5 tepe değeri (sill) göstermektedirler. Yığılım varyansı (nugget variance) ise % 2.5 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4).

Elde edilen variogramlara küresel tip bir model uygulanmıştır (Journel and Huijbregts, 1978):

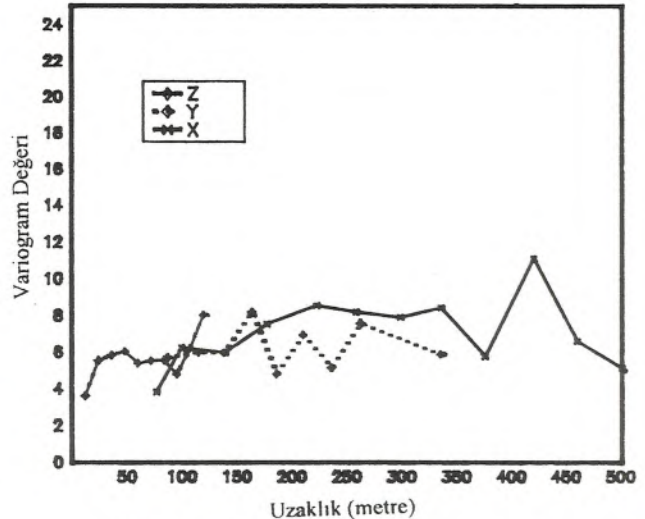
$$\gamma(h) = C_0 + C(1.5h/a - 0.5h^3/a^3) \quad h \leq a \text{ olduğu durumlarda}$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a \text{ olduğu durumlarda}$$

$$\gamma(h) = 0 \quad h = a \text{ olduğu durumlarda}$$

Model parametreleri ise:

CEVHERLEŞMENİN YÖNSEL VARIİOGRAMLARI



Şekil 4. Cevherleşmenin Yönsel Variogramları

$$C_0 = 2.5$$

$$C = 3.0$$

x eksenindeki uzunluk=120 m.

y eksenindeki uzunluk= 120 m.

z eksenindeki uzunluk=30 m. olarak hesaplanmıştır.

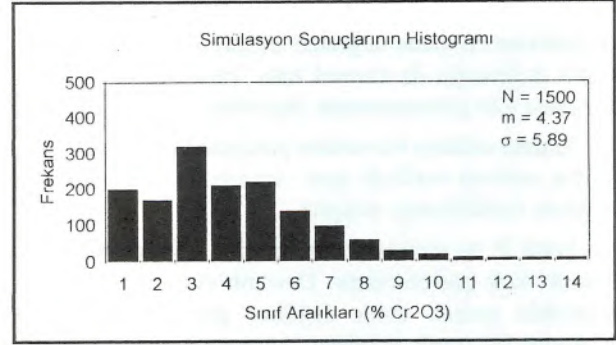
Uyarlanan bu model parametreleri, modelin geçerliliğini kanıtlamak açısından geri kestirim (back kriging) yöntemiyle de incelenmiştir. Geçerli bir model de, tenör değerleri üzerindeki doğrusal regresyon 45° ye yakın olmalıdır. Yani orijindeki kesişim 0 değerine yaklaşmalı, eğim ise yaklaşık 1 olmalıdır. Ortalama kestirim hatası varyansı ile, kestirim varyansı da yaklaşık olarak eşit olmalıdır (Saraç and Tercan, 1992). Kullanılan model parametrelerinin geçerliliğine ait sonuçlar Çizelge 1' de özet olarak gösterilmiştir.

Çizelge1. Kullanılan Modelin Geçerliliği

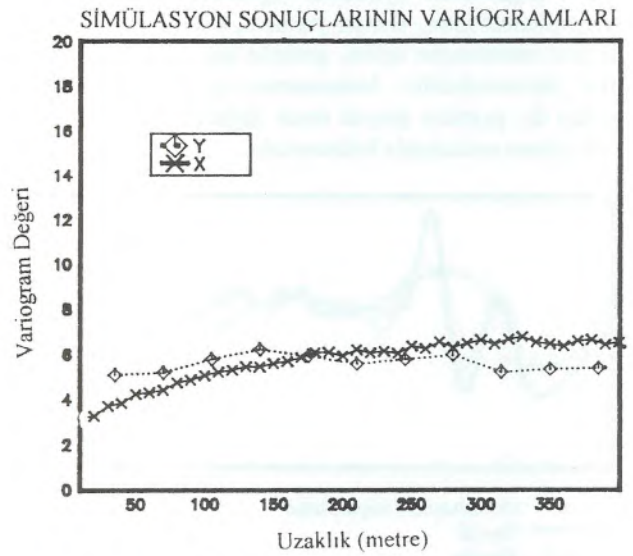
Mutlak Farklılık	1.62
Farklılık	0.00
Ortalama Kestirim Hatası Varyansı	6.42
Kestirim Varyansı	6.20
Orijindeki Kesişim	0.12
Eğim	0.97

Cevherleşmenin koşullu simülasyonu halka dekompozisyonu yöntemi ile yapılmıştır. Cevherleşmenin 1100 metre katı için 100 m. kat kalınlığında yapılan simülasyonda grid boyları, cevherleşmenin x eksenini boyunca 10 m., y eksenini boyunca da 35 m. olarak alınarak, x yönünde 50, y yönünde ise 30 blok için simülasyon gerçekleştirilmiştir. Buna göre her biri 35.000 m^3 hacmi olan, toplam 1500 bloğun tenörleri simülasyonla hesaplanmıştır. Sonuçları koşullandırma da, sondajlardan elde edilen bütün veriler kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarının histogramı ve variogramları (Şekil 5 ve 6), sondajlardan elde edilen 289 örneğin gösterdiği histogram ve variogramlarla tamamen aynı özelliktedir.

Şekil 7' de cevherleşmenin 1100 metre katı için hazırlanan tenör-blok haritası sunulmaktadır.



Şekil 5. Simülasyon Sonuçlarının Histogramu

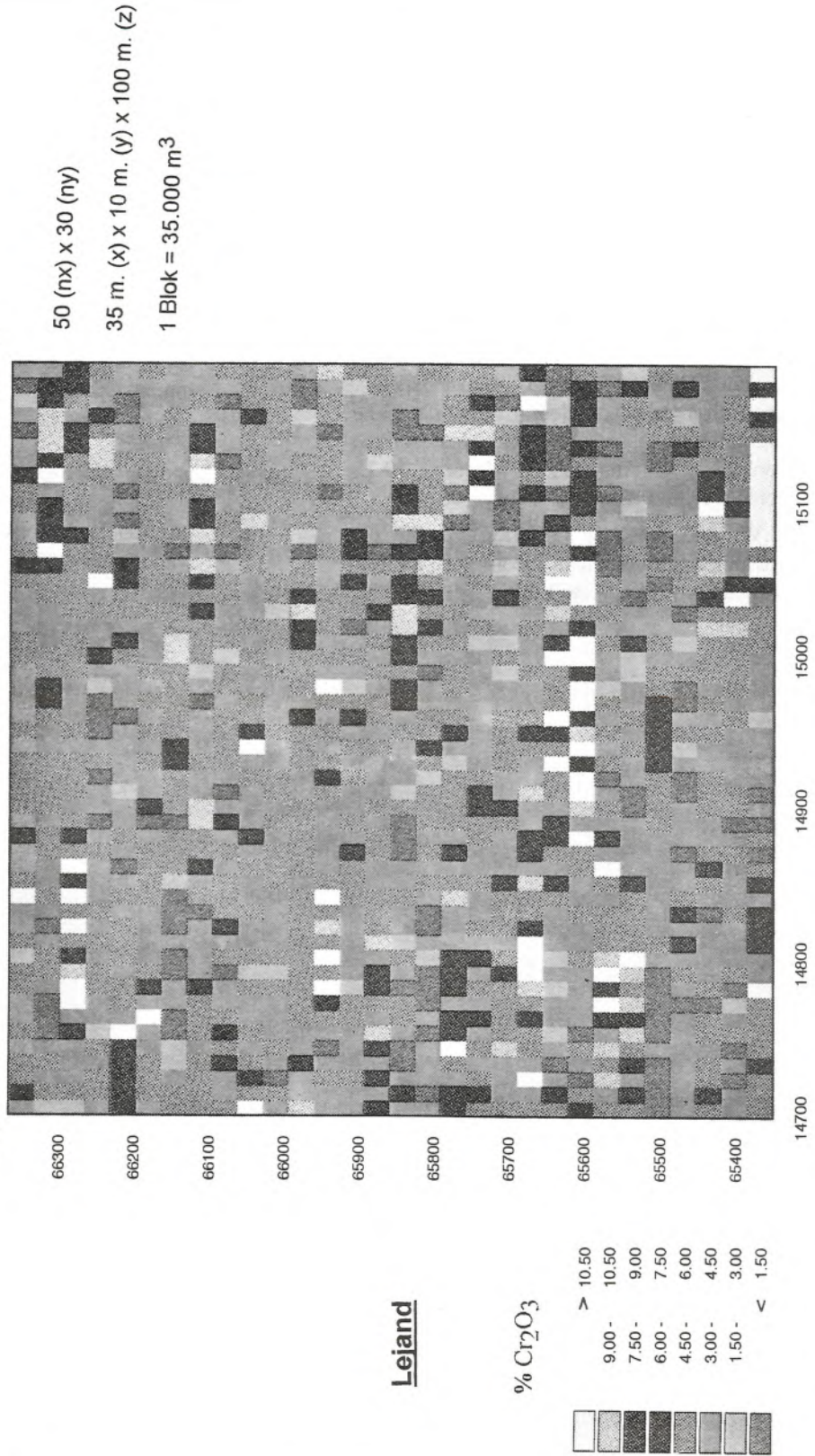


Şekil 6. Simülasyon Sonuçlarının Variogramı.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada jeostatistiksel simülasyon yöntemlerinin maden yataklarının değerlendirilmesi açısından önemi gösterilmeye çalışılmıştır. Jeostatistiksel simülasyon, özellikle son yıllarda, yerbilimlerinde etkin bir yöntem olarak kullanılmaya başlamıştır. Araştırmada, simülasyon genel olarak tanıtıldıktan sonra, sırası ile koşullu ve koşulsuz simülasyon teknikleri, simülasyonun matematiksel ifadesi, kriging teknikleri ile arasındaki fark verilmektedir. Uygulama olarak da, bir krom cevherleşmesinde örnek bir kat seçilerek, halka dekompozisyonu yöntemi ile koşullu simülasyon gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve seçilen kat için hazırlanan tenör blok haritası sunulmuştur.

1100 metre KATI İÇİN SİMÜLASYONLA ÜRETİLEN BLOK-TENÖR HARİTASI



Şekil 7. 1100m. Katı Blok - Tenör Haritası

KAYNAKLAR

- Akın, A.K. (1987) Kızılyüksek - Yataardıç (Karsantı/Adana) ÖİR 634 nolu Sahanın Maden Jeolojisi Raporu, MTA Genel Müdürlüğü, Rapor no: 2252.
- Davis, M. (1987) Production of Conditional Simulations via the LU Triangular Decomposition of the covariance Matrix, Journal of Mathematical Geology, Vol. 19, No 2, pp 91-98.
- Dowd, P.A. and Saraç, C. (1993) Geostatistical Simulation Based on Neural Networks , The International Association for Mathematical Geology, 25th Anniversary Meeting, 10-15 October 1993, Prague.
- Harbaugh, J.W. and Bonham - Carter, G. (1970) Computer Simulation in Geology, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Journel, A.G. And Huijbregts, Ch.J. (1978) Mining Geostatistics, Academic Press, New York.
- Mantoglou, A. (1987) Digital Simulation of Two-and Three-Dimensional Stochastic Processes with a Spectral Turning Bands Method, Journal of Mathematical Geology, Vol. 19, No 2, pp. 129-150.
- Saraç, C. and Tercan, E. (1992) A Geostatistical Case Study of Kızılyüksek-Yataardıç Chromium Orebody, Geosound-Yerbilimleri, No 20, pp. 219-230.
- Saraç, C. and Dowd, P.A. (1993) A Modified Approach to Large Scale Geostatistical Simulation via the LU Decomposition Method, Leeds University Mining Association Journal, pp. 95-102.

Duraylı İzotoplar Jeokimyasının Maden Yataklarına Uygulanması

Vedat OYGÜR
MTA Genel Müdürlüğü,
Maden Etüt ve Arama Dairesi, ANKARA

ÖZ

Son yıllarda duraylı izotoplar jeokimyası, cevher taşıyan akışkanların doğasının ve cevher oluşum süreçlerinin kavranmasında büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Maden yataklarının kökeni ve oluşumlarına ilişkin problemlerin çözümünde güçlü ve etkin bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır. Cevherli akışkanların ana bileşeninin su olması ve farklı kökenli suların kendilerine özgü O_2 ve H_2 izotopik bileşim değerleri göstermeleri nedeniyle, çözeltilerdeki suyun kökenini ve tarihçesini açıklamada O_2 ve H_2 izotopları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çeşitli maden yataklarının izotopik bileşimleri hakkındaki güncel çalışmalar magmatik sokulumların sadece, çevre kayalar içerisinde deniz suyu veya meteorik suyun dolaşımıyla oluşan bir hidrotermal dolaşım sistemini yürüten bir ısı kaynağı olarak hareket ettiğini göstermiştir. Bununla birlikte, izotop verilerine göre, cevher oluşumunun ve hidrotermal alterasyonun en belirgin özelliği, olasılıkla, farklı kökenli suların karşımıdır.

GİRİŞ

Maden yataklarının kökenine ve oluşumuna yönelik araştırmalar, dolayısıyla maden arama teknikleri günümüzde hızla gelişmektedir. Bu alandaki çağdaş teknolojilerden birisi de duraylı izotoplar jeokimyasının maden yataklarına uygulanmasıdır.

Son yıllarda, yurt içinde yayımlanan dergilerde bu konuya ilişkin çok sayıda makale yer almıştır. Ancak bunların sadece araştırma sonuçlarına yönelik özgün yayınlar olması, yöntemin ana ilkeleri ve teknikleri hakkında bilgi verilmemesi nedeniyle bu yazının hazırlanması düşünülmüştür.

Doğada var olan birçok kimyasal ve fiziksel süreç, hafif elementlerin duraylı izotoplarının bölünmesinden sonuçlanmaktadır. Kütle spektrometresi ve örnek hazırlama tekniklerindeki gelişmeler, O_2 , H_2 , C, S ve N'nin izotopik değerlerindeki değişimlerin %0.01-0.02 doğruluk derecesinde ölçülmesine olanak sağlamıştır.

Cevher yapıcı akışkanların baskın bileşeni olması nedeniyle suyun kökeni, herhangi bir cevher oluşumu

kuramının temel ögesidir. Akışkanlardaki çözülmüş diğer malzemeler sadece çözeltinin P-T tarihçesi ve akışkanın ilişkide bulunduğu kayaç tipleri hakkında bilgi sağlar. Çeşitli kökenli sulara O_2 ve H_2 içeriklerinin sistemli farklılıklar sunması (Taylor, 1974) nedeniyle O_2 ve H_2 izotop incelemeleri, çözeltideki suyun tarihçesi ve kökenini çözümleyen jeokimyasal ölçütleri verir.

İzotoplar hakkındaki temel bilgiler ve izotopların jeolojik süreçlerdeki yerleri üzerine, Odamız yayınlarından "Jeokimya-Temel Kavramlar ve İlkeler" kitabında ayrıntılı bilgi verildiğinden (Güleç, 1993) bu makalede sadece, O_2 ve H_2 izotopları ile maden yataklarının kökeni arasındaki ilişki ele alınacaktır.

İZOTOP JEOKİMYASININ TEMELLERİ

Bir elementin her atomunda proton sayısı aynı olmasına karşın, nötron sayısı değişebilmektedir. Farklı nötron sayılarına sahip atomlarına, o elementin izotopları adı verilir. İzotopların kimyasal bileşimleri aynı olmasına karşın, kütlelerinde farklılıklar vardır.

İzotoplar genel olarak iki gruba ayrılırlar. Radyojenik izotoplar; α , β ve γ radyasyonları yayarak radyoaktif bozuma yoluyla başka bir elemente dönüşen izotoplardır. ^{87}Rb , ^{147}Sm , $^{235,238}\text{U}$, ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyojenik izotoplar yaygın olarak radyometrik yaş ölçümlerinde kullanılmaktadır.

Duraylı izotoplarsa radyoaktif bozuma özelliği göstermezler. Oksijenin ^{16}O , ^{17}O ve ^{18}O olmak üzere üç; hidrojenin ^1H ve ^2H (D) olarak iki; karbonun ^{12}C ve ^{13}C olarak iki; kükürdün ^{32}S , ^{33}S , ^{34}S ve ^{36}S olarak dört; azotun ^{14}N ve ^{15}N olarak iki izotopu vardır. O_2 ve H_2 nin duraylı izotoplarının bileşimde bulunmasına göre, kütlelerindeki farklılıklar temelinde suyun bileşimi H_2 ^{16}O , H_2 ^{17}O , H_2 ^{18}O , HD ^{16}O , HD ^{17}O , HD ^{18}O , D_2 ^{16}O , D_2 ^{17}O ve D_2 ^{18}O biçiminde değişebilmektedir.

Duraylı izotoplar jeokimyasının maden yataklarına uygulanması, çeşitli jeolojik süreçlere eşlik eden izotopik ayrışmanın mekanizması ve şiddeti hakkındaki bilgilerimize dayanır. İzotop ayrışmasının nedeni, molekül veya kristal yapısında bulunan ağır ve hafif

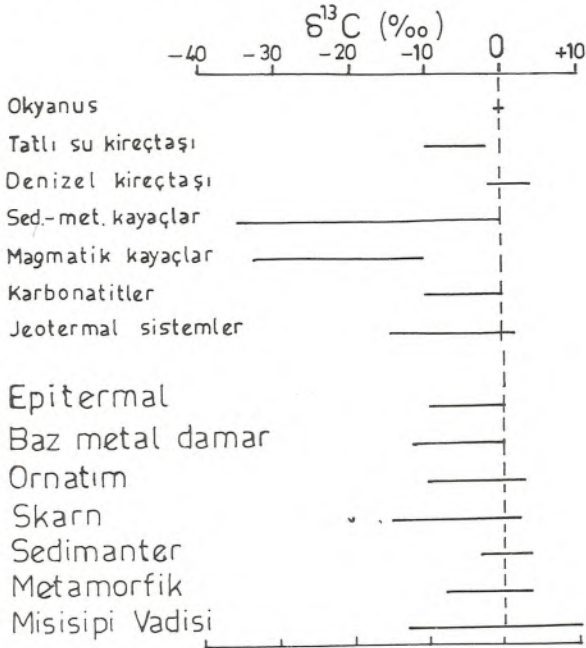
atomların titreşim frekanslarındaki farklılıklardır. Ağır atomların titreşim frekansı hafiflere göre düşük olduğundan ağır atomların diğer atomlarla bağları güçlü olmaktadır. İzotop ayrışması, atomik kütlesi kırktan küçük olan elementler için söz konusudur (Faure, 1986).

Duraylı izotoplardan ^{18}O ve D yaygın olarak kullanılmaktadır. Karbonatlar en geç oluştuklarından C (Şekil 1) ve çok geniş spektrumlu olmaları nedeniyle S izotoplarının (Şekil 2) kullanımı enderdir. N ise uygulama alanı bulamadığından kuramsal düzeyde kalmıştır.

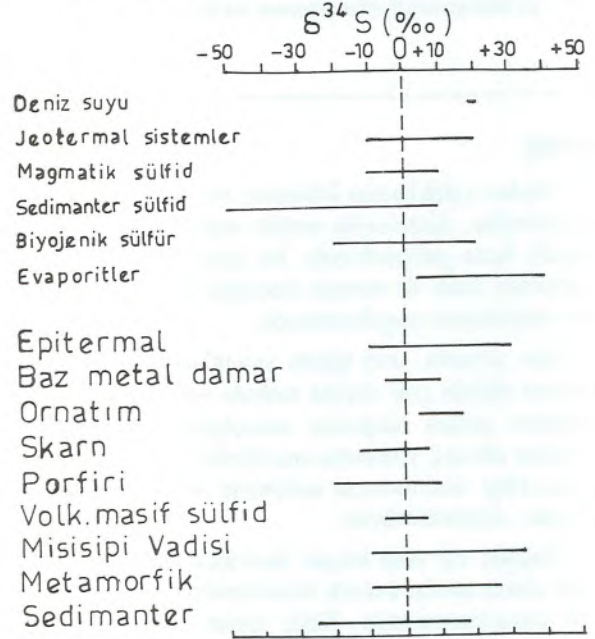
İzotop Ölçümleri

İzotoplar bir kütle spektrometresiyle ölçülür. Elektrik yüklü atomları ve molekülleri, elektrik ve/veya manyetik alanlardaki hareketlerini esas alarak kütlelerine göre ayırmak üzere tasarlanmış bir aygıttır.

Toz biçiminde öğütülen örnekte, elektron bombardımanıyla moleküller iyonize edilir ve yüksek voltaj yardımıyla ivme kazandırılarak bir iyon ışını biçimine getirilir. Manyetik alan içerisine giren ışınlar kütleleriyle orantılı bir biçimde saptırılır. Ağır iyonların az, hafifle-



Şekil 1. Çeşitli jeolojik ortamlara ve cevher tiplerine ilişkin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri (Becker ve Clayton, 1972; Rye ve Ohmoto, 1974; Rye ve Rye, 1974; Ohmoto ve Rye, 1979; Akande ve Zentilli, 1983; Shimazaki, 1988; McKeag ve Craw, 1989; Heinrich ve diğ., 1989; Branam ve Ripley, 1990; Fu ve diğ., 1991; Layne ve diğ., 1991).



Şekil 2. Çeşitli jeolojik ortamlara ve cevher tiplerine ilişkin $\delta^{34}\text{S}$ değerleri (Rye ve Ohmoto, 1974; Ohmoto ve Rye, 1979; Akande ve Zentilli, 1983; Shimazaki, 1988; Fonteilles ve diğ., 1989; Branam ve Ripley, 1990; Fu ve diğ., 1991; Layne ve diğ., 1991).

rin daha çok sapmasıyla birbirlerinden ayrılan iyonlar bir kollektörde toplanır. Kayıt aletinde, izotopun bolluğuyla orantılı pikler çizilir.

O₂ izotopik bileşimi, malzemenin cinsine bağlı olarak hazırlanmış CO₂ örneklerinin analiziyle ölçülür.

H₂ izotopik bileşimi, 750°C de metalik uranyumla tepkimeye girmiş su örneklerinden hazırlanan H₂ gazının analiziyle ölçülür.

Kükürtlü bileşenlerin bir dizi tepkimeyle, Ag₂S ve BaSO₄ aracılığıyla SO₂'ye çevrilmesiyle S izotop ölçümleri yapılır.

C ölçümleriyse, karbonatların 25°C de derişik fosforik asitle tepkimesi sonucu serbestleşen CO₂ üzerinde gerçekleştirilir.

İzotop terminolojisi ve standartlar

O₂ ve H₂ izotopik bileşimleri sırasıyla $\delta^{18}\text{O}$ ve δD olarak yazılır ve SMOW (Standart Ortalama Okyanus Suyu) standardına göre $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ve D/H oranlarının farkları olarak ifade edilir (Craig, 1961).

Bir diğer standart PDB olarak bilinir. Chicago Üniversitesi tarafından, Güney Carolina'daki Peedee Formasyonu'nda bulunan Kretase yaşlı belemnitlerden hazırlanan CO₂'dir. Karbonatlardaki O₂ ve C izotopik bileşimi için kullanılır (Craig, 1957).

S izotopik bileşimi $\delta^{34}\text{S}$ olarak gösterilir ve Canyon Diablo'daki demir meteoritinde bulunan troyilit (FeS) standart olarak kullanılır (Smitheringale ve Jensen, 1963).

N için Dünya'nın her yerinde sabit izotopik bileşimdeki atmosfer azotu kullanılır (Mariotti, 1984).

İzotopik bileşimler binde olarak ifade edilir ve değeri mutlak bir orantıyı göstermez; örnek ile standart arasındaki görece bir sapmayı temsil eder. $\delta\text{D}=+10$ değerinin anlamı, örnek D bakımından SMOW'dan ‰ 10 zengin demektir. Negatif değerlerse, SMOW'a göre örnekteki izotopların görece tükenişini gösterir.

SULARDA İZOTOPIK DEĞİŞİMLER

Çağdaş maden yatakları kuramlarına göre meteorik su, yerkabuğundaki dolaşımı sırasında veya bir magma gövdesiyle teması sonucunda ısınır ve özellikle bu süreç sırasında önemli miktarda tuzluluk kazanırsa potansiyel olarak cevher yapıcı bir akışkandır. Bu bakımdan, maden yataklarının kökenini anlamak için çeşitli su türlerindeki izotopik değişimleri (Şek. 3) incelemek önemlidir.

Okyanus suyu

Günümüzdeki okyanus suyunun izotopik bileşimi SMOW standardında sabittir (Craig, 1961): $\delta^{18}\text{O}=\text{O}$ ve $\delta\text{D}=\text{O}$.

Buna karşın, buharlaşmanın yoğun olduğu ve tuzluluğun arttığı kapalı havzalarda, örneğin Kızıl Deniz'de $\delta^{18}\text{O}=+2$ ve $\delta\text{D}=+11$ gibi değerlerle oldukça yüksektir.

Arktika ve Antarktika gibi taze suyla önemli ölçüde seyrelmiş sularda ters yönde bir izotopik kaçış vardır: $\delta^{18}\text{O}=-20$ ile -50 ve $\delta\text{D}=-200$ ile -450 arasındadır.

Meteorik sular

Meteorik suların izotopik değişimleri son derece sistematiktir ve MWL (Meteorik Su Hattı) olarak ifade edilen bir doğrusal hatla gösterilir (Craig, 1961):

$$\delta\text{D}=8\delta^{18}\text{O}+10$$

Meteorik sular, SMOW'a göre ^{18}O ve D bakımından tükenmişlerdir.

Jeotermal sular

Jeotermal alanlardaki sıcak sular yüzeyden türemiştir. MWL'den, yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine doğru karakteristik ^{18}O kaçışı görülür (Craig, 1963). Bunun nedeni, silikat ve karbonat çevre kayalarla olan izotopik değiş tokuştur.

Formasyon suyu

Çökel kayaların depolanması sırasında kayacın gözenekleri içinde hapsolmuş bu sularda $\delta^{18}\text{O}$, δD , tuzluluk ve ısı arasında pozitif korelasyon vardır. Düşük ısı ve tuzlulukta değerleri en düşüktür. Yüksek ısı ve tuzlulukta yüksek δ değerleri görülür (Taylor, 1979).

Metamorfik sular

δD değerleri sınırlı olmasına karşın, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri geniş bir aralıktadır. İzotopik ayırılma faktörü ısıya bağımlı olduğundan, düşük ısıli metamorfik sular yüksek δD ve düşük $\delta^{18}\text{O}$; yüksek ısılysa düşük δD ve yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine sahiptir (Taylor, 1979).

Magmatik sular

Doğrudan magmadan gelen suyu örneklemek zordur. Granitoidlerin δD ve $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine sırasıyla ‰ 10 ve ‰ 1 eklenerek dolaylı yoldan hesaplanmaktadır (Ohmoto, 1986). Bu yöntem δD için hornblende-H₂O ve $\delta^{18}\text{O}$ için plajiyoklaz-H₂O dengede ayırılma faktörlerine dayanır.

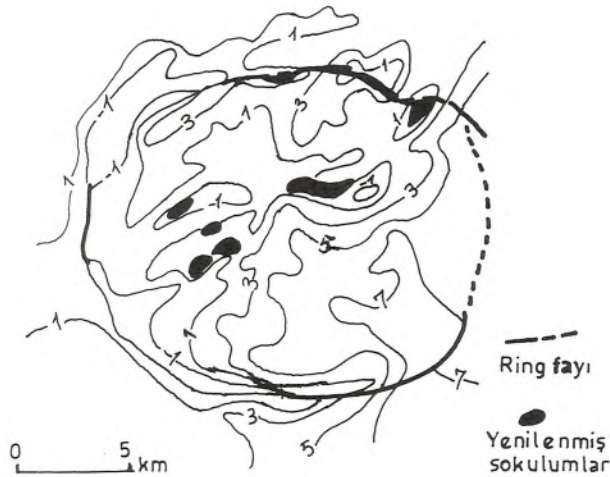
Magmatik su teriminin kullanımında bir karışıklık görülmektedir. Magmatik su, kökeni ne olursa olsun magmatik kayalarla ilişkili suyu tanımlamak için kullanılır. Bu su, önceden meteorik veya deniz suyu olabi-

Tersiyer toleyitik plato bazaltı arasındaki uyumsuzluk düzeyine sokulmuş, yarı yatay duruşlu bir gabro gövdesinden oluşur.

^{18}O analizleri, plajyoklazlar diğer kayaç yapıcı mineraller arasında hidrotermal akışkanlarla oksijen izotop alışverişine en elverişli mineral olması nedeniyle plajyoklazlarda yapılmıştır. $\delta^{18}\text{O}$ değerleri Skaergaard sokulumu içerisinde düzenli bir biçimde dağılmaktadır (Şek. 4). Kuzeybatıdan güneydoğuya doğru, kayaçların eğimiyle uyumlu olarak azalır. Sokulum gövdesinin KB kesimindeki $\delta^{18}\text{O}$ değerleri normal magmatik (pristin) değerlerdir. $\delta^{18}\text{O}=+6$ konturu, sokulum içerisinden bazalt-gnays uyumsuzluğunun izlerini izler. Bu konturun stratigrafik olarak üzerindeki plajyoklaz örnekleri meteorik sularla temas sonucunda ^{18}O bakımından tükenmiştir. Uyumsuzluk düzlemi, hidrotermal sistemin gelişmesinde önemli bir rol oynamıştır. Son derece eklemli bazaltlar meteorik suyun hareketi için geçirgendir, halbuki gnays temel görece geçirgen değildir. Bunun sonucunda, sokulumun üst kesimi meteorik suyla ilişki sonucunda etkilenmiş ve alt kesim pristin değerini korumuştur.

Lake City Kalderası

Lake City Kalderası (Colorado) 23 My önce oluşmuş bir çökme yapısıdır. Bazalt-riyolit magmatizmasından oluşur. Yenilenmiş sokulumlar çevresinde bir fosil hidrotermal sistem gelişmiştir (Criss ve Taylor, 1986).



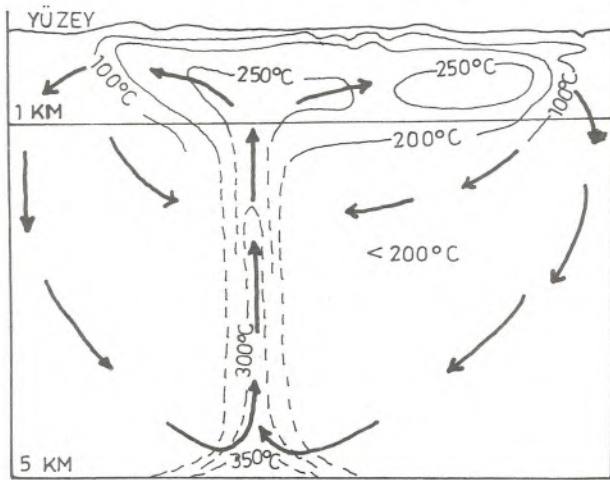
Bir güncel jeotermal sistemle karşılaştırma

Şekil 7, Yeni Zelanda'daki Wairakei jeotermal sahasındaki güncel sıcaklık dağılımlarını göstermektedir (Taylor, 1974). Bu volkanik arazideki su tümüyle meteorik kökenlidir (Şek. 8) ve sistemde epitermal altın cevherleşmesi vardır. Suyun yukarı doğru hareketi, varsayılmış magmatik ısı kaynağı üzerindeki dar bir zon boyunca olmaktadır. İzotermler merkeze doğru ısısı artan bir mantar biçimindedir. Eğer w/r oranları fosil hidrotermal sistemlerde kabaca sabitse, $\delta^{18}\text{O}$ konturları izotermlerle temsil edilebilir ve $\delta^{18}\text{O}$ anomalisinin merkezine doğru ısısı artar.

MADEN YATAKLARI TİPLERİ İÇİN GENETİK MODELLER

Maden yatakları, farklı kökenli cevher yapıcı hidrotermal akışkanların etkinlikleri sonucu oluşmuştur. Su, bu akışkanların ana bileşenidir. Bu nedenle, izotopik bileşiminden yola çıkılarak suyun kökeni belirlenebilirse cevherli akışkanların tarihçesi de tahmin edilebilir.

Maden yataklarının oluşumuyla ilgili suyun izotopik bileşimi iki yolla bulunabilir: (1) Sıvı kapanımlarda



Şekil 7. Wairakei, Yeni Zelanda güncel jeotermal sisteminde, ölçülmüş ve tahmini (kesikli çizgiler) eş sıcaklık eğrilerini gösteren şematik kesit (Taylor, 1974).

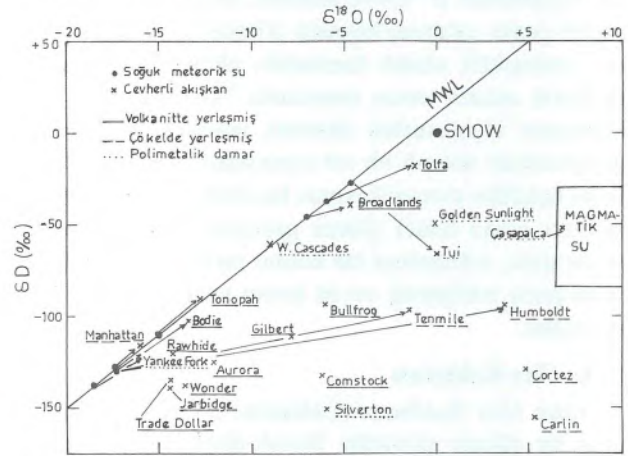
hapsolmuş suyun analizi; (2) Minerallerdeki O_2 ve H_2 ile belirli bir sıcaklıkta dengelenmiş sulu akışkanın $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerlerinin hesaplanması.

Birincisi doğrudan yöntemdir, fakat homojenleşme (cevherleşmenin minimum) ısısını verir ve çevre kaya-

lardan O_2 ve H_2 alış veriş sonucunda suyun izotopik bileşiminin değişmesi nedeniyle ikincil önemdedir. İkinci yöntem, tümüyle su-mineral değişim dengesine ve izotopik jeotermometre denklemlerine dayanır.

Epitermal yataklar

Bu yataklar, meteorik suyunkine çok yakın izotopik değerlere sahiptir (Şek. 8). Cevherli akışkanların izotopik karakteristikleri, çözeltilerin olasılıkla çok düşük miktarlarda ağır metal taşıdıklarını ve son derece büyük miktarlarda su içerdiklerini göstermektedir (Taylor, 1979). Ancak volkanitlerde yerleşmiş olan Comstock,



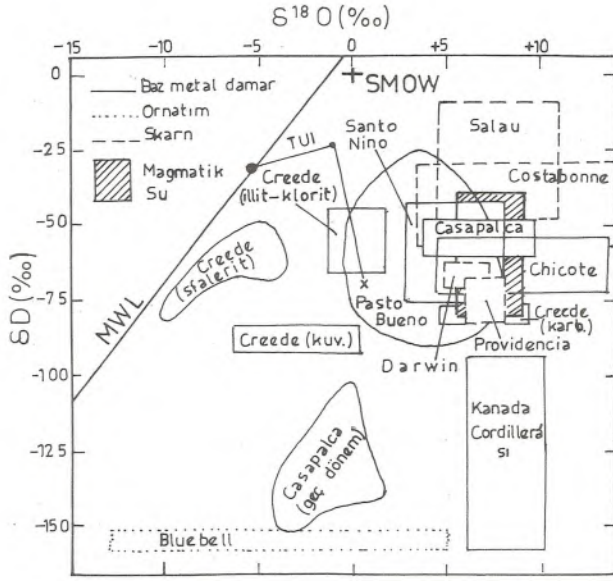
Şekil 8. Epitermal altın-gümüş yataklarına ait suların izotopik bileşimleri (White, 1974; Taylor, 1979; Field ve Fifarek, 1985).

Tenmile, Humboldt gibi yataklar birincil magmatik sularından; Cortez ve Carlin gibi çökelerde yerleşmiş yataklarda yan kayaktan izotop değişimi yaparak, δD değerleri meteorik sularinkilerle aynı olmasına karşın $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinde farklılıklar göstermektedirler.

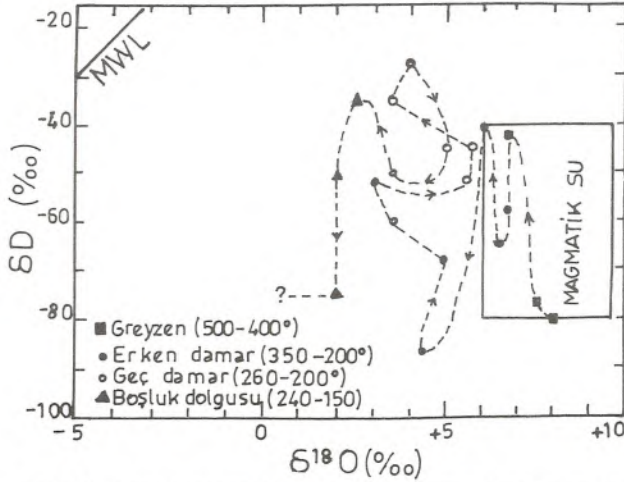
Baz metal damarları

Polimetalik damar tipi yataklarda cevherli akışkanların ana evresi magmatik kökenlidir (Şek. 9). Meteorik sular, sadece, cevherin depolanmasının son evresinde etkili olmuştur.

Pasta Bueno (Peru) W-baz metal yatağı, bir kuvarsmonzonit stoğunu kesen kuvars damarlarından oluşur. δD ve $\delta^{18}\text{O}$ verileri, sülfidlerin depolandığı hidrotermal etkinliğin erken evresinde magmatik suların etken olduğunu gösterir (Şek. 10). Isının düştüğü geç evrelerde, meteorik sular sisteme karışmıştır. Wolframit, meteorik suların egemen olduğu bu dönemde depolanmıştır.



Şekil 9. Baz metal damarları, ornatım ve skarn yataklarındaki hidrotermal akışkanlara ait izotopik bileşim değerleri (Ohmoto ve Rye, 1970; White, 1974; Taylor, 1979; Bethke ve Rye, 1979; Marck de Lummen, 1988; Fonteilles ve diğ., 1989; Nesbitt ve Muehlenbachs, 1989).



Şekil 10. Pasto Bueno yatağında greyzen oluşumundan itibaren damar ve boşluk dolgusu evreleri boyunca hidrotermal akışkanların evrimi (Sheppard, 1977).

Hidrotermal etkinliğin son dönemi olan boşluk dolgulanmasında sadece meteorik sular vardır.

Tui (Y. Zelanda), altere andezitler içerisinde açık boşluk dolgusu biçiminde Pb-Zn-Ag-Au hidrotermal damarıdır. İlksel cevherli akışkan magmatik kökenlidir. Faylanmayla bir jeotermal sistem çalışmış ve geç dö-

nem akışkanlar meteorik suya doğru değişmiştir.

Creede (Colorado), uzun zaman epitermal tipte bir yatak olarak kabul edilmiştir. Fakat izotopik bileşimi, epitermal yataklardan oldukça farklıdır: Sfalerit, kuvars ve illit-klorit taşıyan akışkanlar farklı üç rezervuardan gelmiştir ve az miktarda birbirleriyle karışmıştır (Bethke ve Rye, 1979). Karbonatlı sular magmatik kökenli, diğerleri ise meteorik kökenlidir ve volkanik yan kayaçlarla O₂ değişimi gösterirler.

Kanada Cordillera'sındaki mezotermal altın damarları, yeşilist fasiyesindeki kayalar içerisinde, doğrudan atımlı faylara bağlı olarak oluşmuştur. δ¹⁸O ve δD değerleri; meteorik suyun derinde dolaşımıyla kimyasal olarak evrimi ve ısınmasıyla oluşan cevher yapıcı akışkanların doğrudan atımlı faylarla geçirgen zonlar boyunca yükseldiklerini göstermektedir.

Ornatım yatakları

Bluebell (İngiliz Kolombiyası) Pb-Zn yatağı, birincil magmatik ve meteorik sular arasındaki ayırım için elverişli bir ortam yaratır (Şek. 9). Düşük δD değerleri, suyun kesinlikle meteorik kökenli olduğunu göstermektedir (Ohmoto ve Rye, 1970). Cevher yapıcı akışkanların izotopik bileşimi, iki farklı meteorik su türünün karışımından ileri gelmektedir: 1) Sıcak, tuzlu, yan kayalarla dengede; 2) Soğuk, seyreltik, yan kayalarla değişime girmemiş.

Skarn yatakları

Bu tip yataklar, zaman ve mekanda granitik soku-lumlarla yakından ilgilidir. Bu tür hidrotermal akışkanlarda meteorik suyun etkisi görülmez (Şek. 9). Salau (Fransa) şelit yatağı, tamamiyle farklı iki tür akışkanın etkili olduğu iki evrede oluşmuştur (Fonteilles ve diğ., 1989). Yüksek ısıdaki ilk aşamada, δD= -50 değerindeki akışkanlar magmatik kökenlidir. Düşük ısıdaki ikinci aşamada akışkanlar δD= -10 değerli ve meteorik su, deniz suyu, gözenek suyu veya metamorfik su kökenli olabilirler.

Porfiri yataklar

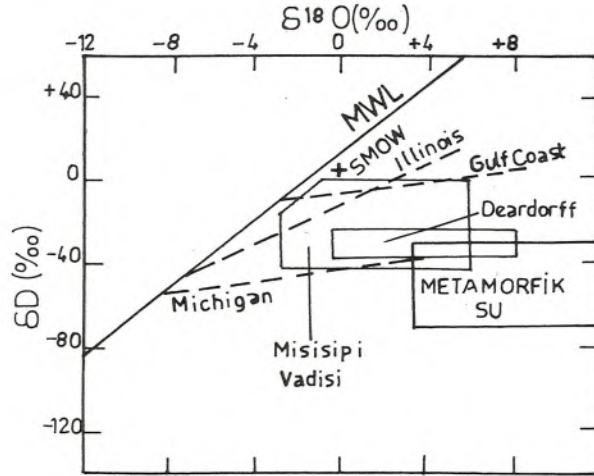
Bu tip yatakları oluşturan hidrotermal akışkanların meteorik ve magmatik suların karışımıyla oluştuğu belirgindir (Taylor, 1979) (Şek. 11). Cevherin depolanması ve alterasyon zonları, tarihçelerinin erken döneminde magmatik kökenli akışkanlardan etkilenmiştir. Hidrotermal etkinliğin geç dönemlerine doğru meteorik sular

olması, cevherli akışkanların deniz suyu kökenli olduğunu gösterir (Ohmoto ve Rye, 1974). Akışkanlar içerisine, çok az miktarda magmatik ve/veya meteorik su da karışmış olabilir.

Trodos (Kıbrıs) tipi yataklar, bir ofiyolit istifindeki bazik volkanitlerle ilişkili masif sülfid yataklarının en iyi örneğidir. Cevherin izotopik bileşimi çok yeknasak ve güncel deniz suyununkine çok yakındır (Franklin ve diğ., 1981). Trodos hidrotermal sisteminde, deniz suyu kökenli sular egemendir (Sheppard, 1977).

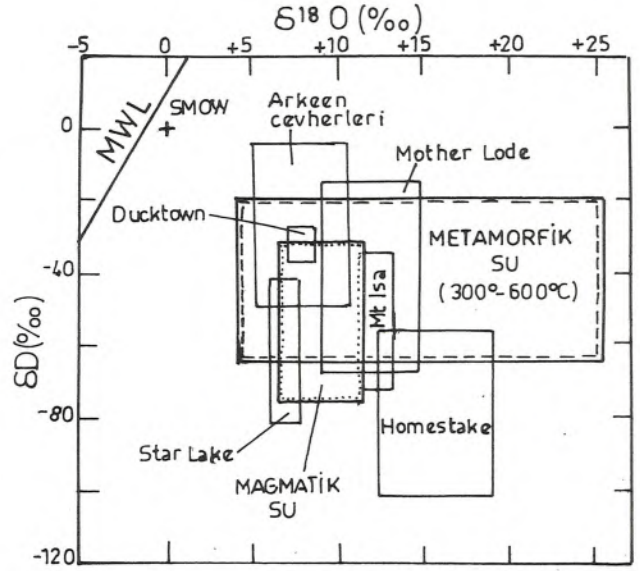
Mississippi Vadisi tipi yataklar

Karbonatlı yan kayalar içerisine epijenetik olarak yerleşmiş Pb-Zn yataklarındaki cevherli akışkanların tuzlulukları ve bileşen oranları, güncel petrol sahalarının salamuralarıyla dikkati çekecek biçimde benzerdir (Hall ve Friedman, 1963) (Şek. 13). Buna göre, cevherin yerleşmesinin geç döneminde cevherli akışkanlar görece seyreltik meteorik yeraltısuyuyla karışmıştır. Heyl ve diğ. (1974) tarafından oluşturulan genetik modele göre, taban kayaları içerisinden meteorik sula-



Şekil 13. Misisipi Vadisi tipi yataklarda cevher yapıcı akışkanlara ait δD ve $\delta^{18}O$ değerleri ve petrol sahaları salamuralarına ait hatlar (Hall ve Friedman, 1963; Heyl ve diğ., 1974; Taylor, 1979).

rın konvektif akışı havzanın derin kesimlerinde akışkanların ısınmasını ve kabuksal kaynaklardan metalleri ve kükürdü almasını sağlar. Çözeltiler böylece ısınır ve cevher taşıyan akışkanlar halini alır, ardından akiferlere boşalır. Sistemin üzerindeki karbonatlı kayalardaki kırık zonları veya örten şeylerdeki çökmezlik pençe-



Şekil 14. Metamorfik yataklardaki akışkanların izotopik bileşimleri (Rye ve Rye, 1974; White, 1974; Taylor, 1979; Heinrich ve diğ., 1989; Nesbitt ve Muehlenbachs, 1989; Ibrahim ve Kyser, 1991).

releri cevherli akışkanlar için depolanma yerlerini oluşturur.

Metamorfik yataklar

Bölgesel metamorfizmayla ilintili maden yatakları, cevher gövdesiyle metamorfik yan kayalar arasındaki izotopik benzerliklerle belirgindir (Şek. 14). Bunun nedeni, bölgesel metamorfizmanın, izotopik homojenleşmeye doğru bir yönelimin olduğu uzun bir zaman süresini kapsamasıdır (Taylor ve Coleman, 1968). Homestake (Dakota), uzun zaman bir epijenetik hidrotermal damar olarak kabul edilmiştir. Ancak kuvars damarının $\delta^{18}O$ değerleri metamorfik yan kayalarla mükemmel bir uyum içindedir (Rye ve Rye, 1974). Ayrıca, bu değerler bölge dışındaki metamorfik segregasyon damarlarıyla da benzerdir.

SONUÇLAR

$\delta^{18}O$ ve δD değerleri jeotermometre olarak kullanılabilir.

Cevher yataklarının oluşumunda önemli bir yeri olan suların kökeninin belirlenmesinde en yararlı verileri sağlarlar.

Cevher ve gang minerallerinin izotopik bileşimlerinin incelenmesi sonucunda cevher yapıcı hidrotermal sistemlerde, basit magmatik süreçler yerine, çeşitli kö-

kenli (meteorik, deniz, jeotermal, formasyon) suların doğrudan etkin oldukları veya en azından birincil magmatik sularla karışarak maden yataklarını oluşturdukları ortaya konmuştur. Suların karışım süreci, aynı zamanda hidrotermal alterasyona neden olmuştur.

Maden yataklarında yapılan duraylı izotoplar jeokimyası çalışmalarının sonuçları, hidrotermal sistemlerde cevher oluşumu kuramında temel bir değişim oluşturmuşlardır: Magmatik kayalar sadece ısıtıcı motor olarak görev yaparlar. Böylece oluşan enerji, aşağı süzülen meteorik suların konvektif dolaşımını sağlar. Isınan hidrotermal sular, çevre kayalardan metal içeriğini alarak yükselirler ve soğuk suyla karşılaştıkları yerde cevher olarak çökelirler.

Duraylı izotoplar jeokimyasının maden yataklarındaki araştırmalara uygulanması, farklı jeolojik süreçlerde izotopik bölünmenin mekanizması ve şiddetinin değiştiği kabulüne dayanmaktadır. Kuşkusuz, bir maden yatağında aynı izotopik özellikleri verebilecek birden fazla süreç gelişmiş olabilir ve bir jeokimyasal süreç farklı koşullarda tümüyle farklı izotopik özellikleri üretebilir.

Bu bakımdan, izotop verileri, cevher yataklanmasına ilişkin köken ve kaynak sorunlarına sadece bir yaklaşım sağlayabilir. İzotop verilerinin yorumunda şu noktalara dikkat etmek gereklidir:

- 1) Duraylı izotop jeokimyası, maden yatağı araştırmasında bir bağımsız konu olarak ele alınmalıdır.
- 2) İzotop verileri, özellikle sadece bir elementin izotoplarıyla sınırlı olduklarında herhangi bir jeolojik soruna tek başına bir çözüm getiremez.
- 3) İzotop incelemeleri, diğer jeokimyasal ve mineralojik çalışmalarla tamamlanmalı ve desteklenmelidir.
- 4) Çeşitli jeokimyasal süreçlerdeki izotop bölünme mekanizmaları hakkındaki bilginiz son derece sınırlıdır.

Bütün bu eksikliklerine karşın, izotop jeokimyası maden yataklarının kökeni ve kaynağına ilişkin sorunların çözümünde yeni bir bakış açısı getirmiştir.

DEĞİNİLEN BELGELER

Akande, S.O. ve Zentilli, M., 1983, Geologic, fluid inclusions and stable isotope studies of the Gays River lead-zinc deposit, Nova Scotia, Canada: *Econ. Geol.*, 79, 1187-1211.

Becker, R.H. ve Clayton, R.N., 1972, Carbon isotopic evidence for the origin of a banded iron-formation in western Australia: *Geochim. Cosmochim. Acta*, 36, 577-595.

Bethke, P.M. ve Rye, O.R., 1979, Environment of ore deposition in the Creede mining district, San Juan Mountains, Colorado: Part IV. Source of fluids from oxygen, hydrogen and carbon isotope studies: *Econ. Geol.*, 74, 1832-1851.

Branam, T.D. ve Ripley, E.M., 1990, Genesis of sediment-hosted copper mineralization in south-central Kansas: sulfur/carbon and sulfur isotope systematics: *Econ. Geol.*, 85, 601-621.

Craig, H., 1957, Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass spectrometric analysis of carbon dioxide: *Geochim. Cosmochim. Acta*, 12, 133-149.

Craig, H., 1961, Standard for reporting concentration of deuterium and oxygen-18 in natural waters: *Science*, 133, 1833-1934.

Craig, H., 1963, The isotopic geochemistry of water and carbon in geothermal areas: *Nuclear Geology on Geothermal Areas* da, E. Tongiorgi (ed.), 17-53.

Craig, H., 1966, Isotopic composition and origin of the Red Sea and Salton Sea geothermal brines: *Science*, 154, 1544-1548.

Criss, R.E. ve Taylor, H.P., 1983, An $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$ and D/H study of Tertiary hydrothermal systems in the southern half of the Idaho batholith: *Geol. Soc. Am. Bull.*, 94, 640-663.

Criss, R.E. ve Taylor, H.P., 1986, Meteoric-hydrothermal systems: *Stable Isotopes* da, J.W. Walley, H.P. Taylor ve J.R. O'Neil (ed.), *Reviews in Mineralogy*, 16, 373-424.

Faure, G., 1986, *Principles of Isotope Geology*: John Wiley & Sons, 2. baskı, 589 s.

Field, C.W. ve Fifarek, R.H. 1985, Light stable-isotope systematics in the epithermal environment: *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems*, da, B.R. Berger ve P.M. Bethke (ed.), *Reviews in Econ. Geol.* 2, 99-128.

Fontelles, M., Soler, P., Demange, M., Derre, C., Krieger-Schellen, A.D., Verkaeren, J., Guy, B. ve

- Zahm, A., 1989, The scheelite skarn deposit of Salau (Ariege, French Pyrenees): *Econ. Geol.*, 84, 1172-1209.
- Franklin, J.M., Lydon, J.W. ve Sangster, D.F., 1981, Volcanic-associated massive sulfide deposits: *Econ. Geol.*, 75. Anniv. Vol., 485-627.
- Fu, M., Changkakoti, A., Krouse, H.R., Gray, J. ve Kwak, T.A.P., 1991, An O,H,S and C isotope study of carbonate-replacement (skarn) tin deposits of the Dachang tin field, China: *Econ. Geol.*, 86, 1683-1703.
- Güleç, N., 1993, İzotoplar: Jeokimya-Temel Kavramlar ve İlkeler *de*, JMO yayınl. 32.2. baskı, 205-240.
- Hall, W.E. ve Friedman, I., 1963, Composition of fluid inclusions, Cave-in-Rock fluorite district, Illinois, and upper Mississippi Valley zinc-lead district: *Econ. Geol.*, 58, 886-911.
- Hall, W.E., Friedman, I. ve Nash, J.T., 1974, Fluid inclusion and light stable isotope study of the Climax molybdenum deposits, Colorado: *Econ. Geol.* 69, 884-901.
- Heinrich, C.A., Andrew, A.S., Wilkins, R.W.T. ve Patterson, D.J., 1989, A fluid inclusion and stable isotope study of synmetamorphic copper ore formation at Mt Isa, Australia: *Econ. Geol.*, 84, 529-550.
- Heyl, A.V., Landis, G.P. ve Zartman, R.E., 1974, Isotopic evidence for the origin of Mississippi Valley-type mineral deposits: *Econ. Geol.*, 69, 992-1006.
- İbrahim, M.S. ve Kyser, T.K., 1991, Fluid inclusion and isotope systematics of the high-temperature proterozoic Star Lake lode gold deposit, N. Saskatchewan, Canada: *Econ. Geol.*, 86, 1468-1490.
- Layne, G.D., Longstaffe, F.J. ve Spoone, E.T.C., 1991, The JC tin skarn deposit, S. Yukon Territory: II. A carbon, oxygen, hydrogen and sulfur stable isotope study: *Econ. Geol.*, 86, 48-65.
- Marcke de Lummen, G. van, 1988, Oxygen and hydrogen isotope evidence for influx of magmatic water in the formation of W-, Mo- and Sn-bearing skarns in pelitic rocks at Costabonne, France, and Land's End, England: *Proceed. 7th Quadrennial IAGOD Symp.*, 355-362.
- Mariotti, A., 1984, Natural ^{15}N abundance measurements and atmospheric nitrogen standard calibration: *Nature*, 311, 251-252.
- McKeag, S.A. ve Craw, D., 1989, Contrasting fluids in gold-bearing quartz vein systems formed progressively in a rising metamorphic belt: Otago schist, New Zealand: *Econ. Geol.*, 84, 22-33.
- Nesbitt, B.E. ve Muehlenbachs, K., 1989, Geology, geochemistry, and genesis of mesothermal lode gold deposits of the Canadian Cordillera: evidence for ore formation from evolved meteoric water: *The Geology of Gold Deposits de*, *Econ. Geol. Monograph* 6, 553-563.
- Ohmoto, H., 1986, Stable isotope geochemistry of ore deposits: *Stable Isotopes da*, J.W. Walley, H.P. Taylor ve J.R. O'Neil (ed.), *Reviews in Mineralogy*, 16, 491-556.
- Ohmoto, H. ve Rye, R. O., 1970, The Bluebell Mine, British Columbia. I. Mineralogy, paragenesis, fluid inclusions, and the isotopes of hydrogen, oxygen and carbon: *Econ. Geol.*, 65, 417-437.
- Ohmoto, H. ve Rye, R.O., 1974, Hydrogen and oxygen isotopic compositions of fluid inclusions in the Kuroko deposits, Japan: *Econ. Geol.*, 69, 947-950.
- Ohmoto, H. ve Rye, R.O., 1979, Isotopes of sulfur and carbon: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits de*, H.L. Barnes (ed.), 2. baskı, John Wiley & Sons, 509-567.
- Rye, R.O. ve Ohmoto, H., 1974, Sulfur and carbon isotopes and ore genesis: a review: *Econ. Geol.*, 69, 826-842.
- Rye, D.M. ve Rye, R.O., 1974, Homestake gold mine, south Dakota: I. Stable isotope studies: *Econ. Geol.*, 69, 293-317.
- Savin, S.M. ve Epstein, S., 1970, The oxygen and hydrogen isotope geochemistry of clay minerals: *Geochim. Cosmochim. Acta*, 34, 43-64.
- Sheppard, S.M.F., 1977, Identification of the origin of ore-forming solutions by the use of stable isotopes: *Volcanic Processes in Ore Genesis de*, *Geol. Soc. London, spec. publ.* 7, 25-41.
- Sheppard, S.M.F. ve Taylor, H.P., 1974, Hydrogen and oxygen isotope evidence for the origins of water

- in the Boulder batholith and the Butte ore deposits, Montano: *Econ. Geol.*, 69, 926-946.
- Sheppard, S.M.F., Nielsen, R.L. ve Taylor, H.P., 1969, Oxygen and hydrogen isotope ratios of clay minerals from porphyry copper deposits: *Econ. Geol.*, 64, 755-777.
- Sheppard, S.M.F., Nielsen, R.L. ve Taylor, H.P., 1971, Hydrogen and oxygen isotope ratios in minerals from porphyry copper deposits: *Econ. Geol.*, 66, 515-542.
- Shimazaki, H., 1988, Oxygen, carbon and sulfur isotope study of skarn deposits in Japan: *Proceed. 7th Quadrennial IAGOD Symp.*, 375-381.
- Smitheringale, W.G. ve Jensen, M.L., 1963, Sulfur isotopic composition of the Triassic igneous rocks of eastern United States: *Geochim. Cosmochim. Acta*, 27, 1183-1207.
- Taylor, H.P., 1974, The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition: *Econ. Geol.*, 69, 843-883.
- Taylor, H.P., 1979, Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits* de, H.L.Barnes (ed.), 2. baskı, John Wiley & Sons, 236-277.

Mineral Kaynaklarının Uluslararası Perspektifi

Episodes, Vol. 15, No: 3, 1992.

Çeviren

Taner İRKEÇ

MTA Genel Müdürlüğü, ANKARA

ÖZ

Dünyadaki kaynakların tarihsel kullanımına bir göz attığımızda, mineral kaynakları konusunda bugün hala geçerliliğini devam ettiren bir model karşımıza çıkmaktadır. Ticari ürün fiyat trendleri, döviz kurlarındaki dalgalanmaların yanısıra, bugün de politik olaylar, savaşlar ve ekonomik krizlerden etkilenmektedir. Arz ve talep ilişkilerine ait trendler, arz fazlası ve darboğaz dönemlerinin periyodik tekrarlanma gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Günümüzde, ABD, Japonya ve Avrupa Topluluğu ülkeleri, toplam dünya mineral hammadde üretiminin % 50 ile 95 arasında değişen bölümünü tüketmektedir. Bu ülkelerde hizmet sektörü gittikçe ağırlık kazandığından, gayri safi milli hasılanın artması için daha az hammaddeye ihtiyaç duyulacaktır. Önceki tahminlerle kıyasladığımızda, son 15 sene içinde enerji ve hammadde tüketiminde büyük ölçüde tasarrufa gidildiği görülmektedir.

Geleceğe baktığımızda, geçmişte hammaddelerle ilişkili olarak rol oynayan bütün faktörlerin etkinliğinin devam edeceğini bekleyebiliriz. Bunların başında savaş riski ve insan mahareti bulunmaktadır. Doğal kaynaklar büyük miktarlarda mevcut olmasına karşın, bunların ekonomik olarak ne zaman kullanılabileceği, esas olarak talep ve uygun fiyat şartları ile belirlenmektedir. Piyasa güçleri tarafından çözümlenemeyen uzun vadeli problemlerde, insan dehasına güvenmek durumunda kalacaktır.

GİRİŞ

Madencilik sanayii zor bir dönem geçirmektedir. Maden ticareti alanında sorulan sorular şunlardır: Bu gerileme dönemi ne kadar sürecektir? Hammadde üreten ve tüketen endüstriler ne yönde ilerlemektedir? Bugünkü durumu irdelemeden ve geleceğe yönelik tahminler yapmadan önce, geçmişe dönmek ve neler olduğunu görmekte fayda vardır.

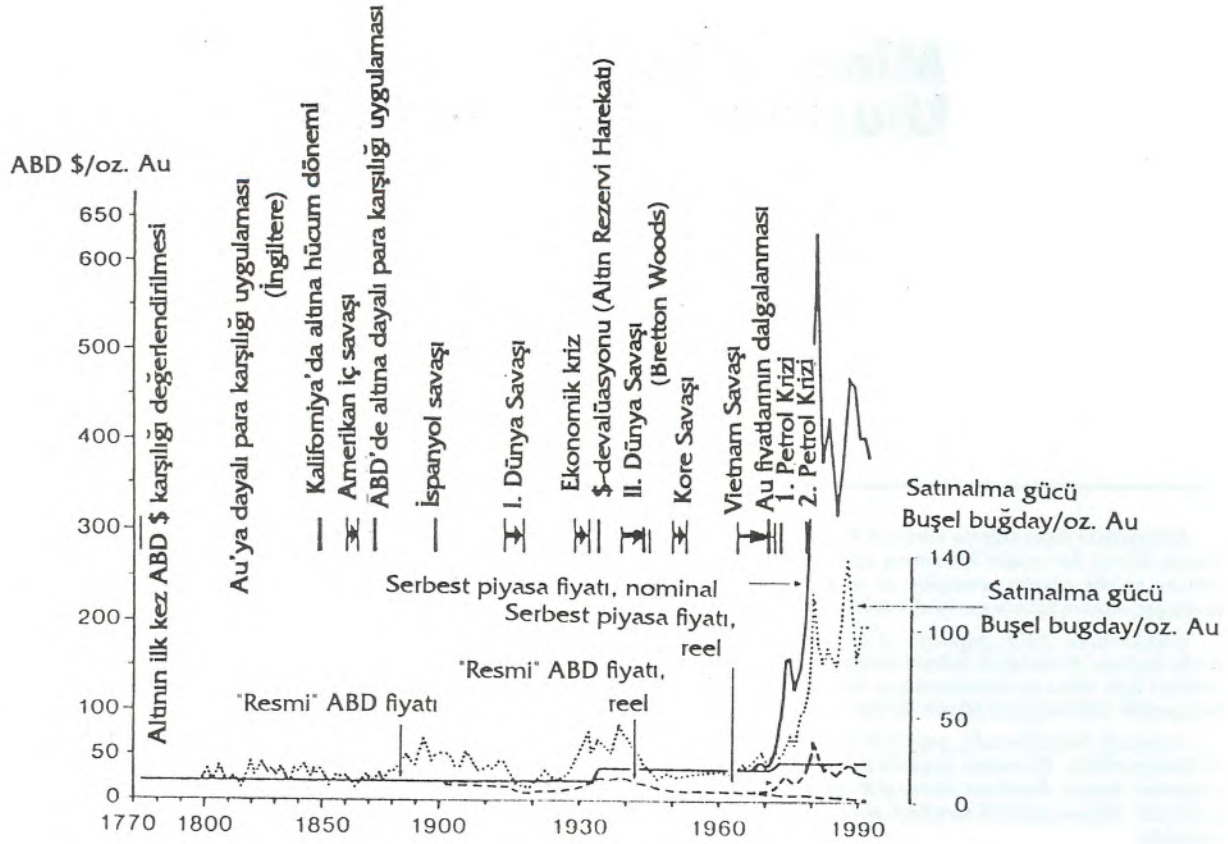
TARİHSEL GELİŞİM

Doğadaki kaynakların bulunuşu doğa kanunları tarafından kontrol edilmekte ve yer bilimciler doğal ilişkileri çözme ve anlama yolunda büyük mesafeler kat etmiş bulunmaktadır. Fakat bu, sadece ilk başlangıç adımı olup yeraltı kaynaklarının faydalı ticari metalar olarak tanımlanması ve işletmecilik planlaması aşamasında piyasa etkenleri devreye girmektedir. Doğal kaynakların tam olarak anlaşılabilmesi, bunların bulunabilmesini etkileyen tüm faktörlerin (jeolojik, teknolojik ve

ekonomik) bir arada değerlendirilmesi ile sağlanabilir. Tarihsel gelişimin irdelenmesi, maden kaynakları alanında bugün de geçerli olan model ve kanunların anlaşılabilmesi yönünde bize yardımcı olur. Bu bağlamda konuya iki yönden bakacağız: Ticari alanda fiyat değişimleri ve arz-talep ilişkileri.

MADEN TİCARETİNDE FİYAT TRENDLERİ

İlk olarak geçmişteki fiyat trendleri ve büyük ölçekli fiyat dalgalanmalarının sebepleri üzerinde duracağız (başlıca istatistik kaynaklarımız Metallgesellschaft AG ve U.S. Bureau of Mines olacaktır). Örneğin altın piyasası, belli güvenilirlik limitleri dahilinde iki yüzyıl öncesine kadar takip edilebilmektedir. (şek. 1). Altın ilk kez 1770 yılı civarında ABD doları karşılığı değerlendirilmiştir. Altının gerçek değeri, kuyumculukta ve döviz karşılığı kullanımından kaynaklanmaktadır. Bu mineralin endüstriyel kullanımı yakın tarihlerde gelişim göstermiştir.

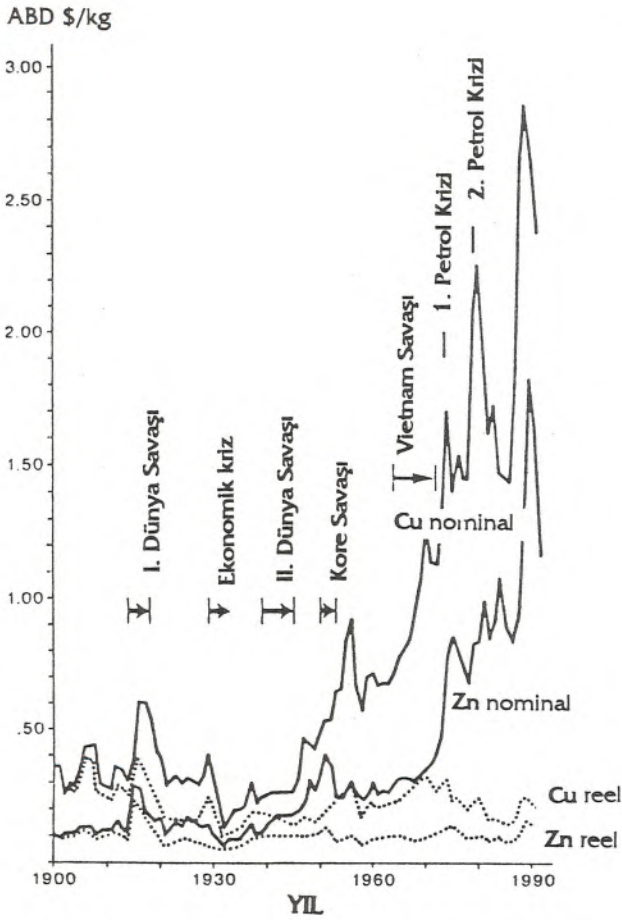


Şekil 1. Belli başlı tarihsel olaylarla altın (Au) fiyatlarının reel ve nominal bazda karşılaştırılması (ABD \$ olarak). Ayrıca altın fiyatı (ABD \$/60-pound buğday) arasındaki ilişki de gösterilmiştir.

Grafikten görüleceği üzere, altının eğrisi üzerinde politik olayların, savaşların ve ekonomik krizlerin büyük etkisi bulunmaktadır. Fiyat eğrilerine bakarken, nominal ve reel değerleri birbirinden ayırmamız gerekir. Altın durumunda, resmi ABD fiyatının da gözönünde tutulması gerekir. Altının alım gücünü, bir buşel (60 pound) buğdayın fiyatı ile kıyaslayarak belirlemeye çalıştık. Tarımsal üretimin son yıl içinde belirgin biçimde arttığı ve bunun sonucunda gıda fiyatlarının nispeten ucuzladığı öne sürülebilir. Ancak, buğdayın endeksi 1790' dan bu yana altın fiyat deflatörü ile kıyaslandığında, belli bir ölçüde paralellik ortaya çıkar ki bu durum, buğday endeksinin fiyat belirteci olarak uygun olduğunu ortaya koymaktadır. 1800 ile 1880 yılları arasında altının alım gücünün nispeten sabit olduğu görülmektedir. 20. yüzyılın başlarında bir pik yapmış, bunu 1920' li yıllardaki ekonomik krize bağlı ikinci bir pik izlemiştir. Bugün ise üçüncü bir pik yaşanmakta

olup altın fiyatları kontrol edilememektedir. Kanada' da eski bir madenci deyişi olup, buna göre 1 onz (oz) altın bir elbise alacak durumda ise, altının fiyatı doğrudur. Bu kurala göre, fiyat 1935 yılında 35 \$/oz ile doğrudur. Bugün ise 300-400 \$/oz olup mertebesinde olup yine doğruya yakındır. Oysa 1950 ve 1960 larda fiyat 35 \$/oz mertebesinde sabit kalmış olup, bunun çok ucuz olduğu konusunda görüş birliği vardır.

1900 yılından günümüze kadar nominal ve reel fiyatlar bazında metal fiyat trendlerine ait tipik örnekler, şekil 2-5' de gösterilmiştir. Şekillerde, değişimler politik ve ekonomik olaylarla da ilişkilendirilmiştir. Reel fiyat bazında bakır fiyatları, 1900' lardan bu yana sürekli olarak düşme eğilimindedir. Buna karşılık çinko fiyatları sabit kalmıştır (şek. 2). Alüminyum reel fiyatları (şek. 3), tüketimin hızla artmaya başladığı 1950 lerden beri sabittir. Kalay için hazırlanan eğride görüleceği gibi (şek. 4), Uluslararası Kalay Antlaşmaları,

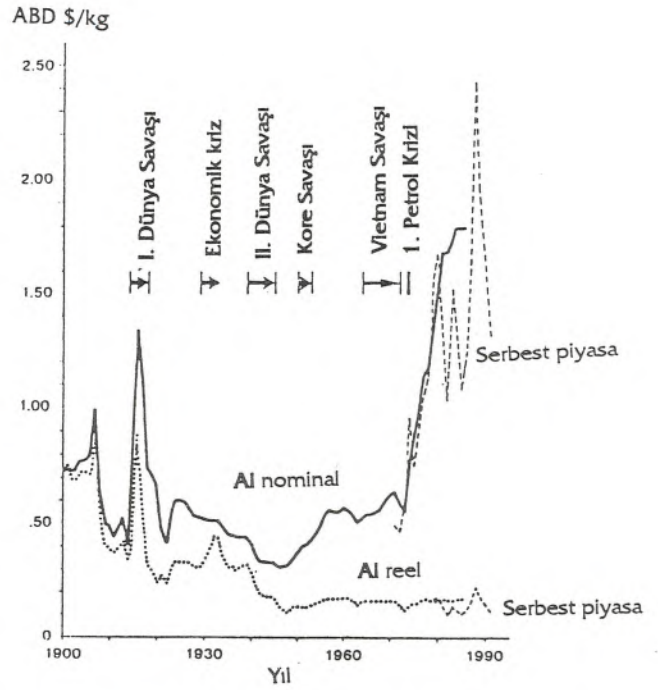


Şekil 2. Belli başlı tarihsel olaylarla bakır (Cu) ve çinko (Zn) fiyatlarının (ABD \$) reel ve nominal bazda karşılaştırılması

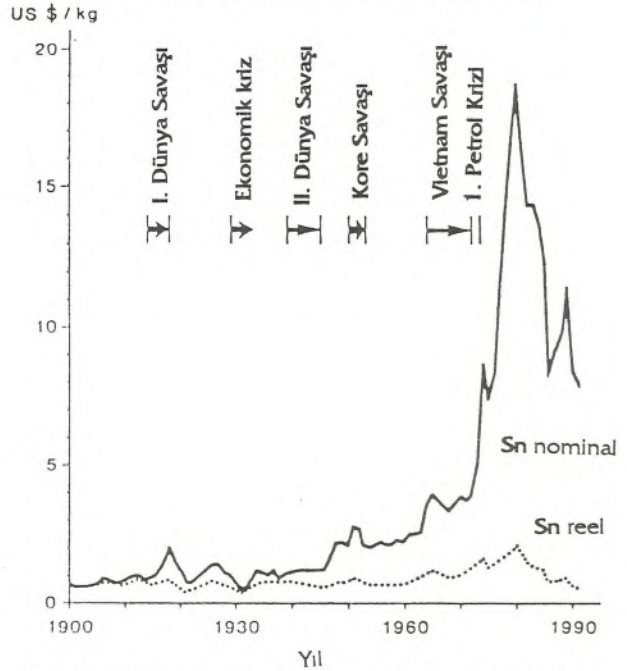
1985 yılında Uluslararası Kalay Konseyinin dağılmasına kadar reel fiyatların yükselmesinde etkili olmuştur. Fakat, daha sonra açıklanacağı gibi bu durum, tüketim üzerinde önemli etkide bulunmuştur.

Şekil 5, tungsten ve nikel gibi çelik üretimi ile ilgili metal fiyatlarının savaşıardan büyük ölçüde etkilendiğini ortaya koymaktadır. Bu örneklerdeki fiyat trendlerinden anlaşılacağı gibi, politik ve ekonomik olaylar metal fiyatlarını etkileyen çok önemli faktörlerdir.

Hammaddelerin gerçek parasal değerleri itibarıyla, dalgalanan döviz değişim kurları da önemli etkiye sahip bulunmaktadır. Amerikan dolarına karşı değerini koruyan kuvvetli para birimine sahip ülkelerdeki madenler, reel bazda Amerikan doları karşılığı piyasa fiyatları sabit kalsa dahi, kendi değişim oranlarındaki dalgalanmalar ve düşüşler nedeniyle gerileme eğilimine girebilmektedir. Çeşitli ülkelerdeki bu tür durumlar-



Şekil 3. Belli başlı tarihsel olaylarla alüminyum (Al) fiyatlarının (ABD \$) reel ve nominal bazda karşılaştırılması



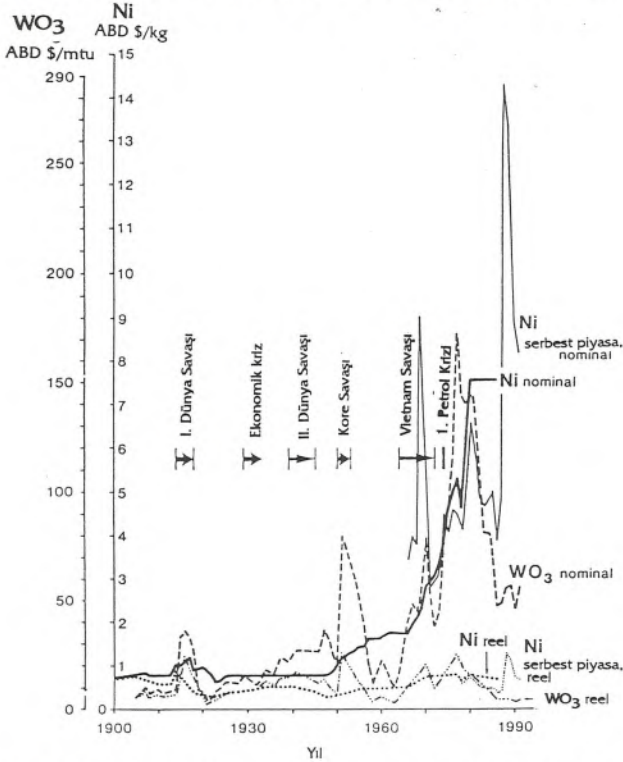
Şekil 4. Belli başlı tarihsel olaylarla kalay (Sn) fiyatlarının reel ve nominal bazda karşılaştırılması (ABD\$).

da, geçerli para biriminin değer kazanması dolayısıyla madenlerin kapanması söz konusu olabilmektedir. Şekil 6, Amerikan doları ve Alman markı karşısında kurşun

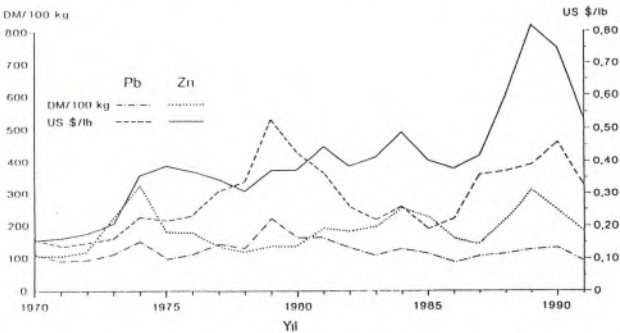
ve çinko fiyat trendlerini göstermektedir ki, bu şekilde 1970' den bu yana güçlü Alman markının etkisi açıkça görülmektedir.

ARZ TALEP İLİŞKİLERİNDEKİ TRENDLER

Tarihsel gelişimin incelenmesindeki bir diğer kriter, arz ve talep ilişkilerinin irdelenmesidir. II. Dünya Savaşının sona ermesinden itibaren hammadde tüketimi yoğun biçimde artmıştır. Bu zaman aralığı içinde,



Şekil 5. Belli başlı tarihsel olaylarla tungsten (W) ve nikel (Ni) fiyatlarının reel ve nominal bazda karşılaştırılması (ABD \$). Kısaltma: mtu, metrik ton birimi.

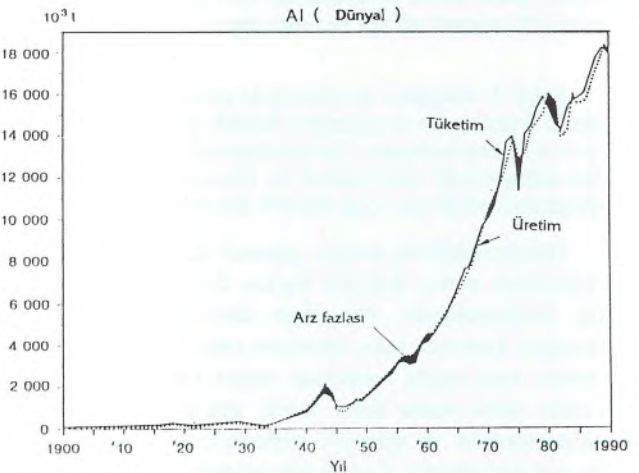


Şekil 6. ABD \$ ve Alman markı (DM) karşılığı olarak kurşun (Pb) ve çinko (Zn) fiyatları.

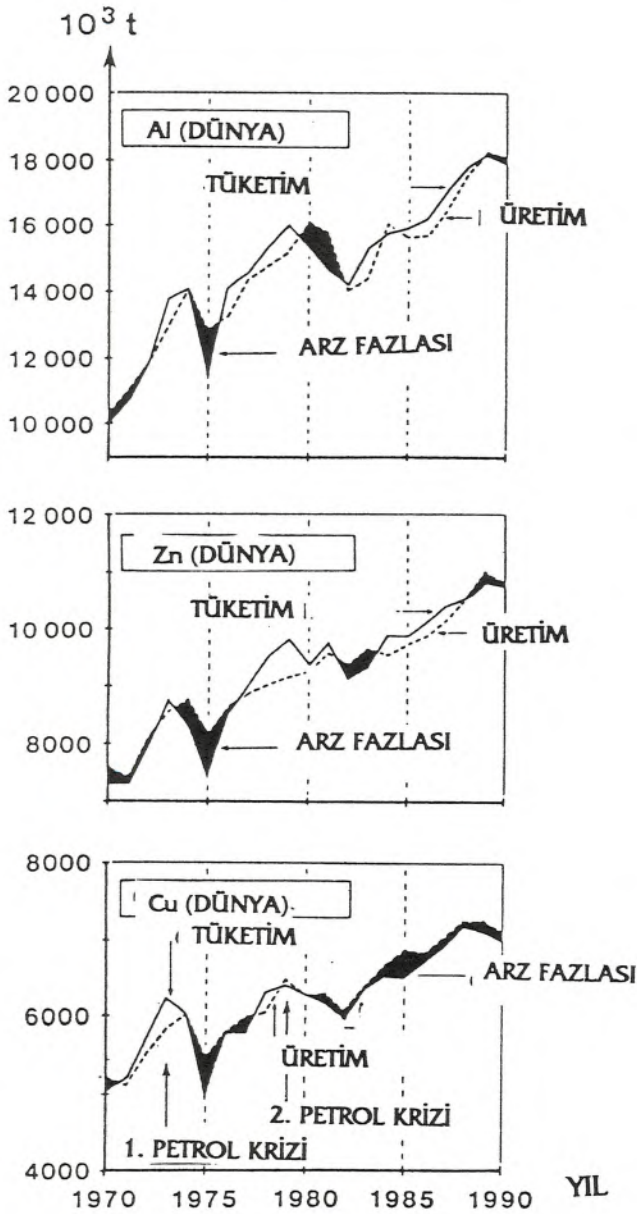
insanlık tarihi boyunca harcanandan daha fazla maden kaynağı tüketilmiştir. Batı dünyasında üretilen ve zenginleştirilen maden kaynaklarının en büyük tüketicileri, ABD, Japonya ve Avrupa Topluluğu ülkeleridir.

Bu yüzyılın başlangıcından günümüze kadar olan üretim ve tüketim eğrileri karşılaştırıldığında, iki tane dünya savaşı ve yine iki tane petrol krizini kapsayan bu dönemde, arz fazlası ve darboğazı durumlarının tekrarlanmalı olarak süregeldiği gözlenmektedir. Son on yıl içinde ise, metal üretimindeki iniş ve çıkışlar daha sık tekrarlanmaya başlamıştır. 1970 den bu yana alüminyum, çinko ve bakır üretim ve tüketim eğrileri, şekil 8' de verilmiştir. Özellikle alüminyum eğrileri, metal endüstrisinin içinde bulunduğu çok zor durumu açıkça yansıtmaktadır. Birinci petrol krizinden bu yana, üretim ve tüketim eğrileri önemli sapmalar göstermektedir. Niçin? Önceki yüksek tüketim artış oranları basit olarak ekstrapole edilmiş ve tüketim düştükçe kapasite fazlalığı ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak, izabe tesisleri tam kapasite ile çalıştırılmamış ve hatta bazıları kapanmak zorunda kalmıştır. Tüketicinin artması ve üretimle denge konumuna gelmesini takiben, ilave kapasite imkanları yaratılmış ve eski yüksek tüketim rakamlarına dönüleceği ümit edilmiştir. Ancak bu gerçekleşmemiş ve ulaşılan düzeyde tekrar kapasite fazlası dönemine girilmiş, böylece yeni bir çevrim başlamıştır.

Şekil 7 ve 8' deki eğriler, bize bazı ek bilgiler de sağlamaktadır. 1950-1960 yılları arasındaki on yıllık dönemde yıllık metal üretim artışı, 1960 ile 1970 arasındaki döneme göre daha hızlıdır. Belirtilen her iki dönemdeki söz konusu artışlar ise, ayrı ayrı olmak üzere, 1970-1990 döneminden daha büyüktür. Daha sonraki en



Şekil 7. 1900 den bu yana alüminyum üretim ve tüketimi



Şekil 8. 1970 den bu yana alüminyum, çinko ve bakır üretim ve tüketimi

yüksek üretim seviyesine ulaşılması için gereken zaman aralığı gittikçe daha uzun olmaya başlamıştır. Bu genel model, birçok diğer mineral için de geçerlidir: ani bir artış dönemi, daha yavaş bir artış dönemi ile takip edilmekte ve daha sonra sabit bir düzeyde bir süre devam etmektedir. Genel olarak bugünkü durumda, gelişmiş ekonomiye sahip ülkelerde bir doygunluk seviyesine ulaşılmıştır. (Humphreys, 1982). Sabit üretim seviyesi, 1975-1985 arasındaki dönemi kapsamaktadır.

Gelecekteki talep durumu göz önüne alındığında, şu hipotezlerin değerlendirilmesi gerekir: Her bir hammadde, oldukça uzun bir zaman aralığında sabit bir tüketim platformuna ulaşır. Bu zaman aralığı onar yıllık dönemler olabilir. Buna karşılık talep, daha dar limitlerde gerçekleşir (Sames, 1986). Çelik ve baz metaller, alüminyum hariç olmak üzere, bu tür bir platforma ulaşmıştır. Ancak oldukça uzun bir zaman aralığı sonrasında yeni faktörler, belirli metallerin tüketimini yeniden etkileyebilir ve tüketim artışı sonraki platforma ulaşılncaya kadar devam eder. Şu halde bu hipotezin büyüme ile ilişkisi inkar edilemez.

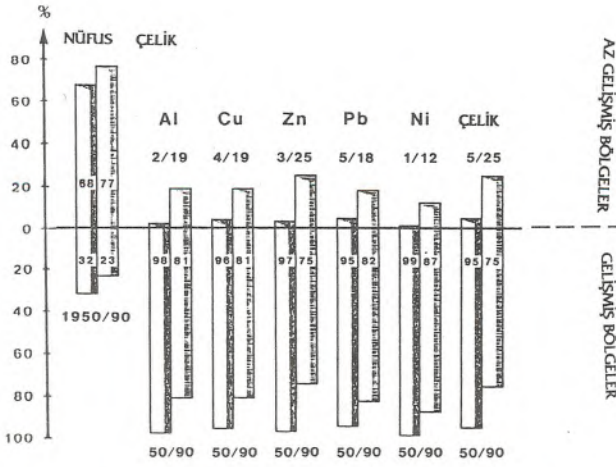
Aşağıda belirlenen gözlemler yukardaki hipotezi desteklemektedir:

* Genel dünya ekonomisindeki artış hızlarına ait çevrim. Bir denge durumunda dahi, gayrisafi milli hasıla (GNP) ile hammadde tüketimi arasında belirli ilişkiler söz konusudur. Bu durum, Alman çelik endüstrisi için detaylı olarak incelenmiştir. GNP' deki % 2,5' lik artış oranları döneminde, çelik tüketimi düşmekte veya sabit kalmakta, fakat % 3,5 lik GNP artışı durumunda çelik tüketimi % 1,5 artmaktadır (RWI, 1985).

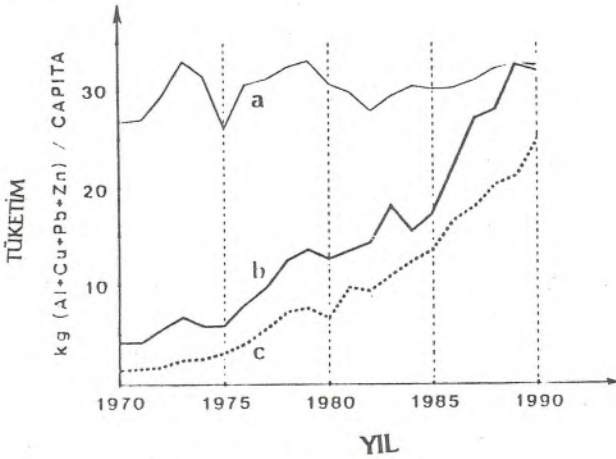
* Ana tüketim merkezleri olarak ortaya çıkan, yeni sanayileşmekte olan ülkelerdeki ani tüketim artışı. Az gelişmiş ülkelerdeki baz metal tüketimi (örneğin, alüminyum, bakır, çinko ve kurşun), dünya tüketiminin % 12 ile 25 arasında değişen bölümüne karşılık gelmekte, buna karşılık ana tüketim merkezleri, yeni sanayileşmiş ülkeler ve nüfus yoğunluğu fazla olan ülkeler olmaktadır. Şekil 9, 1950 ile 1990 yılları arasında metal tüketim merkezlerinin nasıl değiştiğini ve metal tüketiminin dünyanın daha az gelişmiş kesimlerindeki nüfus artışı ile nasıl oransız biçimde büyüdüğünü yansıtmaktadır.

Şekil 10' da sanayileşmiş batı ülkeleri ile yeni sanayileşen Tayvan ve Kore Cumhuriyeti baz metal tüketimlerinin karşılaştırması sunulmuştur.

* Belirli metallerin reel fiyatlarındaki sürekli düşüş (bkz. örneğin şekil 2), kullanımda artışa neden olmuş ve bu metaller için rönesans dönemi başlatmıştır. Kalay buna iyi bir örnektir: kalay fiyatlarının 1985 yılında Uluslararası Kalay Konseyinin dağılması ile bariz bir biçimde düşüşü ve daha gerçekçi piyasa fiyat düzeyine inmesi ile, 1985-1990 yılları arasında ortalama yıllık tüketim hızı % 3.2 oranında artmıştır. Sabit tüketim hızı, hatta önceki yüksek fiyat döneminde azalan tüketim hızına karşılık büyüme oldukça fazla olmuştur (şek. 11). Bunu takiben, 3 yıllık bir stok eritme döneminin ardından, primer üretimde artış gözlenmeye başlamıştır.



Şekil 9. Gelişmekte olan ve gelişmiş bölgelerde 1950 ile 1990 yılları arasında nüfus ve metal tüketimi dağılımı. Rakamlar yüzde olarak verilmiştir.

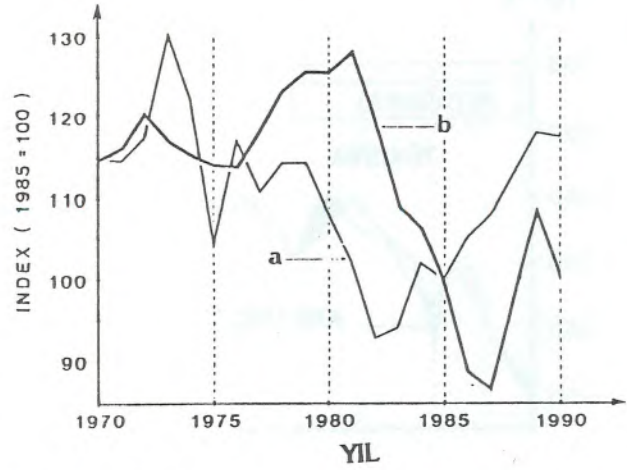


Şekil 10. Baz metaller (Al, Cu, Pb, Zn) tüketiminin sanayileşmiş ülkelerde (a), sanayileşmekte olan ülkelerden Tayvan (b) ve Kore Cumhuriyetinde (c) 1970 ile 1990 arasındaki dönemde gelişimi

MEVCUT DURUM

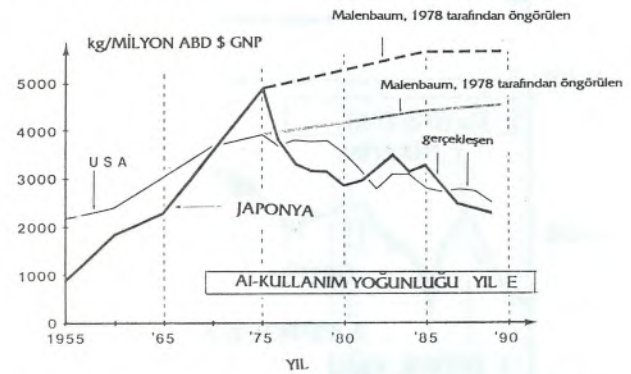
Batı dünyası içinde ABD, Avrupa Topluluğu ülkeleri ve Japonya, dünya tuvenan maden üretiminin, her bir maden türüne göre % 50 ile 95'i arasında değişen kısmını tüketmektedir. Bu toplumlar gittikçe artan oranda hizmet yönlenmeli konuma geçmekte, yani gayrisafi milli hasıladaki artış oranları daha az hammadde kullanılarak gerçekleşmektedir.

Tüketim trendlerinin analizinde en faydalı yollardan biri, "kullanım yoğunluğu" kavramının göz önünde tutulmasıdır (Malenbaum, 1978). Bu faktör, metal tüketimi



Şekil 11. 1970 ile 1990 yılları arasında kalay tüketiminin (a) ve maden üretiminin (b) nispi gelişimi (indeks 1985 = 100)

mini gayrisafi milli hasıla ile ilişkilendirmektedir. Çeşitli metaller için kullanım yoğunluğu eğrileri hazırlanmıştır. Bu eğriler, daha önceki tahminlerle karşılaştırıldığında, son 15 senede metallerden, örneğin alüminyumdan, ne ölçüde tasarrufa gidildiği görülebilmektedir (şek. 12).



Şekil 12. ABD ve Japonya için alüminyum "kullanım yoğunluğu" faktörlerine ait Malenbaum (1978) tahmini ile gerçekleşen kıyaslaması . Kısaltma : GNP, gayrisafi milli hasıla.

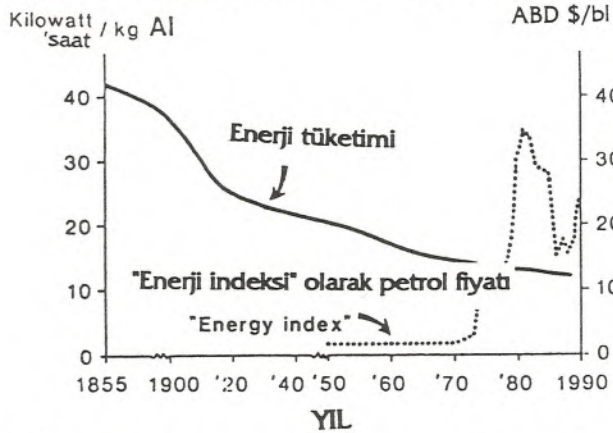
Enerji ve hammadde tasarrufu, doğal kaynaklar alanında anahtar kelimelerdir. Birkaç örnek ne ölçüde tasarruf yapılabildiğini yansıtabilecektir. Almanya'da Federal Posta Servisi, en büyük bakır tel kullanıcısı durumunda olup son yıllarda telefon ve telekomünikasyon ağlarında bakır yerine fiberglas kullanımını alternatif olarak uygulama kararı almıştır. Sadece 1988 ile 1991 yılları arasındaki dönemde bu uygulama ile her yıl için 200.000 ton bakır tasarrufu sağlanmıştır. Bu rakam, Almanya'nın toplam bakır tüketiminin % 18'ine karşılık gelmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Federal Almanya'da telekomünikasyon sisteminde bakır tel yerine fibreglas kullanımı (Kaynak, Telekom, Almanya, 1992)

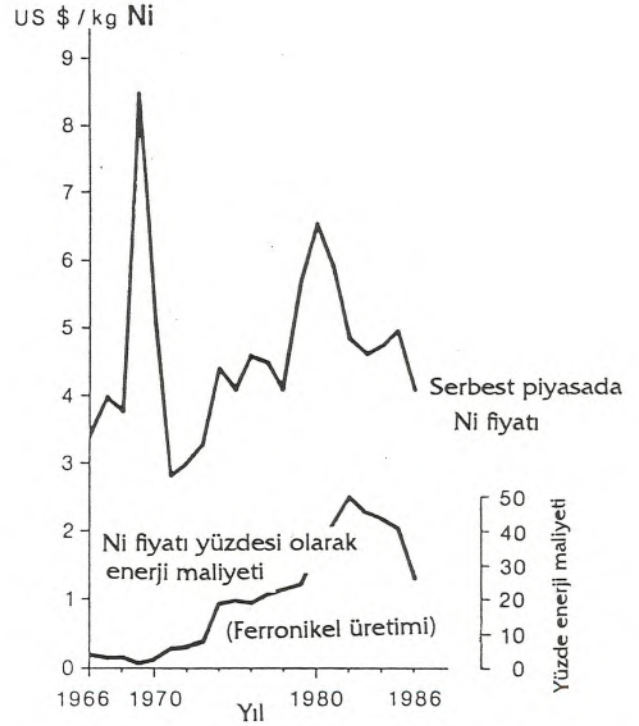
	Fibreglas Kullanımı	Cu Yerine Kullanılan	Almanyanın toplam Cu tüketimdeki oranı (%)
1989	141.885 km	~107.000	~9
1990	278.670 km	~210.000	~18
1991	268.981 km.	~200.000	~18

Diğer bir tasarruf yöntemi ise, atıkların çevrimi (recycling) dir. Son yıllarda bu konuda büyük ilerleme kaydedilmiştir. Mevcut durumda bazı metaller için yeniden kullanım miktarı, yıllık üretimin % 40-50' sine ulaşmış bulunmaktadır. Tabii ki bu rakam geliştirilemez ve her bir durum için özel şartların değerlendirilmesi gerekir. Bununla birlikte, yeraltı kaynaklarının potansiyel olarak korunmasında atık çevrimi çok önemlidir.

Üretim ve tüketim trendleri, alternatif maddeler ve atık çevrimine ilave olarak enerji tasarrufu da, özellikle zenginleştirme prosesleri itibarıyla hayati öneme sahiptir. Alüminyum, cevher zenginleştirme aşamasında en fazla enerji tüketen metallerden birisidir. Bundan dolayı, alüminyum izabesinde enerji tüketimini azaltmak üzere yoğun çabalar sürdürülmüştür (şek. 13). Enerji maliyetinin genel bir göstergesi olarak petrol fiyatları da diyagrama ilave edilmiştir. Diğer bir örnek de, 1966 yılından bu yana nikel fiyatları ile nikel izabesi için kullanılan enerji maliyeti arasındaki ilişkidir (şek. 14). Lateritik cevherlerden nikel üretimi, sülfürlü cevherlerden yapılan üretime göre daha fazla enerji tüketimine gereksinim göstermesi nedeniyle, nikel üretimi için seçilecek cevherin türünü etkilemektedir (Çizelge 2). Lateritik



Şekil 13. Bir birim alüminyum üretimi için gerekli enerji tüketimi ve petrol fiyatlarına ilişkin zaman trendi. Kısaltma : bl, varil.



Şekil 14. Serbest piyasada nikel fiyatı ve ferronikel üretimi için enerji maliyetinin nikel fiyatı yüzdesi olarak değişimine ait zaman trendleri.

Çizelge 2. Sülfid ve laterit cevherlerinden dünya nikel üretimi oranları, 1950-1990 (belirli yıllar)

	Sülfid Cevherleri	Laterit Cevherleri	Laterit/Sülfid Oranı
1950	86	14	0.16
1955	77	23	0.31
1960	71	29	0.41
1965	71	29	0.42
1970	64	36	0.57
1975	61	39	0.64
1980	59	41	0.71
1981	58	42	0.72
1982	59	41	0.71
1983	61	39	0.64
1984	62	38	0.62
1985	60	40	0.65
1986	62	38	0.62
1987	64	36	0.56
1988	64	36	0.56
1989	62	38	0.62
1990	63	37	0.59

cevherin sülfürlü cevhere oranı 1980-1982 döneminde zirveye ulaşmıştır. Son yıllarda yapılan yoğun yatırımlar ve özellikle de lateritik cevher izabe tesislerinde sabitlenmiş maliyetler nedeniyle, ani bir düşüş beklenmemekte, bir süre daha aynı seyri takip ettikten sonra dereceli olarak azalacağı öngörülmektedir.

Fiyat grafiklerinden açık olarak görüleceği gibi (şekil 1-5), politik faktörler, özellikle savaşlar, fiyat trendleri üzerinde büyük etkiye sahiptir. Günümüzde ise, hammadde durumlarını etkileyen bir dizi politik faktörü gözönünde tutmamız gerekmektedir. Bu faktörler, Üçüncü Dünya ülkelerinin gelişmesi, dünya nüfus artış oranı, çevre bilincinin gelişmesi ve buna bağlı önlemler, kaynak dağılımındaki bölgesel farklılıklar ve bir ölçüde ideolojik görüş ayrılıkları olarak sıralanabilir. Maden üretimi ve izabe tesisleri kapasiteleri, son 35 yılda önemli ölçüde değişmiştir. 1950' den bu yana, ABD çelik (şek. 15A), çinko, bakır ve alüminyum üretiminde belirgin bir azalma söz konusudur. Çelik, nikel ve özellikle kalay üretimi, gelişmekte olan ülkelerde bariz olarak artmaktadır (şek. 15B). Nüfus dağılımı ve hammadde tüketim oranlarının dağılımı arasındaki ilişki oldukça ilginçtir (şek. 9). Tahminimize göre, nüfus artış hızı, dünya arz ve talep ilişkilerinde doğrudan veya dolaylı olarak çok önemli bir etken olacaktır.

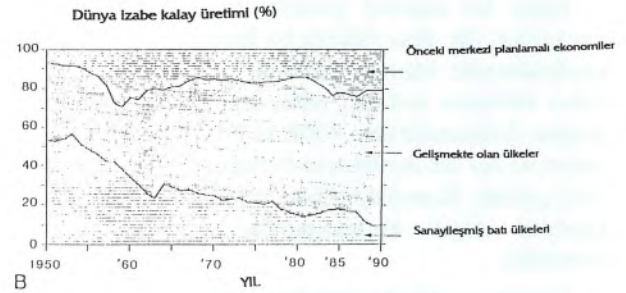
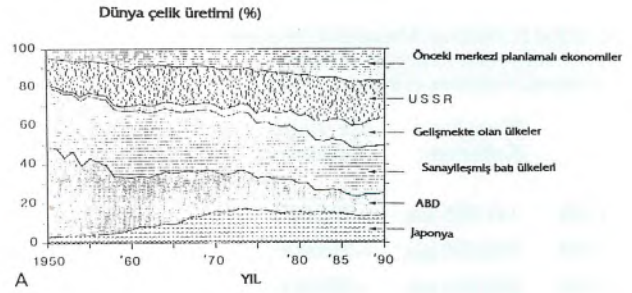
Hammadde pazarlarındaki diğer bir problem ise ticaret üzerindeki politik uygulamalar, diğer bir deyişle korumacılıktır. Korumacılık, Japonya'yı dünyanın en büyük bakır cevheri ve konsantreleri ithalatçısı konumuna getirmiştir (şek. 16). Ülkelerin çıkarları göz ardı edilmeksizin, yazarlara göre her tür korumacılık, kısa vadede bazı problemleri çözer görünse de, uzun vadede bütün ülkelerin çıkarlarına olan açık ve çok yönlü ticari sistemin işlemlerini tahrip etmektedir.

Aslında hammaddelerin serbest akışına karşı her türlü politik müdahale, pazar şartlarını değiştirme potansiyeli arz etmektedir. Bu, özellikle yüksek bölgesel yoğunlaşma gösteren ticari ürünler için geçerlidir. Bunlara örnek olarak, hem hassas ve hem de stratejik öneme sahip çelik alaşım metalleri ve platin grubu metaller gösterilebilir (Çizelge 3).

GELECEĞE BAKIŞ

Buraya kadar, minerallerin arz ve talep durumları ile fiyat trendlerini etkileyen bir dizi bireysel faktör incelenmiş bulunmaktadır. Bunlar gelecek için ne anlama gelmektedir?

Temel olarak, geçmişte önemli rol oynayan bu faktörlerin gelecekte de etkili olmaya devam edeceği beklenebilir. Yeraltı kaynakları ve bunların kullanımı yönün-



Şekil 15. 1950 ile 1990 yılları arasındaki dönemde dünyanın başlıca ekonomik bölgeleri arasındaki çelik üretimi (A) ve izabe edilmiş kalay (B) üretimi pay dağılımları

de geleceğe bakıldığında, aşağıdaki önemli faktörler üzerinde yoğunlaşmak gerekliliği görülür:

- * Savaş riski her zaman önemli bir faktör olacaktır.
- * İnsan zekası ve mahareti teknik gelişimi artıracak ve teknik alanda yapısal değişimler söz konusu olacaktır.
- * Dünya nüfus artış hızı ve Üçüncü Dünya ülkelerinin gelişmesi, ekonomik güç dengelerini etkileyecektir.
- * Tüketici isteklerindeki değişimler, yeni talep modelleri ortaya çıkaracaktır.
- * Çevresel kısıtlamalar, fiyatları ve pazarları etkileyecektir.

İlk iki faktör, en önemli olarak değerlendirilmektedir. Savaş, tahmin edilemeyen bir faktör olup önlenmesi herkesin yararına. Bilim adamları, uluslararası ortak araştırmalar yoluyla tansiyonun düşürülmesine yardımcı olabilirler. Ticari ilişkilerde uluslararası anlaşışın artırılması ve gerilimin azaltılması konusunda etkilidir.

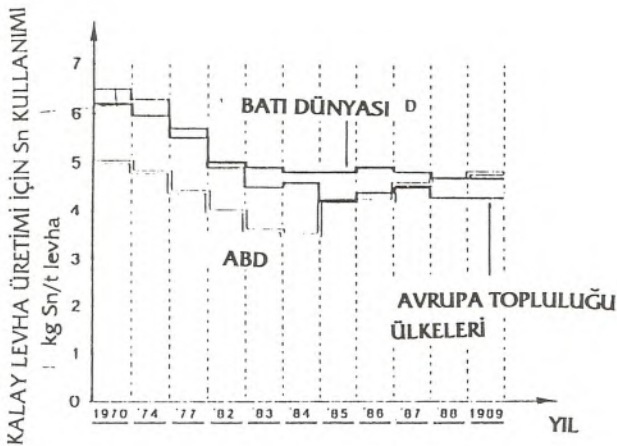
İnsan zekası ve mahareti konusunda yazarlar iyimser görüş taşımaktadır. Tarihsel gelişim, insan zekasının, karlı olduğu durumlarda veya ihtiyaç duyulduğunda yeni ürünler ve prosesler icat edebilme yeteneğinde olduğunu göstermektedir. Örnek olarak 1970 li yılların sonlarındaki kobalt krizi, yeni alaşımların geliştirilmesine neden olmuş ve sonuçta Almanya' da kobalt tüketimi

mi 2400 tondan 1700 tona düşmüştür (BGR/DIW/ITE, 1986). McKelvey (1972), hammadde arzı ve insan yaratıcılığının standart yaşam üzerindeki etkisini aşağıdaki yarı-nicel denklemlerle açıklamıştır: $L=R \times E \times I / P$

Burada L toplumun standart yaşam ortalaması (mal ve hizmet tüketimi cinsinden), R her tür hammadde tüketimi (metaller, ametaller, su, petrol, toprak, mineraller ve biyolojik ürünler dahil), E enerji tüketimi, I her tür yaratıcılık kullanımı (politik, sosyoekonomik, teknolojik yaratıcılık olarak) ve P bu nimetlerden yararlanan insan sayısını ifade etmektedir.

Üç ilave örnek insan yaratıcılığını göstermekte yararlı olabilir:

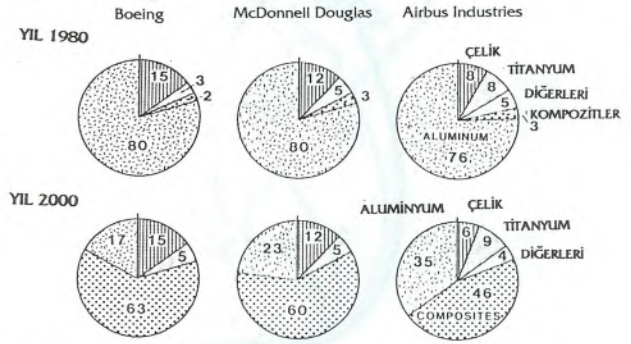
* Geliştirilmiş işleme teknikleri, kalay levha üretimi için kullanılan kalay miktarını önemli ölçüde azaltmıştır. Söz konusu kullanım, Batı Dünyasında kalayın en büyük tüketim alanını oluşturmakta olup 1970 yılındaki 6.2kg Sn/t dan 1984' de 4.8 kg Sn/t a düşmüştür (şek. 17). Tartışmasız olarak bu azalma, daha önce de bahsedildiği gibi, Uluslararası Kalay Konseyinin uzun süre suni olarak yüksek tuttuğu fiyatlara bağlı doğal bir sonuçtur. Hammadde pahalılandıkça bundan tasarrufa gidilmesi çalışmaları da yoğunlaşmaktadır. 1985 yılından itibaren fiyatların düşmesi ile tüketim sabit bir seviyede seyretmeye başlamıştır (şek. 17). Hatta ABD' de kullanımda az bir artış dahi gözlenmiştir.



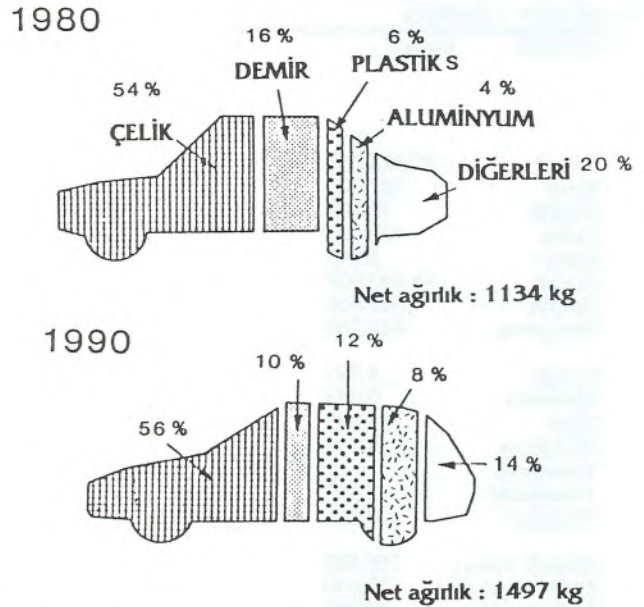
Şekil 17. Kalay levha üretimi için çeşitli yıllarda kullanılan kalay miktarları (kaynak : World Tin, 1990 ; The Economist Intelligence Unit, 1992)

*Teknolojik gelişmeler, Alman elektronik sanayiinde kullanılan paladyum miktarını 1984 yılında 11 tona kadar düşürmüştür. Bu, eski teknoloji kullanımına göre 2.5 tonluk bir tasarrufu yansıtmaktadır (BGR/DIW/ITE, 1986).

* Diğer bir çarpıcı örnek ise, hem havacılık hem de otomotiv endüstrilerinde gittikçe artan oranlarda hafif malzemeler kullanılarak malzemenin yanısıra enerjiden



Şekil 18. 1980 yılında havacılık sanayiinde kullanılan malzemelerin karşılaştırılması ve 2000 yılı projeksiyonu (Kaynaklar : Messerschmidt - Bölkow - Blohm (MBB), yazılı görüşme, 1985 ve Sames, 1986). Rakamlar yüzdeleri göstermektedir.



Şekil 19. Otomotiv sanayiinde 1980 ve 1990 yıllarında kullanılan malzemelerin karşılaştırılması (kaynaklar : Black ve diğ., 1980 ve Sames, 1986)

de tasarruf sağlanmıştır (şek. 18 ve 19).Kısaca, insan yaratıcılığını gözardı etmek mümkün değildir. Geçmişte genel kanı olarak maden kaynaklarının geleceğine hep ümitsiz bakılmıştır. Bunun örneklerinden birisi de

Roma Klübü' dür (Meadows ve diğ., 1972). Günümüzde ise, sarkaç ters yönde işlemektedir. Bununla beraber, hammadde arzının hep problemsiz gideceği düşünülmemelidir. Primer hammaddeler için, tüketilmiş kaynakların yerine yenilerinin bulunması zorunludur. Yeniden çevrim uygulanacak materyallerde maliyet ve enerji limitleri söz konusudur. Şu halde primer materyallere her zaman ihtiyaç duyulacaktır.

Yerbilimciler, doğal kaynakların büyük miktarlarda bulunduğunu ve bunların ekonomide kullanımlarının talep ve erişilebilir fiyat durumlarına bağlı olduğunu topluma anlatmak zorundadır. Yerbilimcilerin mesajı ileriye yönelik bir kurtarıcılık mesajı, ya da hiçbir problemin bulunmadığı şeklinde olmamalıdır. Yeraltı kaynaklarının varlığına güvenmeli ve aynı zamanda da doğanın sağladığı bu nimetlerin değerlendirilmesi konusunda insan yaratıcılığına inanmalıyız. Bu da, temel ve uygulamalı araştırma ve geliştirme çalışmalarının desteklenmesi ile gerçekleşecektir. Piyasa güçleri veya özel sektörün itici gücüyle oluşacak bu destek, doğal kaynakların uzun vadeli problemlerinin çözümüne yol gösterecektir.

Teşekkür

Yazarlar, değerli katkılarından dolayı Dr. Helmut Schmidt ve Mr. Hermann Kästner'e teşekkürlerini sunarlar.

Kaynaklar

- BGR/DIW/ITE (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung und Institut zur Erforschung technologischer entwicklungslinien), 1986, Versorgungslage bei Rohstoffen: Berlin, Hamburg, Hannover, BGR/DIW/ITE, 193 p.
- Black, I.G., Callahan, J.M., and George, J.M., 1980, Metals outlook: Chilton' s Automotive Industries, July, p. 28-30
- Humphreys, D., 1982, A mineral commodity life cycle? Relationships between production, price and economic resources: Resources Policy, v. 8, p. 215-229.
- Malenbaum, W., 1978, World demand for raw materials in 1985 and 2000: New York, E/MJ Mining Information Services, 126 p.
- McKelvey, V.E., 1972, Mineral resource estimates and public policy : American Scientist, v. 60, p.32-40.
- Meadows, P.H., Meadows, P.L., Randers, W., and Behrens W.W., III, 1974, The limits to growth: A report for the Club of Rome' s Project in the Predicament of Mankind (2nd edition): New York, Universe Books, 176 p.
- Metalgesellschaft AG (Aktiengesellschaft), various years, Metal statistics: Frankfurt, Metall-

gesellschaft AG.

- RWI (Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Essen), 1985, Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum und Stahlverbrauch besteht doch.: Stahl und Eisen, v. 105, no.21, p. 1117-1118.
- Sames, C.W., 1986, Anaconda-Berichte aus der Rohstoffwelt: München, Wirtschaftsverlag Langer-Müller/Herbig, 363 p.
- The Economist Intelligence Unit, 1992, World commodity outlook 1992: London, The Economist Intelligence Unit, p. 35.
- U.S. Bureau of Mines, various years, Minerals Yearbook: Washington D.C., U.S. Government Printing Office, v. 1.
- World Tin, 1990, Thinner tin coatings on tinplate: World Tin, v. 1 (quoted from Tägliche Nachrichten, Metallgesellschaft AG, February 1990).

Dr.Friedrich-Wilhelm Wellmer (Ekonomik Jeoloji ve Uluslararası İlişkiler Bölümü Başkanı), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Berlin ve Clausthal Teknik Üniversitelerinde jeoloji ve maden lisans eğitimini tamamladıktan sonra Clausthal Teknik Üniversitesinde doktora yapmıştır. Son 20 sene içinde Dr. Wellmer, Alman Metallgesellschaft AG firması adına Avusturya, İrlanda, Kanada, Avustralya, Brezilya, Şili, Peru ve Bolivya' da baz ve değerli metaller etüdleri gerçekleştirmiştir. 1987' de şimdiki görevine getirilmiş olup Berlin Teknik Üniversitesinde hammadde politikaları ve ekonomisi konularında ders vermektedir. Maden aramacılığı, ekonomisi ve jeostatistik konularında çok sayıda kitap ve makalesi bulunmaktadır.

Dr. Martin Kürsten (Başkan, BGR).İskoçya' da Edinburgh Üniversitesinden mezundur. 1958' den bu yana, Federal Almanya Cumhuriyeti hükümeti hizmetinde arazi jeoloğu olarak ve madencilik konularında çalışmalarda bulunmuştur. İhtisas konuları demir, bakır ve tuz yataklarıdır. Endonezya, Tanzanya, Etyopya ve İran' da çalışmalar yapmış, 1979-1985 yılları arasında BGR denizası projelerinden sorumlu olarak görevlendirilmiştir. Bu dönemde gelişmekte olan ülkelerdeki jeolojik araştırmalar ve yerbilimleri alanında uluslararası ilişkilerin geliştirilmesi konularında çaba göstermiştir. Kürsten ayrıca jeoloji profesörü olarak Würzburg Üniversitesi, FRG' de ders vermiş olup şimdiki görevini 1986' dan bu yana sürdürmektedir.

Altın; Ekonomik Yataklanma Tipleri, Arama Safhaları ve Maliyet

Koray KIRIŞ,

Anadolu Üniversitesi, Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü, ESKİŞEHİR

ÖZ

Bu çalışma, değerli metallere arasında ayrı bir yeri olan altının, ekonomik yataklanma tiplerinin anlatıldığı bir derleme çalışmasıdır. Plaser ve hidrotermal adı altında iki grupta toplanan yatak tipleri, Lindgren (1933) sınıflamasına benzer sınıflara ayrılmıştır. Plaser yatakları, genç ve fosil olmak üzere yaş göz önüne alınarak iki alt grupta, hidrotermal yatakları ise; epitermal, mesotermal ve hipotermal olmak üzere, oluşum sıcaklığı-basınç ve derinlik ortamlarına göre, üç alt grupta incelenmiştir.

ABSTRACT

This study is a compilation work about the economic mineralization and types of deposition of gold, standing as privileged metal among the other precious metals. Classification is made according to the mode of process where, brief considerations were accumulation and mineralization and named as placers and hydrothermals respectively. The classification is quite similar to Lindgren's (1933). Placer deposits, considering the age of formation, are subgrouped into two as young and fossil, whereas hydrothermal deposits, considering the temperature-pressure and depth of formation, are subgrouped into three and studied as epithermals and hypothermals.

GİRİŞ

Bu çalışma, değerli metallere arasında ayrı bir yeri olan altının, ekonomik yataklanma tiplerinin anlatıldığı bir derleme çalışmasıdır. Son sekiz yıldır, değişik uluslararası şirketlerin ülkemizde yaptığı araştırmalar ve yer yer alınan olumlu sonuçların, altın heyecanını içimizde biraz daha artırmış olmasını diliyorum. Özellikle mesleğin ilk basamaklarında olan meslektaşlarının, altın yataklanma şekilleri ve bunları arama yöntemlerinde göz önünde bulundurulması gereken alterasyon tipleri, mineral toplulukları, oluşum ortamları gibi konular hakkında bilgileneceğine inanıyorum.

EKONOMİK YATAKLANMA TİPLERİ

En büyük altın yatağını okyanusların oluşturmasına karşın, teknolojik faktörler ve tenörü (0.02 ppb) işletmeye elverişli değildir (Wolfe, 1984). Buna rağmen dünya üzerindeki bazı koyların, 40 ppb'ye varan konsantrasyonlarda oluşu, fizibilite çalışmalarının zamanla başlayacağını işaret etmektedir.

Değişik ortam ve yataklanma tipinde bulunabilen altın, genel bir sınıflama işlemine tabi olmamıştır. Çeşitli yayınlarda; plaka tektoniğine dayalı (Sawkins, 1990), plutonik-vulkanik kökene bağlı (Nigli, 1929-Erler, 1988), magmatik-sedimenter-damar tipi-denizsel vulkanik başlıklarında toplanmış (Stanton, 1972) fakat sadece Au göz önüne alındığında kanımca yetersiz genel sınıflamalar bulunmaktadır. Her ne kadar Bateman (1979)-Erler, (1988) sınıflaması metal cevherler için en uygun görünse de bu yazıda Lindgren (1933) sınıflamasına yakın bir sınıflama kullanılmıştır.

Metaller, birçok araştırmacının da katıldığı üzere, dalım zonlarındaki okyanus kabuğu ve sedimanların, kıta kabuğunun alt kısmının ve üst mantonun kısmi ergimelerinden oluşan mağmayla daha yukarılara taşınırlar (Mitchell ve Garson, 1988). Bir kısmı magmatik ayrışım sonucu plutonik kütleler içinde kalırken, bir kısmı vulkanik olaylarla yüzeyde ve yüzeye yakın ortamlarda yataklanır veya sedimenter dönenceye katılırlar. Diğer bir kısım ise; meteorik sularla tanışan mağ-

manın, ani sıcaklık, basınç, Eh, pH ve içerdiği bazı gazların kısmi basınç değişimi sonucu gerek mağmatik kütle içinde gerekse yan kayaya sığınım (inclusion), yayılım (dissemination) yada freatomağmatik patlama sonucu artan poroziteye bağlı olarak, breş bacalarında ve süreksizlik düzlemlerinde kümelenirler. Gerek plaka hareketlerinin ve dalım zonlarının etkisi oluşan büyük boyutlu yapısal kontroller, gerekse mağmatik kayacın kendisi ve dolaylı olarak sıvı ısınmaları ve basınç artışlarıyla ilgili küçük boyutlu patlama, kırılma, breş olumu, faylanma, indirgenmiş permeabilite/porosite (induced permeability/porosity), metal yataklanmalarının oluşumunda büyük yer edinir.

Ayrıca, metal taşıyıcı sıvıların Eh, pH ve diğer kısmi basınçlarındaki ($P_{SO_2}, P_{O_2}, P_{CO_2}$, gibi) değişimler, metallerin çökelim veya tekrar mobil olmalarını sağlar. Böylelikle jeolojik zaman içinde, yukarıda bahsi geçen değişimler sonucu birçok cevher taşınmış, kümelenmiş veya başka cevherlerle yer değiştirmiştir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında, altının yataklanma şekillerini şu sınıflara ayırmak mümkün olur; a) Plaser ve fosil plaserler, b) Hidrotermal yataklar (Epitermal, mesotermal, hipotermal). Plaser yataklar, sedimanter kümelenme yada fiziksel yığılanma olarak da anılabilir ve mekanik bir ayırışım (decantation) işlemiyle oluşurlar. Hidrotermal yataklar ise gerek direk plutondan sağlanan metal taşıyıcı sıvıların ve gerekse su tablasının altında bulunan çeşitli sıvıların oluşturduğu yatakların genel başlığıdır ve tamamen kimyasal işlemler hüküm sürer. Hidrotermal koşulda, metallerin hareketlilik kazanabilmesi, sıvı içinde çözünebilmeleri, sıcaklık ilişkisine bağlı olduğundan, ısının artırılması hem inturuzyon kayalarına hem de düşey ısı gradyan değişimlerine ($28m-1C^\circ$) bağlıdır. Kullanılan epitermal, mesotermal, hipotermal bu amaca hizmet eder ve basınç-sıcaklık-derinlik ortamlarını gösterirler.

Plaser ve Fosil Plaser Au Yatakları

Çok basit bir anlatımla; altın içeren bir kuvars damarının mostra vererek erozyona maruz kaldığını düşünelim. Zamanla fiziksel duraylılığını kaybeden kuvars, parçalanarak hapsettiği altını serbest bırakacaktır. Çeşitli taşınım medyasıyla (düşüş, yuvarlanma, rüzgar, yağmur suyu yıkaması...) nehre kadar yıkanan (ta-

şınan) altın parçacıkları, özgül ağırlıklarının farklılığı nedeniyle dibe çökerek nehir yatağındaki çakıllar arasında yerini alacaktır ve zamanla konsantrasyon artımıyla plaser adını verdiğimiz yataklar oluşacaktır (Wolfe, 1984). Yukarıda tanımlandığı üzere, bu yataklar temel anlamda ağır minerallerin hafif minerallerden yerçekim kuvveti etkisiyle ayırışımı, dekantasyonu olgusuna dayanır. Ayırışımı yapan araçlar, hareketli olmak kaydıyla su (nehir, dalga), hava (rüzgar) veya konsolide olmamış sedimanların eğim boyunca (down slope) aşağı hareketleridir veya çoğunlukla bunların birkaçının bileşimiyle oluşan "taşıyıcı-ayırıştırıcı" ayırıştırıcılar topluluğudur.

Ağır minerallerin bir yerde topluluk oluşturabilmelerini Erler (1988) şöyle açıklar; yüksek özgül ağırlık ($>3g/cm^3$), atmosfer koşullarına yüksek direnç (fiziksel ve kimyasal). Konsantrasyon oluşturabilecek belli başlı mineraller ise şunlardır: Altın, zirkon, monazit, topaz, safir, beril, korund, spinel, gümüş, elmas, platinyum, kasiderit, manyetit, ilmenit, rutil ve barit (Erler, 1988).

Oluşum şekline baktığımızda; yerinde konsantre olmuş plaserler: REZİDÜEL, ELUVYAL, hareketli sıvı ortamda oluşmuş plaserler: ALÜVYAL, KUMSAL yada KIYI AŞIRI, rüzgarla oluşmuş plaserler: EÖLİYEN olarak adlandırılırlar.

Kuzvart ve Böhmer(1978) ise daha detaylı bir çalışmayla;

Eluvyal- Yerinde parçalanmış veya fazla uzak olmayan bir yere taşınmış ve mineral topluluğu ilk kaynaktan farklı olmayan plaserler.

Kolluviyal- Mekanik olarak parçalanmış kaynak kayanın, eğim yıkaması, yağmur yıkaması, kayma ve diğer yerçekim kuvvetlerinin yardımıyla eğim aşağı inişli ve kille karışarak yatak oluşturmasıdır. Fakat kolluviyal plaserler genellikle büyük yataklar oluşturabilecek kapasitede değildirler.

Alüvyel- Nehir yatağı plaserleri, nehir bankı kum-çakıl plaserleri, vadi plaserleri, teras plaserleri ve vadi darboğaz plaserleri (ravines-dales) olarak sınıflara ayrılan, akarsuya bağlı oluşan plaserlerdir. Ekonomik yataklar genellikle nehir yatağı ve vadi alüvyon plaserleridir.

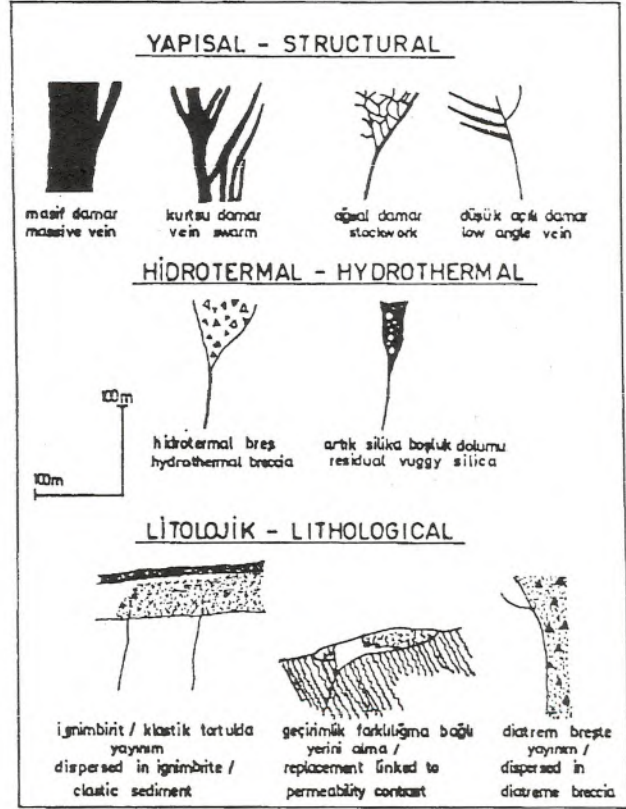
Cevher elementleri: Au, Ag, (As, Sb), Hg, (Te, TL, V), (Cu,Zn,Pb)/Alterasyonlar: silisleşme, arjilleşme, serizitleşme, illit, adularya, propilitik, kloritik/Mineral topluluğu: tellüridler, selenidler, sülfidler, altın, gümüş, barit, kuvars, florit, rodokrosit, adularya, serizit, klorit, hematit, arsenik ve antimon içeren kompleks sülfidler.

Lindgren (1933), epitermal yatakları mineral gruplarına göre dokuz sınıfa ayırmıştır: 1. Zinober 2. Stibnit 3. Gümüşçe zengin baz metaller 4. Altın 5. Arjentin-Altın 6. Arjentin 7. Altın tellüridler 8. Alünitli Altın tellüridler 9. Altın selenidler. Zamanla bilgi birikimi arttıkça bir çok sınıflamaların daha yapılması kaçınılmazdır.

Sillitoe (1990b), jeokimyasal açıdan (mineralojik ve alterasyona bağlı) epitermal yatakları iki grup altında incelenmiştir: düşük sülfitleşmeye bağlı ve yüksek sülfitleşmeye bağlı. Bunun yanında bir çok yazar (Sawkins, 1990-Mitchell, 1988-Eimon, 1987-Bonham, 1986), bu iki grubu yetersiz görerek ek gruplar oluşturmuşlardır. Gerçektende Sillitoe'nun, bahsi geçen gruplar da verilen örneklerin hiç birini kendi gruplama sisteminde kullanmamış olması eksik olduğu izlenimini uyandırmaktadır. Bu yazıda epitermal yataklar üç grupta incelenmiş; düşük sülfitleşmeye bağlı (DS), yüksek sülfitleşmeye bağlı (YS) ve diğer epitermalleri adı altında anlatılmıştır. Jenetik bakımdan bir sınıflamaya gidilse de epitermal yatakların oluşmasında yapısal, hidrotermal ve litolojik karakterlerin önemi yadsınamaz. Gerek işletme sırasındaki yatak geometrisinin önemi ve gerekse arama esnasında jeologların göz önüne alması gereken yegane görünür parametreler kayacın oluşum sıcaklığı ve mineral içeriğinden çok tektonik konumu, litolojisidir. Bununla ilgili bir diagram Şekil 2'de verilmiştir.

Yüksek Sülfitleşmeye Bağlı Epitermal Au Yatakları (YS)

YS, DS'den temel olarak alterasyon ve yataklanmayı belirleyen sıvı içerikleriyle ayrılık gösterir. YS tipler asit, sülfürce zengin, oksidize sıvılara bağlı oluşurken, DS tipler nötre yakın, sülfürce fakir, indirgenmiş (reduced) sıvılar tarafından oluşturulur. YS sıvılar (fluids) SO₂'ce zengin mağmatik gaz ve sıvıların (volatiles) yoğunlaşması sonucu (condensation) oluşurlar. Bu yüzden YS'lere Asit sülfat yada Kuvars-alunit epitermalleri de denir. YS'leri DS'lerden ayıran diğer bir önemli özel-



Şekil 2. Yapısal, hidrotermal ve litolojik geçirimsizliğin yataklanmaya etkisini gösteren seçilmiş epitermal yatak şekil ve geometrileri (Sillitoe; 1990).

lik de ileri arjilik (silika-alunit-profilit) alterasyonunun görülmesidir. Bunun nedeni de SO₂'ce zengin asitli sıvıların sistemin yukarı kısımlarında şiddetli alterasyondur.

YS'lerin hemen hepsi subalkalin, andezitik-riyodasitik volkanizmaya bağlı ve tipik olarak porfiri Cu-Au, porfiri Cu-Mo yataklarının üst kısımlarında gelişirler (Sillitoe, 1990b). Örnekleri Orta Andlarda (El Hueso, La Pepa-pili), Batı Pasifik'de görülür. Altın mineralizasyonu, enarjit-altın şeklindedir ve oluşum sıcaklıkları 200-250°C olarak tahmin edilmektedir (Lepanto, Wafi). Yataklar genellikle damar tipindedir fakat breş ve masif ornatma (massif displacement) şekilleri de yaygındır. YS yataklar tektonik yerleşim açısından incelendiğinde, normal dalıma bağlı aktif kıta kenarlarında, volkano-plutonik yay ve ada yaylarında yoğunluk kazandıkları gözlenir.

Önemli yataklar:

El Indio-Şili, Pueblo Viejo-Dominik Cumhuriyeti,
Lepanto-Filipinler,
Julcani-Peru, Choquelimpie-Şili, Butte-ABD,
Chinkuashih-Tayvan, Thames-Yeni Zelanda,
Nena -P.Y.Gine
Nalesbitan-Filipinler, Teire -Japonya, Wild Dog-P.Y.G.
Wafi River-P.Y.G, Iwato -Japonya, Kasuga-Japonya
San Juan-ABD, Nasatsu-Japonya, N.S.Wales-Avustralya.

Düşük Sülfitleşmeye Bağlı Epitermal Au Yatakları (DS)

Düşük sülfütlü epitermal sistemler, düşük oranda baz metal içerikleri, kuvars-adularya-karbonat-serizit (illit) alterasyon topluluğu, nötre yakın pH değerleri ve yüksek gümüş/altın oranlarıyla epitermal yatakların en yaygındırlar. Genellikle volkanikler içerisinde çatlak dolumu (fissure filing) şeklinde yataklanırlar. Genel gang mineralleri başta kuvars olmak üzere kalsit ve adularyadır. Bir çok damar yapısı, kloritin egemen olduğu

propilitik alterasyonla çevrilidir (Sawkins, 1990). Metal içerikleri altın (+/- altın tellüridler), gümüş sülfidler-sülfosaltlardır (sülfür tuzları) ve yer yer selenidler görülür.

Baz metal içeriği 1-2 % oranındadır (Sawkins, 1990). İşletme halinde olan yataklardan en derini 800m. civarındadır ve artan derinlikle beraber altın/baz metal oranı düşer (Mitchell, 1988). Mineralleşmeyi sağlayan mağmatik köken daha az önemlidir ve geniş bir spektrum gösterir.

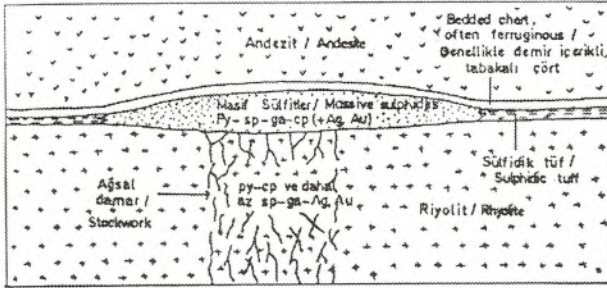
Sillitoe (1992) DS epitermal yatakları üç grup altında sınıflara ayırır: a. Subalkalin kayalarla ilişkili, sülfite fakir, b. Subalkalin kayalarla ilişkili, sülfite zengin, c. Alkalin kayalarla ilişkili, sülfite zengin (Bonham, 1986-tarafından bir grup olarak görülür). Sülfite zengin ve sülfite fakir subalkalin DS epitermal sistemleri açıkça birbirlerine geçişli olmalarına karşın belirsizdirler.

a. grubu sistemler riyolitik kayalarla ve genellikle de akış kubbe kompleksleriyle (flow dome complex) ilişkilidirler. Yay tipi epitermalleri oluşturan a. grubu,

Ladolam	-PYG	Chistose	-Jap.	Baguio	-Fil.
Okuchi	-Jap.	Waihi	-YZ	Toi	-Jap
Hishikari	-Jap.	Kerimenge	-PYG	Wau - Edie Creek	-PYG
Seigoshi	-Jap.	Emperor	-Fiji	Bajo	-Jap.
Umuna	-PYG	Kabang	-PYG	Hidden Valley	-PYG
Diwalwal	-Fil.	Paracale	-Fil.	Compestela	-Fil.
Sado	-Jap.	Sorowar	-PYG.	Konomai	-Jap.
Gold Ridge	-PYG	Masbate	-Fil.	Woodlark	-PYG
Kushikino	-Jap.	Hijo	-Fil.	Golden Cross	-YZ
Placer	-Fil.	Siana	-Fil.	Marian	-Fil.
Taio	-Jap.	Metalifer Mnth.	-Romanya	Wapolu	-PYG
Karpatlar		Karangahake	-YZ	Rodop	
Masara	-Fil.	Makedonya		Takatama	-Jap.
Tayoltita	-Meksika	Yamagano	-Jap.	Kafkaslar	
Bulawan	-Fil.	Hollinger Field	-Kanada	Noranda Field	-Kanada
Yellow Knife	-Kanada	Morro Velho	-Brezilya	Ashanti	-Gana
Hartley	-Zimb.	Kalgoolie	-Avust.	Mesquite	-ABD
Ballarat Bendigo	-Avustralya	American Girl	-ABD	Tonapah	-ABD
Pedrey Madre	-ABD	Comstock	-ABD		

Önemli DS epitermal yataklar.

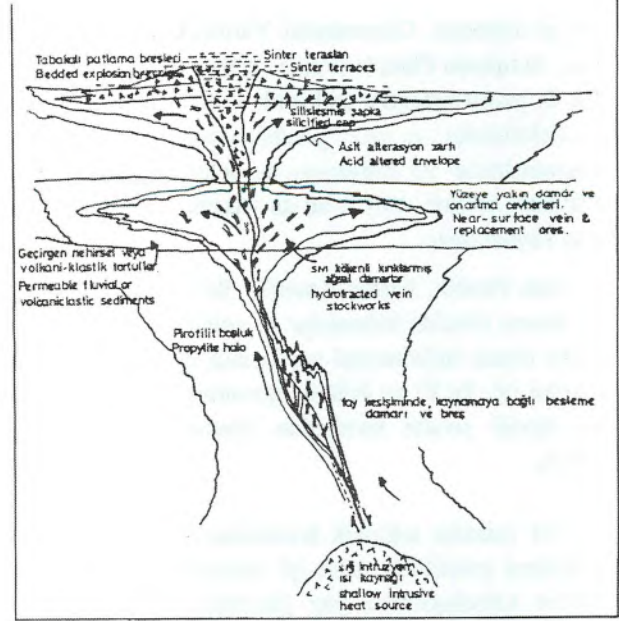
tik, silisleşme, piritleşme) kuşaklarıdır (Şekil 4). VMS yataklar, buldukları tektonik konum, cevher mineralleri ve volkanik kayanın kompozisyonuna göre Arkeen, Beshi, Cyprus ve Kuroko (Pontid) adlarını alırlar. Burada bizi ilgilendiren alt gurup, gelişmiş ada yaylarında andezitten riyolite kadar uzanan kompozisyonunda, baz metal (Cu,Pb,Zn) nitelikleriyle tanıyan "Kuroko Tipi" yataklardır. Zira altın cevherleşmesi, eğer varsa, ancak bu grupta görülür. Altınca zengin Kuroko tipi yataklara örnek şunlardır: Nurukawa, Kosaka (Japonya), Anagase (Filipinler), Rio Tinto (Iberian kuşağı-İspanya).



Şekil 4. Yataklanmayı besleyen ağsal damar yapısını ve tipik mineraloji gösteren ideal, volkanik ilişkili masif sülfid yataklanması, py, pirit, sp, sfalarit, ga, galen, cp, kalkopirit (Sawkins, 1990).

3) Ilıca Tipi Epitermal Au Yatakları: Nelson ve Giles (1985) tarafından ortaya konulan bu sınıflamayı belki teletermal olarak geçmek doğru olurdu fakat epitermal sistemin bir uzantısı, yüzeye yakın bir epitermal oluşu, yüksek sıcaklık (teletermallere göre) nedeniyle ılıca tipi adı altında incelenmiştir.

Diğer epitermal altın yataklarıyla benzerlikler göstermesine karşın, ayrılış noktası, yukarıda sayılanlar dışında, Hg, Sb, As ve Tl'ce zengin oluşu, şiddetli kaolin-silika-alunit alterasyonuna maruz kalmasıdır. Yüksek silika konsantrasi kalsedon-opal olarak görülür ve hidrotermal patlama breşleri vardır (Şekil 5). Yataklanmayı oluşturan sıvılar düşük tuzlulukta, nötre yakın pH değerlerinde ve az fakat belirgin CO₂-H₂S miktarlarına sahiptir. Altın yataklanma şekli Carlin-tipi olup geniş yanıl alanlar kaplarlar. Örnekleri: Hasbrouck Mountain, Sulfur, Round Mountain (Nevada), Cinola (British Columbia), Pueblo Viejo (Dominik Cum.), Mc Laughlin (Kaliforniya).



Şekil 5. Ilıca tipi altın yatağının şematik kesiti.

Mesotermal Au Yatakları

Mesotermal yatakları Lindgren (1933); orta derinlikte, 200-300°C'de, yüksek basınçta oluşmuş hidrotermal yataklar olarak tanımlar ve porfiri sistemleri, mesotermal sistemin bir oluşum şekli olarak görür. Oysa Guilberd ve Park (1981-Erler, 1988) porfiri sistemleri, porfiri baz metal yatakları olarak, hidrotermal sistemlerden ayrı bir sınıfta incelemişlerdir. Aslında, mesotermal altın yatakları genelde porfiri şeklinde yataklanmaları için literatürde porfiri adı altında daha yaygın geçer fakat bunun yanında Mother Lode gibi damar ağırlıklı yapıda yataklanmalar ya Mesotermal ya da damar tipi olarak adlandırılırlar. Bunun yanında skarn veya diğer dokanak metasomatizması yoluyla oluşmuş altın yatakları, sadece breş bacalarında yataklanmış örnekler de bulunur. Gerçekte, pek az hidrotermal altın yatağı tek bir sınıfa dahil edilebilir. Genellikle derinlere ve yüzeye olan uzantılar, tektonik ve litolojik kontroller, mağmatik sıvıların ve intruzyon (ısınımı ve/veya metalleri sağlayan) kayaç tipi, metamorfizma gibi etkenler bir çok yatağı birden fazla genetik oluşum içine sokar.

Porfiri Au Yatakları

Porfiri tipi altın yatakları genelde yatak ana mineralinin altından çok bakır ve/veya molibden oluşu nede-

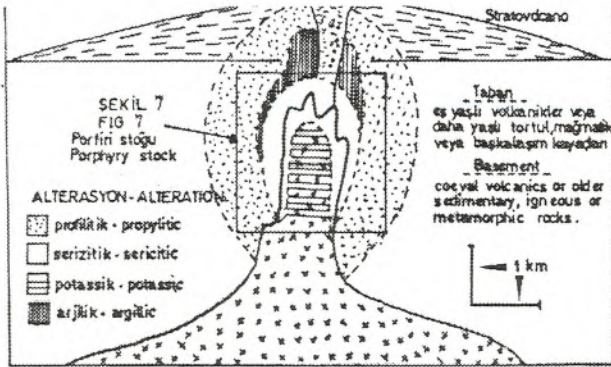
niyle, "Altın bakımından zengin porfiri yataklar" olarak adlandırılırlar (Sillitoe, 1979), koşulu >0.4 ppm Au olarak belirtilir. Yataklanma, tahminen aynı mağmadan türemiş volkanik kayalara ve dik silindirik şeklindeki porfiritik stoklara bağlı gelişir. Mağma kompozisyonu düşük potasyumlu kalk-alkalinden, yüksek potasyumlu kalk-alkalin ve potasik alkaline dek uzanan geniş bir jeokimyasal yapıya sahiptir (Sillitoe, 1993a). Bakır ve altının büyük kısmı potasik alterasyon sırasında yatak kayasına verilir. Alterasyon kuşakları beş ana grupta ele alınır (Şekil 6-7); Potasik kuşak, Fillik kuşak, Arjilik kuşak, Propilitik kuşak ve İleri Arjilik kuşak. Potasik kuşak alterasyonunun en iç bölümünde, esas olarak potasyum feldspat, biyotit ve az miktarda kuvars, serizit, anhidrit içerir. Fillik kuşak, biyotit-potasyum feldspat kuşağını çevreleyen, bazı yerlerde onun yerine gelen, kuvars, serisit, pirit, illit, az klorit ve çok az rutil alte-

rasyon minerallerini içerir. Arjilik kuşak ise temel olarak kuvars, kaolinit ve montmorillonit, az oranda serizit, klorit ve lökosen içerir. Cevher kuşağının merkezine doğru gidildikçe plajiyoklasların kaolinleşmesi ve uzaklaştıkça montmorillonitleşmesiyle kuşak belirginleşir. Propilitik kuşak, geniş alanlar kaplayan (1-1.5 km'yi bulur) epidot, kalsit ve klorit, albit, az miktarda zeolit, kaolinit, montmorillonit ve lökosen alterasyon minerallerinden oluşur. Zaman zaman dominant minerale bağlı olarak, Albitleşme, Kloritleşme, Zeolitleşme, Karbonatlaşma adlarını alır (Erler, 1988). İleri Arjilik kuşak, sistemin en üst seviyelerinde, asit yıkaması sonucu şiddetli kil alterasyonuna bağlı olarak gelişir ve alterasyon mineralleri pirofillit, dikit, alunit, turmalin ve topazdır (Sillitoe, 1993b).

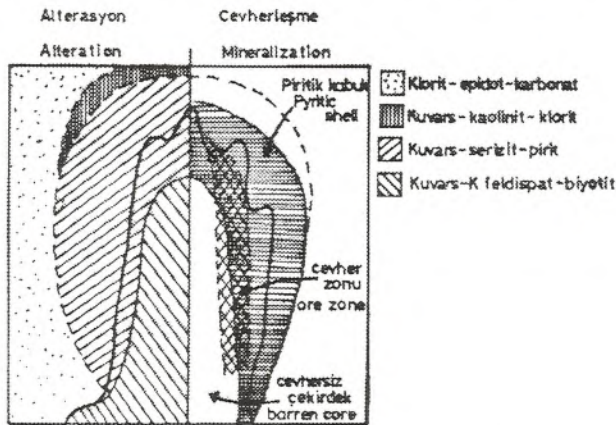
Altın, sülfürlü mineraller içerisinde bulunur ve damar, damarcık ve saçınımlar halinde kaya içerisinde dağılır. En yüksek altın tenörü çekirdekteki potasik zonda bulunur, bununla birlikte propilitik kuşakta küçük fakat yüksek tenörlü altın-gümüş-kalkopirit damarları ve İleri Arjilik kuşakta, yüksek asitli sıvılardan dolayı yukarıya taşınmış altın saçınımları bulunabilir (Sillitoe, 1993b). Cevherleşmeyi oluşturan potansiyel, felsik ve orta bileşimli intrusiflerden yükselen kupololara bağlıdır. Batolit yerine yerleştikten hemen sonra, soğumaya bağlı olarak, kristal farklılaşması süreci başlar. Sürekli ve tekrarlanmalı farklılaşma sonucunda mağma üst kesimleri silisyum, potasyum, sodyum ve uçucu maddelerce (metal içerikli) zenginleşir ve zenginleşmeye bağlı olarak üst bölgelerde ergime sıcaklığı düşer ve batolitten baloncuk şeklinde (plug-cupola) yukarıya doğru çıkarlar.

Kristalleşme sürerken, kupola kesiminde uçucuların basıncı çevre basıncını geçene dek yükselir. Bunun sonucunda intrusif ve yan kaya kırılır ve uçucular bu kırıklar boyunca yükselirler. İç basıncın azalmasıyla birlikte soğuma başlar. Kristalleşme ve azalan basınç-sıcaklık, mağmanın sulu akışkanlarla aşırı doymasına ve $H_2O, Cl, S, F, B, P, H^+, CO_2$ içeren sulu bir fazın ayrışmasına neden olur (Erler ve Aral, 1981). Bu sıvılar da yukarıda bahsedilen alterasyonlara ve metal yataklanmalarına neden olurlar.

Altınca zengin porfiri yataklarının diğer Cu-Mo sistemlerinden ayrılması ise şöyle açıklanabilir; a) Bilinen



Şekil 6. Porfiri bakır oluşumunun genelleştirilmiş modeli.



Şekil 7. Tipik porfiri Cu sisteminde gelişen cevherleşme ve alterasyon kuşakları.

altınca zengin porfiri yatakları molibdençe fakirdir, b) Yatakların 80%'i hidrotermal manyetit bakımından (+hematit+martit+maghemit) zengindir, c) Sillitoe (1990a) potasik alterasyonun yanında, ona eşlik eden Ca-silikat alterasyonu olabileceğini (amfibol-piroksen-granat) söyler, d) Volkano-plutonik ada yay ve kıta kenarlarında bulunurlar, e) Bakır-molibden porfiri yatakları, altınca zengin porfiriler gibi kalk-alkalin stoklarla ilişkili olabilmesine karşın, alkalin stoklarla birlikte bulunmazlar. Örnekleri şunlardır:

Coonumola-Avustralya, Mount Polley Canada, Panguana-Papua. Y.Gine

Fish Lake-Canada, Grasberg-Endonezya, Afton - Canada, Cabang Kiri-Endonezya, Bingham-A.B.D. Sungai Mak-Endonezya

Dos Pobres-A.B.D, Mamut-Malezya, Tanama-Porto Riko, Kingking-Filipinler, Bajo de La Alubrera-Arjantin Amacan-Filipinler

Marte-Şili, Dizon-Filipinler, Lobo-Şili

Santo Tomas II-Filipinler, Skouries - Yunanistan, Guinaoang-Filipinler

Saindak-Pakistan, LepantoFar-Filipinler, Mount Milligan-Canada,

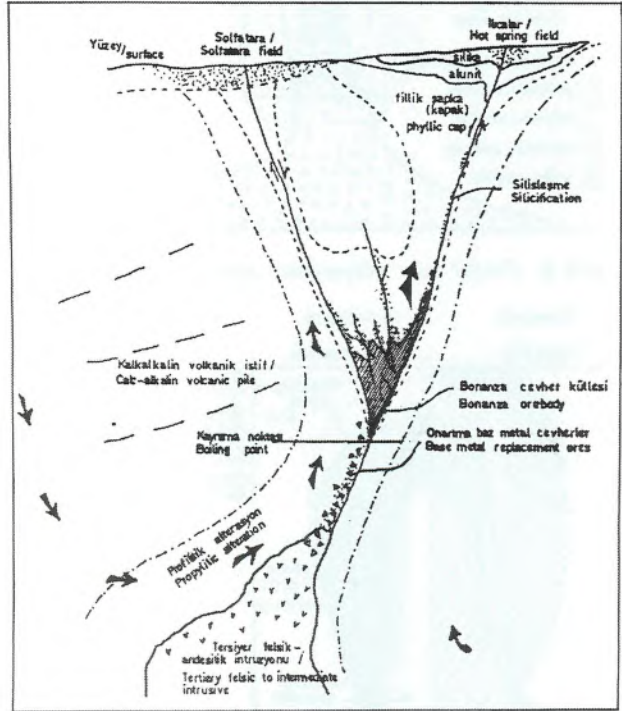
Galore Creek-Canada, Morrison-Canada, Bell Copper-Canada

Damar Tipi (Vein-Lode) Au Yatakları

Damar tipi mesotermal altın yataklarına en güzel örnek şüphesiz Californiya'daki Mother Lode olacaktır. 1990'a kadar 10g/ton'luk tenörle 1000 ton altın üretimi yapılan bu yatak, benzerleri gibi metamorfik kayalar içinde saçınım veya kuvars damarları şeklinde oluşmuştur. Altın cevheri, nabit altın ve tellüridler (özellikle petzit) şeklindedir. Yatakların sülfid içeriği tipik olarak düşük ve genel mineraller pirit başta olmak üzere arsenopirit, sfalerit, galen, kalkopirit ve tetrahedrittir. Gang mineralleri kuvars, ferro-dolomit, diğer karbonatlar ve serizittir (Sawkins,1990).

Yataklanma sıcaklıkları, Weir ve Kerrick (1987-Sawkins, 1990) tarafından 250-300°C olarak tanımlanırken, Sawkins (1990), altın ve kuvarsin enjeksiyonu

için >340°C ve 670-2500 kbar koşullarını öne sürer. Benzer özellikleri gösteren Kanada Cordillera'sındaki altın yatakları ve Alaska'daki Juneau altın kuşağı da Mother Lode gibi okyanus veya ada yayı orijinli, eski-gelişmiş (accreted) bölgelerde yataklanmışlardır. Bununla birlikte, yeşilüst fasiyes kuşaklarında (Gereenstone belts), yine mesotermal sistemde oluşmuş bir çok yatak (Sigmamine-Quebec-Kanada, Porcupine Camp-Ontaria-Kanada, Golden Mile Camp-Kalgoolie-Avustralya, Norseman kuşağı-Avustralya) Kuzey Amerika kıtasında bulunan yukarıda sayılan kardeşleri gibi, ana fay sistemleri, makaslama zonları ile yakından ilişkilidir. Genelde bu kırık sistemleri yüksek açılı ters fay veya ters-oblik makaslama zonlarıdır. Tekstürel ve metamorfik deliller (Sibson ve Poulsen, 1988), bu altın sistemlerinin, sismojenik zon tabanlarına yakın yerlerde (-10km) sünlü (ductile) deformasyonların yerlerini kırılğan (brittle) deformasyonlara bıraktığı yerlerde oluştuğunu göstermektedir. Yataklanmayı oluşturan sıvıların kaynağı ise metamorfik sular, derinde konuşlanmış mağma odası veya ikisinin bileşimi olabilir (Şekil 8).



Şekil 8. Bonanza damar yapısı altın yataklanması yan kesiti (Buchanan, 1981'den derleyen Eimon, 1987).

Au Skarnları

Skarn yataklarını mesotermal sınıfa sokmak pek doğru görünmese de, oluşum sıcaklığı ve porfirilerle yakından ilişkileri göz önüne alındığında haksız bir sınıflama olmaz, fakat yine de doğruluğu tartışılabilir.

Skarnlar, basit anlamda, derindeki bir plutondan çıkan metalce zengin sıvı ve gazların, karbonatlı yatak kayasına saçılıp, cevher yatakları oluşturmasıdır. Newberry (1993), skarnların genel özelliklerini şöyle sıralar:

1. Skarnların metal içerikleri, ilişkili olduğu plutonla sistematik bir ilişki içindedir;

a) Porfiri Cu+kireçtaşı.....Cu skarn

Sn graysen+kireçtaşı.....Sn skarn

b)Pluton tipi/Diorit...Q- Monzodiorit....Granit

İlişkili Skarn tipi/ (Fe+Au) (Cu+Au+Ag/Pb+Zn+Ag) (W+Mo+Au)(Sn+Mo)

Aynı tipteki plutonda W skarnları daha derinlerde, Cu, Pb-Zn skarnları daha sığ derinlerde oluşur. Au veya Sn skarnları Fe_2O_3/FeO oranı düşük plutonlarla ilişkilidir.

2. Skarnlar, ilişkili oldukları plutonlardan daha fazla metal içerirler (tenörleri daha yüksektir).

3. Bir çok skarn ve metasomatik yatak (Fe, W, Pb-Zn, Au özellikle) gerçekte, metalce fakir stoklarla ilişkilidir ve bu stoklarda görünür bir alterasyon, damarlaşma göstermezler.

4. Skarn ve onunla ilişkili ornatmalar, ana plutondan > 3km uzakta olabilirler. Altınca zengin ve Pb-Zn-Ag skarnları genellikle ana plutondan >1 km uzakta bulunurlar. Skarnların sülfid zengin kısımları örtülür veya fiziksel alterasyona uğrarlar (weather). Skarn yatak oluşum sıcaklığı 600-200°C'dir. Kalk-silikat alterasyonu ve cevherleşme, basınca, sıvı kompozisyonuna, yükseltgenme durumuna bağlı olarak daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşir.

Bunun yanında, altın ve diğer skarn gruplarının genel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Au skarnlarına örnek; Fortitude (Nevada), Hedey (British Columbia), Leadville (Colorado), Ertzberg-Ertzberg East (Avustral-

Çizelge 1. Çeşitli skarn tiplerinin özellikleri.

TİPİ	Altın	Bakır	Çinko-Küresel	Molibden	Bismüt
BİLEŞİMİ OLDUĞU METALLER (HİDROFLER)	Au (Cu, Bi, Te, As, Co)	Cu (Mo, W, Sn)	Su, Pb, Ag (Cu, W)	Mo, W (Cu, Bi, Sn)	Te (Cu, Co, Au)
HİDROFLER KİMYASI	Ada yay ve sulu yay adımlı bakır skarnları	Küresel skarnlar	Küresel skarnlar	Küresel skarnlar	Ada yay ve sulu kay skarnları
İLİŞKİLİ DİRİZYON KAYACI	Galeo-Granodiorit	Granodiorit-K. Homozoit	Granodiorit-Granit / Diorit-Diyazit	K. Homozoit-Granit	Galeo-Granit
DİRİZYON MORFOLOJİSİ	Stok, sül, boyk	Stok, boyk, boyk bacası	Eğer varsa, boyk etoklar ve faylar	Stok	Stok, boyk
DİRİZYON ALTERASYONU	Orta radoklastik, F-Sülfür	Bölgesel radoklastik, F-Sülfür, serisitik	Yaygın radoklastik	Sıvı ve faylar F-Sülfür	Yaygın radoklastik F-Sülfür
CEVHER MİNERALOGİSİ	Halkit, selen, kalkopirit, pirrit, arsenopirit, pirit, tellüridler, bismüt	Kalkopirit, bornit, pirit, hematit, malakit	Stalaktit, galen, arsenopirit, kalkopirit	Molibden, sül, pirit, bismüt, kobalt	İsapsen, kobalt, kalkopirit, pirit
KARAKTERİSTİK BÜYÜKLÜĞÜ (Mikrometre)	0.4-10	1-100	0.2-3	0.1-2	0-150
KARAKTERİSTİK TİPÖR	2-15 g/ton (1000-5000 g/ton)	1-2 W	9 W Cu, 6 W Pb, 170 g/ton Ag	0.1-2 W MoS ₂	40 W Te

ya), Ok Tedi (Papua Yeni Gine), Thanksgiving (Filipinler) verilebilir.

Hipotermal Au Yatakları

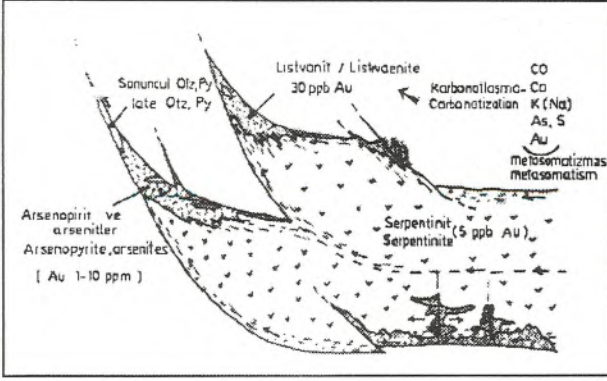
Hipotermal altın yatakları, yüksek sıcaklık (300-500°C)-basınç ortamında hitrotermal sıvıların en alt seviyelerinde (>1km) oluşurlar (Lindgern, 1933). Yan kaya alterasyonları genel olarak; serizitik (graysen) kloritik, potasik ve silisleşmedir (Erler, 1988). Yatakların genel oluşum şekilleri; breş bacaları, derin deniz buhar boşalımı (ekshalitif) ve ofiyolit ilişkilidir.

Breş Bacası Tipi Au Yatakları

Bilinen örnekler, anorojenik granitoid ve yay arkalarına (Back-arc) bağlı alkalin mağmatik plutonlarla ilişkili oluşurlar. Oluşum sıcaklıkları 150-500°C arasında ve derinlikleri >1km olarak belirtilir. Altın mineralleşmesi, nabit altın veya tellüridler şeklindedir, diğer cevher mineralleri ise florit, sfalerit, kalkopirit, bornit ve piritir. Örnekleri: Cripple Creek (Colorado), Zorman (Montana), Olympic Dam (Güney Avustralya), La Plata (Colorado), Otiz (New Mexico), Golden Sunlight (Montana).

Ofiyolitlerle İlişkili Au Yatakları

Sıkça görülebilir yataklar olmayıp, genellikle ofiyolit dizilerinin ultramafik kısımlarında (bazal-kritik zonlar) "faylanmalara" bağlı gelişirler. Ekonomik kontrastasyon, süreksizlik düzlemlerinde şiddetli altere olmuş, silisleşmiş ve karbonatlaşmış serpentinitlerle (listvanit) ilişkilidir (Şekil 9). "Birincil (primary) oluşum"a bağlı bilinen örneklerde ise ofiyolitler, anorojenik, sıcak noktalara (hot spots) bağlı kratonlarda oluşmuş ve tektonizmaya bağlı olmadan gelişmişlerdir. Kanada'da bulunan Sudbury Kompleksi dünyanın bilinen en büyük



Şekil 9. Serpantinitlerin alterasyonu ile birlikte artan altın miktarı (Buissan ve Leblanc, 1996'dan sonra Sawkins, 1990).

nikel yatağı olmakla birlikte, nikelde aynı miktarda bakır ve ekonomik değerlerde altın, platinyum grubu elementler ve gümüş üretimine sahiptir. Bununla beraber, dünyanın en büyük kromit yataklarına sahip Bushveldt Kompleksi'ni (Güney Afrika Cum.) oluşturan fasiyelerden birisi Merensky Reef, dünyadaki en büyük platin grubu metal yatağını oluşturmakla birlikte, yüksek değerlerde paladyum, rutenyum ve altın çıkarır (60% nikel, 27% paladyum, 5% rutenyum, 4% altın).

Derin Ekshalatif Au Yatakları

Genellikle yeşilist fasiyes kuşaklarında oluşan bu altın yataklarına en belirgin örnek Homestake'dir. Bu adla anılan (Homestake-tipi) diğer ekshalatif yatakların sayısı fazla olmamasına karşın altın üretimleri oldukça yüksektir. Örneğin Homestake, 1990'a kadar 1000 ton altın üretmiştir. Bu tür katmansal (stratiform) yatakla-

rın büyük çoğunluğu silisli, demirce zengin kayalarda (düşük tenörlü, çörtlü karbonatlar veya demir silikatlar) veya bunların metamorfik denklemlerinde yataklanırlar. Cevher kütlesi temel olarak kuvars, klorit ve ankerit ve değişen oranlarda pirotin, arsenopiritten oluşur. Örnekleri: Morro Velho (Brezilya), Kolar Gold Field (Hindistan), Hutti, Ramagiri (Güney Afr.Cum.), Lupin Mine (Kanada).

ARAMA SAFHALARI VE MALİYET

Altın, birçok metal (özellikle ilişkili oldukları) ile benzer ortamlarda yataklanması nedeniyle arama yöntemlerinde benzerlikler gösterir. Bununla birlikte, en değerli metal olma özelliği ona bazı ayrıcalıklar; teknolojinin son buluşlarından yararlanma, pahalı iş gücü ve yatırımlar gibi olanaklar sağlar. Peşinden koşturun bir çok insan da cabasıdır. 1849'da bir marangozun başlattığı California altın hücumunu ve binlerce "Forty Niners"ı unutmak mümkün mü?

Metal konsantrasyonlarının aranması ve araştırılması (prospecting and exploration) şu genel kriterlere bağlıdır: Litolojik, stratigrafik, yapısal, mağmatojenik, paleo-iklimsel ve tarihsel. Mağmatojenik kriterler ise şu alt gruplarda incelenir: a. Yatak-magma ilişkisi b. Yatak-tane boyu ilişkisi c. Yatak-pluton büyüklüğü ilişkisi d. Yatak-intruzyon iç yapıları ilişkisi e. Yatak-magma soğuma derinliği arasındaki ilişki ve son olarak f. Yatak ve çevre alterasyon ilişkisi.

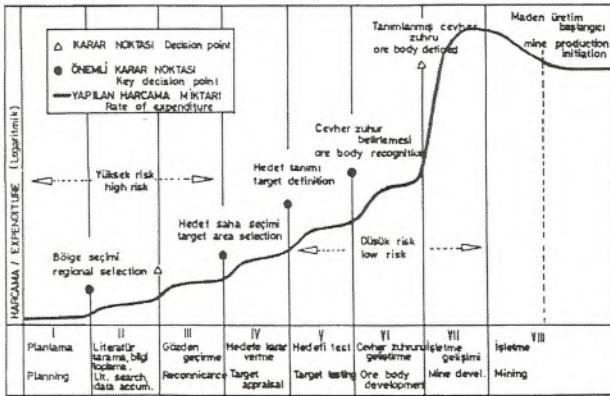
Kuzvart ve Böhmer (1978), arama safhalarını zaman ve maliyet durumuna göre aşağıdaki gibi değerlendirir (Çizelge 2). C2 rezervler, cevher kütlelerinin şekil ve yapılarının çok genel olarak ortaya konduğu, cevheri et-

Çizelge 2. Bir maden arama programı safhaları.

SAFHA	VERİ	MALİYET	ZAMAN-
Genel Başlangıç, Detaylı arama (Prospecting)	Zuhur konsantrasyonlarının bulunması, yatak ve mineral oluşumlarının sınıflandırılması,	3%	1-20 yıl
Araştırma safhasına geçiş	Ekonomik ve yarı ekonomik yatak sınıflaması, C2 rezerv hesaplaması	3%	3 yıl
Ön araştırma safhası	C1 rezerv hesaplaması	6%	6 ay-3 yıl
Detay araştırma safhası	B rezerv hesaplaması	7%	2-5 yıl
İşletmeye hazırlık, maden ve cevher hazırlama birimlerinin inşası	A rezerv hesaplaması	80%	2-5 yıl
İşletmeye geçiş	A rezerv hesaplaması		1-6 ay

kileyen doğal ve tektonik etkenlerin çok az bilindiği, sondajsız rezervdir. C1 rezervler, C2'lerin benzerleri olup sondajlar yardımıyla cevher kütlelerinin daha iyi tanımlandığı rezervlerdir (muhtemel rezerv) ve araştırmacı C1 rezerv tanımlaması sonucu "sismetin neresindeyim?", Bu sistemde altın nerede yataklarını?" sorunlarına cevap verebilecek durumda olmalıdır. B rezerv; oluşum modeli, şekli, yapısı bilinen ekonomik, doğal ve teknik özellikleri saptanmış rezervdir (mümkün rezerv). Bunun yanında, ekonomik ve ekonomik olmayan kısımları tanımlanmış, hidrojeolojik ve mühendislik jeolojisi hesapları yapılmıştır.

A rezerv, B'ye ek olarak yeterli sıklıkta sondajları yapılmış, cevher mineral karakterleri ve teknolojik işletme yöntemine karar verilmiş rezervdir. Eimon (1987) bir maden arama programının aşama ve harcamalarını grafiksel olarak aşağıdaki gibi (Şekil 10) gösterir.



Şekil 10. Bir maden arama programında safha ve harcamalar (Eimon, 1987).

DEĞİNİLEN BELGELER

- Bonham, H. F. Jr., 1986, Models for volcanic hosted epithermal precious metal deposits: a review in Hamilton N.Z.(ed), Proc.Int. Volcanism Congress, New Zealand Symp.5.
- Clark, A.H., 1992, Are oversized porphyry copper deposits either anatomically or environmentally distinctive?: Giant Ore Deposits Workshop, Kingston, Ontario, Canada.
- Eimon, P. I., 1987, Epithermal gold-silver deposits: Course notes, Queens Univ., Canada.
- Erlor, A., Aral, H., 1981, Porfiri bakır yatakları: O.D.T.Ü. Müh. Fak. yayınları No:67
- Erlor, A., 1988, Formation of mineral deposits: Lecture notes, O.D.T.Ü.
- Kuzvart, M., Böhmer, M., 1978, Prospecting and explo-

ration of mineral deposits: Elsevier scientific pub. comp.

- Lindgren, W., 1933, Mineral deposits: Mc. Graw Hill, New York.
- Mitchell, A. H. G., 1988, Andesitic arcs, epithermal gold and porphyry type mineralization in the Western Pacific and Eastern Europe: Bulletin of mining and metallurgy.
- Mitchell, A. H. G., Garson, M.S., 1988, Mineralization at destructive plate boundaries: as brief view: Bulletin of mining and metallurgy.
- Nelson, C. E., Giles, D.L., 1985, Hydrothermal eruption mechanism and hot spring gold deposits: Econ. Geology. No: 80.
- Newberry, R., 1993, Handout for Au-Cu porphyry skarn short course: IAEG weekend course 8-9 May, Tralee-Ireland.
- Sawkins, F. J., 1990, Metal deposits in relation to plate tectonics: Springer-Verlag, Amsterdam.
- Sibson, R. H., Poulsen, K. H., 1988, High angle reverse faults, fluid pressure cycling and mesothermal gold-quartz deposits: Geology no:16.
- Sillitoe, R. H., 1979, Some thoughts on gold rich porphyry Cu deposits: Mineralium deposita no:14.
- Sillitoe, R. H., 1990a, Gold rich porphyry Cu deposits: Geological models and exploration implications: IUGS-UNESCO Deposit modelling program conference, Ottawa-Canada.
- Sillitoe, R. H., 1990b, Epithermal models (Genetic - types, geometric controls and shallow features): IUGS-UNESCO Deposit modelling program conference, Ottawa-Canada.
- Sillitoe, R. H., 1990c, Epithermal models (Genetic - types, geometric controls and shallow features): IUGS-UNESCO Deposit modelling program conference, Ottawa-Canada.
- Sillitoe, R.H., 1992, Giant and bonanza gold deposits in epithermal and subvolcanic settings: Giant ore deposits workshop, 11-13 May, Kingston-Ontario-Canada.
- Sillitoe, R. H., 1993a, Gold deposits in western pacific island arcs: The magmatic connection: IAEG weekend course, 8-9 May, Tralee-Ireland.
- Sillitoe, R.H., 1993b Kişisel görüşme.
- Stanton, R. L., 1972, Ore petrology: Mc Graw Hill Pub. Comp.
- Wolfe, J.A., 1984, Mineral resources: Chapman and Hall Pub. Comp.

Çöp Depolama Alanlarında Oluşan Gazın (Deponi Gazı) Çevresel Etkileri Ve Ekonomik Potansiyeli

The environmental impacts and economic potential of the gas (deponi gas) formed in waste disposal sites

İlker ŞENGÜLER
MTA Genel Müdürlüğü, ANKARA
Hazım YILMAZ
Yalçın Teknik A.Ş., ANKARA

ÖZ

Ülkemizde yaklaşık 2000 yerleşim yerinde çöp depolama alanı bulunmaktadır. Bu alanların büyük bölümü "Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği" ne uygun olarak düzenlenmediğinden, çöp gövdelerinde oluşan metan gazı, patlamalar ve yangınlar ile can kayıplarına neden olmakta, büyük çevre kirliliği yaratmaktadır.

Yerel yönetimlerin, düzenli çöp depolama alanlarında oluşturacakları sistemler ile çöp gövdesinde oluşan ve oluşumu yıllarca süren metan gazını hem tehlikesiz duruma getirmeleri hem de yakıt olarak kullanarak ekonomiye kazandırmaları mümkündür.

ABSTRACT

There are waste disposal sites in about 2000 residential areas in Turkey. Because the majority of these areas have not been arranged in accordance with the "Solid Wastes Control Regulations", the methane gas formed in waste bodies cause deaths as a result of explosions and fires and create great environmental pollution.

The municipalities can prevent the methane gas which forms in waste bodies in decades from being hazardous by constituting systems in orderly waste disposal sites and at the same time contribute to the economy by using it as a fuel.

GİRİŞ

Ülkemizde düzenli çöp depolama alanları oluşturulmadığından, oluşan deponi gazının kimyasal analizi ve potansiyeli hakkında bilgiler elde edilememekte ve buna bağlı olarak gazın ekonomik değeri konusunda da bir sonuca varılamamaktadır. Ancak, düzenli çöp depolama alanlarına sahip ülkelerdeki uygulamalar incelendiğinde, çöp gövdesinde oluşan gazın ekonomiye kazandırıldığı görülmektedir.

Düzenli depolama alanlarında çöp gövdesinde gaz oluşumu 25-30 yıl sürmektedir. Ülkemizdeki çöplerin, beslenme alışkanlığımıza bağlı olarak diğer ülkelere göre daha sulu atıklardan oluştuğu bilinmektedir. Bu

nedenle çöp gövdesinde meydana gelen çürümeler ve bozunmalar daha fazla olacağından, gazın potansiyeli yüksek, oluşumu ise uzun süreli olacaktır.

Ülkemizde çöp depolama alanları, Ümraniye (İstanbul) çöplüğündeki patlama ile bir kez daha gündeme gelmiş ve bu defa yerel yönetimler tarafından konu daha ciddi olarak araştırılmaya başlanmıştır. Özellikle büyük kentlerde, üzerinde veya yakınında yerleşim alanı bulunan yörelerde belediyeler incelemeler yaptırmışlardır. Mamak (Ankara) eski çöp depolama alanı üzerinde yoğun gecekondulaşma söz konusu olup çöp gövdesinde oluşumu süren ve kanalizasyon vasıtasıyla konsantrasyonunu arttırarak konutlara kadar ulaşan metan gazı tehlike oluşturmaktadır. (Şengüler, 1994 a).

Ankara Büyükşehir Belediyesinin yazılı başvurusu üzerine söz konusu alanda TMMOB tarafından yapılan inceleme sonucu hazırlanan rapor ilgililere sunulmuştur.

DEPONİ GAZININ ÖZELLİKLERİ

Çöp depolama alanlarında oluşan gaza "biyogaz" veya "deponi gazı" denilmektedir.

Düzenli çöp depolama alanlarında, çöp gövdesindeki organik maddeler önce aerobik olarak ayrışmaya başlar ancak çöp gövdesindeki oksijenin tükenmesi ile ayrışma anaerobik koşullarda devam eder. Bozunma ve ayrışma hızı, çöpün bileşimine göre değişir.

Çöp gövdesinde oluşan gazın yaklaşık % 90' ını metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2) oluşturmaktadır. Deponi gazının bileşiminde az miktarda azot (N_2) ve eser miktarda hidrojen sülfür (H_2S) bulunmaktadır. Gaz çıkışı, depolamadan sonraki ilk iki yılda en fazla düzeye ulaşır, daha sonra ise yavaşlar ve bir düzeyde sabit kalarak 25 yıl ve daha fazla süreyle devam eder (Sürücü, 1994)(Çizelge 1).

Çizelge 1. Deponi süresi ve deponi gazlarının konsantrasyonu

Zaman (Ay)	Oluşan Deponi Gazları (%)	N_2	CO_2	CH_4
0 - 3	5.2	88	5	
3 - 6	3.8	76	21	
6-12	0.4	65	29	
12-18	1.1	52	40	
18-24	0.4	53	47	
24-30	0.2	52	48	
30-36	1.3	46	51	
36-42	0.9	50	47	
42-48	0.4	51	48	

Deponi gazının bileşimi, cam pipetler yardımıyla çöp gövdesinden alınan örneklerin, gaz kromatografında tam gaz analizleri yapılarak bulunur. Bu analizler sonucunda deponi gazının çöp gövdesindeki hacimsel oranları belirlenebilir. Deponi gazının içinde ağırlıklı olarak yer alan metan ve karbondioksit dışındaki gazlar değişik yöntemler ile uzaklaştırılabilir. Ayrıca, oluşan gazın potansiyelini belirlemede çok önemlidir. Gazo-

metreler yardımıyla deponi gazının debisi saptanarak ekonomik potansiyelini belirlemek için önemli veriler elde edilebilir.

Gelişmiş ülkelerde düzenli çöp depolama alanlarının yer seçimleri birden çok yerleşim yerinin atıklarını kapsayacak şekilde yapılmaktadır. Bu uygulama ile farklı yerlerde yapılacak depolama alanlarının ön yatırımlarından tasarruf sağlanmakta ve çöp gövdesinin hacmi büyütülerek, oluşacak gazın hem potansiyeli hem de süresi artırılmaktadır. Daha önce yapımı gerçekleştirilmiş düzenli çöp depolama alanlarının daha iyi değerlendirilmesi ve çevresel etkilerinin tamamen ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalar da sürmektedir. (Reuter, 1991).

METAN GAZI OLUŞUMU VE KULLANIM ALANLARI

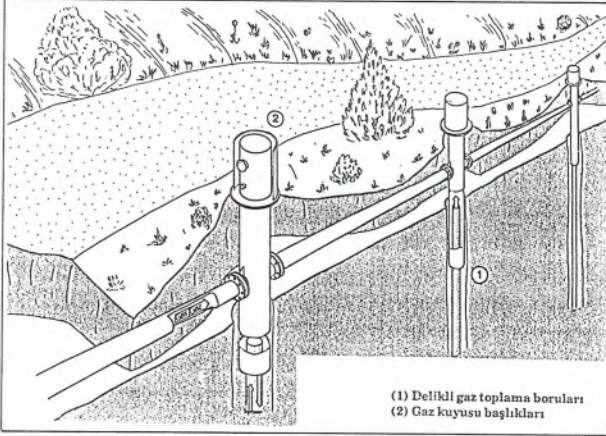
Metan gazı, organik materyalin bakteriler yardımıyla bozulması sonucu oluşan biyojenik bir gaz türüdür. (Özbudak, 1990). Metan gazını oluşturan organizmaların anaerobik karakterde olmaları nedeniyle, metan oluşumu süresince oksijensiz bir ortam gereklidir. Ayrıca ortamdaki organik karbon oranının en az % 0.5 olması ve ortam sıcaklığının 0-75°C arasında kalması ideal koşulları oluşturur.

Metan gazı, konvansiyonel tüm enerji sistemlerinde ve ısıtma sistemlerinde kullanmaya uygun bir yakıt türüdür.

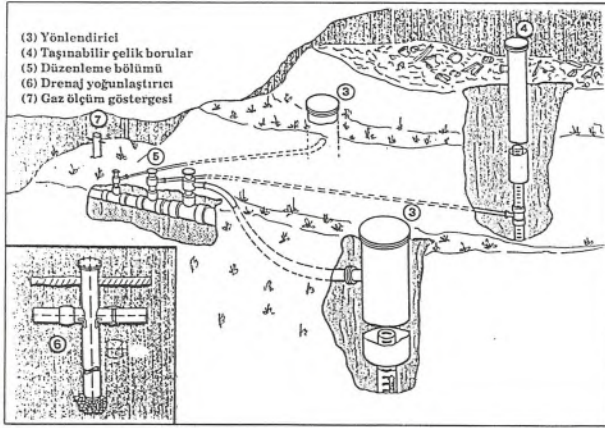
Almanya' da Kassel şehrinin ve çevresinin çöplüğü Hofgeismar kasabasında bulunmaktadır. Hofgeismar çöplüğünden elde edilen metan gazı ile elektrik enerjisi elde edilmekte ve bununla kapalı yüzme havuzu, okullar, çocuk yuvaları ve konutlar ısıtılmaktadır (Şengüler, 1994 b). Düzenli bir çöp depolama alanına ait gaz eldesi ünitesi Şekil 1'de, toplama ve ölçme ünitesi ise Şekil 2' de şematik olarak verilmiştir (ÇUVAM, 1991).

KARBONDİOKSİT GAZI OLUŞUMU VE KULLANIM ALANLARI

Karbondioksit, bir karbon ve iki oksijen molekülünün birleşmesi ile oluşan, havadan daha ağır, renksiz, kokusuz, yanıcı özelliği olmayan, ekşimsi tatda bir gaz olup bakteri faaliyetleri sonucu meydana gelmektedir (Yılmaz, 1994). Karbondioksit su ile birleştiğinde zayıf



Şekil 1. Düzenli çöp depolama alanında gaz eldesi ünitesi



Şekil 2. Düzenli çöp depolama alanında gaz depolama ve ölçme ünitesi

asit özelliği gösteren karbonik asiti (H_2CO_3) oluşturur.

Karbondioksit gazının özellikleri :

Özgül Hacim (70°F, 1 Atm)	54.7 ml/gr
Buhar Hacmi (70°F, 1 Atm)	58.3 kg/cm ³
Katılma Noktası (1 Atm)	78.5°C
Kritik Sıcaklığı	31.0°C
Kritik Basıncı	73 Atm
Yoğunluğu (1 Atm)	1.977 gr/lt' dir.

Karbondioksit havadan 1.53 kez daha ağır olup havadaki oranı % 30' u geçtiğinde solunum tıkanıklıklarına neden olur.

Normal olarak havanın içinde % 0.03 oranında bulunmaktadır.

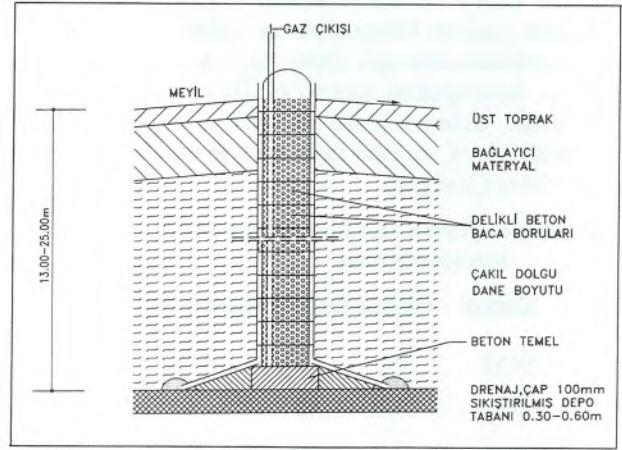
Karbondioksit genellikle gaz şeklinde kullanılır.

Düşük sıcaklıkta sıvı ve katı olarak da yararlanmak mümkündür.

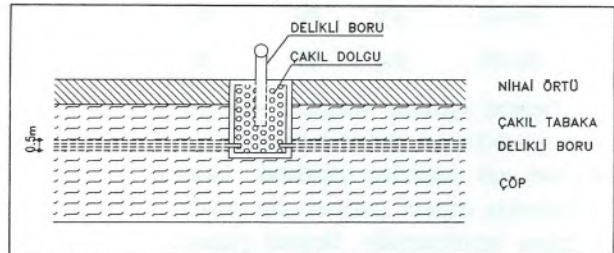
Doğal karbondioksitin 200 civarında kullanım alanı bulunmaktadır (Yılmaz, 1986).

DEPONİ GAZININ ÜRETİMİ

Çöp gövdesinde oksijensiz ortamda organik maddenin mikrobiyolojik olarak ayrışması sonucu oluşan metan gazı ağırlıklı olmak üzere, karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak ve azot bileşenlerinden oluşan depeni gazları patlamalara ve yangınlara neden olarak çevresel olumsuzluklar yaratmaktadır. Çöp gövdesinde oluşan bu gazlar yatay ve düşey gaz toplama boruları ile toplama-



Şekil 3. Çöp gövdesinde oluşan gazları toplamak için çöp gövdesine yerleştirilen düşey borunun kesiti.



Şekil 4. Çöp gövdesindeki yatay ve düşey gaz toplama borularının konumu

arak kontrollü bir şekilde atmosfere verildiği gibi enerji elde etmek için de kullanılabilir (Şekil 3 ve 4).

Çöp gövdesinde oluşan gaz, genellikle 1 m^3 atık başına $100-400 \text{ m}^3$ dür. Gaz toplama sistemlerinde gaz toplama kuyuları ile bir yerde toplanan gaz yakma sıcaklığı 800°C 'in üzerinde olan bir yakma bacasına verilerek enerji üretiminde kullanılabilir.

Çöp gövdesinden çevreye yayılan gazların (özellikle metan gazı) uzak mesafelere kadar ulaştığı, buralardaki binaların bodrumlarında, kanalizasyon borularında toplanarak patlamalara neden olduğu ayrıca çeşitli sağlık sorunları yarattığı bilinmektedir. Daha önceden gelişigüzel atılarak oluşturulan böyle düzensiz çöp depolama alanlarında gaz toplama kuyuları çöp gövdesine çakılarak yerleştirilir. Yoğunluğu yüksek polietilenden yapılan delikli veya yarıklı toplama borusu, kuyu içine indirilerek etrafı çakıl veya mıcır ile doldurulur. Boru; sonuna kadar filtre görevi görecek malzeme ile, geçirimsiz tabaka seviyesine kadar ise sıkıştırılmış doğal malzeme ile doldurulur. Sıkıştırılmış doğal malzeme havanın kuyu içerisine girmesine engel olmak için yerleştirilir. Kuyu başlığı; basınç, sıcaklık ve gaz konsantrasyonunu ölçmeye elverişli bir şekilde dizayn edilmiştir. Her bir kuyunun tesir mesafesi 25-40 m arasındadır.

DEPONİ GAZININ ÇEVRESEL ETKİLERİ

Deponi gazı, düzenli depolama yapılarak kontrol altına alınmadığı sürece tehlikeli olmaktadır. Ülkemizde can kayıplarına yol açacak patlamalar ile çevresel olumsuzlukların en büyüğünü yaratan deponi gazları, bundan sonra gerek ÇED (Çevresel Etki Değerlendirmesi) gerekse "Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği" nin titizlikle uygulanması ve öngörülen koşulların yerine getirilmesi ile tehlikesiz bir duruma gelecektir.

Deponi gazlarının başlıca çevresel etkileri şöyle sıralanabilir:

-İçerdiği toksik ve kısmen kanserojen maddeler nedeniyle insan sağlığı için son derece zararlıdır.

-Metan gazı konsantrasyonu havada % 5-14 oranına ulaştığında patlamakta, yangınlara ve can kayıplarına yol açmaktadır.

-Deponi gazları bitki köklerini kaplayarak onların hava ile temasını kesmekte, bitkilerin gelişmesini önleyerek çevrenin yeşillenmesini olumsuz olarak etkilemektedir.

-Deponi gazı içinde bulunan hidrojen sülfür gibi bazı gazlar etrafa kötü kokular yayarak çevreyi olumsuz etkilemektedir.

-Düzensiz depolama alanlarında oluşan gazlar, üst katmanları aşmış atmosfere ulaşmadığı zaman çöp gövdesinde yatay olarak hareket etmekte; geçirimsiz formasyonlardan, yarık ve çatlaklardan geçerek çevredeki binaların bodrumlarına, kanalizasyon şebekelerine ulaşmakta, böylece çöp depolama alanından uzakta bulunan insanlar için dahi tehlike yaratabilmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

-Ülkemizde 1991 yılında bir günde toplanan ortalama çöp miktarı 53.320 ton olup bunun sadece 43 tonu düzenli depolanmıştır.

-Ülkemizde sadece 12 belediyenin çöp depolama alanında metan gazı tahliyesi için önlem alınmış olup çıkan metan gazı henüz hiç bir depolama alanında kullanılmamakta ve doğrudan atmosfere verilmektedir.

-DİE bilgilerine göre; ülkemizde 878 belediye düzenli çöp depolama alanı oluşturulmasını planlamaktadır.

-Büyük şehirlerimiz başta olmak üzere düzenli çöp depolama alanları ülkemizde yaygınlaştırılmalı ve deponi gazlarından yerel olarak mutlaka yararlanılmalıdır.

-Çöp gövdesinde oluşan metan gazı enerjiye dönüştürülerek hem çevresel etkileri yokedilebilecek hem de enerji eldesinde temiz bir yakıt olarak kullanılacaktır.

-Elde edilen enerjinin bir kısmı çöp gövdesinden sızan sızıntı suyunun arıtılmasında kullanılarak, bir kez daha çevreye yararlı olacaktır.

-Sonuç olarak; enerji ve çevre çatışmasını, düzenli çöp depolama alanları oluşturarak enerji ve çevre dostluğuna dönüştürmek mümkündür. Bunun örnekleri elimizde mevcuttur. Bu örnekler iyi incelenmeli, ülkemiz koşulları dikkate alınarak düzenli depolama alanları ile enerji ve çevre dostluğu sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

ÇUVAM, 1991., Çöp Deponi Alanları. H.Ü. Çevre Uygulama ve Araştırma Merkezi Seminer Notları, Ankara.

Özbudak, N., Gedik, A., Yılmaz, H., 1990, Ülkemizde ki Delta ve Kuvaterner Çökellerinde Oluşan Me-

- tan Gazlarının Araştırılması ve Ülke Ekonomisine katkısı. 5. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri, S.163
- Reuter, E., 1991 , Untersuchungen über das Verformungsverhalten der Zentraldeponie Hannover. Geotechnische Probleme beim Bau von Abfalldeponien, 7. Nürnberger Deponieseminar, Heft 59,S.93, Nürnberg.
- Sürücü, G., 1994, Mevcut Çöplüklerin Rehabilitasyonu ve Düzenli Depolama Esaslarına Göre Yeni Katı Atık Tesislerinin Kurulması Semineri 24-26 Şubat 1994, İstanbul.
- Şengüler, İ., 1994 (a), Mamak (Ankara) Eski Çöp Depolama Alanı ve Çevresel Etkileri. Enerji ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı, S.373, Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayını, Mersin.
- Şengüler, İ., 1994 (b), Katı Atıklar, Depolama Alanları ve Çevresel Etkileri. MTA Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Eğitim Semineri, Ankara (Yayınlanmamış).
- Yılmaz, H., 1986., Doğal Karbondioksitin Enerji tasarrufuna katkısı. 4. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri, S. 191.
- Yılmaz, H., 1994, Doğal Karbondioksit. Türkiye Enerji Bülteni, Sayı:1, S.75, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.

Çevre Jeolojisi ve Gelişmekte Olan Ülkelerle İşbirliği

Episodes, Vol.16, No: 1-2 , 1993

Çeviren

Mesude AYDAN

MTA Genel Müdürlüğü , ANKARA

GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerdeki kontrolsüz nüfus artışı, tüm insanları etkileyen çevre ve gelişme ile ilgili krizlere neden olmaktadır. Gelişmiş ülkelerde artan endüstrileşme ve doğal kaynakların aranma süreçleri de bu krizi arttırmaktadır.

Kimya, biyoloji, tıp ve meteoroloji gibi diğer bilim disiplinleri ile kıyaslandığında çevresel koruma ve çevre problemlerinin çözümünde yer bilimlerinin önemi herkes tarafından kabul edilmektedir. Çevre problemlerinin nedenleri jeolojik ilişkiler ve jeolojik süreçlerle ilgili bilgi sahibi olunması ile anlaşılabilir. Bu nedenle, çevreyi koruma amacıyla tasarlanan iyileştirici önlem ve planlamalarımızda bu konular mutlaka dikkate alınmalıdır.

Hem çevresel problemlerin kaynağı hem de araştırılması, birbirleriyle etkileşim içinde olan çok sayıdaki yerbilimi disiplinleri ile ilgili bilgileri içermektedir. Bu, bilgilerin etkin şekilde entegrasyonunu gerektirmektedir ki bu da çevre jeolojisinin konusunu oluşturur. Doğal olarak, çok sayıda disiplini kapsadığı için "çevre jeolojisinin" adı ve alanlarıyla ilgili çok çeşitli yorumlar söz konusudur. Bu makalede, yer bilimlerinin kapladığı birçok disiplini ele almanın yanısıra çevre koruma ve geliştirme projelerinde bu disiplinlerin uygulama alanlarının belirlenmesini amaçladık. Ayrıca, bu şekilde politik karar mekanizmalarına çevresel zararların çevre jeolojisi ile ortadan kaldırılabileceği veya azaltılabileceğini göstermek istedik.

Yoksulluk, Nüfus Patlaması ve Çevre Tahribatı

Yoksulluk, nüfus patlaması ve çevre tahribatı çok

sayıda gelişmekte olan ülkenin içinde bulunduğu kısır döngünün birer unsurudur ve bu döngüden yardım olmaksızın çıkmaları olası değildir. Bu ülkelerdeki hükümet görevlileri çevrenin korunmasının gelişme politikalarının çok önemli bir amacı olduğunu çok iyi bilmektedirler ama yoksulluğa karşı yürüttükleri mücadele onların hareket alanını daraltmaktadır. Esas olarak, mali destek ve teknik yardım gereksinimleri vardır ve aynı zamanda da gerekli bilgi ve açıklamadan da yoksundurlar.

Çok sayıdaki gelişmekte olan ülkede, ekolojik denge ve gelecek alarm vermektedir ve aşağıda bu konu ile ilgili çeşitli örnekler verilmiştir:

*Yaklaşık 1 milyar insan yoksulluk sınırının altında yaşamaktadır ve dünya nüfusundaki artış (2020 yıllarında 5 milyardan 8-10 milyara çıkacaktır) daha çok gelişmekte olan ülkelerde olacaktır.

*Halen yaklaşık 1 milyar insan enerji kısıtlamasından dolayı güç durumdadır. Bununla beraber, temel enerji gereksinimi gelecek 30 yıl içinde hızla artacaktır.

*2 Milyar insan için odun hala en önemli enerji kaynağıdır. Sonuç olarak, odunun elde edilmesi çevresel zararlara neden olmaktadır.

*Yıllık olarak 170.000 km²'den daha fazla bir tropik yağmur ormanı alanı, ormanların yakılması ve ağaçların kesilmesi sonucu yok olmaktadır. Bu yok oluş oranı ile 2000 yıllarında G.Amerika, Orta Afrika ve Güneydoğu Asya'nın bazı bölgeleri dışında yağmur ormanları kalmayacaktır.

*Gelişmekte olan ülkelerde 200.000 km²'lik tarıma

elverişli alan yalnızca toprak erozyonu nedeniyle yok-
olmaktadır.

*Çöllerle kaplanan alanlardaki yıllık global artış
60.000 km² kadardır.

*İçme suyundaki kıtlık ve içmesuyu kirliliği 2 mil-
yar insanın sağlığını tehdit etmektedir.

*Birçok gelişmekte olan ülkede, yaşam koşulları,
büyüyen ve kalabalıklaşan yerleşim yerlerinde gittikçe
daha korkunç hale gelmektedir.

Çevre Jeolojisi'nin Çevrenin Korunması ve Gelişmesine Katkıları

Yoksulluğun, nüfus patlamasının ve çevrenin tahrip
olmasının nedenleri çok karmaşıktır. Bu nedenle, bu
olumsuz faktörleri ortadan kaldırma veya azaltma ön-
lemleri mümkün olduğunca çok çeşitli düzeyde ele
alınmalıdır. Çevre koruma projeleri yalnızca özel problemlerin
çözümlerini ele almamalı aynı zamanda da geniş yararları
düşünmeli ve direkt olarak yoksulluğa karşı verilen
mücadeleye katkıda bulunmalıdır. Etkisini devam ettirebilmesi için de geniş kapsamlı gelişme
stratejileri ile entegre olmalıdır. Ayrıca çevre korunması,
doğal kaynakların araştırılması ve değerlendirilmesini
kapsamalıdır. Dahası, elde edilen sonuçlar çevresel
planlama, kaynakların korunması ve kaynakların işle-
tilmesi için kullanılmalıdır. Bununla beraber, çevre jeolojisi
alanında uzman bilgisi ve araştırma safhasında iyi kurulmuş ve güvenilir metodlar olmaksızın ekolojik
amaçlara ulaşmak olası değildir (Şek. 1).

İlk adım olarak, çevre jeolojisindeki uzmanlar bir

bölgenin doğal kaynak potansiyelinin bir envanterini
hazırlayıp, insan ve doğanın karşılıklı etkilerini araştı-
rırılar. Bu uzmanlar aynı zamanda doğal felaketlerin ne-
denlerini ve sonuçlarını irdelerler.

İşlemlerin karmaşıklığını ve doğadaki çok yönlü
etkileri ele almak için çevre jeolojisi, uzman bilgisine,
deneyimine ve disiplinlerdeki metodlara başvurur (Şek. 2)
Bir çevre jeoloji uzmanı aktif çevre korumasının çer-
çevesi içinde önleyici, koruyucu ve iyileştirici önlemleri
alabilecek, değerlendirmeleri yapabilecek kişidir. Bu
tür bir kişi, çevrenin korunacağı ve gelişmenin teşvik
edileceği bir perspektif ile kaynakların işletilmesinde
planlama için gerekli temel verileri sağlayabilir.

Çevre jeolojisinin görev ve amaçlarının en önemlileri
şunlardır (Şek. 3).

*Su ve toprak kaynaklarının korunması, çevresel
olarak uygun şekilde kullanımı, kaynakların değerlendirilmesi ve envanterlerin hazırlanması

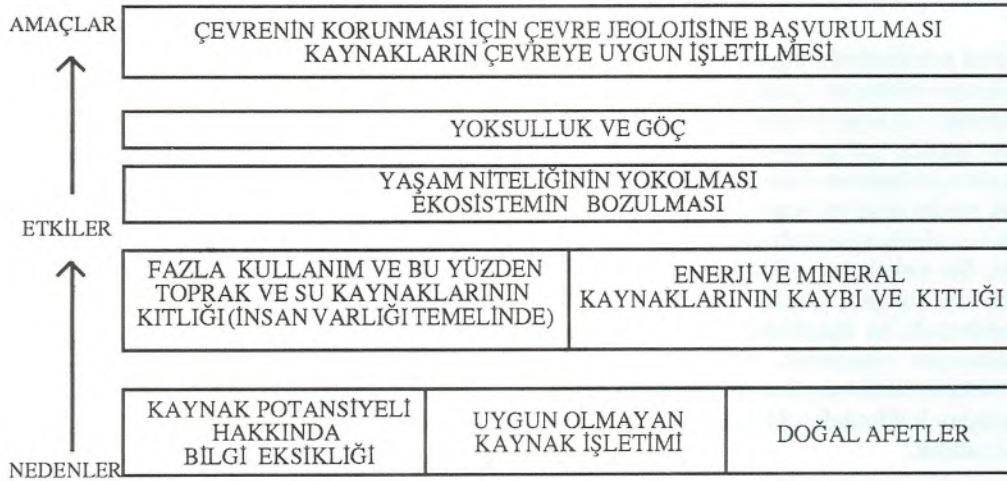
*Atık alanlarının belirlenmesi

*Doğal afetlerin önceden tesbiti ve olabilecek zararın azaltılması

*İnsanların neden oldukları çevresel değişikliklerin önceden tesbiti, sınırlandırılması ve geri dönüştürülmesi (çevre etki değerlendirmesi)

*Enerji ve maden kaynaklarının korunması, çevresel olarak uygun şekilde kullanımı, kaynakların değerlendirilmesi ve envanterlerin hazırlanması

*Bu konuda gerekli elemanların eğitimi.



Şekil 1. Hem çevrenin korunmasında hem de yoksulluğa karşı mücadelede çevre jeolojisinin değeri



Şekil 2. Proje alanları, etkinlik alanları ve çevre jeolojisinin ilgili disiplinleri

AMAÇLAR

JEOLOJİ, DOĞAL RİSK FAKTÖRLERİ, DOĞAL KAYNAKLAR KONUSUNDA MEVCUT VE GELECEK TALEPLER VE ÇEVRE ETKİSİ, ARAZİ KULLANIMDAKİ ÖNLEMLERİ İÇİN ANALİZ EDİLMİŞ VE BELİRLENMİŞTİR VE KAYNAKLARIN KULLANIMI İÇİN BÖLGESEL PLANLAR VE STRATEJİK PLANLAR HAZIRLANMIŞTIR.

ETKİNLİK ALANLARI

SU/YERALTISUYU	TOPRAK	ENERJİ KAYNAKLARI	MİNERAL KAYNAKLARI	DOĞAL AFETLER
SU KAYNAKLARI nicelendirilmiş	TOPRAK KAYNAKLARI nicelendirilmiş ve değerlendirilmiş	ENERJİ KAYNAKLARI nicelendirilmiş ve değerlendirilmiş	MİNERAL KAYNAKLARI nicelendirilmiş ve değerlendirilmiş	Sismik riskler analiz edilmiş ve sonuçlar çıkartılmıştır.
SU NİTELİĞİ değerlendirilmiş ve düzenli izlemeye	potansiyel ARAZİ-KULLANIMI belirlenmiş			VOLKANİK PÜSKÜRMELER 'in potansiyel riskleri değerlendirilmiş ve önlemler alınmıştır.
YERALTISUYU ÇEKİLMESİ çevre ile uyumlu	TOPRAK EROZYONU VE ÇÖLLENMENİN nedenleri analiz edilmiş ve önlemler alınmıştır	YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ geliştirilmesi olasılıkları	MADEN ARAMA, İŞLETME VE İZABE metodları çevre ile uyumlu olmalıdır.	SELLERİN nedenleri analiz edilmiş önlemler alınmıştır.
YERALTISUYU KORUMA ALANLARI tasarlanmış	TOPRAK TUZLANMASI VE GERİLEMESİNİN nedenleri analiz edilmiş ve önlemler alınmıştır	FOSİL ENERJİ KAYNAKLARININ İŞLETİLMESİNDE çevreye uygun teknolojiler kullanılmalıdır.	ATIKLARIN ATILMASINDA çevreye uygun metodlar kullanılmalıdır.	KÜTLE HAREKETLERİN potansiyel riski belirlenmiş ve öneriler tespit edilmiştir.
YERALTISUYUNUN KİRLENMESİ minimuma indirilmiş	İnşaat Mühendisliği yapılarında JEOLJİK TEHLİKELER toprağın KİRLENMESİ minimuma indirilmiş			EROZYON SÜRECİ araştırılmış ve gerekli önlemler alınmıştır.

Şekil 3. Alman Teknik İşbirliği projelerinin amaç ve görevleri.

Yeraltısuyundan İçme ve Kullanma Suyu Temin Amaçlı Kuyularda Tasarım Teknikleri

Tahir ÇEBİ
İller Bankası Genel Müdürlüğü,
İçmesuyu Dairesi Başkanlığı, ANKARA

GİRİŞ

Bir sondaj kuyusunun projelendirilmesi kuyunun yapısına uygun olacak faktörleri ve kuyu inşaatında kullanılacak materyallerin seçimini içerir. İyi bir kuyu tasarımı kuyunun uzun süreli hizmet vermesi yanında, maliyet boyutunu da kapsmalıdır.

Bu kapsamda, öncelikle çimentosuz zeminlerde, kuyu filtresinin yerleştirilmesine ilişkin prensipler tartışılacaktır. Çimentolu kaya kütlelerinde açılan kuyulara göre, çimentosuz akifer alanlarda açılan kuyularda, dizayn olayı daha fazla önem taşımaktadır. Ancak, temel prensipler her iki tür ortamda da açılan kuyular için dikkate alınmalıdır.

Maliyet ve teknik faktörler, uyumlu olarak analiz edilmelidir. Örnek olarak 15lt/sn. su sağlamak amaçken, 50 lt/sn. su sağlayan bir kuyu tasarlamak, iyi bir mühendislik değıldir. Diğer taraftan, ilk maliyeti düşürmek amacıyla, yetersiz boyutta kuyu teçhizi ve filtresi kullanmak veya kalitesi düşük materyalleri seçmek de, kötü bir mühendisliktir. Bu tür düşünceler, ilerideki işletme aşamasında, kuyu sahibine yüksek pompaj ve bakım maliyetlerini yüklemek demektir.

Bu konu kapsamında tartışılacak hususların büyük bir bölümünü, sulama, endüstri ve belediye ihtiyaçlarını karşılama amacına yönelik açılacak kuyulara ilişkin tasarım teknikleri oluşturmaktadır. Bu amaçlarla açılan kuyularda, akiferden en yüksek verimin elde edilmesini ve randımanlı işletmeyi sağlayacak tasarım teknikleri kullanılmalıdır. Bu faktörler direkt olarak işlem maliyetine dayanır. Bu konuda bir diğer önemli maliyet faktörü de, servisin hizmet dışı kalması sonucunda meydana gelen ekonomik kayıplardır. Kuyunun iyi tasarlanması,

bu riskleri en aza indirir. Tartışacağımız konular arasında; sığ kuyular, içmesuyu amaçlı kuyular, çiftlik ve ticari kuyulara ilişkin özel tasarım faktörleri bulunmaktadır.

Kuyu yapısının, iki ana elementten oluştuğunu gözönünde bulundurmak, önem taşımaktadır. Bu elementlerden birisi, kuyu pompa ekipmanının yer alacağı iç bölümdür ki, akiferden gelen yeraltısuyu pompa ile bu bölüm içine çekilerek kuyu ağzına doğru hareket eder. Bu bölüm kuyunun borulanmış bölümüdür. Ancak, çimentolu zeminlerde, borulama yapılmamış olabilir.

Bir diğer bölüm ise, kuyuya su girişinin olduğu bölümdür (çakıl zarfı). Akiferden gelen su, bu bölümden geçerek kuyuya gireceğinden, bu bölüm kuyu performansını direkt olarak etkilemektedir. Bu nedenle, bu bölümün oluşturulmasına ilişkin parametrelerin çok dikkatli seçilmesi ve akifer parametrelerini olumsuz etkilememesine özen gösterilmesi gerekmektedir. Bu bölümü oluşturan, çakıl zarfı ve filtreler, çimentosuz akifer ortamlardan çimentolu kuyu içine malzeme girmemesi görevini de yapar.

Uygun seçilmiş ve tatbik edilmiş kuyu filtresi, suyun kuyuya serbest ve düşük bir hızla girmesini sağlar ve su ile birlikte, kum ve daha ince malzemelerin akiferden kuyuya girişini önler. Diğer taraftan, formasyon kayıplarını önleme amacıyla bir tutucu görevini de üstlenir.

Konsolide olmuş bir kaya akifer ortamında açılan kuyunun su giriş bölümünü, çıplak kuyu deliğı oluşturduğundan, böyle bir kuyudaki verimi, kuyunun delik ve derinlik boyutları ile, formasyondaki çatlak veya boşluk sistemleri denetlemektedir.

KUYU ÇAPI

Kuyunun yapım maliyetine direkt etkisi olması nedeniyle, kuyu çapının uygun seçimi, çok önem taşımaktadır. Kuyu çapı, ağızdan tabana kadar farklı olabilir. Buna bağlı olarak seçilecek teçhiz boru çaplarında da değişim söz konusudur.

Kuyu çapı, aşağıda verilen iki gerekliliği tatmin amacıyla seçilmelidir.

1. Kuyu çapı, içine yerleştirilecek pompa ekipmanının uygun yerleşimini sağlayacak ve etkin işletme yaratacak yeterli genişlikte olmalıdır.

2. Kuyunun su giriş bölümünün çapı, kuyuya en iyi hidrolik randımanını sağlayacak boyutta olmalıdır.

Teçhiz çapının seçimini kontrol eden en önemli faktör, kuyunun potansiyel veya arzu edilen verimini sağlayabilecek pompanın boyutudur. Kuyunun teçhiz borusu çapı, konacak pompanın nominal çapından 2 numara daha büyük olmalıdır. Ancak elde olmayan koşullara bağlı olarak, teçhiz borusu çapı, pompa başlığı çapından bir numara büyük seçilmiş olabilir.

Çizelge 1. pompaj verimi veya kuyu verimindeki değişen oranlar için önerilecek teçhiz çaplarını göstermektedir. Hazırlanan bu tablo, verilen bir miktardaki suyu çekebilecek randımanı en yüksek düşey türbin pompasının başlık boyutunu tesbit içinde kullanılır.

Çizelge 1. Pompaj verimi ile kuyu verimindeki değişen oranlar için önerilecek teçhiz çaplarını gösteren tablo

Beklenen verim gpm	Pompa başlığının nominal çapı inches	Kuyu teçhizinin optimum boyutu inches	Kuyu teçhizinin en küçük boyutu inches
Den. az 100	4	6 ID	5 ID
75 - 175	5	8 ID	6 ID
150 - 400	6	10 ID	8 ID
350 - 650	8	12 ID	10 ID
600 - 900	10	14 OD	12 ID
850 - 1300	12	16 OD	14 OD
1200 - 1800	14	20 OD	16 OD
1600 - 3000	16	24 OD	20 OD

Optimum teçhiz çapı en iyi başlık çapının iki numara daha geniş olarak seçilmektedir. Suyun düşey hareketiyle kuyu tabanından teçhiz borusu içinde yeralan pompaya girmesiyle oluşan hız ve su seviye kayıpları da değerlendirmeye alınmıştır.

Şayet teçhiz çapları, verilen tabloya göre seçilirse, düşey türbinli pompalar için uygun bir açıklık sağlanmış olur. Bu açıklık sayesinde, pompa şaftı şakuli isti-

kamette indirildiğinde, teçhiz borusu tam şakuli olmazsa bile, pompanın kuyuya sağlıklı olarak indirilmesi mümkün olacaktır. Şayet pompa teçhiz borusu bulunmayan bir bölüme konursa, suyun pompa girişine ulaşabilmesi için, suyun düşey yönde hareketini sağlayacak ve minimum seviye değişimi için pompa etrafında uygun bir boşluk alanın bırakılması gerekir.

Yüksek statik ve dinamik seviyeye sahip olan derin kuyularda, pompanın monte edileceği derinlik düşünülerek, kuyu çapları buna göre seçilmelidir.

KUYU DERİNLİĞİ

Arzu edilen kuyu derinliği, açılacak kuyuların bulunduğu havzadaki kuyu loglarının değerlendirilmesiyle veya delme aşamasında geçilen litolojinin yorumlanmasına göre seçilir. Genellikle, bir kuyu akiferin tabanında sonuçlandırılmalıdır. Bu durum, iki şart için arzu edilir:

- En yüksek kapasiteyi sağlamak ve kuyuya su giriş bölümü olarak akiferin daha fazla kalınlığından yararlanmak.

-Kuyudan en yüksek verimi sağlamak amacıyla, kuyuda daha fazla düşüm sağlayabilmek.

Bu kuralda bir istisna, akiferin taban ve tavanı arasında yerleştirilen kuyu filtresinin nerede yapıldığıdır.

Temel kurallarda bir değişiklik gerektiren diğer bir durum da, bir akiferin en alt bölümünde kötü kaliteli suyun bulunması ve nerede olduğudur. Böyle bir durumda, kuyunun bir derinlikte bırakılması zorunludur. Öyleki, bu derinlik, arzu edilen en iyi su kalitesini sağlayacak ve arzu edilmeyen hususları giderecek bir derinlik olmalıdır. Kuyu açıldığı ortamda kötü kalite su içeren bir seviyeyi katetmek zorunda olabilir. Bu durumda, bu seviyenin çok dikkatli bir biçimde tecrit edilmesi gereklidir.

Tecrit malzemesi, kısmen geçirgen olmayan bir malzemedir teşekkül ettirilmelidir. Tecrit malzemesi, öyle sıkıştırılmalıdır ki, bu durum kuyu teçhizinde oturma meydana getirmeksizin teçhize destek vermelidir.

KUYU FİLTRE UZUNLUĞU

Kuyu filtresinin en uygun uzunluğu, akiferin kalınlığı, elde edilen düşüm ve akiferin tabakalanması gibi hususlarla olan ilişkilere göre seçilir. Dört tip durum için başvurulan kurallar aşağıda verilmektedir:

1. Homojen Artezyen Akifer

Bu tip akiferde; su taşıyan formasyon kalınlığının % 70-80' lik kısmı filtrelenmelidir. Burada pompaj so-

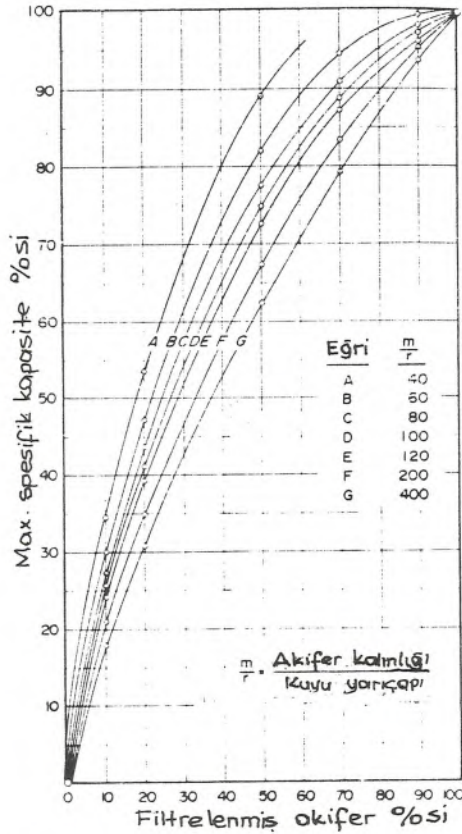
nucu oluşan su seviyesinin akifer tavanının altında olmayacağı kabul edilmektedir. İyi kuyu proje pratikleri göstermiştir ki, elde edilen maksimum düşüm, statik su seviyesinden akiferin tavanına kadar olan bölüm kadar olmalıdır.

Şayet akifer seviye kalınlığı, 7.5m den az ise, % 70' lik bölümünün teçhiz edilmesi en tatminkar uygulamadır. Şayet akifer kalınlığı 7.5-15m. arasında ise bu kalınlığın % 75' lik bölümü filtrelenmelidir. Eğer akifer kalınlığı 15m. den daha fazla ise bu kalınlığın % 80' lik bölümü filtrelenmelidir. Filtrelemede bu kurallara uyulduğunda akiferden kuyuya olabilecek su girişinde % 90' lik maksimum başarı sağlanmış olur (Şekil 1).

En iyi sonuçlar, filtrenin akiferin bir bölümünde merkezleştirilmesi veya aralıklı filtre kullanılmasıyla sağlanabilir (Şekil 2, Şekil 2A).

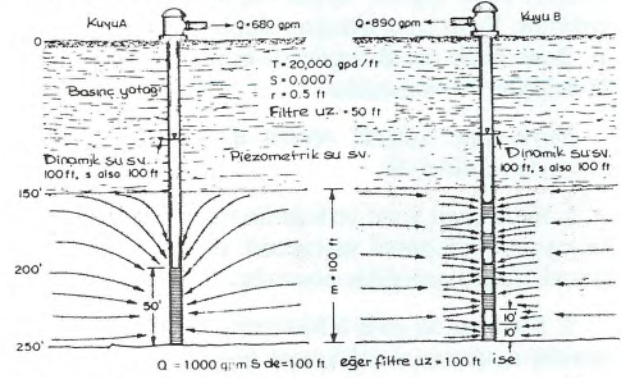
2. Homojen Olmayan Artezyen Akifer

Bu tip akiferde, en geçirgen olan seviyenin filtrelendi-

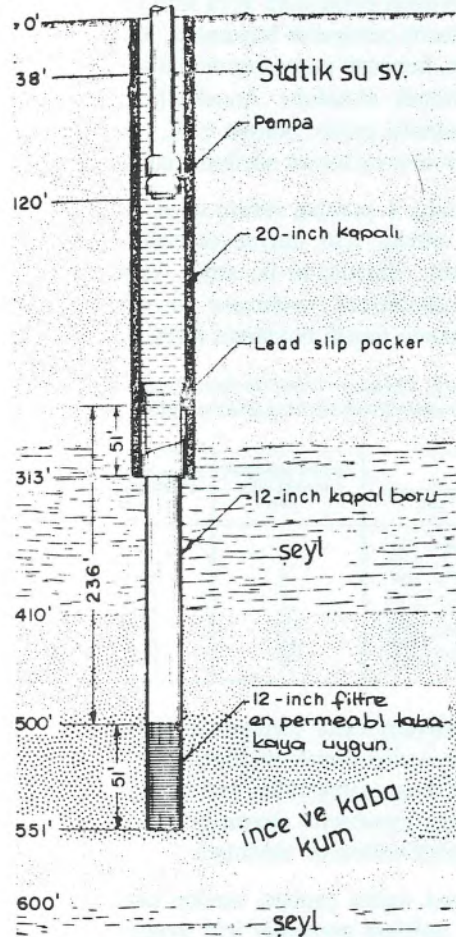


Şekil 1. Homojen artezyen akiferlerdeki filtre-maksimum spesifik kapasite ilişkisi.

mesi en doğru uygulamadır. Daha geçirgen veya verimli olan tabakanın belirlenmesi, aşağıda verilen teknikler veya birkaçıyla yapılabilir;



Şekil 2. Homojen artezyen akiferde filtreleme tekniğine ilişkin iki örnek



Şekil 2 / A. Çok seviyeli basınçlı akifer ortamında uygun filtreleme.

a. Su taşıyan formasyonun, her tabakasını temsil eden örnekler üzerinde permeabilite testleri yapılır.

b. Her tabakayı temsil eden örneklerin elek analizleri yapılır. Elde edilen bu değerlere göre sağlanan, dane-boyutu eğrilerinin karşılaştırılmasıyla, her örneğin nisbi (göreceli) permeabilitesi tesbit edilebilir. Eğer, dane-boyutu eğrilerinin eğimleri aşağı yukarı aynı ise, nisbi (göreceli) permeabilite her örneğin efektif boyutunun karesinin karşılaştırılmasıyla tahmin edilmiş olabilir.

Efektif boyut, elek analizi eğrilerinden tariflenir. Efektif boyut, elek analizi yapılan malzemenin % 90'ına tekabül eden yatay çizginin eğriyi kestiği noktadaki boyuttur. Durum, Şekil 3 üzerinde gösterilmektedir. Buradaki efektif boyut 0.002 inç (1 inç=2.54 cm) olup, önemsiz bir değerdir.

Elek analizlerine göre çizilen bir dane dağılım eğrisinin yorumlanmasında; eğri dik eğimde ise, malzemenin daha geçirgen ve daha uniform boyutlanmış olduğuna işaret eder.

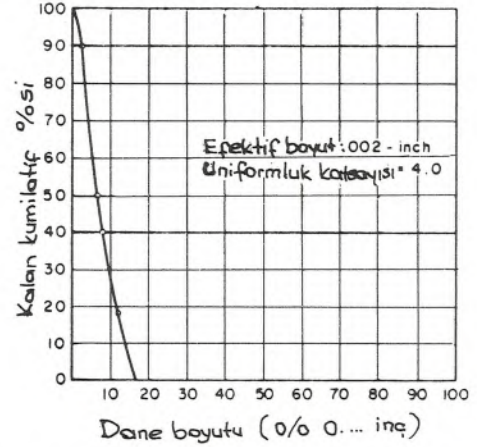
c. Gözlem ve karşılaştırmalar, her tabakayı temsil eden örnekler üzerinde yapılır. Nispi permeabilite tahminleri, eldeki materyalin temizliğine (yıkamışlığına) ve malzemeyi oluşturan tanelerin kabaılığına (kil ve silt noksanlığına) göre tahmin edilir.

Yukarıda sıralanan bu üç teknik, kuyudaki güvenilirlik ve maliyet faktörünü ilgilendiren ve yapılması gerekli ilk üç işlemdir.

Ekonomik faktörlerin idare çalışmaları, akiferin en uygun bölümlerinin daha doğru karar verilmesi konusundaki gerekli maliyetide kapsmalıdır. Sulama, içme, kullanma ve endüstriyel amaçlarla açılan kuyulardan alınan örnekler üzerinde en küçük açıklıklı elek analizlerinin bile yapılması önemle önerilir.

Homojen Su Tablalı Akiferler

Teori ve deneyimler göstermiştir ki, bu tür akiferlerde katedilen akifer kalınlığının 1/3 bölümünün filtrelenmesi ile, kuyudan optimum verim sağlanabilmektedir. Bazı kuyularda, akifer tabanında geçilen seviyenin yarısı, yüksek verim elde etmek amacıyla, filtrelenebilir. Ancak, bazı durumlarda, kuyudan yüksek verim sağlanmaktan çok yüksek randıman eldesinin düşürülmesi daha doğru seçimdir.



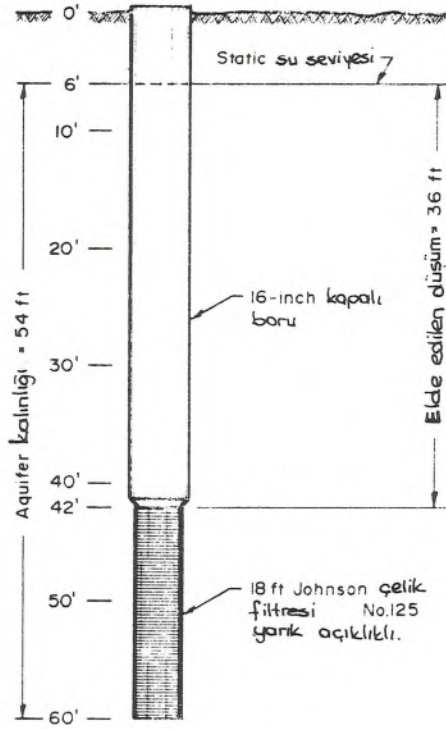
Şekil 3. Dane dağılım eğrisi.

Bu tür akiferlerde açılan kuyularda kullanılacak filtre uzunluğu, iki koşulu uyandıracak nitelikte olmalıdır. Bu koşullardan birisi, kuyuda daha fazla düşüm sağlamak için kısa filtre kullanılması, diğeri ise kuyudan daha fazla verim eldesi için, uzun filtre kullanılmasıdır. Bu iki uyumsuzluğu gündemden kaldırmak için, bölümler halinde filtre kullanmak gerekmektedir.

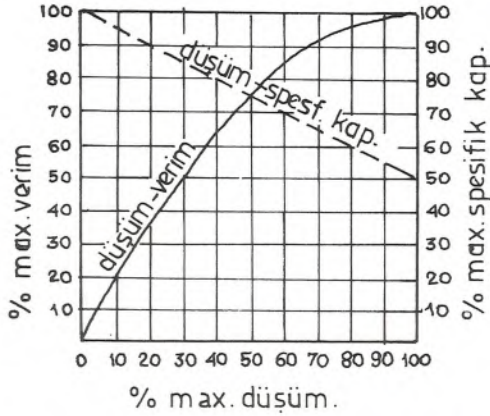
Mevcut (elde edilen) düşüm, statik su seviyesi ile filtrenin üst kısmının biraz üst tarafındaki veya hemen filtre borusu üstündeki nokta arasındaki mesafe olmalıdır. Yani kuyuda yapılacak bir pompajla elde edilecek dinamik su seviyesinin maksimum kuyu filtresinin üst bölümünde oluşmasına özen gösterilmelidir. Anlatılan bu koşulların sağlanabilmesi için, kuyu filtresinin akifer bölümünün taban veya en alt kısmına yerleştirilmesi gerekmektedir.

Şekil 4 homojen bir akifer ortamda açılan bir kuyuda yapılacak en uygun projeyi göstermektedir.

Bu tür akifer ortamda, su içeren malzeme kalınlığının 2/3 ünün penetre edilmesi pratik değildir. Şekil 5' teki örnek göstermektedir ki, böyle bir ortamda açılan bir kuyuda %65' lik maksimum düşüm ile kuyudan %88' lik maksimum verim sağlanır. Şayet düşümü %95'lik bir değere çıkarmak mümkün olsaydı, kuyudan maksimum %99'luk bir verim sağlanabilecektir. Burada açıkça görülmektedir ki, düşüm oranında yapılacak %34' lük bir artışa karşılık, kuyudan elde edilen verimde sadece %11'lik bir değer artışı sağlanabilmektedir.



Şekil 4. Homojen bir akifer ortamında açılan kuyuda yapılacak en uygun filtreleme modeli.



Şekil 5. Max. verim, max. ortamda açılan kuyuda yapılacak en uygun filtreleme modeli.

Homojen Su Tabanlı Olmayan Akiferler

Bu tip akifer ortamlarda açılan kuyularda uygulanacak proje prensipleri, homojen su tabanlı akifer ortamlarda açılan kuyu proje prensipleri ile aynı özelliktedir.

Burada uygulanması gerekli yegane prensip değişik-

liği; ortamdaki su tablasının özelliği itibariyle, kuyudan elde edilebilecek maksimum verimin sağlanabilmesi için, gerekli düşümü elde edebilmek amacıyla, filtre seksiyonunun, permeabilitesi en yüksek tabakanın en alt bölümüne, konması zorunluluğudur.

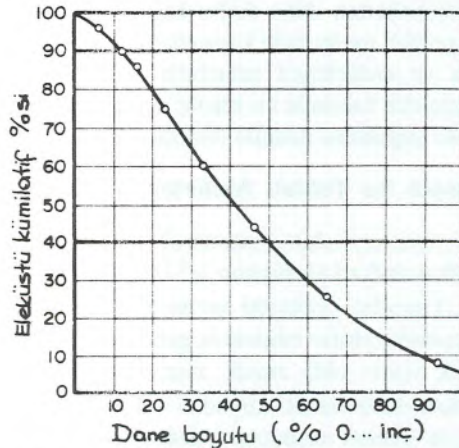
KUYU FİLTRE YARIK AÇIKLIKLARI

Doğal ortam içinde geliştirilmiş kuyular için, su taşıyan formasyonları temsil eden örnekler üzerinde yapılan elek analizi verilerine göre, kuyu filtre yarık açıklıkları seçilir.

Her örnek için bir kum analiz eğrisi çizilir. İyi uniform kumdan oluşan homojen bir formasyon için, seçilecek filtre yarık açıklığı, kum kalınlığının %40-50 sini karşılayacak şekilde olmalıdır.

Şekil 6, da da görüleceği üzere, doğru filtre yarık açıklığının belirlenmesi için, grafik üzerindeki %40 noktasından geçen yatay çizginin kum analiz eğrisini kestiği noktadaki değer alınır. Şekil 6' da, iyi uniform kumdan oluşan bir ortam için, dane dağılım eğrisi örneği gösterilmektedir. Bu ortam için seçilecek filtre yarık açıklığının, 0.008 inç olacağı görülmektedir. Ancak bu boyut, filtrenin kum kalınlığının %40 lık bölümünü karşılayacak şekilde konması halinde geçerlidir. Şayet filtre boyu kum kalınlığının %50' sini karşılayacak şekilde yerleştirilirse, bu durumda seçilecek en uygun boyut 0.006 inç olmaktadır.

Alınan örneklerin güvenilirliğinde bazı şüphelerin olması ve yeraltısuyunun kısmen korrozif olması durumlarında, %40' lık filtre boyutu seçilmesi uygundur.



Şekil 6. İyi uniform kumdan oluşan bir ortam için dane dağılım eğrisi.

Bu şartların tersi durumda ise, %50' lik filtre boyutunun tercih edilmesi en uygun seçimdir. Suyun korrozif özelliğinde olması durumunda, başka koruyucu önlemlerin alınması daha yaygındır. Filtre açıklıklarının genişletilmesi, bu tedbirlerden birini teşkil etmektedir. Ancak, filtre açıklıklarının genişletilmesi, korrozyona karşı bir tedbir olmakla birlikte, kuyuya kum ve silt malzemenin girişi gibi olumsuz bir etki ile de sonuçlanabilir.

Kuyu projecisinin, iyi nitelikli kum ve çakıldan oluşan homojen bir formasyon için, filtre açıklığı belirleme konusunda geniş bir seçme şansı vardır. Kum ve çakıldan oluşan bir formasyonun dane dağılım eğrisi, sadece iyi ve uniform kumdan oluşan bir formasyona ait dane dağılım eğrisinden daha düzdür. Açıklık boyutunda yapılacak binde oranında değişiklikler kuyu filtre açıklıklarından kuyu içine girecek malzeme oranında bir farklılık oluşmasına neden olabilir. Bu nedenle, filtre yarık açıklık boyutunun seçimi, kum boyutunun % 30-50, sine karşılık gelecek filtre uzunluğuna göre seçilmelidir. Eğer açıklık boyutu, filtre uzunluğunun % 30' luk orana karşılık durumuna göre seçilmişse, işletme sürecinde kuyu filtrelerinden içeri daha fazla malzeme girer. Giren malzemede artış olması, kuyunun işletmeye hazır duruma getirilmesini sağlayacak geliştirme işlemleri için daha fazla zamanı gerekli kılar. Böylece, ekstra bir geliştirme maliyet artışı meydana gelir. Bu durumu dengelemek için, filtre açıklık alanlarında yeni düzenlemeler yapmak gerekir. Suyun kabuk yapıcı (incrustant) özellikte olduğu yerde, tıkanmadan önce yapılan uzun süreli işletmenin, kuyu verimini azaltan bir etki yapacağı söylenebilir. Geniş filtre açıklığı da, filtre etrafındaki materyalde kalın bir zon oluşturmaya neden olabilir. Bu durumda, genellikle kuyunun spesifik verim kapasitesini artırır.

Örneklerin gerçeğe uygunluğu hakkında, bazı şüphelerin olması durumunda, açıklık boyutunun seçiminde daha koruyucu seçimler yapılır. Örneğin akiferin ince ve iyi dane dağılımı olmayan bir materyal tarafından örtüldüğü ve daha uzun gelişme zamanına ihtiyaç duyulduğu durumlarda bu tür önlemlere başvurulmalıdır. Böylesi koşullarda, açıklık boyutları akifer materyalinin %40-50' sine karşılık gelecek şekilde seçilmelidir.

Homojen olmayan formasyonlar (tabakalı akiferler), doğada daha fazla bulunan durumlardır. Homojen olmayan bu tür ortamlarda kullanılacak filtre açıklık boyutları, her akifer seviyenin özelliğine göre, ayrı ayrı belirlenir. Bu durumlarda, çok yönlü filtre seçimi için,

aşağıda verilen iki ilave kurala da başvurulmalıdır.

Kural-1: Şayet, iyi nitelikli malzeme kalın malzeme üzerinde yayılmışsa, kuyu filtre açıklıkları 2 ft (1ft=0.3048 m) i geçmeyecek şekilde ayrı ayrı seçilir. İnce malzeme için, daha az sayıda yarık içeren filtre, kalın malzeme için, daha fazla yarık içeren filtre seçilir.

Kural-2: Şayet, iyi nitelikli malzeme kalın malzeme üzerinde yayılmışsa, kaba kum içine yerleştirilecek filtrenin yarık boyutu, üstteki iyi nitelikli malzeme içine yerleştirilecek filtrenin açıklık boyutunun iki katından daha fazla olmamalıdır.

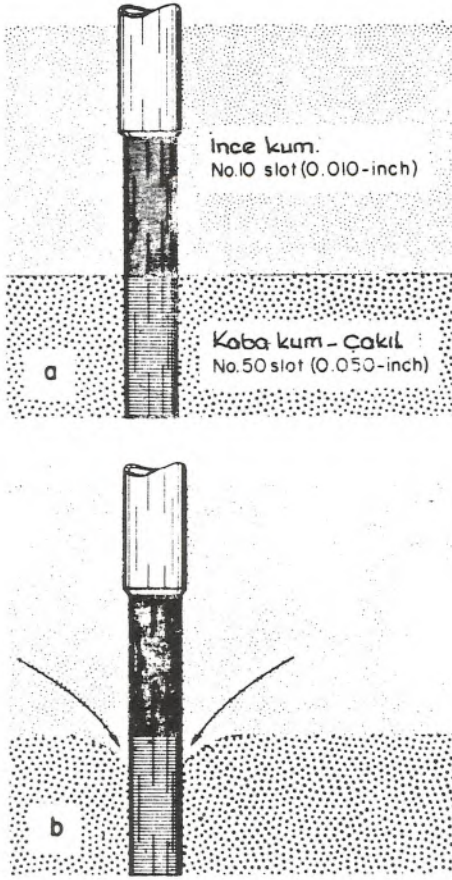
Akiferin, tabanından tavanına olan derinlikteki ayrı seviyelerin, tam olarak tanımlanamaması durumunda, yukarıda verilen kuralların tatbiki ile, pompaj esnasında kuyuya girecek kum oranında, minimum bir değer sağlanmış olur.

Yarık boyutlarının seçimine ilişkin şartnameler, kuyu geliştirme sırasında filtre açıklıklarından kuyuya girebilecek materyalin, %60 oranında engellenmesini sağlayacak önlemin alınması zorunluluğunu şart koşar. Bu şart sağlanmadığı takdirde, Şekil 7' de görüldüğü gibi, filtre çevresindeki malzemede bir oturma meydana gelir ve bu oturma sonucu oluşan boşluğu, üst tarafta yer alan daha ince malzeme doldurur.

Şekil-7; Şekil-8 deki kum analiz eğrilerinde gösterilen, 25ft. kalınlığındaki bir artezyen akiferin iki değişik tabakasına göre çıkarılmış eğri analizlerine göre yapılmış bir kuyu tasarımını göstermektedir.

Şekilde de görüleceği üzere, en iyi tasarım akifer kalınlığının 18 ft. lik bölümünün filtrelenmesidir. Bunun anlamı, filtrenin uzunluğunun yarıdan daha fazlasının akiferin en permeabl seviyeleri içine yerleştirilmesidir. Çeşitli durumlarda değerlendirmeler yapabilmek için, elde edilen tüm bilgileri içeren bir tasarım tablosu örneği aşağıda verilmektedir(Çizelge 2).

Her seviyenin kalınlığı, derinliği ve her örneğin efektif dane boyutu ile, her örneğin boyutunun % 40' ı öncelikle tabloya konur. Daha sonra izafi permeabiliteyi göstermek için, tabloya efektif çapın karesi konur. Bu bilgilere bağlı yarık boyutlarının, % 40' ın alt ve üstündeki değerleri tabloda gösterilir. Bu değerler, altta veya üstteki diğer tabakaların mevcudiyetini dikkate almaksızın, her seviyede uygulanacak filtre için dikkate alınabilecek değerler olmalıdır.



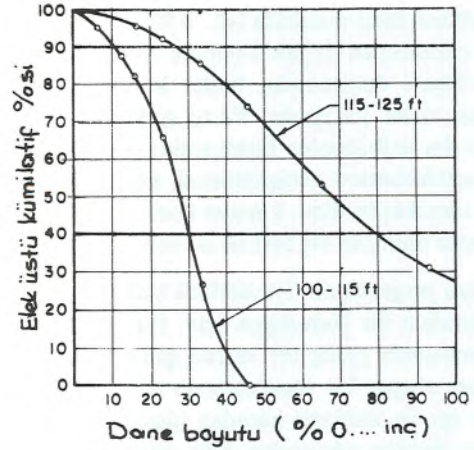
Şekil 7. Şekil 8'deki duruma göre yapılmış filtreleme örnekleri

Çizelge 2. Kuyu tasarımı için gözönünde bulundurulacak parametrelerin karşılaştırılması.

Derinlik ft.	Kalınlık ft	Efektif dane boyut %inç	Efektif boyutun karesi	Mümkün filtre açıklıkları %inç		
				Min.	%40 alıkoyan	Max.
100-115	15	10	100	28	30	30
115-125	10	26	676	68	80	95

Sadece iki seviyeden oluşan bir formasyonda kullanılacak filtre yarık açıklıkları, bir tablo düzenlemeye gerek duyulmaksızın isteğe bağlı olarak seçilebilir. Ancak, bahse konu edilen tablo, farklı dane dağılımındaki materyal örneklerinin geniş bir sayısında bahse konu edilen, farklı dane dağılımındaki karşılaştırma yapma fırsatını verdiğinden, oldukça kullanışlıdır.

Yukarıda örneğini verdiğimiz durumda, ortalama



Şekil 8. 25ft. kalınlığındaki bir artezyen akiferin iki değişik tabakasına göre çıkarılmış eğri analizleri.

koşullar, materyalin %40' ına karşılık gelecek yarık açıklığına ilişkin bir projedir. Bu örneğe göre, en üst tabaka için, filtre bölümü No 30 yarık açıklığına, alt tabaka için ise, No 80 yarık açıklığına sahip olmalıdır.

Burada kural-1 uygulanırsa, en iyi açıklığa sahip filtrenin 2ft. uzunluğundaki bölümü, su içeren materyale karşı gelecek şekilde, en alt bölümde yerleştirilmelidir. Bunu örneğimizle bağlarsak, 117ft. de, No 30 yarık açıklıklı filtre en düşük limite yerleştirilir. Bu nedenle, filtrenin 10ft.lik en üst bölümü, yani 107-117 ft.arası, No.30 yarık açıklığına sahip filtre ile teçhiz edilmelidir.

Şayet burada kural-2 uygulansaydı, filtrenin 8ft. uzunluğundaki alt bölümü için, No 80 yarık aralığına sahip filtre seçilebilirdi. 80, 30' un iki katından daha fazla değerde olduğundan, kural-2 ihlal edilmiş olabilirdi. Kural-2' ye uyum sağlamak için, en son 1 ft. uzunluk-taki bölümde, No 80 açıklıklı filtre ile No 30 açıklıklı filtre arasına girecek şekilde, No 60 açıklıklı bir filtre kullanılmalıdır. Bu durumda teçhiz dizaynı aşağıdaki şekilde olur.

107-117ft.: No 30 yarıklı 10 ft.uzunluğunda

117-118ft.: No 30 yarıklı 1 ft. uzunluğunda

118-125ft.: No 80 yarıklı 7 ft.uzunluğunda

Katmerli filtre kullanılması, maliyeti artıran bir faktör olması nedeniyle, kuyu dizayncısının filtrelemeyi ihtiyatlı bir biçimde düzenleyebilmesi için, kuyunun bulunduğu çevre koşullarını iyi incelemesi ve bunlara

uyum sağlaması gereklidir. Her değişik tabaka ile uyum sağlayacak uygun filtre kullanılması, kuyudan en yüksek kapasitenin elde edilmesini sağlarken, kuyuya girecek kum oranında da minimum düzeye inilmesini sağlar.

KUYU FİLTRE ÇAPI

Kuyu hidroliğinin analizleri göstermiştir ki, bir kuyu içine konan teçhizin çapı, kuyu verimini veya spesifik kapasiteyi önemli oranda etkilemeksizin değiştirilebilir. Kuyuda kullanılacak filtrenin çapının iki kat artırılması kuyunun spesifik kapasitesini sadece yaklaşık % 10 oranında yükseltir, diğer özellikler ise aynı kalır.

Filtre çapı, zorunlu olan bir prensibi yerine getirmek amacıyla seçilmelidir. Bu prensip, suyun kuyuya girişinde hızın etkilenmeyeceği şekilde filtre aralıklarının ve toplam yüzey alanının sağlanabileceği çapta filtre borusu seçmektir. Filtre uzunluğu, kumlu malzemenin kalınlığına, filtre aralığı ise, dane dağılımına bağlı olarak belirlenir.

Laboratuvar deneyleri ve arazi araştırmaları, filtre giriş hızının 0.1ft/s' ye eşit veya bu değerden az olması durumunda, aşağıdaki kuralların geçerli olduğunu göstermiştir.

1-Filtre açıklıklarındaki sürtünme kayıpları ihmal edilebilir.

2-Incrustant (kabuk bağlama) oranı minimum düzeyde kalacaktır.

3-Korrozyon etkisi ve oranı minimumda kalacaktır.

Giriş hızı; filtredeki toplam açıklık alanı ile kuyunun beklenen debisinin birbirine bölünmesiyle hesaplanır. Şayet, hesaplanan değer 0.1 ft/s' den büyük ise giriş hızının 0.1 ft/s değerinin altına düşürülmesi için, yeterli filtre açıklık alanının sağlanması amacıyla, filtre çapı yükseltilebilir.

Diğer taraftan, eğer hesaplanan giriş hızı, 0.1 ft/s' den küçük ise (örneğin 0.05 ft/s), filtre çapı bazı durumlarda azaltılabilir. Açıklık alan yüzdesi fazla olan kuyu filtresinin, maliyete bir avantaj sağlaması için, bazı giriş hızlarında filtre tiplerinin karşılaştırılmasının yapılması gereklidir. Giriş hızının, 0.1 ft/s limitinin altında kalmasını sağlamak için, filtre çapı mümkün olduğunca geniş seçilmelidir.

Yukarıda bahsedilen durumlarda, kuyu pompasının

filtre zonu üzerinde yerleşeceği kabul edilmiştir. Bu sayede kuyunun üst bölümündeki filtre içine olacak düşey akışlar küçük olacaktır.

Aşağıda verilen Çizelge-3, filtre yarıçap açıklıklarının değişen genişlikleri için ve filtrenin her boyutu için, filtrede olması gerekli filtre açıklık sahasını tesbit etmeye yardımcı örnek bir tablodur. Kuyu filtresi üreten firmalar, kendi üretim özelliklerine göre bu tür tablolar vermektedirler.

Çizelge 3. Teleskopik Johnson filtre boyut tablosu

Nominal filtre boyu T _U , inches	Filtrenin her birim uzunluğundaki giriş alanı (in ²)						
	Slot No. 10	Slot No. 20	Slot No. 40	Slot No. 60	Slot No. 80	Slot No. 100	Slot No. 150
3	10	19	32	42	43	55	65
4	14	26	44	57	58	74	88
5	18	33	55	72	73	94	112
6	21	39	65	85	87	111	132
8	28	51	87	113	116	131	160
10	36	65	110	143	147	166	203
12	42	77	130	170	174	180	223
14 OD	38	71	123	163	177	198	251
15 OD	39	76	132	171	190	217	268
16 OD	35	69	123	164	171	198	250
18 OD	39	78	139	186	193	224	283
20 OD	47	88	156	209	218	252	318
24 OD	46	87	158	217	266	307	389
26 OD	49	91	166	227	278	321	406
30 OD	57	108	192	268	329	379	480
36 OD	65	124	224	307	376	434	550

FİLTRE TRANSMİSSİBİLİTE KAPASİTESİ

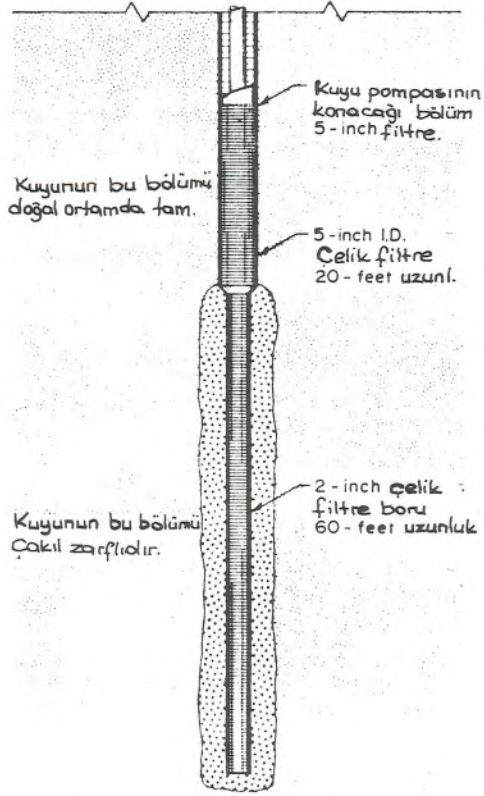
Kuyu filtresinin iletme kapasitesi, filtrenin her foot uzunluğu için galon/dakika olarak tanımlanır. Giriş hızının 0.1 ft/s olarak kabulü durumunda, açıklık alanından hiçbir güçlük olmaksızın, geçen su olarak hesaplanır.

Örneğin, 60 numaralı 8 inçlik bir Johnson filtresindeki açıklık alanı, filtrenin her birim ft uzunluğu için, 113 ft² dir. Geçirme kapasitesi 0.31x 113 veya filtrenin her ft uzunluğu için, 35 gpm' dir. Çizelge 3' de de görüleceği gibi, açıklık alanının inç karesinin sayısını çoğaltmak için, 0.31 değerinde bir faktör kullanılmaktadır.

Kabul edilmelidir ki, bir kuyu filtresinin geçirme kapasitesi, kabul edilen giriş hızında, filtrenin hidrolik bir karakteristiği olup, filtre karşısına gelen su taşıyan formasyonun verim kabiliyetinin bir ölçütü değildir.

Filtre boru karşısına veya iki filtre bölümü arasındaki kapalı boru karşısına, pompa monte etmek gerektiğinde, belirlenecek en düşük pompa seviyesi, (Bkz.Çizelge-1) belirlenebilir. Seçilen pompa seviyesinin altındaki kuyu bölümündeki filtreli bölümler, giriş hızı koşullarının dikkate alınmasıyla, daha küçük çapta olabilir.

Şekil-9' da bu tasarım şekline bir örnek verilmektedir.



Şekil 9. Çizelge 1'e göre belirlenmiş bir pompa seviyesinin altında düşük çaplı filtre kullanımını gösteren tasarım.

Şekilde görüldüğü gibi, 50 gpm kapasiteli bir pompa, formasyonun en üst bölümündeki geniş çaplı teçhiz içinde pozisyonlandırılmıştır. Alt bölümdeki 60ft. uzunluğundaki formasyon, boydan boya 2 inç çapında bir filtre ile teçhiz edilmiştir. Bu özel durumda, kuyu bütün derinliği boyunca aynı çapta delinmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, pompanın yerleştirildiği üst bölümdeki 5 inç çaplı filtrenin dışı, tamamen doğal malzemeden oluşmakta ve alttaki 2 inç çaplı filtrenin dışı ise, suni çakıl zonu ile çevrelenmektedir.

MATERYALİN SEÇİMİ

Kuyuya indirilecek filtre malzemenin seçiminde, üç hususu göz önünde bulundurmak gereklidir.

1. Suyun mineral içeriği.
2. Bakteri içeren çamurlu seviyelerin varlığı
3. Gerekli olan filtre uzunluğu.

Yeraltı suyunun mineral içeriği alınan su örneklerin-

de yapılacak kimyasal analizler ile elde edilmiş olabilir. Genellikle, yapılacak bir kimyasal analiz çalışması, yeraltısuyunun korrozif (aşındırıcı) veya incrustant (çökteltici, kabuk yapıcı) özellikte olup olmadığını ortaya koyar. Bazı durumlarda su her iki özelliğe de sahip olabilir.

KORROZİF SU

Kuyudaki teçhizin filtreli bölümünün, korrozyona karşı etkilenmesi, kapalı boruya oranla daha fazladır. Önlem olsun diye, filtre açıklığının sadece inç' in birkaç binlik oranda artırılması sonucu yapılan genişletme, kuyuya girecek kum ve ince malzemenin artmasına neden olacaktır. Diğer taraftan korrozyon, teçhiz duvar kalınlığının 1/8, 1/4 inç boyutunda incelmeye neden olabilir ve bu yüzden, kuyuya istenmeyen suyun girişi veya kuyunun çökmemesini sağlayacak yeterli teçhiz kalınlığının kalmamasına neden olabilir. Bu nedenle, kuyu teçhizatında, korrozyona dayanıklı veya mukavemet gösteren metalden yapılmış malzemelerin, kullanılması önemlidir.

Korrozif sulara ilişkin aşağıdaki listede verilen göstergeler kuyu tasarımcısına, korrozyon koşullarının potansiyelini belirleme konusunda, yardımcı olabilir:

1. Düşük pH: Eğer, suyun pH değeri 7' den küçük ise, bu durum suyun asidik ve korrozif özellikte olduğunu gösterir.

2. Çözünmüş Oksijen: Eğer, sudaki çözünmüş oksijen oranı 2ppm miktarında ise, su korrozif demektir. Çözünmüş oksijen oranı, sığ su seviyeli kuyularda oldukça yüksek değerde olabilir. Ancak, çözünmüş oksijen oranının, doğru biçimde tayin edilmesi, oldukça güçtür.

3. Hidrojen Sülfid: Hidrojen sülfid'in mevcudiyetini, sudaki çürük yumurta kokusundan anlayabiliriz. Bu maddenin, sudaki 1 ppm' den daha az miktarı dahi, şiddetli korrozyona neden olur. Sudaki hidrojen sülfid oranı, koklama veya test ile saptanabilir.

4. Toplam Çözünmüş Katı Maddeler: Eğer sudaki çözünmüş mineraller, 1.000 ppm miktarındaysa, suyun elektriksel kondüktivitesi (EC) ciddi elektrolitik korrozyon yaratmak için yeterli düzeydedir. Bundan sakınmak için, korrozyona dayanıklı metalden yapılmış kuyu filtrelerinin kullanılması gereklidir.

5. Karbondioksit: Şayet bu gaz, suda 50 ppm ora-

nında mevcut ise, bu o suyun korrozif özellikte olduğunu gösterir.

6. Klorid: Suda 500 ppm oranında klorid bulunması, suyun korrozif özellikte olduğunu gösterir.

Yukarıda sayılan bu korrozif maddelerin herbirinin suda bulunması suyun korrozif etkisini giderek artırır.

Yani, bu korrozif madde sayısı suda arttıkça, suyun korrozif özelliği artar.

INCRUSTANT (KABUK YAPICI, ÇÖKTÜRÜCÜ) SU

Kabuk yapıcı sular içerdikleri mineralleri, filtre yüzeyine ve filtre dışındaki formasyonun poroz ortamlarına depolamaya eğilimlidirler. Bu nedenle, zaman içinde bu tür depozit maddeler, filtre ve formasyon boşluklarının her ikisininde tıkarlar. Suyun kabuk yapıcı özellikte olduğunu gösteren belirteçler şunlardır:

1.Yüksek pH: Sudaki pH değerinin 7.5' dan büyük olması, suyun kabuk yapma eğiliminde olduğunu gösterir.

2.Karbonat sertliği: Şayet yeraltısuyundaki karbonat sertliği, 300 ppm oranında ise, kalsiyum karbonat birikimi (çökmesi) yüzünden, bir kabuk yapma olayı gelişir.

3.Demir: Şayet, suda 2 ppm oranında demir varsa, demir çökmesine bağlı, bir kabuk yapma olayı söz konusudur.

4.Manganez: Şayet suda 1.0 ppm oranında manganez bulunursa, manganez çökmesine bağlı, kabuk yapıcı olay meydana gelir.

Kabuk yapıcı özellikli yeraltısuyundan oluşan mineral birikimlerini çözmek için, zaman zaman kuyu içine, seyreltik hidroklorik asit sevk edilir. Bu tür su taşıyan formasyonlarda açılan kuyularda kullanılan kuyu filtreleri, asit davranışlarının korrozif etkisine mukavemet göstermek için, korzyona dayanıklı malzemeden yapılması gerekmektedir.

Bazı ortamlardaki yeraltısularında bakteriler (yaygın olarak demir bakterileri) bulunabilir. Bu bakteriler, sağlığa zararlı değildir. Demir bakterileri, su taşıyan formasyondaki poroz ortamlar ile filtre açıklıklarını tıkayan özellik göstermeleri nedeniyle, sıkıntı veren organizmalardır. Bu bakteriler, aynı jel yoğunluğunda yapışkan maddelerin birikimine neden olarak, demir ve

manganezin okside olmasını sağlamakta ve bozuşmayı hızlandırmaktadır. Hızlanan mineralizasyon ve organizmaların birleştirilmiş etkileri nedeniyle, kuyuda kısa zaman içinde tıkanmalar oluşur. Karşılaşılan durumlar göstermektedir ki, bir yılın 3 aylık bir periyodunda kuyu veriminde %75 mertebesinde bir azalma meydana gelebilmektedir.

Bu tür organizmaların yok edilmesi için, etkili bir davranış, organizmaların yanmasını sağlayan kuvvetli klorin içeren bir çözeltinin kullanılmasıdır. Bunu sağlayacak maddelerden biri, seyreltilmiş hidroklorik asittir. Bu madde, pompajla kuyu içine enjekte edilir ve bu sayede ortamdaki bu tür maddelerin bertaraf edilmesi sağlanır. Kuvvetli klorin solüsyonlarının korrozifliğinin yaratacağı olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması için, kuyularda korzyona dayanıklı maddelerden oluşan teçhiz boruları kullanılmalıdır.

FİLTRE MUKAVEMETİ

Bazen kuyu filtre malzemesinin seçimi, mukavemet gerekliliğine bağlıdır. Filtrelerdeki kolon yükü ve çökme basıncı önemle dikkate alınmalıdır. Filtre boru dışındaki boşluklu materyaller ve yer basıncı, filtrenin ezilip sıkışmasına neden olabilir. Bu nedenle, filtre malzemesinin iyi bir kolon ve çökme dayanımına sahip olması gereklidir. Filtrenin kolon ve çökme yüklemeye gerilmesine karşı olan mukavemeti, fabrikasyon filtrelerde kullanılan malzemenin elastisite modülü ile orantılıdır.

Dayanıklılığın artırılması için, kuyu filtrelerinin bakır yerine, paslanmaz çelikten yapılması gerekir. Ancak, suyun kalitesi gereği, bakır filtrenin kullanılması tercih edilebilir.

Kuyu teçhizinde, dayanıklılığın artırılması amacıyla, filtre alanlarının daraltılması doğrultusundaki uygulama tercihleri, iyi bir tasarım tekniği değildir. Filtrenin ikinci bir amacı, sürtünme kayıplarını mümkün olabilecek en küçük seviyeye indirerek, yeraltısuyunun kuyuya girişini sağlamaktır. Filtre, yüklere karşı koyabilmek için uygun mukavemete sahip olmalıdır.

ÇAKIL ZARFI TASARIMI

Suni çakıl zarfı oluşturulan kuyu, doğal ortamda direkt olarak açılan kuyuya göre, farklılıklar gösterir. Kuyu çakıl zarfı; kuyu filtresi ile kuyu cidarı arasındaki homojen boyutlu ortamı dolduran, kuyuya ince malzeme girişini önleyen, daha geçirgen malzemeden oluştu-

ruhan bir zondur. Doğal ortamda açılan kuyularda ise, bu görevi yapacak malzeme, kuyuda yapılan uzun süreli geliştirme çalışmaları sonucu doğal formasyonun kuyuya yakın bölümünde, daha geçirgen olan bölgedir. Her iki durumda, kesin olan hidrolik sonuç, kuyunun efektif çapında bir artış sağlamaktır.

Doğal ortamda açılmış kuyularda, doğal formasyonun %40' lık bölümünü karşılayacak şekilde filtre kullanıldığında, geliştirme çalışmaları sonucunda, bu boyutu oluşturan açıklıkların %60' ından su girişi olabildiği görülmüştür. Kuyu çakıl zarfının oluşturulmasında, formasyondan kuyuya girebilecek materyalin önlenmesi amacıyla, suni olarak boyutlandırılmış çakıl malzeme kullanılır. Ancak, bu bölümde kullanılacak malzemenin de kuyuya girmemesi için, uygun açıklıklı filtre seçmek şarttır. Suni çakıl zarfı olmaksızın açılan kuyulara göre daha fazla olmasına karşın, bazı koşullarda suni çakıl zarfının maliyeti oldukça ucuzdur. Bazı jeolojik koşullar, suni çakıl zonuna yardımcı özellik gösterirler. Bu durumda, maliyet karşılaştırmalarına bakılmaksızın, bir tasarım sistemi gözönünde bulundurulmalıdır.

Kesin bilinen bazı ortam koşulları, suni çakıl zonu oluşturulması gerekliliğini gündeme getirirler. Bu durumlara ilişkin bazı örnekler aşağıda verilmektedir.

İyi Uniform Kum: Bu tip formasyonda, filtrenin geniş açıklıkta kullanılacağını varsayarak, çakıl zonu oluşturulmasında, bu durum dikkate alınmalıdır. Bu tip formasyonlarda açılan kuyularda, genel olarak filtre açıklığı büyük olan filtre kullanılır. Eğer, doğal ortamda geliştirilmiş bir kuyuda, filtre için yarık açıklığı seçilirse, bu boyut 0.010 inçten küçük olmalıdır. (No.10 slot). Bu limitten, zaman zaman sapmalar olabilir ki, bu da suyun mineral konsantrasyonuna bağlıdır. Eğer, su aşırı derecede kabuk yapıcı özellikte ise, bu limit 0.010 inç yerine 0.015 veya 0.020 inç olarak kullanılabilir.

Kalın Artezyen Akifer: Bu tip akiferlerde, uzun boylu filtre kullanılması ve kuyu pompasının filtrelenmiş bölümün üstüne konması gerekir. Yine bu tip akiferlerde, daha kısa boyda filtre kullanılması tercih edildiği zaman, filtreli bölüm akiferin merkezine gelecek şekilde yerleştirilir ve filtre kuyu cidarı arasında çakıl zonu oluşturulur.

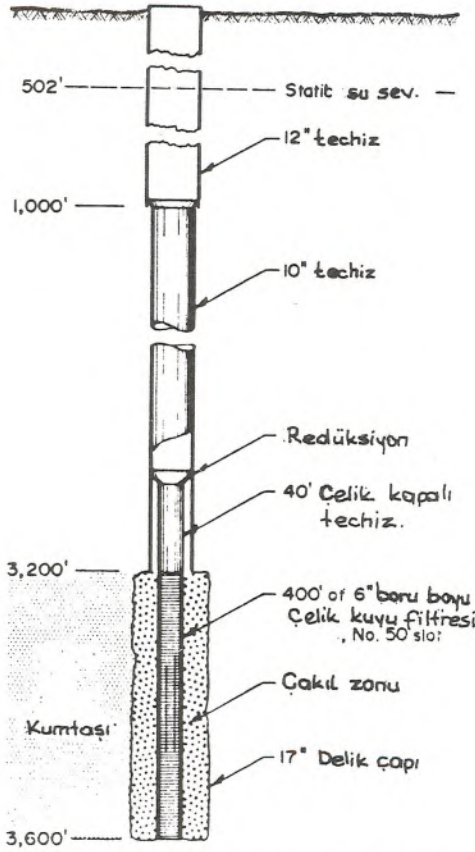
Gevşek Çimentolu Kumtaşı: Birçok iyi akifer nitelikli kumtaşı, az çimentoludur. Böyle bir ortamda açıl-

lan kuyuda teçhiz yapılmamışsa, kuyu cidarındaki kum taneleri kuyu tabanına çöker ve pompaj esnasında su ile birlikte kum çekilmesine neden olur. Birçok kumtaşı formasyonunun, iyi dane boyutuna sahip olması yüzünden, bu tür ortamlarda açılan kuyularda, kullanılacak filtrelerin açıklığı, 0.005 inç veya daha küçük boyutta seçilmesi gereklidir. Bu nedenle, her formasyon için, filtre ile kuyu duvarı arasında; dane boyutu filtre yarık açıklığından daha büyük boyutta çakıldan oluşan bir malzemeyle, suni çakıl zarfı oluşturulması gerekir.

Kumtaşı akiferlerde uygulanan çakıl zonu için, gözardı edilmemesi gerekli diğer bir sonuçta, genellikle formasyon materyalinin filtre için küçük ve yanal olmayan destekler sağlamasıdır. Filtre karşısına gelen bu formasyon (konsolide olmamış kumtaşı dışında) kuyudaki pompaj geliştirmesi süresince çökme ve oyulmalara fırsat vermez. Açılan kuyu deliğine filtrenin yerleştirilmesinden sonra, kuyu cidarı ile filtre arasında, bazı boşluk alanlar kalabilir. Bu durum, formasyon malzemesinin bu boşluklara çökerek filtre ile yüzyüze gelmesine ve süreç içinde filtrenin zarar görmesine neden olabilir. Bu tür formasyon kayıplarını önlemek için, kuyu cidarı ile filtre arasında yerelacak bir çakıl zonu oluşturulması zorunludur. Bu zon, aynı zamanda kuyu filtresi etrafını sararak, filtreye yanal destek sağlar. Şekil 10 böyle bir ortamda açılmış bir kuyuya ilişkin tasarım şeklini göstermektedir.

Ardalanmalı Tabaka Yapısına Sahip Formasyonlar:Bazı akiferler, farklı dane boyutuna sahip kum malzemenin oluşan tabakaların ardalanması şeklinde oluşmuştur. Her zaman, bağımsız tabaka birimlerinin kalınlığının ve pozisyonunun saptanması mümkün değildir. Buna bağlı olarak, tabakalaşmaya uygun düşecek katmerli filtre açıklıklı filtre boylarının seçimi de mümkün olmamaktadır. Genellikle, hata şansını minimuma indirmek için, kuyu ile filtre arasında suni bir çakıl zonu oluşturmak en cazip seçenek olmaktadır.

Suni çakıl zonunda, kullanılacak çakılın boyutu, geliştirilen formasyon içindeki en iyi materyal içeren seviyelere dayandırılmalıdır. Şayet, su taşıyan formasyondaki kumlu seviyelerin permeabilitesi ile, suni çakıl zonunda kullanılan malzemenin permeabilitesi arasında farklılık olursa, formasyondan olacak kum akışının sınırlandırılmaması söz konusu olur. Suni çakıl zarfında kullanılan malzemenin, akiferin kumlu seviyelerine göre, daha uniform ve yıkanmış olması nedeniyle, kuyunun permeabilitesi artar.



Şekil 10. Filtre zonu etrafında oluşturulacak çakıl zonunu gösteren tasarım.

MALİYET FAKTÖRÜ

Daha önce suni çakıl zarfı oluşturulan bir kuyunun maliyetinin, doğal ortam içinde çakıl zarfsız olarak açılmış kuyuya göre daha fazla olduğunu söylemiştik.

Bunu yaratan iki ana neden şudur:

- Kuyu delik çapının daha geniş olması nedeniyle daha kalın çakıl zarfı oluşturma gerekliliği,
- Özel olarak boyutlandırılmış çakıl malzemenin satın alınması ve iş yerine nakledilme zorunluluğu.

Kuleye asılı delme ekipmanları ile, iki kat genişlikte çapa sahip bir kuyunun delinmesi, maliyeti kesinlikle iki kat artıracı bir faktördür. Yine geleneksel Rotary sistemle kuyu açarken, matkap tarafından kırılan kırıntı malzemenin ağır ve viskoz sondaj çamuru ile yüzeye taşınması zorunluluğu yüzünden, kuyunun daha geniş çapta açılması gerekmekte ve bu da maliyeti artırıcı bir faktör olmaktadır. Yine aynı şekilde, ters sirkülasyon

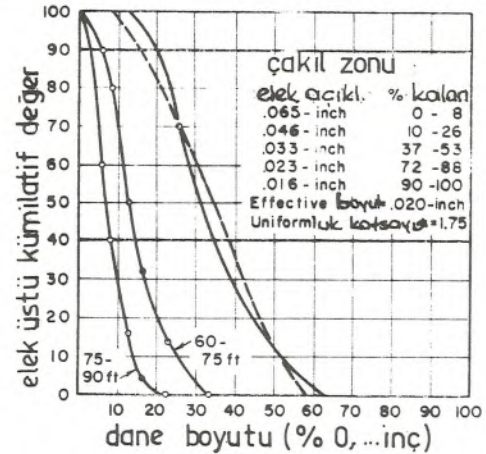
yöntemlerini kullanan ekipmanlarla delinen kuyularda da, geniş çaplı olma zorunluluğu vardır. Açıkça belirtilebilirki, 36 inç delik çapına sahip bir kuyunun maliyeti, 24 inç delik çapına sahip bir kuyuya göre daha fazla olmaktadır. Geniş bir matkap, daha geniş bir sondaj çamuru hendeği, daha fazla çakıl malzeme gereksinimi, ekstra maliyet artışına neden olan durumlardır.

ÇAKIL ZONUNUN TASARIMI

Çakıl zonu oluşturulurken takip edilecek esaslar şunlardır:

1. Tüm akifer seviyeleri için, elek analiz eğrileri düzenlemek, iyi nitelikli malzeme içeren seviyeleri tesbit etmek ve bu malzemenin elek analizi eğrilerine dayanan çakıl zonu malzemesinin boyutunu seçmek. Şekil 11' de, 30 ft. kalınlıktaki bir akiferde, su taşıyan iki ayrı formasyona ait örneklerin, dane dağılım eğrileri görülmektedir. Örneğimizde en iyi nitelikli materyal, 75-90 ft. ler arasında yer almakta olup, çakıl zonunda kullanılacak malzeme, bu seviyeye ait verilere göre seçilmelidir.

2. Kum formasyon boyutunun % 70'i, 4 ile 6 arasındaki bir faktörle çarpılır. Eğer formasyon iyi nitelikli ise, çarpan olarak 4, şayet kumdan oluşmuş ve uniform değilse, çarpan olarak 6 kullanılır. Bu çarpımların sonucunda elde edilen değerler, dane boyutunun % 70'i olarak grafik üzerine yerleştirilir. Şekil 11' de, 75-90 ft arasındaki kumun boyutu, 0.005 inç'tir. 5 çarpan olarak kullanılırsa, $5 \times 0.005 = 0.025$ inçlik bir değer elde edilir ki, bu dane boyutunun % 70'i'dir. Bu eğri üzerinde ilk nokta olup, çakıl zarfının dane dağılımını temsil etmektedir.



Şekil 11. 30 ft. kalınlığındaki bir akiferde su taşıyan iki ayrı formasyona ait örneklerin dane dağılım eğrileri.

3. Çakıl zarfı eğrisindeki, ilk noktaya doğru çizilen düz çizgi, uniformluk katsayısı 2.5 veya daha az olan bir materyali temsil eder. Bu işlem, çeşitli yolları deneyerek yapılmalıdır. Şekil 11 de yaklaşık 1.75' lik bir uniformluk katsayısına sahip materyali temsil eden eğri kalın çizgi ile çizilmiştir. Bunun biraz farklı durumu da, yine aynı şekil üzerinde kesikli çizgi olarak gösterilmiştir. Bu eğrinin temsil ettiği materyal de, 2.47' lik bir uniformluk katsayısına sahiptir. Bu şekilde yapılan çeşitli değerlendirmeler sonucunda, en uygun materyali temsil eden eğri bulunmuş olur. Örneğimizde de görüldüğü gibi, kalın çizgiyle temsil edilen materyal, kesikli çizgi ile temsil edilen materyale oranla, daha arzu edilen materyal niteliğindedir.

4. İlk aşamada 4 veya 5 boyutlu eleğin seçilmesiyle, çakıl zonunda kullanılacak materyal için şartlar belirlenir. Burada seçilen eleklerin, gerekli yüzde oranı için kabul edilebilir olması gerekir. Elde edilen sonuçlara göre, çizilecek eğri üzerinde bir yayılma alanı (sahası) belirlenir. Bu yayılma alanı, eğri üzerindeki birçok noktada gerekli olan yüzde oranının % 8 altında veya üstünde olabilir. Bizim örneğimizde, en geniş elek 0.065 inçlik bir açıklığa sahip olmalıdır. Eğri, bu elek üzerinde tutulabilen yüzdeyi sıfır olarak göstermektedir. Örneğimizdeki belirlemede, dane boyutu için maksimum kabul edilebilir değer, 8' dir. Bu değerden bir sonra gelen açıklık boyutunun en küçüğü, 0.046 inçtir. Çizilen eğride, bu elek üzerinde % 16 oranında malzeme kaldığı görülmektedir. Bu durumda, izin verilen değeri bulmak için, % 8' lik oran eklenir veya çıkartılır. Böylece, 0.46 inçlik elek üzerindeki yayılım alan genişliği % 10' dan %26' ya kadar olmaktadır. Bu prosüdür, her elekteki kabul edilebilir açıklığı buluncaya kadar tekrarlanır. Şekil 11'de, çakıl malzemenin dane dağılımını kapsayan 5 ayrı açıklıkta elek boyutundan elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Bu çalışmayı yapmak, uygulayıcıya uygun maliyette ve arzu edilen nitelikte çakıl malzemenin temininde gerekli bilgileri verir. Çakıl zonu materyali tasarlanacağı zaman, tasarımı yapan kişinin, hızlı kum filtreleri için, filtrenin lokal kaynağını da düşünmelidir.

5. Son adım olarak, çakıl zonu materyalinin % 90 veya daha çoğunu tutacak filtre açıklıklarının boyutu seçilir. Bizim örneğimizde doğru yarı açıklığı boyutu 0.020 inçtir. Şayet kuyu tasarımcısı bu adımları dikkatli bir şekilde takip ederse, formasyonun dane boyutu ile, çakıl zonunda kullanılan malzemenin dane boyutu, birbirine uyum göstermesi nedeniyle, kuyuya pompaj

esnasında kum girişi önlenmiş olacaktır.

Çakıl zonunda kullanılan materyal, temiz, pürüzsüz ve uniform olmalıdır. Bu karakteristikler, çakıl zonu materyalinin porozite ve permeabilitesini yükseltir. Çakıl zonunda kullanılan malzemenin, kalker parçalarından çok, silis malzemedan oluşması tercih edilir. Çakıl zonunda kullanılacak çakıl malzemedeki kalker oranının üst limiti % 5' tir. Bu durum, asidik özellik gösteren ortamlarda açılan kuyular için, çok önemlidir. Birçok asidik madde, demir veya kalsiyum depozitlerinin (kabuk yapıcılarının) yok edilmesinden ziyade, çakıl zondaki kalker çakıllarının çözülmesini ve kuyuya girmesine neden olur. Çakıl zonu malzemesinde, jips, anhidrit ve şeyl çakıllarının bulunması arzu edilmez.

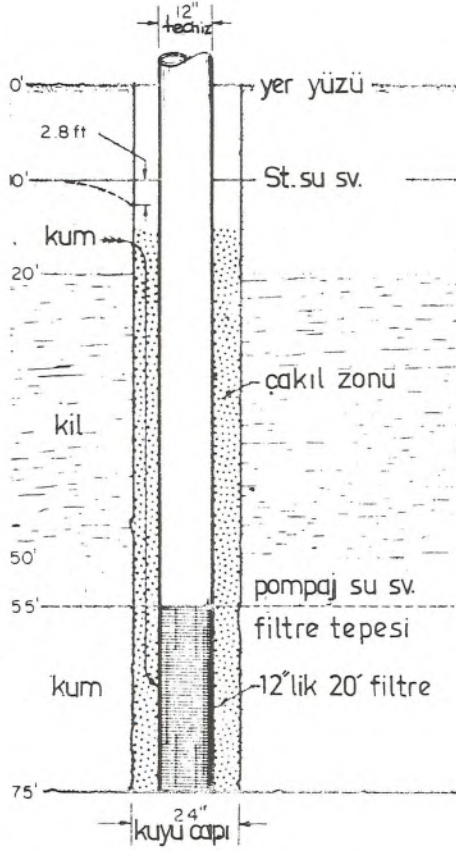
ÇAKIL ZONU KALINLIKLARI

Çakıl zonu dane dağılımının teorik tasarımı, doğal formasyon parçacıklarının mekanik olarak ayrıtlanması esasına dayanır. Bu nedenle, çakıl zonunda kullanılacak malzemenin niteliği ve boyutu yanında, çakıl zarfının kalınlığı da dikkate alınmalıdır. Oluşturulacak çakıl zonu, filtre ile doğal formasyon arasındaki boşluğu tamamen doldurmalıdır. Kuyularda, çakıl zonu kalınlığının minimum 3 inç olması koşuldur.

Bazı durumlarda, çakıl zonu kalınlığının üst limiti yaklaşık 8 inç olmalıdır. Çok kalın çakıl zarfı, kuyunun verimini artırmadığı gibi, formasyon kumunun kuyuya girmesini önleme konusunda da bir fayda sağlamaz. Bu konudaki kontrol faktörü, daha öncede açıkladığımız gibi, formasyon materyali ile, çakıl zarfında kullanılan malzemenin dane boyutlarının uygunluğudur. Çakıl zarfının çok kalın olması, kuyunun geliştirilmesinde olumsuz rol oynar.

Kuyu çakıl zarfının, özel bir avantajı da, suyun kuyuya girmek için, düşey istikamette bu zon içinden hareket edebilmesidir. Bazıları da, kuyu filtresinin üst tarafında bulunan akifer ortamdaki suyun, bu zon sayesinde, kuyu filtresine ulaşabildiğini ileri sürmektedirler. Yine bu kişiler, akiferin sadece alt bölümünün filtrelenmesiyle, çakıl zarfının bu işlevi sayesinde, üst akifer ortamlardan su alınabileceği şartının yerine getirilmiş olacağını iddia etmektedirler.

Bu yanlış durum, Şekil-12' de çizim olarak gösterilmektedir. Bu koşul için, filtre üstünde yer alan akifer ortamlardan çakıl zonu boyunca hareket ederek filtreden kuyuya içine giren su miktarı, kolayca hesaplanabilir.



Şekil 12. Üst akifer seviyeden çakıl zonu boyunca akıp filtreden kuyuya su girişi.

Suyun düşey hareketine imkan veren bu su yolu, örnekte de görüleceği gibi, 24 inç dış çaplı bir kuyu cidarı ile, 12 inçlik filtre borusu arasında kalan dairesel bir alandır. Bu boşluk, yüksek permeabiliteye sahip bir malzeme ile doldurulmuştur (çakıl zonu).

Çakıl zarfındaki düşey hareket için formül:

$$Q=PIA \text{ dır.}$$

Q: Çakıl zonundaki düşey akış miktarı (galon/gün)

1 galon= 4.546 lt.

I: Hidrolik eğim (çakıl zonunda düşey akış anında oluşan)

A: Çakıl zonunun yatay kesitteki yüzey alanı (ft²)

P: Çakıl zonunun permeabilitesi (galon/gün ft²)

Örneğimizdeki suya doymun kalınlık 45 ft.dir. Akiferin orta bölümünden filtrenin orta noktasındaki girişe kadar su yaklaşık 50 ft' lik bir yol katetmektedir.

Bu durumda hidrolik eğim;

$$I=45/50=0.9 \text{ ve } A=2.26 \text{ ft}^2 \text{ dir.}$$

Çakıl zonunun permeabilitesi tahmin edilmelidir. Çakıl zarfları için kabul edilen en üst permeabilite değeri $p=20.000$ (galon/gün/ft²)

Bu değerlere göre üst taraftan kuyu içine transfer olan su miktarı:

$$Q=20.000 \times 0.9 \times 2.26 = 40.600 \text{ galon/gün veya } 28 \text{ gpm dir.}$$

Bu miktar su ise, kuyudan çekilen suyun çok küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Eğer örneğimizdeki akiferin en alttaki seviyesi 800 galon/gün/ft² değerinde bir permeabiliteye sahipse, böyle bir kuyudan her ft' lik düşüm için yaklaşık 10gpm. verim elde edilir. Filtrenin üst seviyesine kadar yapılacak düşüm karşılığında (yaklaşık 45 ft) elde edilecek verim 450gpm' dir. Buradan da açıkça görülmektedir ki, üst akiferden çakıl zarfı boyunca düşey yönde hareket ederek kuyuya giren 28gpm' lik su, toplam verimin sadece % 6 lık bölümünü oluşturmaktadır.

FORMASYON Dengeleyicisi

"Formasyon dengeleyicisi" terimi belli amaçlar için kullanılan dolgu materyalinin tanımlanması amacıyla üretilmiştir. Bu terim, özellikle çakıl zonu için kullanılan uniform boyutlanmış materyalden farklı bir materyali tanımlar. Formasyon dengeleyicisi oluşturan materyalin dane boyutlarının karışımı, daha az uniformdur. Formasyon dengeleyicisi, doğal ortamda açılmış bir kuyuda kullanılan dolgu maddesidir.

Su taşıyan formasyonlarda, Rotary sistemle açılan kuyularda kullanılacak filtre dış çapından biraz daha geniş matkap kullanılması, bir zorunluluktur. Bu matkap boyutu, kuyu delme işleminin tamamlanmasından sonra, filtrenin kuyu cidarına değmeden en alt derinliğe kadar inmesine imkan verecek bir boyuttur. Kuyu açımında kullanılacak matkap çapı, teçhiz borusu çapından 4 inç daha geniş olmalıdır. Bu sayede, kuyu teçhiz borusu çevresinde, 2 inç et kalınlığında bir boşluğun oluşmasını sağlar. Bu boşluğa, kuyunun geliştirme işlemleri sırasında üst akifer zonlardan oyulma ile gelebilecek malzemenin engellenmesi amacıyla, dolgu malzemesi konur.

Formasyon dengeleyicisi olarak kullanılan malzemenin suni çakıl zonunda kullanılan malzeme gibi özel dane boyutuna sahip olması gerekmez. Formasyon dengeleyicisi kullanılan kuyularda, filtre aralığı seçimi, filtre etrafındaki akifer malzemenin gelişmesine izin verecek şekilde seçilmelidir. Formasyon dengeleyicisine rağmen, geliştirme işlemleri sırasında, gerek formasyon dengeleyicisinin içerdiği ve gerekse akifer formasyondaki ince malzemeler kuyu içine girebilecektir. Bu durum, çakıl zonunun gördüğü göreve tezat bir durumdur. Formasyon dengeleyicisi olarak kullanılan malzemenin, filtre çevresini tamamen doldurması, o kadar önemli değildir. Doğal formasyonun tamamen gelişmesini sağlayacak filtre açıklığının seçilmesi ile, tam bir çakıl zarfı oluşturulmasına gerek duyulmaksızın, kuyunun doğal formasyonda kendi koşullarında açılması mümkün olabilir.

FORMASYON DENGELİYİCİSİNİN YERLEŞTİRİLMESİ

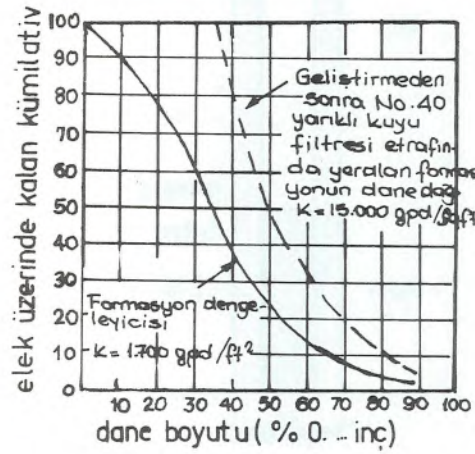
Formasyon dengeleyicisinin yerleştirilmesi için, önceden özel önlemlerinin alınmasına gerek yoktur. (çakıl zarfının oluşturulmasında kullanılacak malzemenin belirlenmesinde olduğu gibi). Bu malzeme, özel alet ve işlemlere gerek duyulmaksızın, sondaj çamurunun sıvıdığı kuyu cidarı ile kuyu teçhizi arasındaki boşluğa yerleştirilir.

Formasyon dengeleyicisinin miktarı, kuyuda kullanılan filtrenin 30ft. üst noktasına kadar olan boşluğu dolduracak miktarda olmalıdır. Kuyu geliştirme işlemleri (pompaj) sırasında, doğal formasyon ve formasyon dengeleyiciden kuyu içine giren malzeme miktarı kadar, formasyon dengeleyicisinde oturma olacaktır. Aslında, doğal formasyon ve formasyon dengeleyicisinden kuyu içine malzeme akışı sayesinde, kuyu cidarını sıvayan kil pastada kopma ve eksilmeler meydana gelir. Kuyu geliştirme çalışmaları devam ettikçe, formasyon dengeleyicisi bulunduğu boşlukta yerleşme ve oturmaya devam eder. Bu durumda, oluşan çalkalanmalar sayesinde, kuyu cidarını sıvayan kil pastanın sökülmesi sağlanır.

Formasyon dengeleyicisinin, kuyu filtresinin üstünde kalan bölümü, kuyu geliştirme çalışmaları yüzünden bir değişime uğramaz. Bu sayede, kuyu geliştirme çalışmaları esnasında, filtrelili bölümün üzerinde yer alan akifer seviyelerden gelecek ince malzeme akışı önlenmiş olur. Kuyu geliştirme çalışmaları, formasyon

dengeleyicisi malzemenin yıkanması ve daha iyi boyutta dizilmesine neden olarak, bu zondaki permeabilitenin artmasını sağlar. Şekil-13'te, formasyon dengeleyicisinin meydana gelen bu değişimin sonuçları gösterilmektedir.

Akifer malzeme örneklerine dayanan testler, No.40 yarık açıklığında bir kuyu filtresinin bu formasyonda kullanılabileceğini göstermektedir. Şekil-13 teki sol taraftaki eğriden, kuyu geliştirme işlemleri sırasında, formasyon dengeleyicisinin % 60'lık bölümünün kuyu içine taşınabileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 13. Formasyon dengeleyicisinin kullanıldığı ilk hal ile kuyuda yapılan geliştirmeden sonraki hal arasındaki permeabilitenin farklılığını gösteren durum.

Formasyon dengeleyicisinin permeabilitesi, bu eğride 1700 galon/gün/ft² olarak görünmektedir. 0.040 inç boyutundan küçük parçacıkların, kuyu içine taşınmasından sonra, dane dağılımındaki değişim, Şekil-13'te sağ taraftaki eğri ile gösterilmektedir. Bu eğride, permeabilite değerinin orjinal değerinin 9 katına çıkarak 15.000 galon/gün/ft² değerine ulaştığı görülmektedir.

Şekil-13'teki şeklin temsil ettiği, formasyon dengeleyicisi tipik beton veya bina yapımında kullanılan kum malzemesidir. Bu nitelikteki bir malzemede, düşük bir maliyetle birçok yerden sağlanabilir. Örneğin kaba kum malzemesi, formasyon dengeleyicisi olarak yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Böyle bir malzemenin, su taşıyan formasyonun gerektirdiği No.20 (0.020 inç) den küçük, filtre açıklığının kullanıldığı yerlerde, dolu malzemesi olarak kullanılması çok uygundur.

EVSEL KULLANMA SUYU SAĞLANAN KUYULARIN TASARIMI

Geniş kapasitede su sağlamayı amaçlayan; endüstriyel gereksinimler, belediye gereksinimleri, sulama gereksinimleri gibi amaçlar için açılan kuyulara ilişkin proje tekniklerinin, çiftlik ve evsel su ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla açılan kuyular için de geçerli olduğunu söyleyebiliriz. Kuyu filtre açıklıklarının, fabrikasyon metalin, gerekli su giriş hızının seçimi önemlidir.

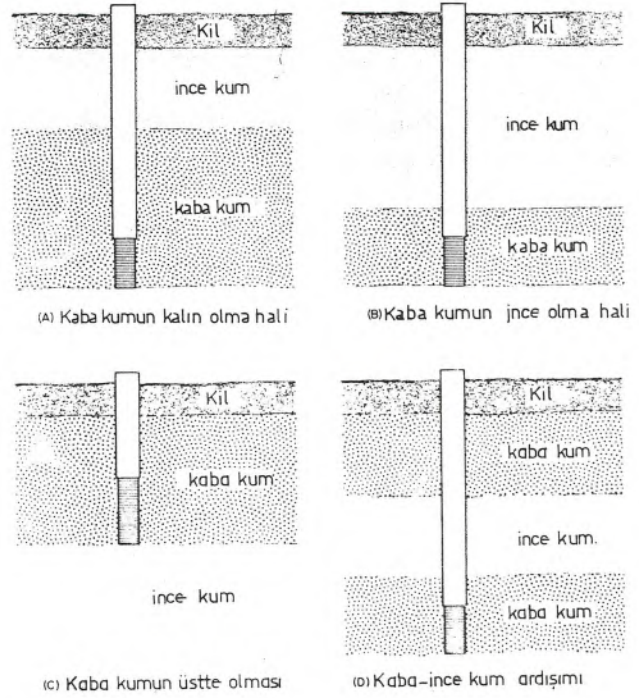
Her yıl gereksindiği su miktarı, 5-30 gpm olan binlerce çiftlik ve ev sahibi, bu amaçlarını sağlamak için kuyu açmaktadır. Bu amaçla açılan kuyularda, nispeten kalın akiferler için uzun filtrelerin kullanılması uygundur. Bu amaç için açılan kuyularda, gereksinilen suyun sağlanabilmesi için, kuyuda makul bir düşümün sağlanması gerekmektedir. Bu noktada, kuyu yeterliliği ve kuyu maliyeti arasında bir karşılaştırma yapılması gereklidir. Filtre seçimini sınırlayan koşullardan vazgeçilmeyebilir. Ancak böyle durumlarda, kısa filtrenin nasıl ve hangi koşullarda kullanılacağına ilişkin gerekli prensipleri tanımlamak gerekir.

Şekil-14/a' daki gibi bir ortamda açılan kuyuda, filtre uzunluğu, kaba kum kalınlığının 1/3' ü kadar olmalı ve bu seviyenin en alt bölümüne yerleştirilmelidir.

Şekil-14/b ve d' de gösterilen durum için, filtre borusu en altta yer alan kaba kum seviyesinin kalınlığına eşit uzunlukta seçilmelidir. Eğer bu uzunluklarda seçilen filtre boyları, istenilen suyu sağlayacak açık alan yaratamazsa, bu takdirde filtre borusu üstteki ince kum seviye içine doğru uzatılabilir.

Şekil-14/ c durumundaki bir ortamda açılan kuyu, üstte yer alan kaba kum seviyesinin taban noktasında sonuçlandırılmıştır. Böyle bir kuyu için, filtre borusu uzunluğu yaklaşık kaba kum seviyesi kalınlığının yarısı kadar seçilmeli ve teçhizin en alt kısmına yerleştirilmelidir.

Uygulamalar, sığ kuyularda uzun filtre kullanımının ekonomik olmayabileceğini göstermiştir. Kuyu için seçilecek filtre uzunluğu, ihtiyaç sahibinin elde etmeyi amaçladığı su miktarının kuyuya girişini sağlayacak açıklık alanı oluşturacak uzunlukta olmalıdır. Bu seçimi yaparken su ihtiyacının zamana bağlı olarak artabileceği durumunda gözden kaçırılmamak gerekir. Bir



Şekil 14. Çeşitli özellikteki akifer ortamlarındaki malzeme istiflenmesi dikkate alınarak yapılan en uygun filtre tasarımı gösteren örnekler.

çok müteahhit, küçük mali kazançlar sağlayabilmek için, kuyu sahibinin bugünkü veya gelecekteki gereksineceği su ihtiyaçlarını ve koşullarını gözönünde bulundurmaksızın filtre boylarında kısıtlamalar yapmaktadırlar. Bu tür davranışlar, kuyu sahiplerini bir çok açıdan olumsuz etkilemektedir.

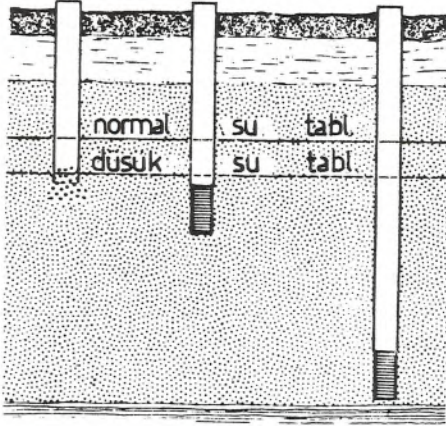
Bir çok tarla, çiftlik ve evsahiplerine ait kuyularda, bu tür yanlış uygulamaların yapıldığı gözlenmiştir. Oysa, bu kuyularda, yeterli boyda filtre boruları kullanılmış olsa idi, kuyulardan daha fazla verim elde edilmesi mümkün olabilirdi.

İsabetli bir seçimle, çok daha kısa boyda bir filtre borusu ile, çok daha uzun boydaki bir filtre boyundan elde edilebilecek su kadar su sağlanabilir. Örneğin; 7-8ft. kalınlıktaki bir akifer ortamda açılan bir kuyuda, 2ft. uzunlukta bir filtre yerine, 3ft. uzunlukta bir filtre borusu kullanmakla, aynı miktardaki düşümle % 50 kadar daha fazla su çekimi sağlanabilir. Oysa böyle bir kuyuda filtre boyunu 4ft. olarak seçmek, kuyudan sağlanan verimde, 3ft.' lik teçhize sahip kuyuya göre, sadece 1/3 oranında bir artış sağlanabilir.

Hatırlamalıyız ki, bir kuyuda verimin artırılması kuyu çapının geniş tutulmasıyla değil, kuyu filtre çapının geniş ve boyunun uzun tutulmasıyla mümkündür. Birçok durumlarda, filtre boyunun iki misline çıkarılmasıyla, kuyu veriminde de iki kat artış sağlanabilmektedir. Bunun aksine kuyunun çapının 2 katına çıkarılmasıyla, kuyu veriminde sağlanabilecek artış oranı %10-15 düzeyinde kalmaktadır. Tabiki, kuyu çapının seçimini denetleyen faktörler, kuyuya indirilecek teçhizatın boyutları ve filtre ile kuyu cidarı arasında oluşturulacak çakıl zarfının durumudur.

Şekil-15' de, sığ kuyularda kullanılacak filtrelere ilişkin temel hususların karşılaştırması yapılmaktadır.

Şeklin sol tarafında, sadece tabanı (çarık bölümü) açık sığ bir kuyu görülmektedir. Statik su seviyesinin yüksek olduğu şartlarda, böyle bir kuyudan, 6 inç uzunlukta filtreye sahip kuyuya eşdeğer oranda, su temin edilebilir. Ortada görülen kuyu tasarımıyla, verimde 3 veya 4 kat artış sağlamanın yanında, kuyu içine girecek ince malzeme oranındada önemli azalmalar sağlanmış olur. Ancak, kurak mevsim şartlarında veya bölgedeki diğer kuyularda yapılan su çekimleri yüzünden, statik su seviyelerinde meydana gelecek düşüşlerde, bu iki koşuldaki kuyuda olumsuz yönde etkilenecektir. Şeklin en sağında ise, sadece çarık bölümü açık olan kuyuya oranla, 20 kat daha fazla verim sağlayabilecek ve yukarıda bahsedilen olumsuzluklardan etkilenmeyecek olan bir kuyu tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 15. Sığ kuyularda kullanılacak filtrelere ilişkin temel hususların karşılaştırılması.

SAĞLIK ÖNLEMLERİNİN KUYU TASARIMINA ETKİLERİ

Kuyu delik çapının, kuyu teçhizine oranla daha geniş olma gerekliliği ve kuyu cidarını oluşturan çaplardaki kaçınılmaz düzensizlikler yüzünden, kuyu ekipmanlarının kuyuya yerleştirme metodu ne olursa olsun, teçhiz borusu ile, kuyu cidarı arasındaki bölümde bazı boşlukların kalması kaçınılmazdır. Bu boşluklar, kuyu yakın çevresindeki kirletilmiş suların kuyuya girişini kolaylaştırırlar.

Bu tür kirlilik etkisinin ortadan kaldırılması için, kuyu teçhizi ile kuyu cidarı arasında kalan boşluğun kuyu ağzından kuyu pompa seviyesine kadar olan bölümüne, kil veya su geçirmez diğer önlemlerle tescit yapılmalıdır. Burada ana ilke, akifer ortamdaki suyun olumsuz çevre koşullarından etkilenmeden, kuyuya girişinin sağlanmasıdır.

Suyun sağlık koşullarını sağlamaya yönelik önlemler alınırken, daha önce tartıştığımız tasarım tekniklerinin gözardı edilmemesi gereklidir.

Sağlık koşullarının sağlanmasına yönelik, kuyu tasarımı tekniğine katılacak iki sorudan biri, kuyuya indirilecek kapalı borunun uzunluğunun ne olacağı, diğeri de, kuyu üst bölümünde oluşturulacak kil tescit boyutunun ne olacağıdır.

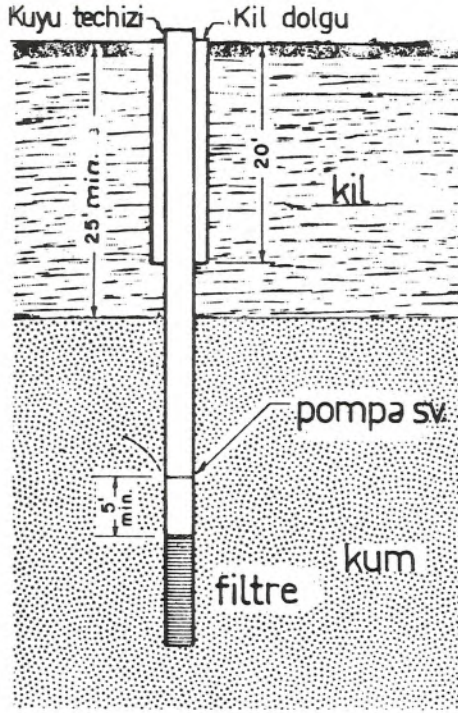
Örneğin, kumdan oluşan bir akifer ortamda açılan kuyuda, kapalı boru uzunluğu, kuyuya indirilecek pompa seviyesinin minimum 5 ft. daha altında olması gereklidir.

Şekil-16' da görüldüğü gibi, basınçlı akifer ortamda açılan bir kuyuda, kapalı borunun uzunluğu üstteki basınç sağlayan seviye tabanından en az 10ft. daha aşağıya kadar uzatılması gereklidir.

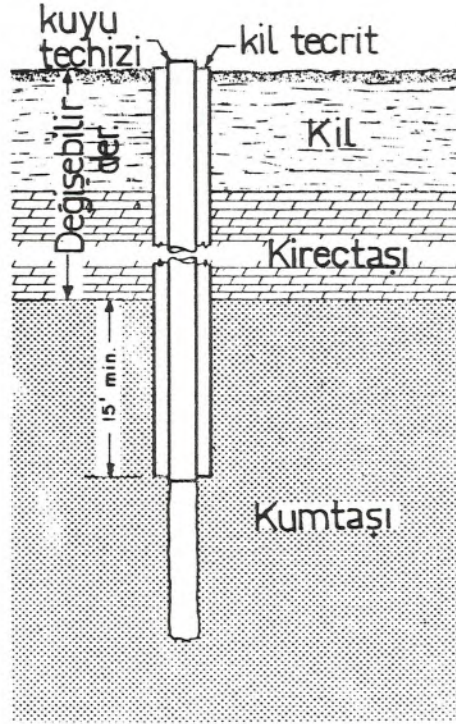
Şekil-17' de görülen ortamda açılan bir kuyuda ise, kapalı muhafaza borusu, kumtaşını üstten örten seviyeleri kattettikten sonra, kumtaşı içindedey en az 15ft. daha uzatılmalıdır.

Kırık ve çatlaklı kaya akiferlerde de, aynı şekilde muhafazalama işleminin, belli bir derinliğe kadar yapılması gerekebilir.

Bu tür önlemlerin alınmasıyla, çevrenin olumsuz etkilerine maruz kalmadan, daha sağlıklı ve kaliteli su temini amaçlanmaktadır.



Şekil 16. Şekilde görülen akifer ortam istiflemesine göre yapılması gerekli kuyu tecriti.



Şekil 17. Şekilde görülen akifer ortam istiflenmesine göre yapılması gerekli kuyu tecriti

DEĞİNİLEN BELGELER

Ground Water and Wells : Edward E. Johnson, Inc.Saint Paul, Minnesota.

Yeraltısuları (Hidrojeoloji): M.Kemal ERGUVANLI İ.T.Ü-1973-İSTANBUL.

İçmesuyu Kuyusu ve Borularının Dezenfeksiyonu

Groundwater and Wells, Edward E. Johnson, Inc. Saint Paul, Minnesota.

Çeviren
Necla AKÇA
Jeoloji. Yük.Müh.

Kuyu açım işleminden sonra kuyunun tamamlanmasındaki en son ve gerekli bir adım; kuyuda bulunabilecek her türlü bakteriyi öldürmek amacıyla kuyunun dezenfekte edilmesi işlemidir.

Kuyuyu açarken ve geliştirirken kullanılan alet ve materyaller kir ve bazı bakteri tipleriyle kirlenir. Böylece kuyunun inşa işlemi boyunca, bu tür kirlenici maddeler yeraltına girmiş olur.

Sondaj borusu ve aletlerinde biriken bu mikroplar, genellikle zeminde kuyu civarında yaşarlar. Bunlar esas olarak hastalık yapmayan zararsız tiplerdir.

Ancak, hastalık yapan bakteri olarak bilinen mikrop tipinin de bunlar arasında bulunma olasılığı vardır. Koliform bakteri olarak bilinen bu tip mikrop suda bulunduğu zaman, suyun ya insan yada hayvan atıklarıyla kirlendiğinin bir delili olarak değerlendirilir. Bunun anlamı ise şudur; su hastalık yapan organizmaları içerebilir ki, bu organizmalar normalde insanın ve sıcak kanlı hayvanların bağırsak bölgesinde yaşamaktadır.

Kuyudan alınan su örneğinde yapılan test sonucunda, suyun koliform bakteri içermediği anlaşıldığında, bu suyun içilmek için uygun olarak düşünülür. Açım işlemi tamamlanan bir kuyudan alınan su örneğinde, eğer koliform bakteri bulunursa, bu suyun lağım atıklarıyla kirlendiği düşünülecektir. (Akiferdeki suyun hijyenik olarak iyi standartta olduğu bilinse bile, bu sonradan kirlendiğini işaret eder).

Koliform bakteri, kuyuya pompanın yerleştirilmesi veya pompadan dağıtım sistemine kadar birbiriyle ilişkili ünitelere (boru sistemine) değişik elemanların yerleştirilmesi sırasında da su sistemine girebilir. Hatta bu durum, kuyunun veya boru sisteminin onarım ve bakım için açıldığı her seferde de olabilir. Çünkü sistemin herhangi bir parçasının açılması, yabancı bir materyalin sisteme girişi için bir fırsat sağlamaktadır. Bu nedenle de dezenfeksiyon gerekmektedir.

Kuyunun, pompanın, depolama tankının veya boru sisteminin dezenfeksiyon veya sterilizasyonu için kullanılan klor solüsyonu en basit ve en etkili maddedir. Bu amaçla yapılacak klorlama işleminde, solüsyon kalsiyum hipoklorid, sodyum hipoklorid veya klor gazının suda eritilmesi suretiyle hazırlanabilir.

Kalsiyum hipoklorid, beyaz, ağırlık olarak % 70 oranında klor içeren, granüler bir materyaldir. Son yıllarda bu madde, tablet şeklinde, Pit-Tabs, HTH Tablet ve Chlor-Tabs adları altında piyasada da satılmaktadır. Bu kimyasal maddeyi, klorlanmış kireç veya beyazlatıcı tozdan ayırt etmek için, kalsiyum hipoklorid testi uygulamak gerekmektedir.

1 lb(=0.4536 kg) kalsiyum hipoklorid (%70 klor içeriği ile) suda çözündüğü zaman oluşan solüsyon, aynı miktar suda çözünen 0.7 lb. lık klor gazı ile aynı oksitlenme gücüne sahiptir. Bir diğer ifadeyle, 1.43 lb kalsiyum hipoklorid suda 1 lb klor gazına eşit olmaktadır.

Klor solüsyonunun şiddeti, etki derecesi genellikle ppm (milyonda bir) ile ifade edilir. Örneğin; 10 ppm' lik solüsyonun anlamı, 10 lb klorun 1 milyon lb suya oranıdır. Kuyuyu ve kuyu yapısındaki materyalleri sterilize etmek için yaygın olarak, solüsyonun etki derecesine göre 50 ile 200 ppm' e kadar olan klor solüsyonları kullanılmaktadır. Çizelge 1, değişik konsantrasyonlarda 100 gal (100L=21.997 gal veya 100L=26.417 US gal) sterilize solüsyon hazırlamak için gerek duyulan kalsiyum hipoklorid miktarlarını göstermektedir.

Çizelge 1. 100 Gal klor solüsyonu hazırlamak için gerek duyulan materyal

İstenen klor derecesi	Klor, lb	Kuru kalsiyum hipo klorid, lb
50 ppm	0.05	0.07
100ppm	.10	.14
150ppm	.15	.20
200ppm	.20	.30
300ppm	.25	.40
400ppm	.35	.50

Kuru kalsiyum hipoklorid oldukça stabil bir materyaldir. Fakat zaman içinde mevcut klorun bir kısmını yavaş yavaş kaybeder. Uygun şekilde paket edildiği ve serin yerde depolandığı zaman, üretim tarihinden itibaren 1 yıl sonra da % 90 klor içeriğini koruyabilir. Eğer bu kimyasal madde nemlenirse, oldukça korozif olur ve kloru daha hızlı kaybeder.

Sodyum Hipoklorid

Sodyum hipoklorid stabil olmayan kimyasal bir bileşik olduğu için sadece solüsyon formunda bulunur. Marketlerde satılan hemen hemen bütün çamaşır beyazlatıcı solüsyonlar, suda çözünen sodyum hipoklorididir. Bunlar yakıcı (aşındırıcı) soda solüsyonuna doğrudan klor gazı katılmasıyla hazırlanır. Bu solüsyon kloru belli bir oranda kaybeder, böylece en iyi koşullarda depolanmasına rağmen 6 ay sonra solüsyonun % 10'u dayanımının yarısını kaybedecektir. Bu nedenle, 60 günden sonra solüsyonların orjinal halindeki klor

miktarının tamamını hala içerdiğinin düşünülmemesi gerekir.

Sodyum hipoklorid solüsyonları çeşitli yerlerde ve farklı üreticiler tarafından farklı etki derecelerinde (şiddetlerde) yapılmaktadır. Klor içeriği olarak maksimum % 20 öngörülmektedir. En fazla yaygın olanı ise, % 5 klor içeren ve evlerde kullanılan beyazlatıcı tipidir.

Çizelge 2, kuyu ve pompaları dezenfekte etmek için kullanılan çeşitli konsantrasyonlarda 100 gal steril solüsyon hazırlamak için gerek duyulan likid beyazlatıcı miktarlarını göstermektedir.

Çizelge 2. Steril solüsyonun nitelikleri

İstenen klor derecesi	Farklı derecelerde beyazlatıcı nitelikleri (100 gal su için)		
	%5	%7	%10
50 ppm	0.4	0.3	0.2
100ppm	0.8	0.6	0.4
150ppm	1.2	0.9	0.6
200ppm	1.6	1.2	0.8
300ppm	2.4	1.7	1.2
400ppm	3.2	2.3	1.6

Dezenfekte solüsyonları suya doğrudan klor gazı katılmasıyla da hazırlanabilir. Klor suda erir ve hidroklorik asit ve hipoklorlu karışım oluşur. Bu sırada suyun pH' ı düşmüş olur ve bu da solüsyonun dezenfekte hareketini hızlandırır. Büyük su iletim hatlarının dezenfeksiyonu için, fazla miktarda steril solüsyon hazırlamanın dışında, klor gazının kullanımı uygun değildir ve hipokloridler burada açıklanan amaç için daha fazla olarak kullanılmaktadır.

Yaklaşık 100 ppm klor içeren solüsyonun, kuyu ve boru sistemlerinin sterilizasyonu için kullanılması daha uygundur. kuyuda bu konsantrasyonda klor elde edilemek için, kuyuya kuvvetli bir solüsyon verilmesi gerekir ki, böylece bunun kuyuda karışımı ile yaklaşık 100 ppm klor elde edilebilir.

Kuyuyu Açarken Klorlama

Kuyunun açım işlemi sırasında, periyodik olarak yapılan dezenfeksiyonda, klorun daimi olarak uygulanması gerekmektedir. Uygun dozda klor kuyuya hergün verilebilir. Bu, boruyu ve sondaj delme aletlerini çalışma devam ederken dezenfekte eder. Ayrıca, kuyuya çakıl zarfı yapmak için konulan materyalin, kuyuya yerleştirilmeden önce, sterilize edilmesi de önemli bir konudur.

Kuyunun en son dezenfeksiyonu yapılmadan önce, depolama tankı ve boru sistemi yapısının doğrudan temizlenmesi gerekir. Yabancı maddeler örneğin; sediman, toprak, yağ, pislik ve maden curufu gibi, birikebilir ve bunlar bakteri yaparlar. Bu nedenle, bunların uzaklaştırılması gerekmektedir.

Klor veya herhangi başka bir dezenfeksiyon maddesi, sadece kontakt halindeki bakterilere zarar verebilir. Ancak, bir doz kloru kuyuya vermek yeterli değildir. Kuyuda, solüsyonun suya tamamiyle karışması için, çalkalama yapılması gerekmektedir. Buna ilaveten, su seviyesinin üzerindeki tüm yüzeyler bol su ile temizlenmeli ve steril solüsyon ile yıkanmalıdır.

Uygun şekilde ve etkili bir dezenfeksiyon yapmak için, bir diğer önemli faktör de, klorlu solüsyonun kontakt halinde bulunduğu sürenin ne kadar olduğudur. Kuyuda çalkalama yapıldıktan sonra kimyasal madde en az 4 saat kalmalıdır. Hatta, tercihen bu süre daha fazla olmalıdır.

Daha derin kuyularda ise, klorlama işleminin kuyunun tüm derinliğini tamamiyle kapsadığından emin olmak için bazı özel işlemlere gerek duyulur. Kolay uygulanabilir bir plan ise, kuru kalsiyum hipokloridin delikli, ancak her iki ucu kapalı kısa boylu bir tüpe (gözleme için tüpün bir ucu kabloya bağlanır) yerleştirilmesidir. Kuyuda, suyun tüm kalınlığı boyunca, tüpü aşağı-yukarı hareket ettirmek suretiyle, bu kimyasal madde uygun olarak dağıtılmış olacaktır. Aynı alet, çalışan kuyuda kuyu dibine indirilebilir ve kuyu dibin-

de aşağı-yukarı hareket ettirilerek yukarıya doğru olan akım sayesinde klorlu su yukarıya taşınabilir.

Kuyuya aletlerin ilk olarak yerleştirilmesi sırasında ve her tamir işleminden sonra, pompa sistemi, depolama tankı ve boruların kuyuda olduğu gibi dezenfeksiyon edilmesi gereklidir. Bunu yapmak için, steril solüsyon kuyudan tank ve boru sistemine pompalanır. Bu arada, klorlu suyun tüm tank ve borulara verildiğinden, emin olmak gerekir.

Sistemde musluk, valf ve yangın musluğu, klor kokusu ortaya çıkıncaya, yani anlaşılınca kadar, açık tutulmalıdır. Sonra solüsyon depoda ve dağıtım sisteminde 2 saat veya daha fazla süre bırakılmalıdır. Bu arada tankın tüm iç yüzeyinin solüsyon ile iyice ıslanmış olduğundan emin olmak gerekir.

Dezenfeksiyonun etkili olup-olmadığını anlamak için, çalışma bittikten sonra alınan su örneğinde, koliform bakterinin var olup-olmadığı test edilerek kontrol edilmelidir. Bu test işleminde, su örnekleri alınmadan önce kuyu çalıştırılmalı ve boru sistemindeki tüm klorun yıkanmak suretiyle uzaklaştırıldığından emin olunmalıdır. Örnekler, Laboratuvar tekniklerine uygun olarak, tüplerde biriktirilmelidir.

Pompanın veya boru sisteminin tamiri nedeniyle, yağ, toprak veya toz parçaları ile boruların kirliliği, su testlerinde koliform bakterinin çıkmasına neden olur. Kuyu da, suyun temiz çıkmasına rağmen, dış etkenler nedeniyle kirli çıkmış olur.

Kuyu ve kuyu ekipmanlarını klorlamak, kuyuyu ve kuyu ekipmanlarını yapım ve onarım safhalarında kuyuya girecek her türlü geçici kirlenmeden ve bunun etkilerinden uzak tutar. Burada tanımlanan ve anlatılmak istenen şey, su kaynaklarının bu kirlilikten uzak tutulmayacağıdır. Ancak yine de, kum ve çakıldan oluşan akiferlerdeki yeraltısu, doğal olarak iyi hijyenik niteliklere sahiptir. Kuyunun açımı veya onarımı esnasında ve sonrasında yapılan klorlama işlemi, kuyunun tamamlanmasında gerekli olan, bir basamaktır.

Kaya Mekaniği Öğretimine İlişkin Rapor

Int.J.Rock Mech.Min.Sci and Geomech.Abstr.Vol.20, no.4, 1983

Çeviren
Mustafa KARABIYIKOĞLU,
MTA Genel Müdürlüğü, ANKARA

1. ARAŞTIRMAYA GELEN YANITLARIN ÖZETİ

Kaya mekaniği öğretimi konusunda yapılan ilk araştırmaya (1978-1979) toplam 104 yanıt alınmış ve bu komisyon tarafından incelenmiştir. Yanıtlar hemen hemen eşit olarak maden ve inşaat mühendisliği bölümleri veya enstitüleri arasında dağılmıştır. Mühendislik jeolojisi, petrol mühendisliği ve jeoloji bölümleri de bu araştırmada temsil edilmiştir. (Kısa olarak hazırlanmış ek bir form'a 1980 yılında ilave yanıtlar da alınmıştır; ancak bu form Bölüm 1'de sunulanlara veri sağlayacak düzeyde ayrıntılı değildir) aşağıdaki paragraflar bu ilk araştırmaya gelen bazı yanıtları özetlemektedir.

1.1 Ulusal Gruplar Kapsamında Yanıtların Sayısı

1. Avustralya	12
2. Avusturya	3
3. Arjantin	1
4. Belçika	4
5. Brezilya	3
6. Kanada	15
7. Federal Almanya Cumhuriyeti	7
8. Finlandiya	1
9. Fransa	5
10. İtalya	1
11. Japonya	7
12. Hollanda	1
13. Yeni Zeland	1

14. Norveç	1
15. Polonya	3
16. Portekiz	2
17. İsveç	2
18. İngiltere	5
19. A.B.D.	26
20. Yugoslavya	5

1.2. Lisans, Mühendislik Diploması, Master veya Doktora Programlarında Jeoteknik Mühendisliğinin (Kaya Mekaniği, Mühendislik Jeolojisi ve/veya Zemin mekaniği) Asıl Yoğunlaşma Alanı Olarak Sunulduğu Derece Programları Jeoteknik mühendisliğinin verildiği bir derece programında ulaşılan en üst düzey, aşağıdaki gibi rapor edilmiştir:

Doktora (Ph.D.)	54	(% 52)
Master	15	(%14)
Mühendislik Diploması	11	(%11)
Lisans	7	(%7)
Hiçbiri	17	(%16)
Toplam	104 enstitü	(%100)

1.3 nolu bölümde tartışılacağı üzere, doktora (Ph.D.) programları veren 54 enstitünün yaklaşık olarak yarısı başlıca kaya mekaniği konusunda yoğunlaşmaktadır.

1.3 Kaya Mekaniğine ilişkin Yaygın Programlar Jeoteknik Mühendisliği konusunda doktora programı bu-

lunan 54 enstitünün yaklaşık olarak yarısı kaya mekaniği konusunda da yaygın bir program sunmuşlardır. Bunun sonucu olarak son 8 yılda üçten fazla kaya mekaniği doktora tezi olmak üzere, Master veya Mühendislik Diploması (Diploma Engineer) düzeyinde her yıl en azından 80 saatlik kaya mekaniği dersi (yaklaşık olarak 2 dönemlik kaya mekaniği kursu) gören dörtten fazla öğrenci mezun etmişlerdir.

24 enstitünün 21'i (%87.5) kaya mekaniği öğrenim programının bir bölümü olarak, zemin mekaniği (soil mechanics) ve mühendislik jeolojisi kurslarından her ikisinin de alınmasının istenildiğini veya tavsiye edildiğini belirtmişlerdir. (Diğer 80 enstitünün daha düşük orandaki bir bölümü ise (%63), kaya mekaniği öğretim programının gereği olarak, zemin ve/veya mühendislik jeolojisinin istenildiğine veya tavsiye edildiğine işaret etmişlerdir.)

Kaya mekaniği konusunda yaygın master ve doktora programlarına sahip 24 enstitünün yaklaşık olarak % 25-40'ı, çoğunlukla lisans düzeyinde jeoteknik programı içermekle beraber, bu düzeyde çok az kaya mekaniği öğretmektedirler.

1.4. Kaya Mekaniği, Zemin Mekaniği ve Mühendislik Jeolojisi arasındaki etkileşimin miktarı ve daha fazla etkileşime olan gereksinim kaya mekaniği, zemin mekaniği ve mühendislik jeolojisinden oluşan bu üç jeoteknik disiplini arasındaki etkileşimin önemine, yanıt verenlerin pek çoğu tarafından değerlendirilmiştir.

% 40: Programlar önemli ölçüde disiplinler arası etkileşim içermekte; daha fazla etkileşime gerek duyulmadı.

% 38: Programlar önemli ölçüde disiplinler arası etkileşim içermekte; daha fazla etkileşim tercih edilebilir.

% 19: Programlar önemli ölçüde disiplinler arası etkileşimden yoksun; daha fazla etkileşim tercih edilebilir.

% 3: Programlar önemli ölçüde disiplinler arası etkileşimden yoksun; daha fazla etkileşime gereksinim duyulmadı.

Komisyon üyeleri yanıtları irdelediğinde, bu yanıtların olduğundan daha fazla bir düzeyde disiplinler arası bir etkileşimin varlığını belirtmeye yönelik olduğu

nu, bunun da olasılıkla belirli bir düzeyde yanıtlayıcıların ortaya koyduklarından ziyade hedeflerini yansıttığını gördüler.

Pek çok yanıtta bir jeoloji bölümü ile bir mühendislik bölümü arasındaki jeoteknik program eşgüdümünün zorluğuna değinildi; bazı örneklerde jeoloji bölümünün mühendislik uygulamalarına çok az ilgi duyduğuna dikkat çekildi. Madencilik programındaki kaya mekaniği ve mühendislik programındaki zemin mekaniği arasındaki eşgüdüm sorunlarına da değinildi. Diğer yandan, inşaat mühendisliği programlarının pek çoğu kendi zemin mekaniği ve kaya mekaniği programlarının birleştirildiğini belirtti. Örneğin kaya ve zemin şevlerinin duraylılığı veya zemin ve kayalarda tünel açmaya ilişkin kurslar verilmesi gibi. Kaya mekaniğinde geliştirilen kavramlar, zemin mekaniği temel mühendisliği gruplarında geliştirilmiş jeoteknik programları ile bütünleştirilmektedir. Pek çok ülkede arzu edilen durum, hem zemin, hem de kaya mekaniği sorunlarının üstesinden gelebilecek eğitimi almış bulunan jeoteknik mühendisleridir.

Bu durum, sert kaya ve yumuşak zemin arasındaki dokanağın çok belirgin olduğu bazı İskandinav ülkelerinde biraz daha farklıdır. Bazı İskandinav inşaat mühendisliği grupları, hemen, hemen bütünüyle, kaya sorunlarına konsantre olmuşlardır. Dünyadaki madencilik bölümlerinin pek çoğu da, zemin mekaniği programları geliştirmeksizin, kaya mekaniği konusunda konsantre olmuşlardır.

Bazı üniversitelerde, maden ve inşaat mühendisliği arasında daha fazla etkileşime açık bir eğilim/gelişim vardır. Örneğin önde gelen bir üniversitenin maden mühendisliği, inşaat mühendisliği ve mühendislik jeolojisi bölümlerinin her birinde, gruplar (bölümler) arasında önemli etkileşimin de sağlandığı, ayrı kaya mekaniği programları vardır; diğer bir üniversitede ise inşaat ve maden mühendisliği bir bölüm (department) altında toplanmıştır. Ana programları bir alana (konuya) yönelik diğer üniversiteler, diğer alandaki (konudaki) bazı sorunlar üzerinde de araştırma yapmaktadırlar. Örneğin, önde gelen bir inşaat mühendisliği bölümü, bir yöredeki sübsidans ve bunun burada bulunan terkedilmiş kömür ocakları içi yapılarındaki etkileri üzerine de arazi ölçümleri yapmaktadır.

1.5. Kaya Mekaniği /Zemin Mekaniği Öğrencileri İçin Önerilen veya Öngörülen Jeoloji Arazi Kursu

Enstitülerin pek çoğu öğrencilerinin herhangi bir öğrenim dönemi sırasında jeoloji arazi kursu almalarını önermekte veya gerekli görmektedir. 104 enstitüden 9'u jeoloji arazi kursunu gerekli görmemekte veya önermemektedir. İlginçtir ki bu 9 enstitüden 5 tanesi doktora (Ph.D.) düzeyinde yoğun kaya mekaniği programı içeren 24 enstitü arasında yer almaktadır. Diğer bir deyişle, kaya mekaniği konusunda ileri düzeyde yoğun programlar içeren 24 enstitünün % 82'si jeoloji arazi kursunu önermiş veya gerekli görmüştür. Öte yandan diğer 80 enstitünün %95'i jeoloji arazi kursunu önermiş veya gerekli görmüştür.

1.6. Endüstri ile işbirliği

Endüstri ile ilişki kurulmasına ilişkin sorunlara gelen yanıtlar aşağıda özetlenmiştir (Çizelge 1). Yanıtlayıcıların pek çoğu 2 veya 3 alanda işbirliğine dikkati çektiler.

Endüstri ile işbirliği (Çizelge 1) a, b ve c alanlarında en yüksek düzeydedir. Enstitülerin % 50'ye yakın bir

bölümü endüstri ile önemli veya orta derecede işbirliği yapmaktadır.

104 enstitüden 21 tanesinin (% 20'si bazılarının endüstride çalışan öğrencileri olmasına rağmen) endüstri ile fakülte bazında doğrudan ilişkisi az ile çok az arasında olmuştur. Bu enstitülerden 7'si doktora programı vermektedir. Doktora programları sunan 54 enstitünün endüstri ile 5 alanın her birinde olan ilişkisi, doktora programları sunmayan enstitülerin ilişkileri ile aynı derecede olmuştur. 24 enstitü endüstri ile daha fazla ilişki kurmaya gereksinme olmadığını belirtmiştir. Bu "Hayır" yanıtı veren 24 enstitünün 14'ü, 2 veya 3 alanda endüstri ile büyük ölçüde işbirliği yapmıştır. Diğer 8'i ise en azından bir alanda olmak üzere büyük ölçüde işbirliği yapmıştır. Böylece "Hayır" yanıtlarının en azından üçte ikisi (2/3), endüstri ile işbirliği konusuna ilgi göstermemekten ziyade, yeterli bir düzeyde işbirliği görüşünü ortaya koymuştur.

1.7. Mezunların İstihdam Alanları

Aşağıdaki Çizelge 2 jeoteknik programlarından mezun olan öğrencilerin istihdam edildikleri alanları göstermektedir.

Çizelge 1. Endüstri ile ilişki kurulmasına ilişkin sorunlara gelen yanıtlar.

	Yanıtlayıcıların sayısı	
	Önemli-orta düzeyde ilişki	Daha fazla ilişkiye gereksinme
a. Laboratuvar araştırması yapanlar	44 (%42)	8 (%8)
b. Mühendislik projelerinde arazi çalışması yapanlar	49 (%47)	8 (%8)
c. Endüstride "part time" çalışan öğrencileri olanlar	37 (%36)	9 (%9)
d. Endüstri ile "part time" bazında fakülte ilişkisi	13 (%12)	12 (%11)
e. Danışman servisler-uzman tavsiyesi	53 (%53)	9 (%9)
f. a,b,d,e alanlarında "az", "çok az" ilişki yanıtı verenler		21 (%20)
g. Fazla ilişkiye gereksinimi "yok" yanıtı verenler		24 (%23)
h. Fazla ilişkiye gereksinmeye "evet" yanıtı verenler		23 (% 22)

Çizelge 2. İstihdam Edilmiş Mezunların Yüzde Oranları

İstihdam alanı	Lisans (%)	Master (%)	Doktora (%)
Madencilik Firmaları	21	27	9
İnşaat Mühendisliği	18 13	14 22	6 4
Tasarım Firmaları			
İnşaat Firmaları			
Saha Etüdüleri			
Danışmanları	10	7	12
Araştırma	2	8	17
Üniversite Öğr.Gör.	0	3	14
Devlet Kuruluşları	16	5	8
Mühendislik Dışı ve Diğer	20	17	10
Öğrencilerin Top. Sayısı	1360	1266	76

Çizelge 3. Yanıt Veren Enstitülerin Sayısı

Lisans düzeyinde verilen ve içeriğinin % 20'den fazlasını kaya mekaniği oluşturan kursların sayısı	Enstitülerin toplamı	En azından 20 saatlik kaya mekaniği dersi okuyarak mezun olan lisans öğrencilerinin yıllık mezun sayısı					
		0	1-4	4-8	8-15	15-30	30'dan fazla
0	17*	17	0	0	0	0	0
1	14	2	1	2	7	1	1
2	18	2	2	1	5	1	6
3	14	0	1	1	1	5	7
Toplam enstitü sayısı	63	21	4	4	13	7	14
En azından 20 saatlik kaya mekaniği dersi olan öğrencilerin yaklaşık toplam sayısı	800	0	10	24	143	154	500

*Bu 17 Enstitünün 10 tanesi ne zemin mekaniği, ne de kaya mekaniği konusunda lisans programları vermiştir. 7 tanesi kaya mekaniği vermeyen jeoteknik programları vermiştir. 17 örneğin 10'u ise kaya mekaniği konusunda master ve doktora (Ph-D) programları vermektedir.

Jeoteknik bölümü lisans ve master mezunlarının sayısal dağılımları çok benzer özelliktedir. Bu öğrenciler, madencilik (% 21-27) ve tasarım-danışma-inşaat firmalarında yoğunlaşmışlardır (% 41-43). Tahmin edileceği gibi, doktora öğrencileri öğretim (% 34) ve araştırma (% 17) ile az düzeyde madencilik (% 9) ve tasarım-danışma-inşaat (%22) alanlarında yoğunlaşmaktadır.

1.8. Kaya Mekaniği İçeren Lisans Programları

Bu araştırmanın hedeflerinden birisi de lisans düzeyinde öğrencilerin temelinde kaya mekaniği okutulması konusunda yapılan uğraşları saptamaya yöneliktir. Bu

aşamada ağırlık kaya mekaniği uzmanları yetiştirmekten ziyade, öğrencilerin kendi seçtikleri çalışma alanları ile bütünleştirebilecekleri düzeyde kaya mekaniğine ilişkin genel bilgiler sağlanmasına yönelik olmalıdır.

65 üniversite ve enstitü Bakalorya (B.S.) ve Master (M.S.) dereceleri verdiğini bildirmiştir (mühendislik diploması sistemi uygulayan Avrupa üniversiteleri bu kategoriye dahil edilmemişlerdir).

Yukarıdaki sonuçlar (Çizelge 3) lisans öğrencilerinin önemli bir bölümünün kaya mekaniği konusunda bazı genel bilgiler aldığını göstermektedir.

Çizelge 4. Aşağıda gösterilen düzeyde kaya mekaniği çalışması yapan enstitülerin sayısı ve yüzdesi.

	Başlıca Lisans düzeyinde	Başlıca Master düzeyinde	Hem Master hemde lisans düzeyinde	Başlıca Mühendislik Diploması	Toplam
Madencilik	13 (%33)	3 (% 8)	14 (%36)	9 (%23)	39(%100)
İnşaat Mühendisliği	8 (%20)	10 (%26)	14(%36)	7(%18)	39(%100)
Jeoloji	4(%19)	8(%38)	2(%33)	2(%10)	21(%100)
Toplam enstitü sayısı					99

1.9. Maden, İnşaat Mühendisliği ve Jeoloji Programlarının Düzeyinin Kıyaslanması

Yukarıdaki Çizelge 4 lisans düzeyinde kaya mekaniği öğreten madencilik bölümlerinin (%33), inşaat mühendisliği bölümlerinden (%20) önemli derecede fazla olduğunu göstermektedir.

1.10. ISRM (Uluslararası Kaya Mekaniği Kurumu) komisyonunun Kaya Mekaniği Öğretiminde Yardımcı Olabileceği Durumlar/Yollar;

Soruları yanıtlayanlardan pek çoğu tipik kurs programlarının zamanlamasına ve içeriğine ilişkin kopyalarının ISRM tarafından dağıtılmasını istemektedir. Bunlardan bazıları maden mühendisliği ve inşaat mühendisliği gibi farklı disiplinler için tipik müfredatların hazırlanmasını önermiştir. Bu komisyon diğer üniversitelerde uygulanan kaya mekaniği kurslarının ve programlarının bazı örneklerini sergileyerek bu yorumlara katkıda bulunmuştur.

2.KAYAMEKANIĞIKONUSUNDAKİ KURSLARIN VE METİNLERİN ÖRNEKLERİ

Kaya Mekaniği Öğretimi Komisyonu çeşitli üniversitelerde uygulanan kaya mekaniği kurslarının genel hatlarını esas alarak genel kurs örnekleri düzenlenmiştir. Bu örneklerin amacı öğretmene kendi kurs programını geliştirmede yardımcı olabilecek fikirler sağlamaktır. Bu genelleştirilmiş örnekler, kaya mekaniği kursu içeriğine ilişkin resmi önerileri temsil etme eğilimi taşımamaktadır. Kaya mekaniği kurslarında kullanılan metinler araştırma formlarında verilen yanıtlardaki bilgilerden özetlenmiştir. Bu ders notlarının bazıları sa-

dece yerel olarak bulunmakta, diğerleri ise daha geniş bir kitleye ulaşabilmektedir. Kaya mekaniği kurslarının pek çoğunda periyodik dergilerdeki ve bildiri kitaplarındaki yayınlar da referans olarak kullanılmaktadır.

2.1. Kaya Mekaniğine Giriş konusunda Lisans Düzeyindeki Uygulamalı Jeoteknik Mühendisliği Kursu, Genel İnşaat Mühendisliği Bölümü Müfredatı: 40 saatlik ders.

Önkoşul: Zemin ve kaya mekaniği özelliklerine giriş kursu (temel ağırlık zemin konusunda)

1. Jeoteknik mühendisliğindeki uygulamalı sorunlara giriş bu sorunların zeminin ve kayanın dayanımı, sıkışabilirliği geçirgenliği gibi özellikleri ile ilişkisi.

2. Proje üzerinde önemli zemin ve kaya özelliklerinin indekslenmesi.

2.1. Zemin özellikler.

2.2. Kaya özellikleri: sağlam (intact), eklemlili ve kaya kütlesi özellikleri: Karot çalışması; arazi gözlemleri.

3. Sömellerin/ayak temellerinin, kırışların/merteklerin ve kazıkların tasarımı.

3.1. Temellerin tipleri.

3.2. Kil üzerindeki temeller.

3.3. Kum üzerindeki temeller.

3.4. Diğer zemin türleri üzerindeki temeller.

3.5. Kayalar üzerindeki temeller ve kaya kütlelerinin sıkışabilirliği.

4. Yer basınçları (earth pressure) ve zemindeki istinat duvarlarının ve destekli yamaların tasarımı.

4.1. Yerbasıncı kuramı.

4.2. İstinat duvarları.

4.3. Destekli kazılar.

4.4. Sudan arındırma (dewatering).

4.5. Zemin hareketleri (ground movements) ve hasar.

5. Kayanın makaslama dayanımına ve kaya yamalarının tasarımına giriş.

5.1. Kayadaki zayıflıklar boyunca makaslama dayanımı.

5.2. Bir kaya yarmasındaki duraylılığın analizi.

5.3. Destek (tahkimat) sisteminin analizi.

- 5.4. Kazma ve patlatma işlemleri.
- 5.5. Birleşik kaya ve zemin yamaları.
6. Toprak ve kayalardaki şev duraylılığı (slope stability) sorunlarına giriş.
 - 6.1. Analiz yöntemi.
 - 6.2. Duraylılığı etkileyen faktörler.
 - 6.3. Kontrol yöntemleri
 7. Zemin ve kayalarda tünel ve yeraltı yapılarına giriş.
 - 7.1. Tünel zemini sınıflaması.
 - 7.2. Zeminde tünel açma: kazma ve destekleme yöntemi.
 - 7.3. Yüklemeler.
 - 7.4. Hareketlerin kontrolü.
 - 7.5. Kayalarda tünel açma: Kazma ve destekleme yöntemleri.
 - 7.6. Yüklemeler ve ön destek (ilk tahkimat).
 - 7.7. Kaplamalar.

2.2. Master Düzeyi Kaya Mekaniği Kursu: İnşaat Mühendisliği Bölümündeki Genel Jeoteknik Mühendisliği müfredatı.

Birinci dönem: Kaya davranışı (rock behavior), yüzeyde ve yüzey yakın alanlarda inşaat konularının vurgulanması: 40 ders saati.

Önkoşul: zemin mekaniği kursu ile birlikte mühendislik jeolojisi kursuna da kayıtlı olmak.

1. Jeoteknik uygulamalarda kaya mekaniği konusuna giriş: Genel bakış.
2. Kaya özellikleri.
 - a. Kaya kütesinin, kaya örneğinin, kaya süreksizliklerinin özellikleri.
 - b. Karot alımı ve değerlendirme.
 - c. Sert kayalar için laboratuvar indeks testleri ve sınıflandırmaları. Tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımı, elastik modüller, hız, sertlik.
 - d. Sondajlarda yapılan indeks testleri.
 - e. Kayanın gerilim-birim deformasyon dayanım özellikleri: Kaya yenilmesi kuramları, üç eksenli özellikler (triaxial properties), üç boyutlu gerilim durumu.
 - f. Zayıf kayanın özellikleri: 1. Tuzda krip (akma) (salt creep), kil akması, bozunmuş kaya 2. Şeyllerin ve bozunmuş kayanın şişmesi, suda dağılılabirliği ve sıkışabilirliği,
3. Kaya kütlelerinin sıkışabilirliği.
 - a. Sorunların çeşitleri: barajlar, yapılar, basınç tünelleri, kaya tahkimat etkileşimi.
 - b. Elastitise teorisi: denge, uyuşma/bağdaşma, gerilim-birim deformasyon ilişkileri, sınır koşulları.
 - c. Bir tüneldeki iç basınç nedeniyle gelişen yer değiştirmeler (displacements) ve gerilimler.
 - d. Elastik bir yarı-mekandaki (elastic halfspace) yükten dolayı görülen yer değiştirmeler ve gerilimler.
 - e. Yerinde (in situ) sıkışabilirliğin saptanması.
 1. Yerinde sıkışabilirliğin laboratuvarında tayin edilen elastisite modülü kaya kalitesi, sismik modüle ve eklem sıklığı ile (joint stiffness)

ilişkisi.

2. Yerinde yapılan testler.
3. Kayalarda oluşturulan temellere ilişkin saha sorunları.
 - f. Sıkışabilirlik sorunlarına örnekler, yumuşak ve sert kayalar.
4. Kaya kütlelerinin şev duraylılığı.
 - a. Şev duraylılığı sorunlarına giriş, şevlerin değerlendirilmesi ve şevlerin değerlendirilmesine ve tasarımına yaklaşımın genel hatları. Araştırmaya, analiz, tasarım seçimi, gözlemler, çareler (iyileştirici önlemler).
 - b. Süreksizliklerin makaslama dayanımı:
 1. Kayanın artık makaslama dayanımı
 2. Düzensizliklerin etkisi: Doruk dayanım (peak-strength), yer değiştirmeler.
 3. Eklem dolguları, artık dayanım, donuk dayanım düzensizliklerin etkisi.
 - c. Şev duraylılığı (stabilitesi) analizi:
 1. İki-boyutlu limit denge yöntemi.
 2. Üç boyutlu limit denge yöntemi.
 3. Yeraltı suyunun etkileri, pasif reaksiyonlar, destek (tahkimat).
 4. Emniyet faktörlerinin güvenlik katsayılarının ve dayanımların seçimi.
 - d. Şevlerin tasarımı: Örnekler; kaya yamaları, heyelanlar, açık maden işletmeleri barajlar.
 - e. Araştırmalar, gözlemler ve aletler ile yamaç ölçümleri.
- İkinci dönem: Yeraltı yapılarının inşaatı, kaya kazıları ve destekleri konusuna ağırlık: 40 ders saati
- Önkoşul: Kaya mühendisliği birinci dönem kursunu izlemiş olmak.
 1. Giriş: Yeraltı inşaatları ve tünel açma sorunlarına genel bakış.
 2. Yeraltı kazıları çevresindeki kayaların davranışı.
 - 2.1. Tünel yeri koşulları ve bunların kaya indeks özellikleri ile ilişkileri.
 - 2.2. Yer kabuğundaki gerilim durumu; ölçme teknikleri ve sonuçlar.
 - 2.3. Dairesel biçimli açmalar (circular openings) ve dairesele olmayan açıklıklar çevresindeki elastik gerilimler.
 - 2.4. Kaya patlamaları ve gerilim sorunları.
 - 2.5. Kazılar çevresindeki elasto-plastik gerilimler ve yer değiştirmeler.
 - 2.6. Gevşeyen zemin sorunları ve katmanlanmanın, eklemelerin ve makaslama zonlarının gerilim üzerindeki etkisi ve açıklıklar çevresindeki yer değiştirmeler ve duraylılık.
 - 2.7. Yeraltı açıklıkları çevresindeki ezilme, krip (akma) davranışı.
 - 2.8. Açıklıklar çevresindeki ufalanmalar ve şişmeler.
 - 2.9. Açıklıkların duraylılığı üzerinde yeraltı suyunun etkileri.
 - 2.10. Açıklıklarda ortaya çıkan gazlar.
 3. Kaya yamaları ve dik duvarlar için kazı ve destekleme işlemleri.
 - 3.1. Destek tipleri desteklerin seçimi.
 - 3.2. Kazı işlemleri: patlatmalar, kontrollü patlatmalar; titreşim kontrolü.
 - 3.3. Kazıda izlenecek sıra ve yakındaki yapıların desteklenmesi (korunması).

3.4. Kaya yarımlarının tasarımı ve performansı

4. Tünelin açılması ve desteklenmesi.

4.1. Destekleme sistemlerinin seçimi, tasarımı ve işlevi: Kaya saplamaları, tıkaçlar ve çelik örgüler/kafesler, beton ve beton dolgulama; kaya ile destek mekanizması arasındaki etkileşim, nihai kapasite (ultimate capacity) ve gözlenen performans.

4.2. Tünel içindeki patlatmalar.

4.3. Tünel tavanlarının desteklenmesi ve kontrolü

4.4. Kazı ve destekleme aşamaları.

4.5. Tünel açma makineleri, ilerleme, çamurlu kazı malzemesinin (tünelden) dışarı taşınması ve değişik zemin koşullarındaki destekler.

4.6. Zemin/Karma aynada (mixed face) tünel açma .

4.7. Yeraltı suyu denetimi.

4.8. Aletli ölçümler.

5. Büyük açıklıkların kazısı ve desteklenmesi.

5.1. Kazı işlemi sırası ve inşaat yöntemleri.

5.2. Derindeki boşluklar (odalar): izlenen performans ve tasarım.

5.3. Sığdaki (yüze yakın) boşluklar izlenen performans ve tasarım.

5.4. Oda-topuk olanakları: Topukların ve tavanların tasarımı ve performansı.

6. Bir projenin planlanması ve uygulanması.

6.1. Araştırma ve Tünel açma koşullarının araştırılması ve yapım öncesi hesapları.

6.2. Spesifikasyonlar ve kontrat ilişkileri.

6.3. İnşaatın kontrolü ve gözlemler.

2.3. Jeoteknik Mühendisliğinde Master Kursları: Maden ve İnşaat Mühendisliği bölümleri.

Kaya dayanımı ve yenilmesi: 18 ders saati.

1. Giriş: Mühendislik uygulamalarında karşılaşılan kaya dayanımının doğası ve büyüklüğüne ilişkin sorunlar. Tanımlamalar ve kavramlar-çatlak (fracture), dayanım (strength), yenilme (failure), yenilme (yield) gevrek/kırılgan (brittle) ve sünümlü (ductile) davranış.

2. Kaya malzemesinin davranışı. Yarı statik tek eksenli sıkışma testi-uç koşulların etkisi, örnek hazırlanması, boyutu ve biçimi.

3. Gözlenmiş/görünür davranış üzerinde test sistemi sıklığının etkisi-yumuşak, sert ve servo kontrollü test makineleri.

4. Laboratuvarda tek eksenli sıkışma testinde (uniaxial compression) kaya davranışı üzerinde gözlemler gerilim-birim deformasyon eğrileri ilerleyen iki karakterdeki kırık oluşumu, mikro yapının etkisi.

5. Çok eksenli sıkışma testleri-test yöntemleri, σ_2 ve σ_3 'ün doruk dayanım üzerindeki etkisi.

6. Üç eksenli sıkışmada deformasyonun mekanizması gerilim-birim deformasyon davranışı, hacimsel birim deformasyonlar (volumetric strains). Sıcaklığın etkisi.

7. Sıkışmada kayacın zamana-bağımlı (time-dependent) davranışı-birim deformasyon hızının, kripin, uzun ve kısa dönemli gerilim-birim deformasyon eğrilerinin etkisi.

8. Kayanın çekilme dayanım-doğrudan ve dolaylı çekme testleri.

9. İzotropik kaya malzemesi için kopma ve yenilme kriterleri (failure and yield criteria). Toplam efektif gerilim kriteri, Coulomb ve

Mohr kriterleri.

10. Kopma ve yenilme kriterleri (devamı)-yenilme kriteri (von Mises, genişletilmiş von Mises v.s.). ampirik dayanım kriteri ve bunların kayalara uygulanabilirliği.

11. Griffith çatlak kuramı (Griffith crack theory)-enerji duraysızlığı kavramı, tek eksenli çekme ve sıkışmaya uygulanması.

12. Düzlemsel sıkışma (plane compression) için Griffith kuramı. Değiştirilmiş Griffith kuramı-Fairhurst, McClintock-Walsh, Murrell.

13. Süreksizliklerin makaslanma davranışı (Shear behavior of discontinuities). Düz ve pürüzlü kaya süreksizlik yüzeylerinin davranışı; Pürüzlülük, genişleme/uzama (dilation) ve makaslama kuvveti-deformasyon eğrileri arasındaki ilişkiler.

14. Ölçeğin pürüzlülük ve makaslama dayanımı üzerindeki etkisi; Barton'un makaslama dayanımı eşitliliği.

15. Makaslama testi yapma teknikleri. Süreksizliklerin deforme olabilirliliği. Doğulu eklemelerin davranışı.

16. Eklemli kaya kütlelerinin davranışı. Jaeger'in tek zayıflık düzlemi kuramı-anizotropik kaya ve çok eklemli kayalara uygulanması.

17. Eklemli kayaların dayanımı (hakkında) laboratuvar ve saha gözlemleri; gözlenmiş ve yenilme (failure) mekanizması. Ladanyi ve Archambault yaklaşımı.

18. İlk kez veya daha önceki makaslama yüzeyleri üzerinde gelişen kaymaların jeoteknik sınıflaması. Şev duraylılığı: 25 Ders saati.

1. İnşaat ve maden mühendisliğinde şev duraylılığı sorunlarının doğası. Yamaçlardaki kütle hareketlerinin morfolojik sınıflaması.

2. Morfolojik sınıflama (devamı).Heyelanların jeoteknik sınıflaması.

3. Plastisite sınır kuramlarını da içerecek şekilde duraylılık analizi yöntemlerine giriş.

4. İki boyutlu limit denge analizlerine giriş. Sonsuz/belirsiz yamaç (infinitive slope).

5. Sonlu yamaçlardaki düzlemsel kaymaların analizi.

6,7,8. Dairesel kaymaların analizi-dilimler yöntemi (method of slices). Bishop yöntemi, İsveç yöntemi, boyutsuz yöntemler v.s.

9. Su yükleri de dahil olmak üzere dış yüklerin etkisi.

10. Deprem yükünün etkileri. Üç boyutlu duraylılık analizi.

11,12,13. Üç boyutlu yenilmelerin /duraysızlıkların kapalı formlar, vektör ve stereografik projeksiyon yöntemleri ile analizi.

14. Devrilme türü duraysızlıkların belirlenmesi ve mekanizması.

15,16. Şevlerin arazideki davranışı-efektif gerilim açısından örnek durumların analizi için saha verilerinin derlenmesi.

17. Laboratuvarda belirlenmiş makaslama dayanımı ile kayma sırasında mobilize olan karşılaştırılması.

18. Varolan makaslama yüzelerinde veya ilk kez gerçekleşen kaymaların jeoteknik sınıflaması.

19. Daha önceki kayma yüzeyleri üzerindeki kaymalara ilişkin örnek çalışmalar (case studies).

21,22. İlk kez olan kaymalara ilişkin örnek çalışmalar.

23. Zemin ve kaya şevlerinin tasarımına ilişkin yaklaşımlar.

24. Kaya yamaçlarının tasarımına ilişkin örnek çalışmalar.

25. Şev gelişimi. Heyelanlar için önleme çareleri.

26. Önleme çareleri (devamı).

Jeoteknik Mühendisliğinde Laboratuvar ve Arazi Teknikleri: 26 ders saati.

1. Kuvvet ve gerilimin laboratuvarında ölçümüne ilişkin ilkeler.

2. Laboratuvarında birim deformasyon ve gözenek-suyu basıncı ölçümleri.

3,4. Elektronik algılayıcılar ile (electronic sensors) ile ölçüm yapmanın ilkeleri.

5. Birim deformasyon dalgaları (strain waves) ve dinamik elastik sabitlerin ölçümü.

6,7. Model analizi.

8. Kayada sondaj yapma (rock drilling).

9. Jeoteknik loqlama ve yönlü karot alımı.

10. İnşaat alanı araştırmaları-genel ilkeler.

11. Zeminlere ilişkin inşaat alanı araştırma tekniklerine giriş.

12. Zemin örnekleme.

13. "Soundings", penetrasyon testleri.

14. Zeminin dayanımının yerinde (in situ) ölçümü.

15,16. Kayada yerinde gerilim alanı ölçümü.

17,18. Kayalarda arazide-yükleme (deformabilite) testleri.

19. Zeminlerde yerinden gerilim ölçümü.

20. Zemin basınç hücreleri.

21. Yerinde dayanım ölçümü.

22,23. Yer değişimlerinin izlenmesi.

24. Piezometreler.

25. Yerinde geçirgenlik ölçümü.

26. Eklemlili kaya kütlelerinde yeraltı suyu akışı.

2.4. Kaya Mekaniği Kurslarında Kullanılan Başlıca Referanslar ve Yayınlar.

(Aşağıdaki çeviriler sadece italikle yazılmış yayınları kapsamaktadır).

1. Mühendislik Jeolojisinin İlkeleri.

2. Rezervuar Mühendisliğinin Esasları.

3. Kaya Mekaniğinin İlkeleri.

4. Deneysel Gerilim Analizi.

5. Kömürlerin Dayanımı, Kırılmaları ve İşletilebilirliği.

6. Tünelcilik Teknolojisi.

7. Kaya Mekaniğine Giriş.

8. Süreksizlik İçeren Kayalarda Jeoloji Mühendisliği Yöntemleri.

9. Kaya Şev Mühendisliği.

10. Elastisite, Kırılma ve Akma.

11. Kaya Mekaniğinin Esasları.

12. Mühendislik Jeolojisi ve Jeotekniğin İlkeleri.

13. Kaya Patlatmalarının Modern Tekniği.

14. Zemin Kontrolunun Felsefesi.

15. Kaya Mekaniği ve Kayalarda İnş Edilen Yapıların Tasarımı.

16. İnşaat Mühendisliğine Uygulanan Kaya Mekaniği.

17. Deneysel Kaya Deformasyonu-Kırılma Alanı.

18. Kırılma ve Yarı Kırılma Kayalarda Fay ve Ekleme Gelişimi.

19. Kayaların Kıvrılma ve Kırılması.

20. Jeoteknoloji-Öğrenciler ve Mühendisler için bir Giriş Teksti.

21. Maden Mühendisliği Elkitabı.

22. Mühendislik Uygulamalarında Kaya Mekaniği.

23. Tünel Açma Sanatı.

24. Kayalardaki Tünel ve Kuyular.

25. Kayaların Mekanik Özellikleri Üzerine Elkitabı.

26. Metal Madenlerine ve İşletilen Kömür Ocaklarına İlişkin Yöntemler.

3. ÇEŞİTLİ BÖLGELERDEKİ KAYA MEKANİĞİ EĞİTİMİ KONUSUNDA BİLGİLER

Aşağıdaki notlar okuyucuya dünyanın çeşitli kesimlerindeki genel eğitim sisteminin ve özellikle de kaya mekaniği programlarının bölgesel özellikleri konusunda aydınlatmak için sunulmuştur.

3.1. İskandinav / Finlandiya'ya İlişkin Bölgesel Notlar;

İskandinav ve Finlandiya'da Üniversiteler kıta Avrupası geleneğine göre organize edilmişlerdir; buralarda mühendislik, özel teknoloji enstitülerinde öğretilmektedir (Technische Hoshschulen). İki dereceli öğretim verilir; 4-5 yıllık eğitim ve Mühendislik Diploması (Diploma Engineer) ve Ph.D (Felsefe Doktorası)'nın eşdeğeri olan Doktora (Dr. İng.) derecesi.

Bu Enstitüler İnşaat Mühendisliği Bölümleri içermektedirler ve daha büyük enstitülerde ise Maden metalurji ve Jeoloji Bölümleri de yer almaktadır. Zemin mekaniği, geleneksel olarak İnşaat Mühendisliği Bölümünün bir alt bölümü olmuştur. ancak jeoloji, cevher jeolojisi ve mühendislik jeolojisini de kapsamak üzere, maden, metalurji ve jeoloji bölümleri içinde yer almıştır. Kaya mekaniği bir disiplin olarak kısmen maden, kısmen de bu yörede yapılan yoğun tünel açma çalışmaları nedeniyle gelişmiştir.

Bu bölge jeolojik olarak, hem çok yaşlı ve genellikle sert kayalardan, hem de çok genç ve genellikle yumuşak zeminler ile karakterize edilmektedir. Bu nedenle zemin mekaniği ve kaya mekaniği günümüze değin ayrı disiplinler olarak ele alınmıştır. Bu durum aynı zamanda eğitim programlarına da yansımıştır. Jeoteknik, alanındaki en eski akademik disiplin olması nedeniyle, zemin mekaniği, inşaat mühendisliği öğrencilerinin programının bir bölümünü oluşturmaktadır. Kaya mekaniği kursları normal olarak seçmelidir ve diğer bir disiplin ile birlikte önerilir. Maden ve jeoloji mühendisli-

ği öğrencileri için kaya mekaniği kursları öğrenim programlarının önemli bir bölümüdür.

Kaya mekaniği kursları genelde pratik olarak uygulanabilir. Bunun yanı sıra, araştırmaya yönelik çalışmaların büyük bir bölümü de pratik içeriklidir ve üniversiteler ile madencilik ve tünel açma endüstrisi arasındaki ilişkiler her zaman iyi olmuştur.

3.2. Birleşik Krallık'ta İlişkin Bölgesel Notlar;

Birleşik Krallıkta (İngiltere, Galler Ülkesi, İrlanda ve İskoçya) üniversiteler geleneksel bölüm (department) anlayışına göre düzenlenmiştir; öğrenciler derecelerini (mezuniyetlerini) ilke olarak bir bölümden alırlar. Bachelorya (lisans) derecesi programları 3 sene sürer, ancak şimdi bazı üniversiteler 4 yıllık programlara geçiş yapmaktadırlar. Kaya mekaniği lisans düzeyinde, maden mühendisliği programlarının temel bölümlerini oluşturur, fakat inşaat mühendisliği bölümlerinde seçmeli ya da programın küçük bir bölümü olarak okutulur. Bazı inşaat mühendisliği programlarında, kaya mekaniği konusunda olmamakla beraber, jeoteknik mühendisliği konusunda uzmanlaşmak olasıdır. Bachelorya derecesi bazı jeoloji bölümlerinde mühendislik jeolojisinde uzmanlaşma ile birlikte alınabilir.

En yoğun kaya mekaniği öğretimi, çok az sayıdaki üniversite tarafından 1 yıllık master düzeyinde önerilen uzmanlık derecesi programlarında verilmektedir. Kaya mekaniği, zemin mekaniği veya mühendislik jeolojisi ya da kaya mekaniği konusunda uzmanlaşan öğrencilere öğretilir ya da kendi alanında bir uzmanlık olarak verilebilir. Genel olarak bu programlarda farklı jeoteknik disiplinlerinde çalışan akademisyenler arasındaki ilişki/işbirliği yüksektir. Bu ileri düzeydeki kurslar, bilindiği gibi, dünyanın çeşitli kesimlerinden öğrencilerin katılımına açık olması nedeniyle bölgesel olma özelliği sınırlıdır. Ancak ülkenin güneyi dışında kalan yörelerdeki maden okullarının pek çoğu, öğretim ve araştırmalarında kaya mekaniği konusunu kömür madenciliği ve yumuşak kaya uygulamaları alanında yoğunlaştırmaktadırlar.

Birleşik Krallıkta doktora derecesi kurs programlarını içermeyen araştırma üzerine verilir. Kaya mekaniğinde doktora düzeyinde araştırma genel olarak madencilik okullarında sürdürülür. Bazı üniversitelerde kaya mekaniği araştırma programları yerel kömür madencil-

ği endüstrisi ile yakın bir işbirliğini yansıtır; ancak ülke genelinde doktora (Ph.D.) araştırması, inşaat mühendisliğinin sert ve yumuşak kaya madenciliğinin ve enerji ile ilişkili uygulamaların tüm alanını kapsar.

3.3. A.B.D. İçin Bölgesel Notlar

A.B.D.'de kaya mekaniği çoğunlukla üniversitenin ya inşaat mühendisliği ya da maden mühendisliği bölümlerinde verilir. Kaya mekaniği kursları hem 4 yıllık lisans derecesi programında, hem de 1 veya 2 yıllık master derecesi programlarında bulunabilir.

Maden mühendisliği bölümlerinde kaya mekaniği kursları çoğunlukla lisans derecesi programlarında yer alır. İnşaat mühendisliğinde, programların pek çoğu lisansüstü (graduate) jeoteknik mühendisliğinde uzmanlaşmaya yönelik olması nedeniyle kaya mekaniği başlıca master derecesi programında yer alır. Çoğunlukla, inşaat mühendisliği bölümlerinde öğrenciler kaya mekaniği kurslarını bazı zemin mekaniği veya genel jeoteknik kurslarına katıldıktan sonra alırlar. Bu programlardan bazıları öğrencilerin, olasılıkla uygulamada karşılaşacakları çeşitli zemin ve kaya koşullarını anlayabilmeleri için, zemin mekaniği, kaya mekaniği ve mühendislik jeolojisi alanlarında kurslar almasını öngörmektedir.

Doktora programı, genellikle master derecesi üzerinde bazı kurslar içermesine rağmen, üniversitelerin pek çoğunda ilkesel olarak bir araştırma programıdır. A.B.D.'de kaya mekaniğine ilişkin doktora programları hem inşaat mühendisliği hem de maden mühendisliği bölümlerinde yer alır.

Üniversitelerin pek çoğunda, araştırmanın büyük bir bölümü federal kaynaklardan desteklenir ve araştırma bu nedenle ulusal gereksinimlere yanıt vermeye yöneliktir. Araştırma sahası yerlerinin üniversiteye yakın olması ve araştırmaların yerel ve eyalet bazında desteklenmesi nedeniyle de, bazı bölgesel araştırmalar da geliştirilmiş olabilir. A.B.D.'deki jeolojik ve coğrafik koşullar oldukça değişik olması, önemli üniversitelerin çoğunlukla çok çeşitli jeoteknik sorunlar ile ilgilenmesine yol açmıştır. Lisansüstü mühendislik programlarının pek çoğunda diğer ülkelerden gelmiş çok sayıda öğrenci de bulunmaktadır; bu durum programın perspektiflerini genişletmeye yardımcı olmaktadır.

3.4. Federal Almanya Cumhuriyeti İçin Bölgesel Notlar;

F. Almanya Cumhuriyeti'nde kaya mekaniği kursları yerel duruma da bağlı olarak inşaat mühendisliği, maden mühendisliği veya jeoloji bölümlerinde verilir. Çoğunlukla bu kurslar jeoteknik mühendisliği, mühendislik jeolojisi veya maden mühendisliği kursları olarak düzenlenmiştir. Diploma programları genellikle 4 yıllık bir kurs programı ile bitirme tezini (Diplomarbeit) içerir. Bu programlar kapsamında temel programa ek olarak bazı uzmanlaşma programları da seçilebilir. Kaya mekaniği konusunda geliştirilmiş/ileri düzeyde kurslar bu uzmanlaşma alanları kapsamındadır.

Doktora derecesi araştırma üzerine kuruludur ve ek kurs çalışmalarını içermez.

4. ÖZET

4.1. Araştırma Sonuçları

Bu araştırmaya gelen yanıtlardan, yanıtlayan üniversitelerin sayısının ve iş bulmuş mezunların sayısının maden ve inşaat mühendisliği disiplinleri arasında eşit olarak paylaşıldığı görülmektedir.

1979 yılında yanıt gönderen 104 üniversitenin yaklaşık yarısı jeoteknik mühendisliğinin ağırlıklı olarak verildiği doktora programlarını içermektedir. Yanıtlayan üniversitelerin yaklaşık dörtte biri yaygın kaya mekaniği programları içermiştir. Bu üniversitelerde son 8 yılda üçten fazla doktora tezi verilmiş ve her yıl dörtten fazla öğrenci kaya mekaniği konusunda 80 saatten fazla ders alarak mezun olmuştur.

Kaya mekaniği salt bir uzmanlık alanı olarak değil, ayrıca maden ve inşaat mühendisliği genel programları içindeki yeri bakımından da araştırılmıştır. İnşaat mühendisliğinde kaya mekaniği çoğunlukla master düzeyinde sunulmakta ve çoğu kez de lisansüstü zemin mekaniği programı ile entegre edilmektedir. İnşaat mühendisliği bölümlerinin pek çoğu master düzeyinde zemin mekaniği konusunda yoğunlaştıkları için bu akılcı bir yaklaşımdır; inşaat mühendisliğinde, sadece zemin mekaniğine giriş kursları olmak üzere, lisans düzeyinde daha genel programlar verilmektedir. madencilikte, kaya mekaniği kursları çoğunlukla madencilik okullarının lisans müfredatında yer almaktadır. Örneğin

Avustralya üniversitelerinin pek çoğu maden mühendisleri için lisans düzeyinde 1-3 arasında değişen kaya mekaniği kursları içerir.

4.2. Giriş Konusu Olarak Kaya Mekaniği

Okullarda kaya mekaniğinin, araştırma konusu ağırlıklı olmaksızın, bir genel giriş konusu olarak öğretilmesine ilişkin bir eğilim vardır. Komisyon bu durumun kaya mekaniği eğitiminde önemli bir nokta olduğu görüşündedir. Komisyon aynı zamanda, bu tür okullardaki akademik üyelerin de desteklenmesine gereksinme olduğunu kabul eder. Bu araştırmaya gelen yanıtlarda, özellikle kaya mekaniği konusunda uzmanlaşmamış okullar tarafından, tipik müfredat programlarının ve kaya mekaniği kurslarının yayımlanmasına olan gereksinme sık olarak dile getirilmiştir. Bu raporda, kursların ve programların bazı örnekleri sunulmuştur.

Pek çok mühendislik okulunda lisans düzeyinde top-
rak mekaniğine giriş kursları verilir. Kaya mekaniği konusunda bu düzeyde yeterli bir kurs vermek mümkün olmamakla beraber, zemin mekaniğine giriş veya "jeoteknik kurlarında "kaya mühendisliği konusuna giriş yapılması arzu edilir ve bu pek çok durumda da olasıdır. Öğrencilerin bakış açısı, makaslanmalar, faylar ve eklemeler, gibi kayalardaki süreksizliklerin önemini vurgulayan kaya mekaniği konularının konulması ile dengelenebilir. Öğrenci ister zemin, ister kaya kütleindeki bir süreksizliğin dayanımının, alınmış bir örnekte yapılan laboratuvar testi ile belirlenilemeyecek özelliklere bağlı olduğunu öğrenebilir. Öğrenci bir kaya karotuyla çalışılması ile önemli kaya özelliklerinin nasıl tanımlanabileceğini ve çoğu kez de bir kaya karotunda ne tür bilgilerin elde edilemeyeceğini öğrenebilir. Öğrenci hem kaya hem de zemin benzeri özelliklere sahip şeyl'lerin ve kalıntı zeminlerin (residual soils) sorunları ile tanıştırılabilir. Aynı zamanda hem zemini hem de kayayı kesen yüzeyleri ortaya koyan kazılar, tüneller şevler ve formasyonlara ilişkin projelerden örnekler sunulabilir. Bunlara ve diğer örneklere ilişkin müfredat ikinci bölümde sunulmuştur.

Kaya mekaniği öğretmenine daha fazla destek vermek için kaya mekaniği ilkelerini gösteren saydam setleri veya projeksiyen ile gösterilebilecek setler gibi öğretime yardımcı olabilecek kaynaklar geliştirilebilir.

Saydamlar arazideki kaya koşullarını gösteren örneklerden oluşturulabilir ve bunlar arazide önemli kaya indekslerinin nicel tanımlamalarını veren ve karşılaşılan mühendislik sorunlarını özetleyen notlar eşliğinde sunulmalıdır.

4.3. Disiplinler arası İlişki

Pek çok üniversite, kendilerinin diğer jeoteknik disiplinleri (zemin mekaniği ve mühendislik jeolojisi) ile etkileşimlerinin iyi olduğunu belirtmiştir. Bu durum, bir ölçüde, yapılandırma ziyade hedefi yansıtabilir. Üniversitelerin pek çoğu daha fazla bir etkileşime olan gereksinmeyi dile getirmiştir. Çeşitli üniversiteler, jeoloji camiası arasında uygulamalı sorunlara ilginin yetersiz olmasını jeoloji ve mühendislik arasında yeterli iletişimin elde edilmesindeki zorlukların nedeni olduğuna dikkati çekmişlerdir.

Ancak disiplinler arası daha fazla etkileşimin geliştiği görülmektedir. Özellikle inşaat mühendisliğinde, uygulamada karşılaşılan kalıntı zemin ve değişik kaya-zemin sorunlarının doğru olarak ele alabilmek için zemin ve kaya mekaniği konuları bütünleştirilmektedir. Aynı zamanda pek çok kişi (akademisyen) kaya mekaniği programlarının bir parçası olarak jeoloji arazi kurslarının önemini kabul etmektedir.

4.4. Kaya Mekaniği Uzmanının Eğitimi

Komisyon öğrencilerin gözlemler yapmak ve bu gözlemleri sorunların tanımı ve çözümünde kullanmaları için yetiştirilmelerine ihtiyaç olduğunu vurgulamayı dilemektedir. Bu durumu görmek için jeoloji eğitimi önemlidir; mühendislik eğitimi bu durum ile çözülecek sorun arasındaki ilişkiyi kurmaya yöneliktir. Bir projeyi etkileyen koşullar kavranamaz veya öngörülemez ise, en iyi analiz veya sınamanın herhangi bir anlamı yoktur. Komisyon üyelerinin pek çoğu öğrencilerin sorunu öngördüğü, harita yaptığı, log aldığı bir tasarım hazırladığı ve aynı zamanda arazide yerindeki varolan koşulları gözden geçirme ve dolayısıyla öngörüleni (geçerliliğini) sınama olanağı bulduğu arazi çalışmalarının turist-benzeri arazi gezilerinden daha başarılı olduğunu görmüştür. Kaya mekaniği alanında kullanılan gereçler bakımından çözümsel (analitik) amaçlı önemli gelişmeler olmuştur. Bu gereçler programları uzman olmayan

kişilere aktarabilecek ve mühendis ile öğrenciyi program ile karşılıklı etkileşime olanak verecek "interacti-ve" grafikler gibi tekniklerin gelişimi ile daha da yararlı olacaktır.

Böylesine yaklaşımların yanlış kullanımını önlemek için öğrenci, ileri düzeydeki analitik tekniklerin altında yatan temel ilişkileri ve hatta bu ileri düzeyde geliştirilmiş tekniklerin, kaya kütlelerinin gerçek davranışı bakımından sınırlı olduğunu anlamalıdır. Bu nedenle, öğrenci malzemenin davranışı ve mekaniği hakkında sağlam bir temel elde etmeli ve aynı zamanda gerçek durumlar ve örneklerle tanıştırlarak bu deneyimlerini bir sorunun çözümünde kullanmayı öğrenmelidir. Öğrenci bir mühendislik sürecinin bir analiz ve sınama olayından öte bir şey olduğunu algılamalıdır. Mühendislik süreci çok daha geniş kapsamlıdır. Bu süreç bir arazinin koşullarını ortaya koymaya yönelik projeyi, araştırmayı ve gözlemleri etkileyen kritik parametrelerin saptanmasını ve daha önceki deneyim ve örneklerin uygun faktörler analizler kullanılarak karşılaşılan sorun ile denetirilmesinin değerlendirilmesini kapsar. Maliyet, risk, sözleşme şartları, arazideki koşulları izlemek ve yön vermek, bir tasarımın seçiminde oluşturulmasında gözönünde bulundurulması gerekli öğelerdir.

Bu komisyon bu araştırmaya gelen yanıtlardan ve dünyanın çeşitli yerlerinde kaya mekaniği eğitimi verenler ile kurdukları kişisel bağlantılardan pek çok üniversite için öğrenciyi salt mühendisliğin temel ilkeleri ile bilimsel kuramı konusunda yeterli bilgi ile donatmak değil, aynı zamanda sorunlara ve sahadaki sorunların araştırma yöntemine yeterli bir mühendislik bakış açısı ile yaklaşan bir program geliştirmesinin ve yönetmesinin zor olduğu sonucunu çıkarmıştır. Bir fakülte üyesi için öğretmek ve araştırma programı oluşturmak ve aynı zamanda uygulama ile önemli bağlantıları sürdürmek zordur. Genç akademik üyelerin özellikle "yayın yapıyor da yok ol" olgusuna itilmeleri nedeni ile en olumlu araştırma çalışmaları bir parça kayanın laboratuvarındaki test makinalarında kırılmaları ile sınırlıdır. Bu araştırmacının bir kısmı anlamlı bir kısmı ise anlamsızdır. Özellikle bir kaya mekaniği uzmanı malzemesinin doğasını -ki bu bir kayadır- onun sahaya giderek gözlenmesi ve onun hakkında orada öğrenmesi gerektiği görüşünün daima bilincinde olmalıdır.

Log Korelasyon Teknikleri ve Jeolojide Kullanımı

O.Serra, Schlumberger Educational Services, Texas
Çeviren
Aynur GEÇER
A.Ü.F.F. Jeo.Müh.Böl. ANKARA

GİRİŞ

Kuyu loglarından jeoloji, jeofizik ve rezervuar özellikleri hakkında yararlı bilgiler elde edilebilir. Kuyu logları formasyonun sayısal gelişimi ve devamlılığını veren avantajlara sahiptir. Ayrıca loglardan, karot örneklerinde gözden kaçan küçük kriterleri elde etmek ve dikey çözümde çok iyi detaylar saptamak mümkündür.

Dipmeter analizi fay yada açısız uyumsuzluğun varlığını göstermesine karşın, kaçırılmış bir sekans yalnızca yada daha fazla kuyunun karşılaştırılmasıyla ortaya çıkarılabilir. Korelasyonlar fay, açısız uyumsuzluk, depolamada bir ara verme ve bir erozyonun olup olmadığını gösterirler.

Kuyu logu çalışmalarında bir araştırma sahasında açılan birkaç kuyudan formasyonun gelişimine ilişkin (yer-zaman, yapısal açıdan) tamamlayıcı bilgiler elde edilebilir. Çalışmanın amacına ve çözülecek problemin tipine bağlı olarak, kullanılacak log teknikleri havzada açılmış tüm kuyulara uygulanabilir.

Kuyu çalışmalarında ilk amaç kronostratigrafik korelasyonu, sonrada fasiyes korelasyonunu kurmaktır. Bu çalışma ekonomik hidrokarbon birikimini keşfetmek ve haritalamaya yöneliktir. İkinci amaç ise, araziye üç boyutlu olarak düşünerek (sedimentolojik, sedimanter ve tektonik açıdan) jeolojik yorumu mümkün olduğu kadar ortaya çıkarmaktır. Eğer kuyular dipmeter verileri de içeriyorlarsa korelasyonu kurmak kolaylaşır.

LOG KORELASYONLARI

Log korelasyonlarında kayacın litolojisi, rengi, dokusu, sedimanter özellikleri, flora ve fauna içeriği gibi karakteristik özellikler önemlidir. Yeraltı incelemelerinde loglar üzerinde eş karakteristik özellikler aranır.

Nedensellik Kuralı

Nedensellik kuralı aynı etkileri oluşturan aynı sebepleri ifade eder. Bu kurala göre, verilen bir jeolojik sürede aynı istifin depolanma şartları, aynı log tepkilerini oluşturur.

Böylece farklı iki kuyuda benzer log özellikleri gözlemlendiğinde şu sonuçlar elde edilmiştir.

-Depolanma şartları her iki kuyu lokasyonu için de aynıdır.

-Log üzerinde aynı jeolojik zamanda aynı stratigrafik aralık tekrarlandıkça, aynı formasyon olması muhtemeldir. .

LOG KORELASYON KAVRAMLARI

Log korelasyon yöntemlerinde kullanılan üç önemli görüş vardır:

I-Benzerlik Kavramı (Concept of Similarity)

Benzerlik Kavramı çok açık ve en iyi anlaşılabilir kavram olmasından dolayı uygulaması kolaydır. Düşey istiftede logun pozisyonu, sıklığı (frequency) genişliği (amplitude) temel teşkil eder. Bu kavram çok ince detayların korelasyonu için kullanılır. Bu uygulamada

benzerlik mükemmel ise korelasyon emin bir şekilde bitirilebilir. Sonuç olarak bu korelasyon geçerli ve kronostratigrafiktir.

Şunu önemle belirtmek gerekir ki, dikey çözümlerde iyi bir sonuç elde etmek için mikrolaterolog ve dipmeter gibi loglara da müracaat etmek yararlı olur.

II. Ritmisite Kavramı (Concept of Rhythmicity)

Ritmik veya devir sekansta yerini alan sedimantasyon önemli jeolojik olaylarla ilişkilidir ve depolanma tipi ne olursa olsun bölgeye göre karakterize edilirler (Pomeroy, 1980). "Sekans: Üstten ve alttan diskordans veya bu diskordansların yanıl eşdeğeri olan konkordan yüzeylerle sınırlanmış kökensel olarak birbirleriyle yakınlık derecesi olan, genellikle birbirleriyle uyumluluk gösteren, peşpeşe bulunan tabakalar grubudur."

Ritmisite kavramı yakın sinhorizonları gösteren jeolojik olayları tanımasını mümkün kılar. Bu kavram tektonik hareket, transgresif peryotlar ya da östatik dönemler, erozyon, depolanmada bir ara verme ve hard-ground (sert zemin oluşumları) nedeniyle sedimantasyonda bir kesikliği gösterir.

III-Yanal Değişkenlik Kavramı (Concept of Lateral Variability)

Bu kavramda iki durum sözkonusudur.

1-Rastgele olmayan yanal fasiyes yayılımı "Walther Kanunu" olarak bilinir. Bu kanuna göre sedimanter sekansta üst üste gelen ve yanyana sıralanan istifler arasında bir ilişki vardır.

2- Aynı jeolojik zaman esnasında depolanma kalınlığı şunlara bağlıdır.

-Litoloji tipi, depolanma ortamı ve istifin sıkışma kapasitesi.

-Subsidans (çökme olayı)

-Her ikisinin kombinasyonu.

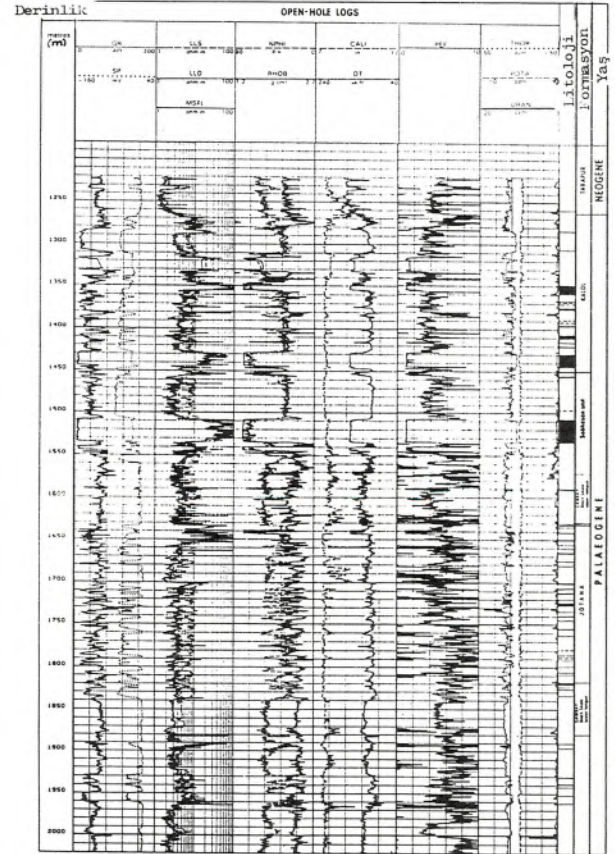
Eğer kronostratigrafik korelasyon kurulursa özellikle deltayik ve evaporitik havzalarda yanal değişkenlik kuralı ile depolanma tipi saptanabilir.

LOG KORELASYON TEKNİKLERİ

Aslında log korelasyonunun hiçbir özel tekniği yoktur. Korelasyon için yalnızca tipik işaret ve patenlerin

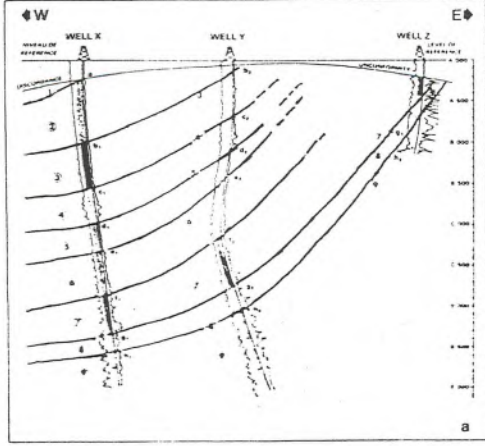
bulunması yeterlidir. Bunlar eğri şekillerindeki benzerlikleri ifade ederler.

Korelasyon işlemi için öncelikle her bir kuyunun kompozit logu alınır. Kompozit logun kullanımı korelasyonun temeli için tavsiye edilir (Şekil 1).

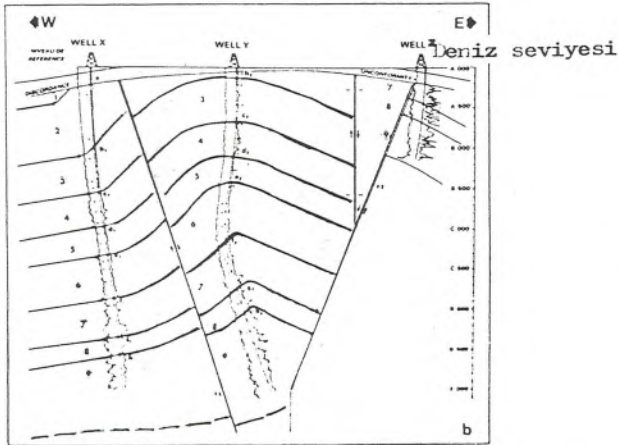


Şekil 1. Log korelasyonlarında kullanılacak, çok küçük ölçekli kompozit log örneği.

Kompozit log araştırma loglarının bir çoğunu içerir. Litho-tip programı tarafından hazırlanan bu loglar doğru litoloji tanımları verirler (DELFINER, 1984). Eğim sonuçları kullanılan alete bağlı olarak LOCDIP ya da GEODIP programı tarafından sağlanır. Ayrıca tüm kuyunun görüntüsünü elde etmek için SYNDIP programı kullanılır (SERRA, 1984). Kuyu görünümünün tamamını elde etmek için kesit düzleminde bir çubuk diyagram (stick-plot) tavsiye edilir. Bunlar petrol veya gaz kuyularının olası lokasyonları hakkında değerli bilgiler verirler (Şekil:2,3).



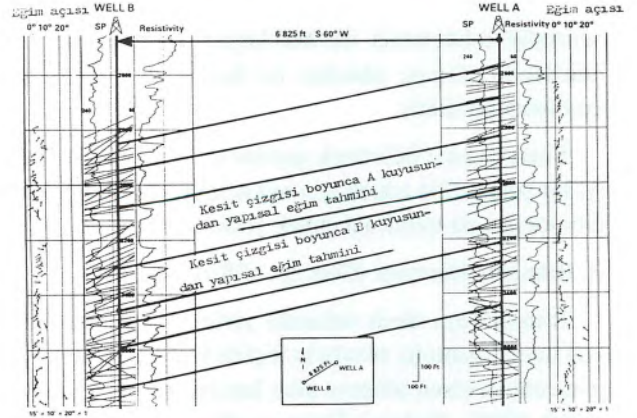
Şekil 2a. Kuyu logu korelasyonları ile yapının tesbiti.



Şekil 2b. Dipmeter (eğim) verileri yardımıyla yapısal enine kesitin ortaya çıkarılması (Schlumberger, Well Evaluation Conference, Venezuela, 1980).

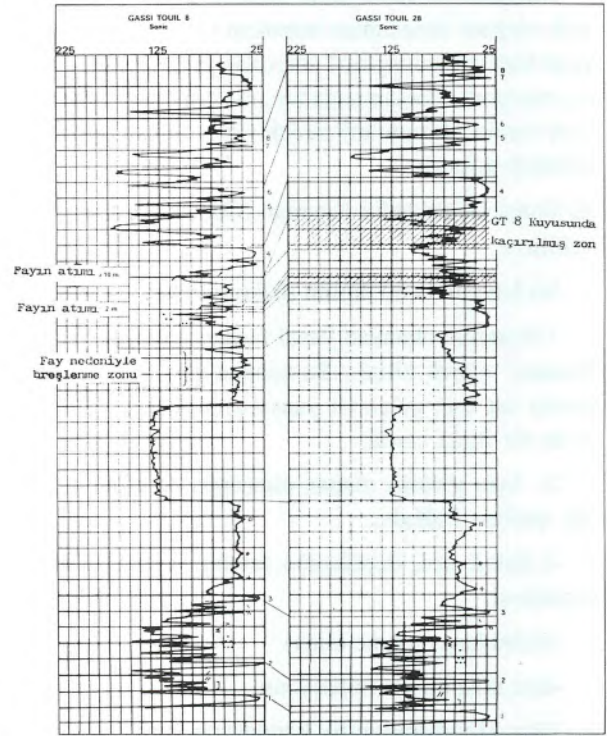
LOG KORELASYONLARININ STRATİGRAFİYEKATKILARI

Çeşitli log takımları (Dipmeter, Gamma Ray, Sonic vb.) fay ya da uyumsuzluğun (unconformity) varlığını ortaya çıkarmasına karşın, kaçırılmış bir sekans yalnızca iki yada daha fazla kuyunun karşılaştırılmasıyla belirlenebilir. Log korelasyonları özette fay, uyumsuzluk, depolanmada bir ara verme ya da bir erozyonun olup olmadığını gösterirler.



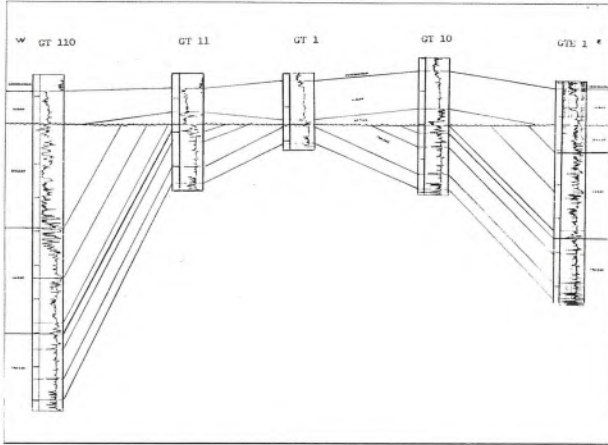
Şekil 3. Dipmeter verilerine dayanarak yapılan kuyular arası korelasyon (Schlumberger, Well Evaluation Conference Nigeria, 1974).

Şekil 4 Sahara Çölü'nde açılmış GT8 (Gassi Tovil) kuyusunu kesen normal fayların durumunu göstermek-



Şekil 4. Log korelasyonu ile tanımlanan normal fay örneği. Yalnızca litoloji logu kullanarak fayın ortaya çıkarılması pratikte mümkün değildir (Serra, 1972).

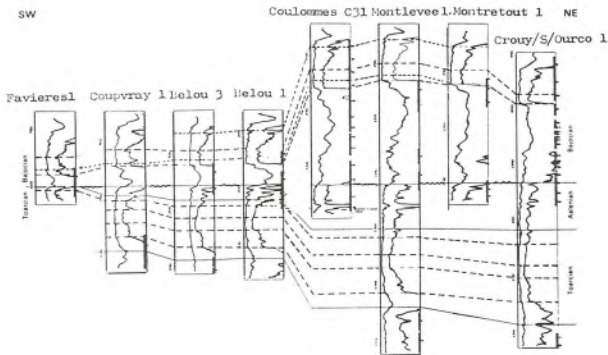
tedir. Fayın varlığı GT 8 kuyusu ile GT 28 kuyusunun korelasyonları ile belirlenmiştir. Fayın yalnızca litoloji



Şekil 5. Log korelasyonları ile ortaya çıkarılan erozyon yüzeyi (Serra, 1972).

çalışmaları ile belirlenmesi hemen hemen imkansız olmuştur. Şekil 5'te görüldüğü üzere Algeria Gassi Tauil alanının da yer alan yapının erozyon yüzeyi log korelasyonu yardımıyla açığa çıkarılmıştır (SERRA, 1972). Bu örnekte litoloji logu tek başına yeknesak sekanslardaki birimleri açıkça ayıramaz.

Şekil 6'da log korelasyonu ile sinsedimenter fleksür fayının tanımlanmasını göstermektedir. Örnek Paris Havzası'ndaki Coulommes Sahası'ndan alınmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi subsidans ile ilişkili sinsedimenter fleksür fayı NE (kuzey doğuda) da daha kesindir. "Montleveel" deki Toarsiyen seviyesi "Belou 1" ve "Belou 3"den daha kalındır. Aynı zamanda Aaleniyen-Bajosiyen arasında bir uyumsuzluk (unconformity) da tesbit edilmiştir. "Belou 1" kuyusunda Geç Aaleniyen ve Alt Bajosiyen seviyelerinin kaybolduğu gözlenmektedir.



Şekil 6. Sinsedimenter fleksür fayının, erozyon ve uyumsuzluğun tanımlanması (Serra, 1972).

DEĞİNİLEN BELGELER

Asaquit, G.B. (1982) Basic Well Log Analysis for Geologist. Amer. Assoc. Petroleum Geol., Methods in Exploration Series.

Delfiner, P., Delhomme, J. P., Pelissier - Combescure, J. (1983) Application of Geostatistical Analysis to the Evolution of Petroleum Reservoirs with well Logs. SPWLA, 24 th Ann. Log. Symp. Trans., paper WW.

Delfiner, P., Peyret, O., Serra, O. (1984), Automatic determination of Lithology from well logs 59 th Ann. Techn. Cong. SPE of AIME, Houston, Texas: paper SPE 13290.

Delhomme, J. P. (1978) Kriging in the Hydrosiences. Advances in Water Resources, 1,5, p.251-266.

Schlumberger (1979) Well Evaluation Conference. Algeria. Schlumberger Middle East S.A. (1981) Well Evaluation Conference. United Arab Emirates/Qatar.

Schlumberger (1983). Well Evaluation Conference. Afrique de l'Quest.

Schlumberger Technical Services, Inc. (1983). Well Evaluation Conference. India.

Schlumberger Middle East S.A. (1984). Well Evaluation Conference. Egypt.

Schlumberger (1985), Well Evaluation Conference. Nigeria.

Serra, O. (1971). Apports des sondages petroliers a la connaissance du Lias du Bassin de Paris. In: Mem B.R.G.M., 75, p.481-487.

Serra, O. (1972). Diagraphies et Stratigraphie. In: Mem. B.R.G.M., 77, p. 775-832.

Serra, O., Abott, H. (1980) The Contribution of Logging data to Sedimentology and Stratigraphy. 55 th Ann. Fall Tech. conf. SPE of AIME. paper SPE 9270, and in SPE J., Feb. 1982.

Services Techniques Schlumberger (1974). Well Evaluation Conference. North Sea.

Services Techniques Schlumberger (1974). Well Evaluation Conference. Nigeria.

Taylor, J. C. M., Colter, V. S. (1975). Zechstein of the English Sector of the southern North Sea Basin. In: Petroleum and Continental Shelf of North-West Europe. Vol.1. Geology. Applied Science Publishers, London.

Visher, G. S., Saitta, S. B., Phares, R.S. (1971). Pennsylvanian Delta Patterns and petroleum occurrences in Eastern Oklahoma. Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol., 55, 8, p. 1206-1230.

Widdicombe, R. E., Noon, p. (1984). Multi-well Faciolog evaluation, Hartzog Draw Field, Powder River Basin, Wyoming. SPWLA, 25 th. Ann. Log. Symp. Trans., New Orleans.

Volkanik Kökenli Gaz Çalışması Temel Teknikleri: İzleme İle Bütünleşmiş Bir Yaklaşım

*Monitoring Volcanoes: Techniques and Strategies Used by the staff of the
Cascades Volcano Observatory, 1980-90.*

Çeviren
Haydar İLKER
Jeoloji Yük.Müh.

ÖZ

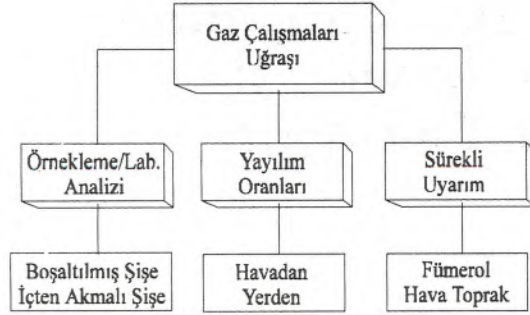
Volkan izlenmesi için temel gaz çalışma metodları: numune alımı, laboratuvar analizleri ile yükselen gaz oranlarının ölçümlerini içerir. Araziden alınan numunelerin laboratuvar analizleri, belli bir zamandaki özel bir bölge için detay kimyasal bilgi sağlar. Gaz yayılım ölçümleri genellikle SO₂ ve CO₂ için ortalama bir veri sağlar. Sürekli izleme gaz konsantrasyonlarındaki geçici değişimleri anlamamızı sağlar. Her metodun avantaj ve dezavantajları vardır. İzleme amaçlı ayrıntılı gaz çalışma çabaları, geleneksel jeofizik izleme metodları ile birlikte üç yaklaşımda kullanımının bir sentezidir.

GİRİŞ

Magma'da eriyen gazlar, silis magmalarında eriyiğin ağırlık olarak % 5'inden daha az, bazaltik magmalar'da %0.5 ten az olmalarına rağmen, aktivitenin önemli itici gücüdürler(Greenland, 1987). Magmadaki özel bir volkan gazının eriyebilirliği basınç, ısı ve magmanın kütle bileşimi gibi özelliklerin karmaşık bir fonksiyonudur. Daha da ötesi aynı magmadaki değişik gazlar farklı eriyebilirlik ve tepkilere sahiptirler. Magma yükselince, yeraltı şartlarındaki değişiklikler, magma ve yüzey arasındaki kayacın geçirgen olması şartıyla, yüzey çatlaklarından yayılan gazların yayılım oranı veya bileşimindeki değişikliklerin yansması olacaktır. Bu şartlar altında magma'nın yükselmesi, fümerollerden, aktif çatlaklardan, geçirgen yer yüzeylerinden ve magma kütesinden kaçan gazların araştırılmasıyla ortaya çıkar. Çok yakın bir tarihte (1989) Tilling, halen görgül (ampirik) olmasına rağmen gaz jeokimya çalışmalarını volkan işlemine ve yükselme tahminlerine yaklaşımda, ümitvar olarak ortaya koymuştur. ABD'deki volkanik gaz çalışmaları, Havai'deki 1900 lerin başındaki çalışmalara kadar gider (Jaggar, 1940). Gaz çalışma teknik-

lerinin özelliklerini ortaya koyan daha yakın tarihli volkan izleme çalışmaları UNESCO'nun özel bir ciltini (1972) ve Bulletin Volcanologique'nin volkanik gazlarla ilgili (cilt 45, no 3,1982) özel bir sayısını içerir. Gaz jeokimyası ile ilgili çalışmalar, toplanmış verilerin dikkatli bir değerlendirilmesi ve yorumlanmasını gerektirir (Casadevall ve diğerleri 1987, Giggenbach 1989). Bu makalede izleme amaçlı güncel gaz çalışma tekniklerinin mantıksal olarak üç sınıfta değerlendirilmesi önerilmektedir. Biz her bir sınıflamanın önemini ve bu metodların beraberce kullanımının, gaz izleme işleminin kapsamlı olarak ele alınmasında nasıl etkili olacağını vurguladık.

Gözlem amaçlı gaz çalışmaları, çeşitli şekillerde ele alınır(Şekil 1). Fümerollerin arazide numunelendirilmeleri ile laboratuvar analizleri çatlak-gaz bileşimi hakkında detaylı bilgi sağlar. SO₂ ve CO₂ gibi gazların, yayılım-oran çalışmaları, magma sisteminin, temin oranı ve diğer özellikleri hakkında tahminler verebilir. Gaz sensörleri ile yapılan sürekli yerinde uyarı işlemi, fümerollerin, çatlakların ve gözenekli volkanik toprağın içindeki ve etrafındaki gaz bileşimlerinin geçici de-ği-

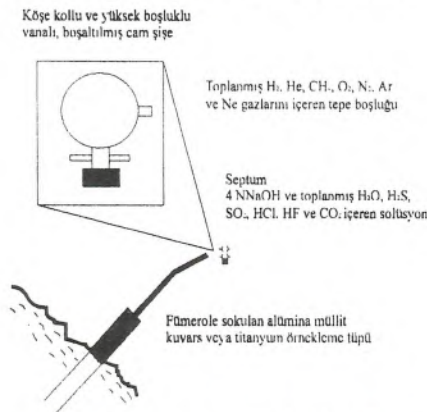


Şekil 1. Volkan uyarım amaçlı temel gaz çalışmaları, periyodik ve sürekli numune alımı ve yayılım-oran ölçümlerini içeren, bütünlümlü arazi ve laboratuvar çalışmalarından oluşmalıdır.

şiklikleri hakkında önemli bilgiler sağlar. Biz bu gaz tekniklerinin herbirini kendi başına ve diğer volkan işleme metodları ile nasıl bir bağlantı içinde oldukları anlamında ele aldık.

LABORATUVAR ANALİZLERİ İLE BİRLİKTE NUMUNE ALIMI

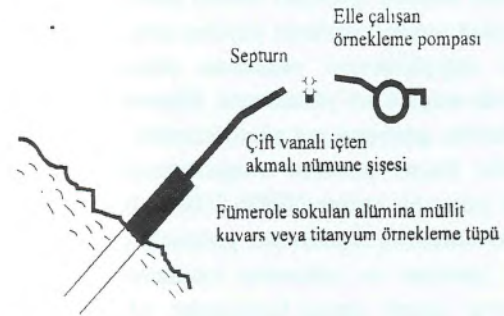
Fümerolik gazları toplamak ve analiz etmek için iki primer metod kullanılır. İçi boşaltılmış şişe metodu Giggenbach tarafından standartlaştırılmıştır (1975:Giggenbach ve Goguel, 1988). Bu metod minimum ekipman kullanarak detay gaz analizi elde etme avantajına sahiptir; ayrıca birçok volkan tipini ve jeotermal sistemini etüd etmek için kullanılmıştır. Pratikte, titanyum, alumina,mullite veya silika, numune tüpü (kimyasal olarak tesirsiz ve fiziksel olarak dayanıklı) fümerol içerisinde yerleştirilir ve tüpteki yoğunluk den-



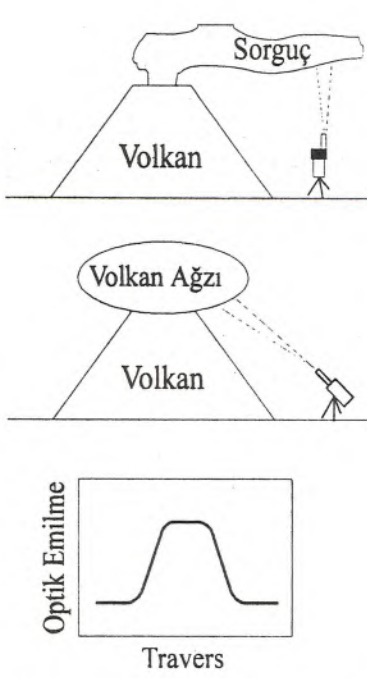
Şekil 2. Örnekleme tüpü ve numune şişesini gösteren boşaltılmış şişe örnekleme planı.

geleninceye kadar ısıtılır, buda genellikle 5 dakika veya biraz daha azdır (Şekil 2). Denge, numune tüpünün çıkışındaki gaz akışıyla temsil edilir. Fümerolik gaz, teflon tüp içinden kısa bir mesafe geçirilerek nümune tüpüne gider. Numune tüpüde, yüksek vakum vanalı, borosilikat cam şişedir. Şişe kısmen konsantre (4N) sulu sodyum hidroksit ile doludur ve içi boşaltılarak tartılır. Vana açılır ve gaz alkali solüsyonun içinde kaynaşarak şişeye geçirilir. Su, CO₂, H₂S, SO₂, HCl ve HF sulu kesimde erir. N₂, O₂, H₂, CO He ve Ne, solüsyonunun içerisinde kaynaşarak tepe boşluğunda toplanırlar. Litrelerce fümerolik gaz tek bir şişede toplanabilir çünkü, volkanik gaz tipik olarak su ve yoğunlaşabilir asit gazlardan oluşmuştur. Bu metodu gazlar solüsyonda ve tepe boşluğunda toplanır böylece daha sağlıklı analitik hassasiyet sağlanır. Tepe boşluğundaki "kalıcı" gazlar, termal iletkenlik dedektörü ve argon taşıyıcı gazlar ile bir moleküler elek sütunu üzerinde gaz kromatografisi ile analiz edilirler. Çözünmüş gazlar, yaş kimyasal, CO₂, SO₂, H₂S, H₂O ve HCl için kullanılan gravimetrik teknikler ve HF için kullanılan iyon-selektif elektrod metodolojisi ile analiz edilirler. Diğer, boşaltılmış-şişe numunelendirilmesi ve analiz teknikleri Piccardi ve Cellini-Legittimo (1983) ve Greenland(1986) tarafından tanımlanmışlardır.

Şişe içinden akıtılarak toplama, boşaltılmış şişe ile toplamadan daha çabuk yapılır ve kapsamlı bir gaz analizinin gerekli olmadığı veya arazi koşullarının boşaltılmış şişe toplaması için tehlikeli olduğu durumlarda kullanılır. Nümune tüpü düzenlemesi boşaltılmış şişe metodu ile benzerdir, fakat şişenin iki vanası vardır (Şekil 3).



Şekil 3. Örnekleme tüpü, numune şişesi ve pompasını gösteren içten akmalı örnekleme planı.



Şekil 5. Üçayağa oturtulmuş COSPEC ile yerden yapılan sülfürdioksit ölçümleri, kesikli çizgiler sabit açılı COSPEC'in görüş alanı göstermektedir. A- Yandan görünüş, B- Önden görünüş, C- Sembolik veri.

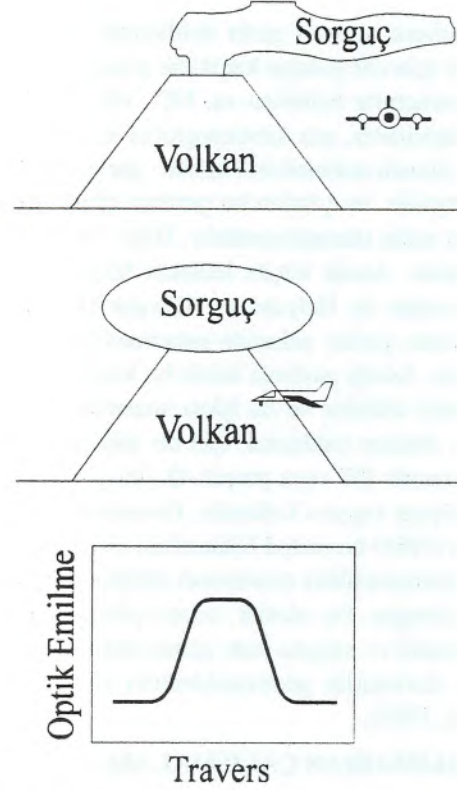
ha sonra günlük oranlara ölçeklendirilen SO₂ dağılım oranlarını hesaplamak için ortalanırlar.

CO₂ dağılım ölçümleri spektroskopik olarak yapılır. Fakat bu volkan'ın yanında ölçüm yapılmasında gerektirir. Buda, volkan'ın arasından yörüngesine dik açılı uçuşların tekrarlanmasıyla yapılır (Şekil 7).

Kızılötesi (IR) emme ölçümleri, sabit kanatlı bir uçağa monte edilen, spektroskopik düzenli MİRAN IR Spektrofotometresinin içerisinden volkan gazının pompalanması ile yapılır. Bu metod volkan için bir konsantrasyon profili oluşturur ve rüzgar hızıyla CO₂ yayılım oranının hesaplanması için kullanılır. Metod Harris ve diğerleri tarafından tartışılmıştır (1981) ve St. Helen dağında ve Havai'de ölçüm yapmak için kullanılmıştır.

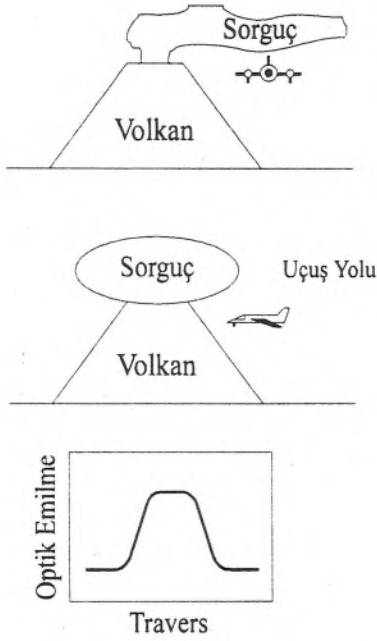
SÜREKLİ GAZ UYARIMI

Bazı gaz dağılım olayları birkaç dakika kadar kısa sürelidir ve toplama vede periyodik numune alımı veya



Şekil 6. COSPEC ile havadan yapılan sülfürdioksit ölçümleri. A- Yandan görünüş B- önden görünüş, C-Sembolik veri.

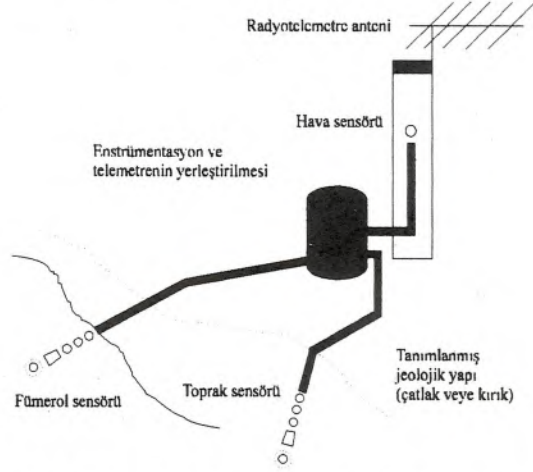
dağılım-oran ölçümlerini içeren analiz teknikleriyle ortaya çıkmazlar. Sürekli ölçümler kısa süreli konsantrasyon değişikliklerini izlerler. Sürekli gaz gözlemi bölgedeki gaz konsantrasyonlarını ölçmek için bir veya daha fazla sensor kullanımını gerektirir. Teknik ilk olarak 1970'lerin ortasında Sato ve meslektaşları(Malone ve Frank, 1975; Sato ve diğerleri, 1976) tarafından geliştirilmiş ve kullanılmıştır;Baker dağıının aktivitesini izlemek için uygulanmıştır (Frank ve diğerleri, 1977). Bilgi, sensor'lardan 10 dakikada bir alınır ve radyo, uydu veya telefonla alıcıya iletilir (McGee ve diğerleri, 1987). Amerikan jeolojik araştırmalarındaki bilim adamları tarafından yapılan gaz işleme çalışmalarında yakıt hücreli bir sensor kullanılmış ve geliştirilmiştir. Bu alet, H₂,H₂S, SO₂, CO₂, COS, HCI ve HF gibi gazları azaltmaya elverişlidir. Sert ve aşınmış arazi şartlarında elastiki olan sensor, Sate ve McGee tarafından tanımlanmıştır (1981). Bu sensor'un yakın tarihlerdeki detay çalışması Sutton ve McGee (1989), McGee ve



Şekil 7. Miron aleti ile havadan yapılan sülfürdioksit ölçümleri, A- Yandan görünüş, B- Önden görünüş, C- Sembolik veri.

Sutton (1990) tarafından yayımlanmıştır. Tür ayırt edici dayanıklı, ticari olarak uygun gaz sensorlerini yakın tarihlere kadar uygun fiyatta bulmak çok zordu. Kimyasal gaz algılama teknikleri ve uygun fiyatlı vede potansiyel olarak yararlı gaz sensor'leri Sutton tarafından açıklanmıştır (1990). Ticari sensor'ler şu anda H_2 , SO_2 , CO_2 , H_2S , CO , COS , HCl ve HF için uygundur. Bu sensor'lerin hemen hemen hepsi volkanik çevrelerde kullanılmadan önce bazı değişiklikleri gerekli kılar ve tür ayırt edilebilmesi dikkatli düzenlemeleri gerektiren, sıkça rastlanan bir problemdir. Örneğin bir SO_2 sensor'ü H_2S 'e çapraz duyarlılık gösterebilir. SO_2 hassasiyeti olmayan bir H_2S sensor'ünün orijinal SO_2 sensorü ile birlikte düzenlenmesiyle, bunlardan bir tanesi iki gazıda izleyebilir ve SO_2 sensor çıkışı için doğrulama algoritmi kurulabilir. Sürekli gaz uyarım ölçümleri, fümerollerde, aktif fümeroller yakınındaki havada, ve yapısal özelliklerin yanındaki topraklarda yapılabilirler (Şekil 8). Sürekli fümerolik ölçümler, gaz sensorlerinin çatlaklara doğrudan yerleştirilmeleriyle yapılır. Havai'de Kilauea volkanının daki geniş yayımlı bir gaz olayı, düşük ısılı fümerollere yerleştirilmiş gaz sensor'leriyle,

doğu rift'inin yükseliminden önce belirlenmiştir. (McGee ve diğerleri, 1987).



Şekil 8. Hava, fümerol ve toprak, sensorleri'ne sürekli gaz uyarımı. Telemetre, radyo, uydu, kablo veya telefon olabilir.

Bu tip yerleştirme (sensor'lerin) magma sisteminin ana kanallarıyla, fümeroller arasında iyi bir bağlantı sisteminin olduğunun düşünüldüğü durumlarda yararlıdır.

Hava uyarımı, aktif dumanlı bir alanın yanına yerleştirilen ağaç bir sehpa üzerine kurulan, 1-2 m yüksekliğindeki gaz sensorleriyle yapılır. Bu metod fümerolik gözlem için avantajlara sahiptir. Hernekadar, rüzgar yön değişimi gibi, pik sensor okumalarına konu olursada, bu metod, köksüz bir fümeral seçiminin muhtemel hatasını önler ve herhangi bir arazide ayrıca birçok sensor zor fümerolik şartlara dayanamazken, hava gözleminin yapılabildiği sürece çok değişik sensörler kullanılmıştır. St. Hellens dağı'nın güney kanadında Sato ve McGee (1981) tarafından hava gözlemi yapılmıştır ve aktif St.Hellens dağı lav domunda ise hava gözlemi yapılmaktadır 1986.

Toprak gazlarının sürekli izlenmesi muhtemel faylı bir alanda veya diğer gaz geçirimli zonlarda, sensor'un en azından bir metre derine gömülmesiyle olur. Uygun toprak-gaz işleme bölgeleri gözlemsel metodlarla tespit edilir. Örneğin, Allard ve diğerleri (1989), Sicilyadaki Etna dağı'nın volkanik yapısının jeolojisi hakkında bilgi elde etmek için, portatif infrakırmızı (kızıl ötesi) CO_2 dedektörü kullanmışlar ve toprak gazlarından yayılan

CO₂'nin, Etna dağı'nın zirvesindeki kraterden yayılana, yaklaşık olarak eşit olduğunu ortaya koymuşlardır. Thomas (1987), sıg yer gazlarındaki radon konsantrasyonunun, Kilauea volkanındaki volkanik ve sismik aktiviteyle aniden değiştiğini ortaya koymuştur.

Sürekli toprak gaz işleme çalışmaları, Kaliforniya'daki Uzun Vadi kalderası'nda da yapılmıştır (Mc Gee ve diğerleri, 1982; McGee ve Sutton, 1990). Toprak-gaz numunelendirilmesi ve sürekli helyum gazı işlenmesi Friedman tarafından tanımlanmıştır (1987).

TARTIŞMA

Volkanik aktivite işlenmesi için temel gaz çalışma teknikleri Çizelge 1 de özetlendiği üzere avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Laboratuvar analizi ile birlikte fümerolik numunelendirme, belli bir zamanda, özel bir gaz-yarıklık lokasyonu hakkında detay kimyasal bilgi verir. Yayılım-Oran çalışmaları, sadece SO₂ ve CO₂ için belli bir süre boyunca, bir volkanın kapsamlı gaz çıkışlarını mevcut-günlük tekniklerin kullanımıyla ortaya koyar.

Ayrıca, yeniden aktiviteye geçen belli volkanların yüksek SO₂ yayılım oranları, geniş fakat sıg hidrotermal sistemde toplanan orijinal magmatik gazların serbest kaldığına işaret eder (Giggenbach, 1989). Bundan

dolayı tek başına yüksek SO₂ değerleri direkt olarak bir magmatik kaynağa işaret etmiyebilir. Sürekli izleme fümerol, hava ve topraktaki birkaç kimyasal türün göreceli konsantrasyonundaki geçici değişimler hakkında bilgi sağlar, hernekadar halihazırda kullanılan sensorlarla bundan dolayı kesin yorum yapılabilmesi zorsada bu üç yaklaşımın birlikte kullanımıyla volkanik gaz yayılımının daha bir tamamlanmış durumu elde edilir.

Laboratuvar analiziyle numunelendirme, toplam izleme ve gazın faz ilişkileri temel bilgileri sağlamakta ve sürekli izleme çalışmalarının doğruluğunu kontrol etmektedir. Yayılım-oran çalışmaları, sürekli izleme ve laboratuvar analizli numunelendirmeye nitelikli bir şekilde kontrol edilen bütün gaz-yayılım oranları üzerinde odaklanmıştır.

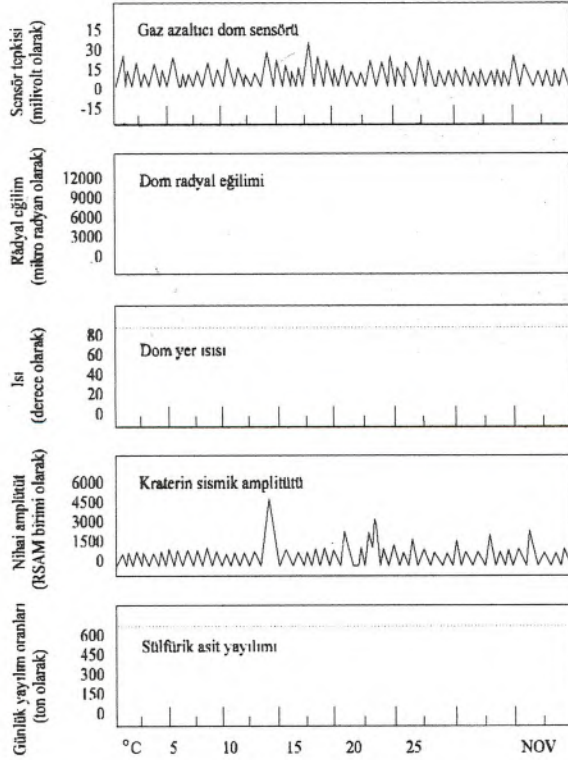
Burada tanımlanmayan diğer doğrudan gaz çalışma metodları, yerinde gaz analizi için taşınabilir gaz kromatograflarını (LeGuern, 1982) ve gaz örneklerinin meteorikmi yoksa magmatik kökenlimi olduklarını tanımlayan izotopik gaz çalışmalarını içerir (Evans ve diğerleri, 1981). Dolaylı gaz çalışma metodları, doğrudan gaz numune alınımının mümkün olmadığı yerlerde yararlı olan, kül damıtma çalışma metodlarını içerir (Williams ve diğerleri 1986; Hinkley, 1987). Irmakların ve krater göllerinin kimyasal ve fiziksel parametreleri-

Çizelge 1. Temel volkan gaz çalışma tekniklerinin avantaj ve dezavantajları.

Avantajları :	Numune Analizi	Yayılım oranları	Sürekli Uyarım
	Zaman ve mekan içinde, tek nokta hakkında çok özel ve daha çok veri elde edilir.	SO ₂ ve CO ₂ hakkında kapsamlı çıktı verir. Mağma ihtiyacı oranı güvenilirdir.	Gaz çıkışlarını geçici olarak çok iyi kontrol eder. Sürekli veri elde edilir. Gerçek uyarım yapar.
Dezavantajları :	Veride geçici uzay boşlukları olur. Yoğun emek gerektirir. Zararlı olabilir.	Sadece iki gaz içindir. Her veri noktası için bölgeye gitmek gerekir. Yoğun emek gerektirir. Havaya bağımlıdır.	Az sayıda dayanıklı ve seçme sensor ile yapılır. Telemetre gerektirir.

nin izlenmesi , bu sistemler içinde, yenilenmiş magma hareketini göstermektedir (McGee ve diğerleri, 17. kısım).

Gaz çalışma sonuçları, diğer zaman-seri verileriyle birlikte volkanik aktivitesinin değerlendirilmesinde kullanılır. Şekil 9, Ekim 1986 da St. Hellens dağındaki dom yapıcı aktivitenin izleme dasetasını göstermektedir.



Şekil 9. 22 Ekim 1986'da St. Hallen dağındaki dom püskürmesini de içeren zaman dilinimi için, gaz jeokimyası, eğim, ısı, RSAM ve havadan aralıklarla gelen sülfürdioksit verilerinin karşılaştırılması.

Kraterde yerleştirilen bir gaz azaltıcı sensor, bir eğim ölçücü, yer ısı sensor'ü ve seismometer dom oluşum olayını kaydetmiştir. Ara ara ölçülen SO₂ yayılım oranlarında benzer bir örneği göstermiştir.

SONUÇ

Volkan izleme amaçlı gaz çalışmaları, üç temel tekniğin kullanımıyla yönlendirilmiştir: En çok ve en az uçucu türler için yapılan laboratuvar analizli fümerol numunelendirmesi, SO₂ ve CO₂'nin yayılım-oran ölçümleri ve kimyasal sensor'ler kullanımıyla, yapılan gazların sürekli mahallinde izlenmesi. Fümerol numunelendirme ve laboratuvar analiz teknikleri, iyi tesis edilmiş olup özel çıkış bileşimine yönelik en iyi bilgiyi verirler. Böyle teknikler, magmatik gaz bileşimlerini ve uçucu birikimleri değerlendirmek için kullanılırlar (Gerlach ve Casadevall 1986; Gerlach ve Graeber 1985). SO₂ ve CO₂ için yapılan yayılım-oran ölçümlerinde benzer biçimde iyi tesis edilmiş olup magma çıkış oranı ve volkan aktivitesinin genel düzeyindeki değişiklikleri kaydedebilirler. Sürekli izleme fümerol, hava ve topraktaki seçilmiş gaz türleri için geçici süreğenlik oluşturur ve yakın gelecekte, özellikle daha fazla çeşitli gaz türleri için, ticari sensorler yaygınlaştıkça en çok gelişme gösterecek olan gözlem tekniğidir.

Burada anlatılan gaz-çalışma teknikleriyle birlikte özelliklede zaman-seri jeofizik verileriyle uyumlu olarak kullanıldığında çok daha yararlıdırlar. İyi bir volkan çalışması, magmatik sistemdeki fizikokimyasal değişimleri ölçen jeofiziksel ve jeokimyasal metodlarda içermelidir.



**MADEN TETKİK VE ARAMA
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

TÜRK MADENCİLİĞİNE DESTEK VERİYOR ...

**GELİN GÖRÜŞELİM TALEP VE
SORUNLARINIZA ÇÖZÜM BULALIM**

- **ALTYAPI ÇALIŞMALARINIZDA KÂR AMACI
GÜTMESİZİN MADENCİNİN YANINDA HİZMETE
HAZIRIZ.**
- **EN MODERN CİHAZLARLA GÜVENİLİR LABORATUVAR
HİZMETLERİ VERİYORUZ.**
- **TEKNİK VE BİLİMSEL STANDARTLARA UYGUN BİRİM
MALİYETİNDE SONDAJ YAPIYORUZ.**
- **58 YILLIK BİLGİ BİRİKİMİMİZİN ÜRÜNÜ OLAN
ARAŞTIRMA RAPORLARINI HİZMETİNİZE AÇIYORUZ.**

GELİN GÖRÜŞELİM.

KAYAÇ OLUŞTURAN ÖNEMLİ MİNERALLERİN MİKROSKOPTA İNCELENMELERİ

Prof.Dr. Yavuz ERKAN

JMO YAYIN NO : 42

ISBN 975-395-137-X

SİPARİŞ FORMU

ADI SOYADI :

MESLEĞİ :

A D R E S :

Postakodu-Şehir:

TELEFON : ()-

Faks : ()-

TMMOB
JEOLJİ MÜHENDİSLERİ ODASI BAŞKANLIĞI
P.K.464 - Kızılay, 06424 ANKARA

Kayaç Oluşturan Önemli Minerallerin Mikroskopta İncelenmeleri kitabından a d e t
satın almak istiyorum.

Bedeli olan TL'sı postaçeki 89850 nolu hesabınıza yatırılını ş olup
postaçeki alındısı ekte gönderilmiştir.

Yayının yukarıda belirtilen daimi adresime gönderilmesini dilerim.

Saygılarımla.

Tarih :

İmza :

EDERİ : (Posta masrafı dahil, 1 Ocak 1995'den geçerli)

İşaretleyiniz

1. JMO Üyesi Olmayanlar için..... 450.000.-TL.

2. JMO Üyesi ve Öğrenciler için..... 350.000.-TL.

NOT : İsteyene fatura verilir. Ödeme banka hesabımıza da yapılabilir.

Banka Hesap No : Ziraat Bankası Kızılay Şubesi 30440-989-2



TÜRKİYE JEOLojİ ARAŞTIRMALARI ÖZLERİ

Abstracts of Geological Researches in Turkey

91/001-413

1991

ISSN 1300-3607

SİPARİŞ FORMU

ADI SOYADI :

MESLEĞİ :

A D R E S :

.....

.....

Postakodu-Şehir:.....

TELEFON ()- Faks : ()-

TMMOB
JEOLojİ MÜHENDİSLERİ ODASI BAŞKANLIĞI
P.K.464 - Kızılay, 06424 ANKARA

Yılda bir kez yayımlanan TÜRKİYE JEOLojİ ARAŞTIRMALARI ÖZLERİ'nin 1991 yılı sayısından.....adet satın almak istiyorum.
Bedeli olan TL'sı postaçeki 89850 nolu hesabınıza yatırılmış olup postaçeki alındısı ekte gönderilmiştir.
Yayının yukarıda belirtilen daimi adresime gönderilmesini dilerim.
Saygılarımla.

Tarih :

İmza :

EDERİ : (Posta masrafı dahil, 1 Ocak 1995'den geçerli)

İşaretleyiniz

- | | | |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| 1. Kuruluşlar için..... | 300.000.-TL. | <input type="checkbox"/> |
| 2. JMO Üyesi Olmayanlar için..... | 200.000.-TL. | <input type="checkbox"/> |
| 3. JMO Üyesi ve Öğrenciler için..... | 100.000.-TL. | <input type="checkbox"/> |

NOT : İsteyene fatura verilir. Ödeme banka hesabımıza da yapılabilir.
Banka Hesap No : Ziraat Bankası Kızılay Şubesi 30440-989-2

GEOENV '97



**INTERNATIONAL SYMPOSIUM
ON
GEOLOGY AND ENVIRONMENT**

**Istanbul, TURKEY
September 2-6, 1997**



TMMOB

THE CHAMBER OF GEOLOGICAL ENGINEERS

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını

Mayıs- Kasım 1994 Sayı 44-45

İÇİNDEKİLER

- 1 Granitoid petrojenezinde mağma mingling/
mixing kavramı
Sabah YILMAZ, Durmuş BOZTUĞ
- 21 Maden yataklarının değerlendirilmesinde je-
oistatistiksel simülasyon yöntemlerinin kulla-
nılması
Cem SARAÇ
- 27 Duraylı izotoplar jeokimyasının maden ya-
taklarına uygulanması
Vedat OYGÜR
- 39 Mineral kaynaklarının uluslararası pers-
pektifi
Taner İRKEÇ
- 50 Altın; Ekonomik yataklanma tipleri, arama
safhaları ve maliyet
Koray KİRİŞ
- 62 Çöp depolama alanlarında oluşan gazın (deponi
gazı) çevresel etkileri ve ekonomik potansiyeli
İlker ŞENGÜLER, Hazım YILMAZ
- 67 Çevre jeolojisi ve gelişmekte olan ülkelerle
işbirliği
Mesude AYDAN
- 70 Yeraltısuyundan içme ve kullanma suyu te-
min amaçlı kuyularda tasarım teknikleri
Tahir ÇEBİ
- 88 İçmesuyu kuyusu ve borulannın dezenfeksiyonu
Necla AKÇA
- 91 Kaya mekaniği öğretimine ilişkin rapor
Mustafa KARABIYIKOĞLU
- 102 Log korelasyon teknikleri ve jeolojide kullanımı
Aynur GEÇER
- 107 Volkanik kökenli gaz çalışması temel tek-
nikleri: İzleme ile bütünleşmiş bir yaklaşım
Haydar İLKER

kapak fotoğrafı

Üst Kretase kireçtaşlarından bir görünüm (Kekova).

teknik hazırlık

nitelik reklam 419 35 46